جامعة الحرية

جيولوجيا المناجم والإستكشاف المعدني

تأليف

غازي عطية زراك

كلية العلوم / قسم علوم الارض التطبيقية

الطبعة الاولى

٢٠١٤

جيولوجيا المناجم والاستكشاف المعدني

تأليف
غازي عطية زراك
كلية العلوم / قسم علوم الارض التطبيقية

الطبعة الاولى
2014

رقم الايداع في دار الكتب والوثائق ببغداد (3142)
لسنة 2013

550
ز 226
زراك ، غــازي عطيـة
جيولوجيا المناجم والاستكشاف المعدني / غازي عطية زراك
تكريت (العراق) : جامعة تكريت، 2014
606 ص
ر.أ : (3142)
الـواصفات :/ جيولوجيا المناجـم / معادن / علم الارض / ألاستكشاف المعدني
❖ تم اعداد بيانات الفهرسة والتصنيف الاولي من قبل الامانة العامة للمكتبة المركزية في جامعة تكريت

Copyright ©
All Rights Reserved

جميـع الحقــوق محفوظـــة لجامعة تكريت

ISBN 978-9933-9151-1-7

❖ لا يجوز نشر اي جزء من هذا الكتاب، او تخزين مادتـه بطريقـة الاسترجاع او نقله على اي وجه او بأي طريقة الكترونيـة كانـت او ميكانيكيـة او بالتصـوير او بالتسجيل وخلاف ذلك الا بموافقة على هذا كتابة مقدمـاً .

مطبعـة جامعة تكريت Tikrit University Printing

العراق – صلاح الدين – تكريت – جامعة تكريت
صندوق بريد : 42
ايميل : printing.university@gmail.com

www.tu.edu.iq

الاشــراف الطباعي
سمير مدحت سعيد
ايــاد عــادل خلــف
عمر احمد عبد القادر

الإهـــــــــــداء

إلـى كافـة الجيولـوجيين وزمـلاء

المهنـــة فـــي القطـــر العراقـــي

الحبيب...

إلى طلبة الحاضر والمستقبل...

محتويات الكتاب

الموضـــــــــوع	الصفحة
مقدمة الكتاب	
الفصل الأول/	**1 – 21**
المقدمة	1
مشاريع التعدين الصناعية	8
مصطلحات وتعاريف	10
الفصل الثاني/ الترسبات المعدنية	**22–68**
المقدمة	22
تصنيف الترسبات المعدنية	23
نمذجة الترسبات المعدنية	51
كثافة الترسبات المعدنية	55
نظام شبكة مواقع النمذجة	56
مدى التأثير الموقعي للنموذج	58
تقدير مدى التأثير الموقعي لقيمة النموذج	60
الفصل الثالث/ الاستكشاف المعدني	**67–251**
المقدمة	67
اهداف برنامج الاستكشاف المعدني	72
العوامل التي تحدد طرق الاستكشاف المعدني	73
التخطيط لبرنامج العمل الاستكشافي	74
برنامج الاستكشاف المعدني	79
الدراسات الاولية الاقليمية	79
دراسة وتحليل الصور الفضائية والجوية	80
التحسس الجيوفيزيائي الاقليمي	87
الطريقة المغناطيسية الجوية الاقليمية	88
المسح الجوي الالكترومغناطيسي	91
طريقة الاستنشاق الهوائي	93
الطريقة الاشعاعية	93

الموضـــــــــوع	الصفحة

دراسة الخرائط الجيولوجية والطبوغرافية	95
المسح والتنقيب الجيولوجي الارضي	97
وصف التراكيب والتكوينات الجيولوجية	98
المسح والتنقيب الارضي	99
المسح الجيوكيميائي الارضي	99
الاستكشاف باستخدام نماذج صخرية	100
الاستكشاف باستخدام نماذج تربة	103
الاستكشاف باستخدام نماذج مياه طبيعية	107
الاستكشاف باستخدام رسوبيات جداول التصريف	115
الاستكشاف باستخدام نماذج الغازات والغبار	122
الاستكشاف باستخدام نماذج النباتات	122
المسح الجيوفيزيائي الارضي	127
الطريقة الزلزالية	130
الطريقة الجذبية	156
الطريقة المغناطيسية	181
الطريقة الكهربائية والكهرومغناطيسية	204
الطريقة الاشعاعية	238
حفر الابار الاستكشافية	276
الفصل الرابع/ احتياطي الترسبات المعدنية	**252 – 367**
المقدمة	252
مفهوم الاحتياطي المعدني	253
تصنيف احتياطي الترسبات المعدنية	255
الشكل الهندسي للترسبات المعدنية	260
تحديد سمك الترسبات المعدنية	266
حساب مساحة الترسبات المعدنية	271
درجة تركيز الخام	278
تقدير درجة تركيز الخام	280

الموضـــــــــوع	الصفحة
حد القطع للسمك	300
تقدير الاحتياطي للترسبات المعدنية	306
شبكة مواقع النمذجة	307
التحاليل الكيميائية والفيزيائية للنماذج	308
معامل استخراج اللباب الصخري	308
الاحتياطي الخام	309
معامل الاسترجاع	309
الفقدان المنجمي	310
الفقدان المعملي	311
المعالجات الاحصائية والجيواحصائية	313
جيولوجيا الترسبات المعدنية في حساب احتياطي الخامات	314
تقدير الاحتياطي الموقعي للترسبات المعدنية	315
طرق تقدير احتياطي الترسبات المعدنية	316
مسائل تطبيقية	317
الطريقة الجيواحصائية او طريقة كريكنك (kriging).....	327
الفصل الخامس/ المعالجة الاحصائية لنتائج الاستكشاف المعدني	**421-368**
المقدمة	368
التمثيل الصوري للتوزيع التكراري	369
انواع المنحنيات التكرارية	374
مقاييس النزعة المركزية	377
مقاييس التشتت والاختلاف	388
مقاييس الالتواء والتفلطح	398
مخطط الانتشار	402
المعالجة الاحصائية المكانية	403
الطريقة الجيواحصائية في معالجة النماذج احصائياً ورياضياً.....	404
الفصل السادس/ جيولوجيا المناجم	**516-422**
المقدمة	422
العوامل التي تحكم اختيار الطريقة المنجمية	424

الموضـــــــــوع	الصفحة
نسبة القشط	427
زاوية الرقاد	434
الخصائص الفيزيائية والكيميائية للخامات والصخور	435
مصادر عدم الاستقرارية في الصخور	444
طرق الاستخراج المنجمي السطحية	444
فوائد طرق الاستخراج المنجمي السطحية	445
التخطيط للاعمال المنجمية السطحية	445
طرق الاستخراج المنجمي السطحية	451
المنجم المفتوح ذو المدرجات	451
طريقة التقشير على شكل اشرطة	456
طريقة الترسبات المعدنية الغرينية، النهرية ورمال السواحل البحرية	458
طرق التعدين البحرية	461
طرق لاستخراج المنجمي التحت سطحية	462
تهيئة الاعمال المنجمية	463
تصنيف طرق الاستخراج المنجمي تحت سطحية	467
طرق الاستخراج المنجمي التي تحتاج الى اسناد وتدعيم	469
طريقة الغرف والدعائم	470
طريقة الحفر على مستويات متعددة	473
طرق الاستخراج المنجمي بواسطة الحفر والردم	477
طريقة الاستخراج المنجمي المتضائلة	479
طريقة الاستخراج المنجمي بواسطة القواطع المنجمية	482
طريقة الاستخراج المنجمي بواسطة القواطع التكهفية	484
طريقة الاستخراج المنجمي ذات الجدار الطويل	487
المقالع	490
الاستكشاف الاولي عن مواد البناء الاولية	491
حساب الاحتياطي لترسبات مواد البناء الاولية	492
طريقة الاستخراج في المقلع	493
المبادئ الاساسية للعمل في المقالع	497
دراسة موقع/ منجم جبل عوام/ المغرب	498

الموضـــــــــوع	الصفحة
الفصل السابع/ المعالجة الاستخلاص المعدني	**573-517**
المقدمة	516
موقع معمل المعالجة الاستخلاص المعدني	519
الخصائص المعدنية للترسبات	521
النمذجة لاغراض الاستخلاص المعدني	522
مراحل معالجة واستخلاص المعادن	523
تكسير الصخور	525
سحق الصخور	526
مكائن ومعدات تكسير الصخور	527
مكائن ومعدات طحن الصخور	528
التصنيف او النخل	531
الفصل المعدني	539
طريقة التثخين	543
طريقة الترشيح	544
طريقة التجفيف	544
الفصل الحجمي	544
الفصل اليدوي	547
الفصل بواسطة وسط كثيف	547
الفصل باستخدام الكثافة	548
الفصل المغناطيسي	552
الفصل الكهربائي	554
طريقة التعويم	557
طريقة الترشيح او الاستنزاف	560
نسبة التركيز	562
معامل الاستخلاص	563
استخلاص كبريتات الصوديوم في العراق	563
المصادر العربية والانكليزية	**578-574**
الملاحق	**595-579**

المقـــــدمة

بســـــم الله الرحمن الرحيـــــــم

(ولقد مكناكم في الأرض وجعلنا لكم فيهـــا معايـــش) الأعراف 10

الحمـد لله... والصـلاة والسـلام علـى رسـول الله... وعلـى آلـه وصـحبه ومـن والاه... الحمد لله الـذي مـن علـى امـة العـرب بلغـة القـرآن الكـريم وبالـدين الإسـلامي الحنيـف... ثـم انعـم عليهـا بـوافر خيراتـه وأغـدق عليهـا مـن عظـيم عطائـه ونعمائـه، حثهـا علـى العمـل وعلـى البـذل والعطـاء، ومهـد لهـا سـبيل النجـاح والبقـاء بالتمـاس العمـل والـرزق الحـلال مـن خـزائن الأرض ومكنوناتهـا...ظاهرهـا وباطنهـا، وهكـذا كـان للعـرب نصـيبهم مـن قصـب السـبق فـي مجـالات الجيولوجيـا والتعـدين مثلهـا مثـل العلـوم الأخـرى بمـا تركـوا مـن آثـار ظـاهرة لحـد الآن تحكـي قصة تاريخ طويل عامر بالحضارة والعمران.

يعتبـر العمـل الجيولـوجي بكافـة مراحلـه المختلفـة ابتـداءاً مـن مرحلـة الاستكشـاف الجيولـوجي وإنتهـاءاً بمراحلـه النهائيـة المتمثلـة بالصـناعات التعدينيـة وإنتـاج المعـادن وتسـويقها عمـل مضـني ومغـامرة كبيـرة بالمـال والوقـت والجهـد، ان كافـة التحـديات التـي تواجـه الجيولـوجيين طيلـة هـذه الفتـرة تحتـاج الـى جهـود اسـتثنائية ومواظبـة كبيـرة وصـبر طويـل مـن اجـل الكشـف والفحـص والتحقـق مـن عشـرات وعشـرات الظـواهر الجيولوجيـة والترسـبات المعدنيـة وربمـا تنتهـي العمليـة بـان نحصـل علـى واحـد فقـط مـن هـذه الترسـبات ذات قيمـة اقتصـادية جيدة.

إن سلسـلة البـرامج والعمليـات والفعاليـات الجيولوجيـة التـي تهـدف الـى تعقـب واكتشـاف الترسـبات المعدنيـة او الظـواهر الجيولوجيـة عبـارة عـن سلسـلة مـن المراحـل التـي تتضـمن مجموعـة مـن الدراسـات النظريـة والمكتبيـة وأعمـال جيولوجيـة حقليـة متعاقبـة تكمـل أحـداهما الأخـرى تبـدأ مـن الفكـرة وتحديـد الهـدف ثـم تنطلـق بقيـة الأعمـال مـن فحـص صـور التحسـس النـائي ودراسـة الخـرائط والتقـارير والأعمـال الجيولوجيـة السـابقة حـول المنطقـة المسـتهدفة ثـم الـدخول فـي برنـامج الاستكشـاف المعـدني الـذي يتضـمن أعمـال جيولوجيـة وحقليـة باسـتخدام مختلـف الوسـائل والطـرق المتـوفرة مـن أعمـال مسـح جيوكيميـائي وجيوفيزيـائي وحفـر آبـار لبابيـه والغـرض مـن هـذه المرحلـة هـو تحديـد الأمـاكن والمنـاطق الأكثـر تشـجيعاً علـى احتمـال احتواءهـا علـى التواجـدات لترسـبات معدنيـة او تراكيـب جيولوجيـة. الدراسـات اللاحقـة هـي تحديـد شـكل

وحجم وعمق هذه الترسبات وتراكيزها، بعدها تحسب احتياطيات الترسبات المعدنية وتصنف وتقيم من حيث النوعية والكمية ودرجة التركيز، بهذه النتائج تتحقق نجاح كافة الجهود التي بذلت في العثور على الترسبات المعدنية الاقتصادية التي من الممكن استغلالها بربحية جيدة. المرحلة اللاحقة هي مرحلة الدراسات المنجمية التي تتضمن اختيار طريقة الاستخراج ألمنجمي المناسبة لاستغلال هذه الترسبات ثم الدخول في مرحلة الاستخلاص المعدني من اجل فصل واستخلاص المعادن المهمة بإتباع الأسلوب الأمثل في اختيار أفضل الطرق الخاصة بفصل وتركيز المعادن والفلزات من الصخور والمواد الخشنة وهي مرحلة صعبة ومكلفة من الناحية الاقتصادية والفنية.

هذا الكتاب الذي بين أيديكم هو دراسة أكاديمية وعملية مفصلة تشرح وتوضح كافة برامج ومراحل العمل الجيولوجي التي مر ذكرها آنفاً حيث يتضمن سبعة فصول تبدأ من تحديد الهدف من العمل الجيولوجي وانتهاء بمرحلة الاستخلاص المعدني وإنتاج المعادن مع بعض الأمثلة والدراسات العملية لبعض المواقع المنجمية.

الفصل الأول عبارة عن مقدمة تاريخية موجزة عن عمليات التعدين ودور العرب التاريخي وبالأخص سكان حضارة وادي الرافدين في استكشاف الخامات واستخلاص المعادن مع احتواءه على تعاريف لمفاهيم ومصطلحات جيولوجية مختلفة ورد ذكرها ضمن فصول الكتاب. الفصل الثاني هو استعراض مع شرح موجز عن الترسبات المعدنية، أنواعها، تصانيفها المختلفة من حيث الأصل والنشوء والتواجد لكي يساعد كثيراً الجيولوجي في تحديد الأماكن والمناطق الأكثر ملائمة التي تمتلك ظروف جيولوجية مناسبة لتواجد هذه الترسبات. الفصل الثالث، فصل الاستكشاف المعدني وهو من الفصول المهمة والواسعة التي اقتضت الحاجة الى تضمينه كافة الدراسات والأسس الخاصة بمراحل العمل الجيولوجي المتعاقبة التي تحتوي على طرق الدراسة، الأساليب، وطبيعة العمل في الكشف وتحديد أماكن وتسليط الضوء على مختلفة مراحل العمل الجيولوجي. الفصل الرابع وهو فصل احتياطي الترسبات المعدنية الذي تحتوي على دراسات عن كيفية تعريف الجسم المعدني مع استعراض لكافة طرق حساب وتصنيف الترسبات المعدنية وتحديد كميات الاحتياطي لها مع احتواءه على امثلة محلولة متعددة ومتنوعة عن طرق حساب احتياطي الخامات. الفصل الخامس، فصل المعالجات الإحصائية للبيانات والنتائج المستحصلة من المراحل السابقة

حيث دخل الاحصاء بقوة في العمل الجيولوجي باستعراض وتحليل وعرض النتاج من اجل الحصول على قرارات صائبة في توجيه العمل الجيولوجي بالشكل الصحيح مع تسليط الضوء بشيء من التفصيل عن حساب الاحتياطي بالطريقة الجيواحصائية.

الفصل السادس، وهو أيضاً من الفصول المهمة الذي أعطي له اهتمام خاص حيث يهتم بشرح مفصل لكافة طرق الاستخراج ألمنجمي سواء كانت سطحية أو تحت الأرض، مع توضيح كيفية تحديد الأسلوب الأمثل في قلع واستخراج الخام من باطن الأرض مع احتواءه أيضاً على عدد وافي من الأمثلة النظرية والأمثلة الحية المستقاة من زيارات ميدانية لبعض المناجم العالمية. الفصل الأخير وهو فصل الاستخلاص المعدني اذ يحتوي على مختلف الدراسات والطرق والأساليب المتبعة في استخلاص المعادن سواء كانت قديمة او حديثة مع شرح موجز عن أسلوب المعالجة وتقنيات تركيز المعادن من الخامات المختلفة.

إن ترسيخ قواعد النهضة العلمية والعملية تتم من خلال التأكيد دائماً على تزويد طلبتنا الأعزاء بمعلومات وتقنيات علمية يستفيدون منها في الجانب المهني والتطبيقي وبصورة متوازية مع المعرفة النظرية الأكاديمية، يؤكد الجانب التطبيقي لعلم الأرض على استخدام وسائل وأساليب عملية في دراسة وفهم المكونات الجيولوجية للقشرة الأرضية وكذلك على كيفية كشف واستثمار الترسبات المعدنية والثروات الطبيعية التي حباها الله عز وجل للبشرية من اجل تحقيق التطور الحضاري والبشر والصناعي والرفاهية للمجتمع.

لقد توسعت وتطورت المعارف والعلوم في مختلف مجالات الحياة وتغيرت مناهج دراستها لتحاكي مستجدات التكنولوجيا الحديثة وأصبحت كذلك تؤكد على الجانب العملي والتطبيقي وتسعى هذه العلوم الى تزويد الطلبة بالمعلومات العملياتية ذات العلاقة بالجانب التطبيقي وربط العلم بالحياة والمجتمع.

لاشك ان مكتبتنا العلمية تزخر بالعديد بالكتب والمصادر والمراجع القيمة إلا إن الجزء التطبيقي منها يعد ذا أهمية استثنائية خصوصاً في مجال جيولوجيا المناجم وكيفية استغلال واستثمار هذه الثروات والترسبات. هذا الكتاب الذي بين أيديكم يتضمن عصارة جهود وخلاصة خبرة وعمل دؤوب ومتواصل في مختلف دول العالم، احمد الله واشكره الذي يسر لي أمري لإعداد هذا العمل المتواضع وارجوا أن أكون وفقت في تقديمه وقد أصبح بنعمة الله حقيقة واقعة بين أيدي أساتذتي وزملائي وإخوتي الباحثين وطلبتنا الأعزاء راجياً أن

يلقى منهم الرضا والقبول وان يستفيدوا مما جاء فيه في حياتهم الأكاديمية والمهنية. أرجو ان لا يبخل احد عليّ بأي ملاحظة او تصويب فالعصمة لله وحده والمرء قليل بنفسه كثير بأخيه وأكون قد أسهمت في رفد واغتناء المكتبة العلمية العراقية والعربية.

اتقدم بالشكر والامتنان الى سعادة الاستاذ الدكتور مزاحم قاسم الخياط رئيس جامعة تكريت، على متابعته المستمرة في نشر الوعي العلمي وتشجيعه لحركة البحث والتأليف والترجمة في الجامعة وتقديم كل ما هو جديد لزملائنا التدريسيين والباحثين وابنائنا الطلبة، كما اتقدم بالشكر والعرفان بالجميل الى الاستاذ الدكتور صبحي الراوي رئيس لجنة التأليف والترجمة في جامعة تكريت للجهود الكبيرة والمتابعة المستمرة التي ابداها في سبيل انهاء الموافقات الادارية والعلمية لكي يرى هذا الكتاب النور ونضعه بين أيديكم بشكله الحالي .

ختاماً أود أن أوجه خالص شكري وتقديري إلى أساتذتي وزملائي الأفاضل كافة في قسم علوم الأرض التطبيقية في جامعة تكريت للدعم المعنوي الكبير طيلة فترة إعداد الكتاب. شكر وتقدير الى الإستاذ الدكتور محمد راشد عبود على التسهيلات والتوجيهات السديدة وجهوده التي أبداها والمراجعة العلمية لمحتويات الكتاب وابداء النصح والارشاد. الشكر والعرفان الى الدكتور عاهد يونس الملاح _ جامعة الموصل على التوجيهات العلمية والمساعدة الجليلة في اثراء الكتاب علميا طيلة فترة كتابة وطبع الكتاب.

شكر وتقدير إلى كافة الأخوة والزملاء وكل من مد يد العون والمساعدة من اجل الارتقاء بالمستوى العلمي لهذا الكتاب وإخراجه بالشكل الذي بين أيديكم.

والحمد لله رب العالمين غازي عطية زراك الشمري

الفصل الأول

(1-1) المقدمة Introduction

تعتبر عمليات التعدين والزراعة من أولى الصناعات التي ظهرت ونشأت منذ فجر الحضارات على المستوى العالمي، إذ تعتبر هذه العمليات مصدراً للثروة والقوة وهي الأساس والمنبع في تطور وازدهار كافة الأنشطة في الاقتصاد العالمي ومنهُ تطورت الحضارات القديمة، إذ اعتمدت المجتمعات البشرية منذ القدم بصوره أساسية على إنتاج المعادن واستفادت منها لتلبية حاجاتها ومتطلباتها الحياتية والبشرية وما يزال البعد الاقتصادي لهذه الحاجة قائماً حتى الآن.

إن نتائج ألتنقيبات الأثرية التي أُجريت في وادي الرافدين ومنطقة شرق البحر المتوسط تدل على أن الإنسان القديم استطاع أن يحقق منجزات حضارية كبيرة وشامخة في مجال التعدين وتنقية خامات الذهب والنحاس والبرونز وكان ذلك بين سنة (5000-3000) ق.م منذ استعمل الإنسان القديم الحجارة وقتاً طويلاً وعرف أنواعها ومدى لائمتها مع استخداماته الحياتية وتعلم صنع الفخار أو صناعة طابوق الطين وتتبع أماكن تواجدهِ، وتعلم كيفية استخراجهِ ونقلهِ. كذلك تشير هذه ألتنقيبات إلى إن استعمال الآلات المعدنية المصنوعة من الحديد كان قد ظهر في مطلع الألف الثالث قبل الميلاد وكان استعمال الحديد في صناعة الأسلحة وأدوات الصيد بلغ ذلك ذروته في القرن الثالث قبل الميلاد أبان العصر الآشوري، بالنسبة إلى الذهب كان يستخرج من الترسبات الرملية الناتجة من عمليات التجوية للصخور السطحية placer mining وتشير معظم الدراسات التاريخية لأصل الذهب إلى إن أصل الذهب من ترابه وثمة نص من مدينة أور يعود تأريخه إلى الألف الثاني ق.م يشير إلى إن استخلاص الذهب كان من الصخر المسحوق.

أما بالنسبة إلى الفضة التي كانت تستعمل في التعامل التجاري وصناعة أدوات الموسيقى عند الآشوريين والسومريين سنة (2000) ق.م فكانت تنقى خاماتها بالغسل ثم بالتسخين على مرحلتين لإزالة أوكسيد الرصاص وأكاسيد أخرى إذ كانت خامات الفضة تجلب من مدينة الأبلة شمال غرب سوريا وجنوب تركيا من منطقة الأناضول. وقد أشارت النصوص التاريخية إلى إن العراقيين القدماء استخدموا إحدى طرق التعدين المائية المسماة حالياً Hydrometallurgy.

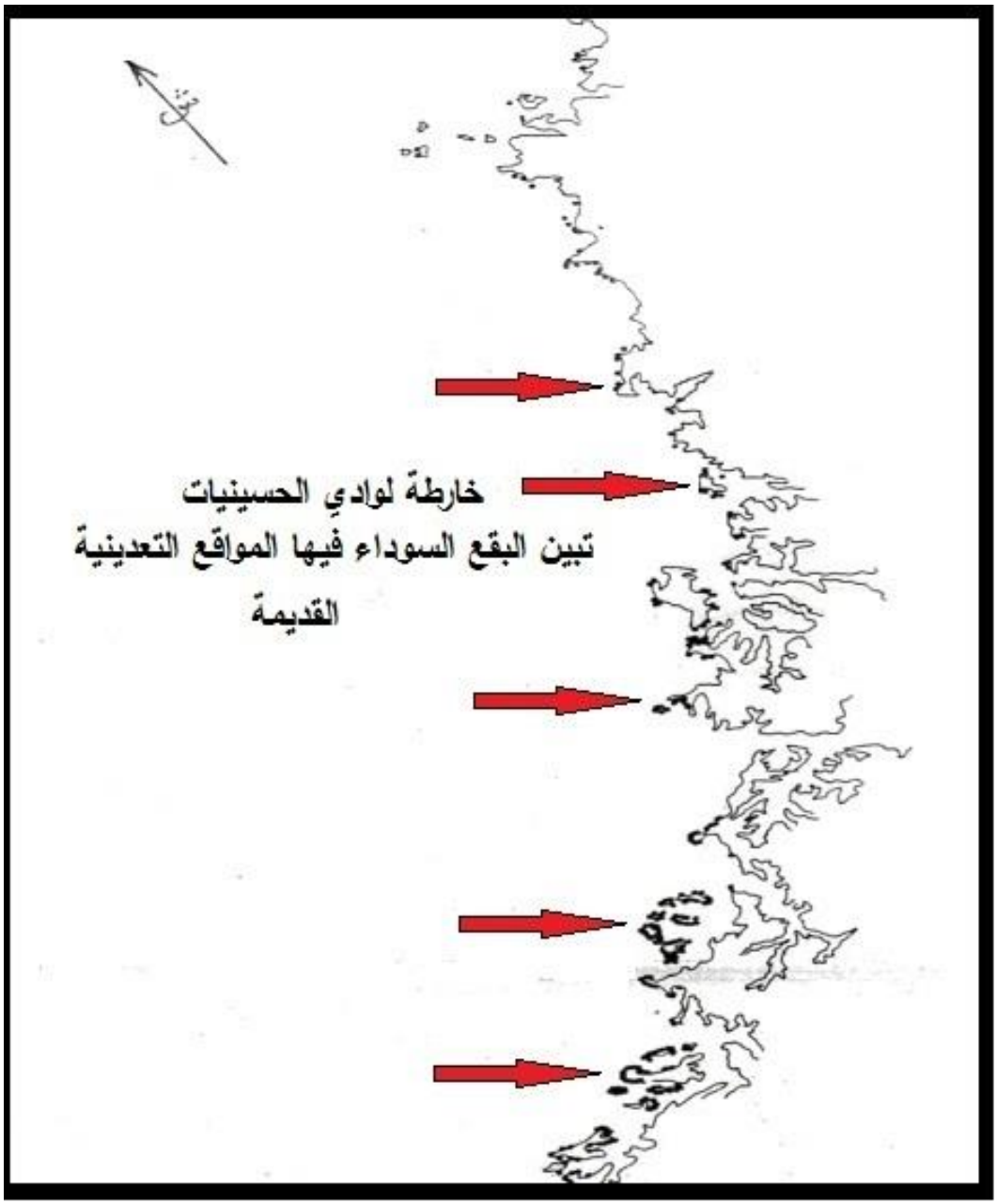
في الوقت الحاضر تنتج سنوياً على المستوى العالمي كميات كبيرة من الفلزات بطرق التعدين المائية، والمرحلة الأساسية في التعدين المائي هي عملية السلب أو المسماة Leaching باستخدام الماء.فضلا عن ذلك كانت تنقى الفضة بالصهر بعملية البوتقة Cupellation على مرحلتين إذ كان

يتطاير أوكسيد الرصاص في المرحلة الأولى والمرحلة الثانية كانت عملية حرق بوتقي خالص بدرجة حرارة عالية لتنقية فلز الفضة.

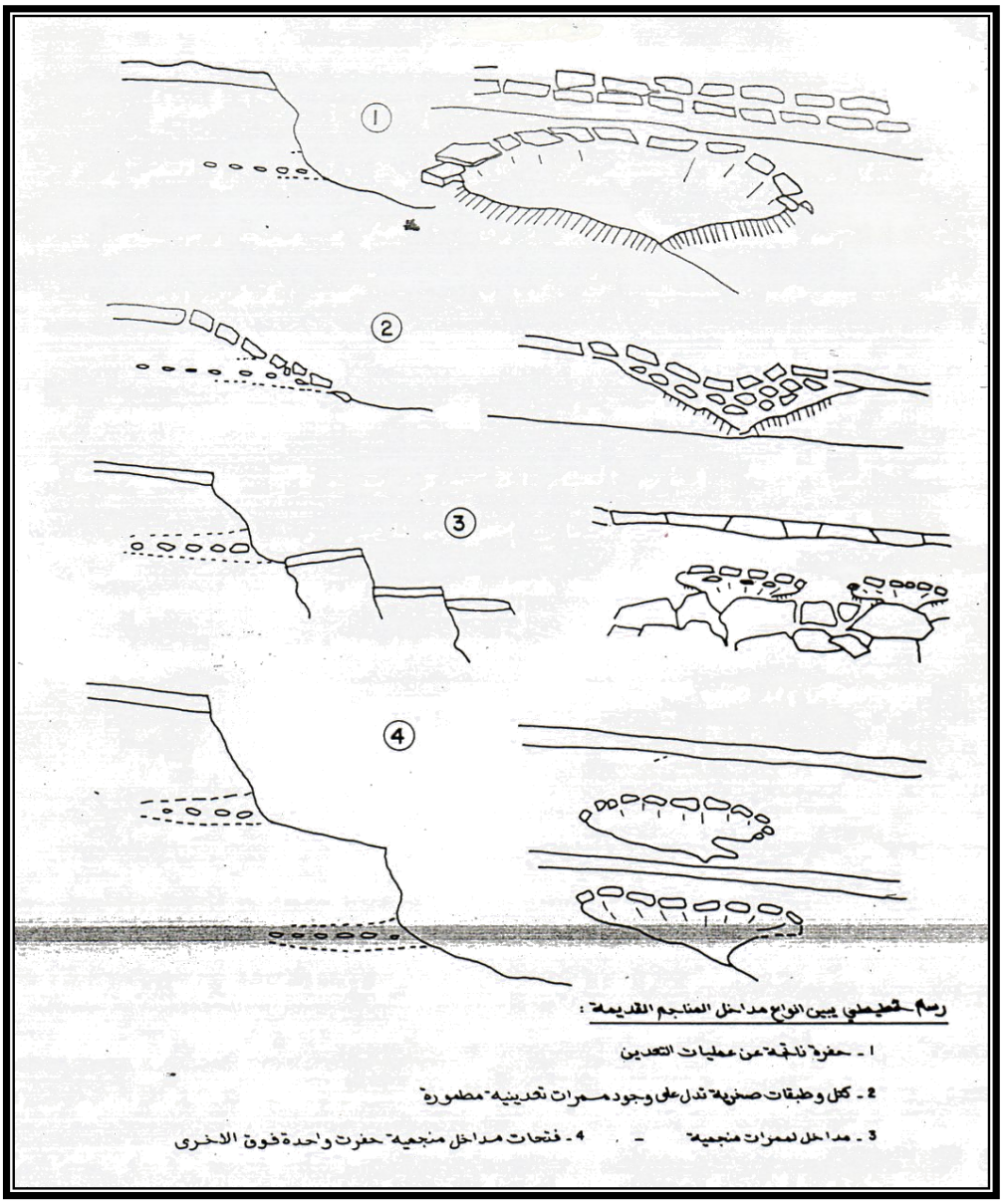
أما بالنسبة للنحاس والبرونز فكانت تجلب من خارج بلاد ما بين النهرين عن عمان وحتى من بلاد ماليزيا على الأرجح ويتم تنقيتها وصهرها في العراق القديم لصناعة بعض الأدوات، أو لإجراء بعض الخلطات المختلفة المسماة حالياً بالسبائك وذلك بخلطها مع القصدير لغرض صناعة البرونز الذي استخدم آنذاك في صناعة الأدوات التي تقاوم التأكسد والتآكل، إذ كانت أغلب خامات النحاس من نوع الكبريتيدي والمعروف حالياً بالجالكوبايرايت (Chalcopyrite) وهو كبريتيد النحاس والحديد الذي يحتوي عادة على ما يقارب نسبة 34.5% من النحاس، إذ كان يتم تجميعها إلى الأوكسيد أولاً ثم صهرها واختزالها إلى النحاس، وهذا دليل على إن قدماء العراقيين كانوا يعرفون الكثير عن عمليات التعدين للحصول على النحاس. لقد عثر في العراق على آثار لأفران متطورة تصل حرارتها إلى 1100م° وقنانٍ مصنوعة من الطين كانت تستخدم في صهر واختزال المعادن الفلزية.

أما بالنسبة إلى مصادر الحديد الخام في الشرق الأوسط القديم فقليلة لا تتوفر معلومات آثارية واضحة تدل على مصادر الحديد الخام ولكن كان التجار الآشوريين يجلبون الحديد الخام من مناطق الأناضول لتغطية صناعة الحديد في الدول الآشورية والسومرية، ولكن الاكتشافات التي تمت مؤخراً خلال الستينيات والسبعينيات من القرن الماضي وأوائل القرن الحالي في منطقة الصحراء الغربية من العراق تشير إلى إن ترسبات الحديد في منطقة وادي الحسينيات قد تعرضت إلى استغلال واستخراج منجمي منظم وواسع النطاق، والتي لعبت دوراً بارزاً في ازدهار تجارة وصناعة الحديد الخام في العراق القديم، شكل رقم (1-1).

إن ترسبات الحديد في وادي الحسينيات ومنخفض الكعرة ذات أصل رسوبي تعود إلى العصر L. Jurrasic وتدل الكتابات الآرامية على جدران بعض الكهوف في المنطقة على ان الآراميين لعبوا دوراً كبيراً في عملية استخراج الحديد كمقاولين أو تجار خلال القرن السابع إلى القرن الثالث ق.م.، إن الدراسات الاثارية السابقة كشفت على إن أكثر الفعاليات التعدينية شيوعاً كانت متمثلة ببقايا دهاليز Galleries أفقية أو مائلة محفورة في جدران التلال وهي ظاهرة على شكل انخفاضات قمعية الشكل مشوهة لشكل ألمنحدر والتي تكون مغطاة عادة بتربة العصر الرباعي الكلسية Quaternary كما هو موضح في الشكل (2-1).



شكل (1-1) خارطة وادي الحسينيات |الصحراء الغربية | العراق



شكل رقم (2-1) المواقع المنجمية القديمة

المصدر: مجلة الثروة المعدنية العربية

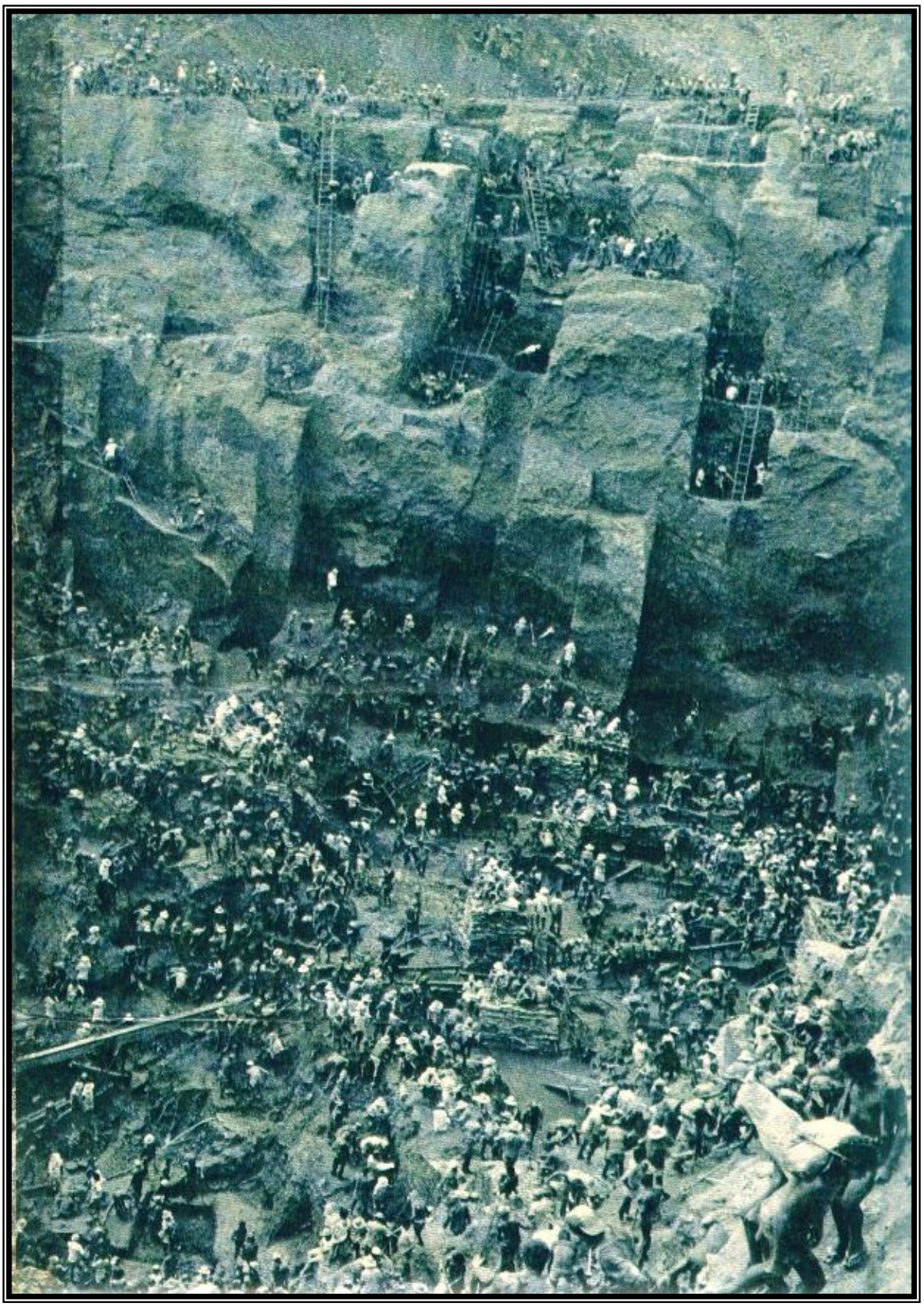
إن تراكمات عقد الحديد Nodules شائعة في المنطقة وبعضها يوجد في جوار مواقع التعدين القديمة وبمثل بقايا الرأس مؤقتة من الخام أما الركامات من الخام التي توجد في الأماكن البعيدة عن قاع الوادي فهي على الأغلب تمثل بقايا الركام الخزين المعد للنقل من قبل التجار. عُثر في منطقة الصحراء الغربية على حجر الصوان (Chert) والكوارتزايت Quartzite ألشائع وجودها في المنطقة والتي تمثل مواد صالحة لصنع أدوات القطع

والصيد، إن معدات الصوان ربما تكون أقدم من عمليات التعدين، كما ان كسر ذات أشكال وحجوم مختلفة من صخور البازلت عُثر عليها والتي كانت تستخدم في طحن الحبوب.

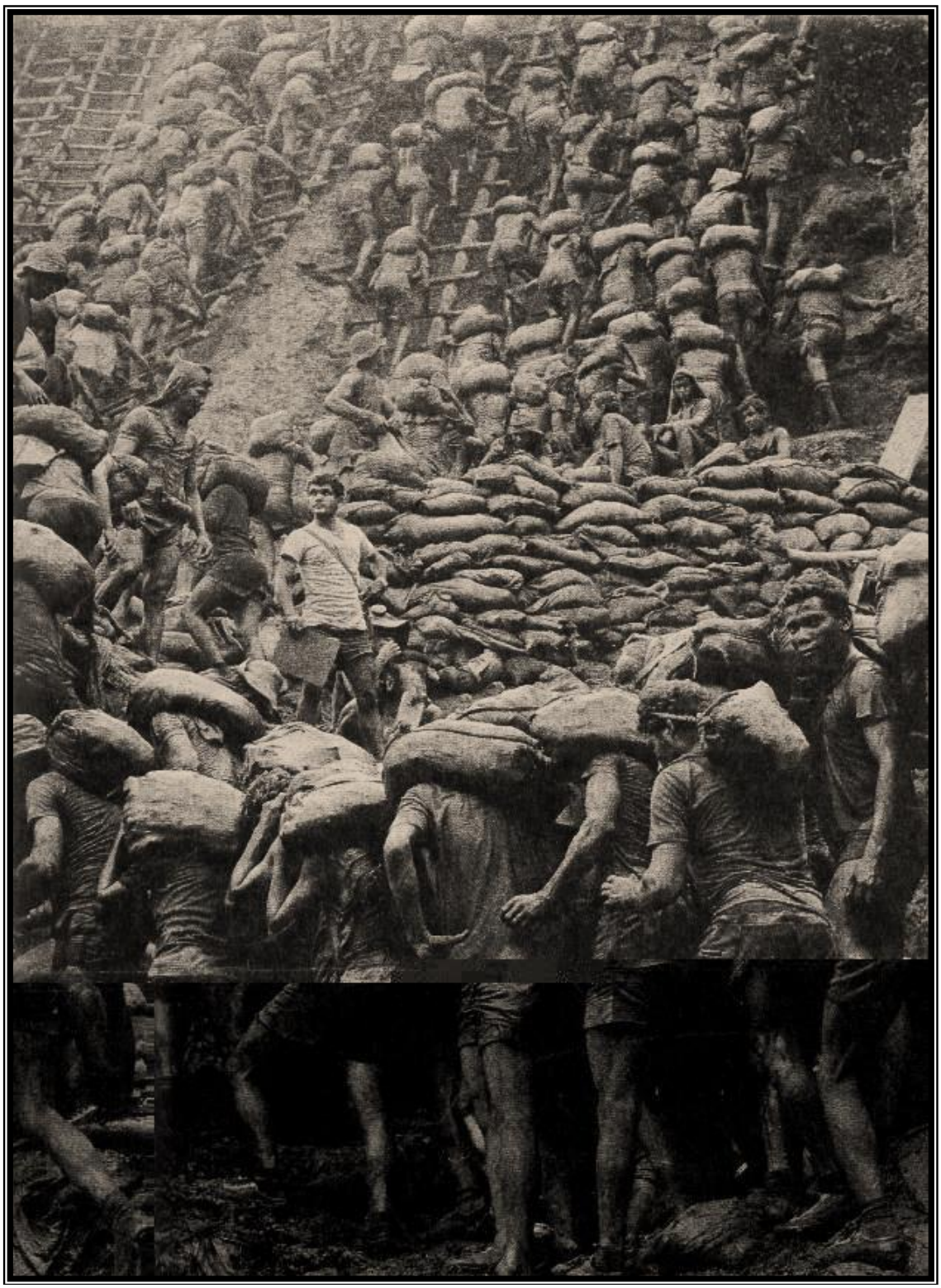
فضلاً عن ذلك زادت معرفة الإنسان القديم بالمواد الكيماوية تدريجياً ثم توصل إلى استخراج المعادن من الصخور بصورة علمية وتجارية وعلى نطاق واسع، من هذه المعلومات نستدل على ان بلاد ما بين النهرين كانت السباقة تاريخياً في اكتشاف ومعرفة عمليات استخلاص المعادن وعمليات الاستخراج ألمنجمي واستفادت من هذه العمليات لتلبية متطلباتهم المعيشية والصناعية وكان ذلك يمثل بداية ظهور عصر التعدين.

من الناحية الاقتصادية تعتبر الخامات المتواجدة في القشرة الأرضية هدفاً اقتصادياً مهماً كونها مصدر من مصادر الثروة والقوة وواحدة من رواد التطور والرقي الحضاري والعمراني وركيزة أساسية من مرتكزات حضارات الإنسان في الماضي والحاضر وستبقى كذلك في المستقبل؛ لأنها من نعم الله سبحانه وتعالى التي سخرها لخدمة البشرية كي تنعم بها كما تنعم بخيرات الأرض الأخرى من الماء والهواء وأشعة الشمس.

من ناحية أخرى فإن الخامات كانت عبر التاريخ مصدراً للصراع العالمي حول سيطرة الدول القوية على ثروات وشعوب الدول الفقيرة؛ طمعاً في الحصول على المواد الأولية لسد النقص الحاصل لديها في تلبية متطلبات التوسع في الصناعة والزراعة وكافة حاجات الإنسان البشرية والحضارية. فكان غزو الرومان لإنكلترا لضمان تجهيزهم بالقصدير والمعادن الأخرى والتوسع الاسباني في جنوب إفريقيا لغرض الحصول على الذهب وفي التاريخ المعاصر نلحظ أن معظم الغزوات والحروب وأسباب الاستعمار هي لغرض السيطرة على الثروات الطبيعية للدول الفقيرة لدعم اقتصاد البلدان الصناعية الكبرى، يمثل شكل رقم (3-1) ورقم (4-1) إحدى المناجم القديمة التي اعتمدت على الأيدي العاملة في قلع واستخراج الترسبات المعدنية المنجم يمثل ترسبات الذهب في حوض نهر الأمازون في البرازيل إذ نشاهد استغلال الطاقة البشرية في أقصى المدى لتوفير طاقة إنتاجية عالية.



شكل رقم (3-1) إحدى مناجم الذهب القديمة المستغلة في منطقة الأمازون



شكل رقم (4–1) إحدى مناجم الذهب القديمة المستغلة في منطقة الأمازون

إن مصادر الثروة المباشرة وغير المباشرة التي تنشأ من عمليات التعدين أو الاستغلال المعدني تعتبر مهمة جداً، إذ لا توجد دولة مكتفية ذاتياً من إنتاج المعادن فكان لا بد لها من استيراد ما تحتاجهُ من معادن من الدول الأخرى المنتجة لهُ لغرض دعم اقتصاديات بلادها وبذلك أدت هذه الحاجة إلى تنشيط التجارة العالمية التي تتبع مصادر إنتاج المعادن حتى وان كانت تلك البلاد غير مصنعة لها كما في بلاد العالم الثالث ؛ لأنها تصبح مصدر جذب للعملات الصعبة لدعم الدخل القومي لتلك البلاد.

التعدين كذلك يتسبب في الانتعاش الاقتصادي ورفع المستوى ألمعاشي للمواطنين من خلال إيجاد فرص عمل كثيرة لهم،مثل رفع مهارات العمال وزيادة المعرفة، توسيع المدن، إنشاء المدارس والمساكن وكافة مستلزمات الحياة المدنية وبالتالي فإنها تسبب في إيجاد نشاط اقتصادي جديد فضلاً عن توسع التجارة العالمية التي تتسبب من جراء نقل واستيراد المعادن.

(1-2) مشاريع التعدين الصناعية Industrial mining project

إن التوسع السكاني العالمي الكبير وزيادة الحاجة البشرية والحضارية إلى مختلف المواد أدت إلى زيادة الطلب على إنتاج المعادن بمختلف أنواعها وفي الوقت نفسه أصبح التنقيب عن المعادن أكثر صعوبة وتعقيداً إذ توجه العمل إلى البحث والتنقيب عن الخامات والترسبات المعدنية تحت السطحية البعيدة والمعقدة ذات التراكيز القليلة بعد نفاذ واستهلاك معظم الخامات السطحية ذات النوعيات الجيدة.

ظهرت الحاجة إلى استخدام وسائل وتقنيات حديثة وإلى تطوير المعرفة العلمية والفنية لغرض الإسراع بالكشف عن خامات ومعادن جديدة واستغلالها بشكل اقتصادي؛ لسد الطلب المتزايد على المعادن ولضمان تجهيز كافٍ للمعادن في المستقبل ؛ هذه أدت إلى تطوير علم الجيولوجيا التطبيقية وعلم التعدين والذي أدى إلى تطوير المهارات وكفاءات المختصين في الجيولوجيا الاقتصادية وجيولوجيا المناجم، وبالتالي تطوير أنماط التفكير والاستنتاج العلمي والمنطقي لدراسة الترسبات المعدنية تحت سطح الأرض بصورة موازية لتطوير الدراسات في البحث عن الخامات بالطرق الجيوفيزيائية والجيوكيميائية والعمل الحقلي.

من المعلوم أن الخامات في الطبيعة تتواجد بأنواع وأشكال وتراكيز متباينة وبشكل واسع جداً، وكل نوع من هذه الخامات يمتلك خصائص ومميزات معينة تختلف عن الخامات الأخرى فيجب أخذها بنظر الاعتبار عند إجراء عمليات البحث والتحري عن هذه الخامات؛ إذ يجب دراسة طبيعة تواجدها وأصل تكونها وظهورها ومعرفة طبيعة التراكيز المعدنية المصاحبة لها وبالتالي إيجاد الطرق والوسائل المناسبة لتتبع ودراسة وتقييم هذه الخدمات.

إن المعلومات الجيولوجية المتوفرة عن الترسبات المعدنية والعمليات الاستكشافية الفنية والمعرفة العلمية هي التي توجه طرق العمل والبحث عن التراكيز المعدنية ذات الاهتمام الصناعي. إن المراحل الأولية لهذه العمليات هي وضع برنامج تشكل النمذجة الجزء الأساسي منه التي يمكن أن نستنتج منها نوعية وامتدادات وحجم الجسم المعدني وبعدها يتعدى ذلك إلى اختيار المسلك التكنولوجي والفني الذي يتم به استخلاص المعادن ذات القيمة الاقتصادية.

إن المتغيرات الجيولوجية في بعض الأحيان توضح أصل نشوء وتكوين الترسبات المعدنية، التي تحتاج إلى إجراء دراسات تفصيلية أكثر دقة لتتبع ومعرفة درجة توزيع تراكيز المعادن عندما تتواجد بصورة عشوائية وهذه العوامل هي التي تؤثر على مسار المشاريع التعدينية أثناء عمليات التخطيط والبناء.

إن عمليات الاستكشاف المعدني والتنقيب الجيولوجي يتم تنفيذها على عدة مراحل تبدأ من أول خطوة وهي الدراسات الجيولوجية السابقة ثم العمل الحقلي التي تقود إلى اكتشاف الخامات والترسبات المعدنية وتنتهي بانتهاء عمليات الاستخراج والقلع للخام في كل مرحلة من هذه مراحل يجب أن تتوفر معلومات وافية عن الخام المكتشف لغرض تقييم المعلومات وتقرير ما يتم عمله في المرحلة اللاحقة لحين بناء أو تكوين نموذج وافٍ عن شكل وحجم وموقع وكمية هذه الخامات وكذلك درجة تركيزها ليتقرر على ضوء ذلك العمليات المنجمية والتعدينية المناسبة للعمل.

إن عمليات التخطيط لأي مشروع تعديني الذي يهدف إلى استغلال أي ترسبات معدنية يتطلب توفر درجة كبيرة من الخبرة والكفاءة العلمية المتخصصة وذلك بسبب محدودية المعلومات الجيولوجية المتوفرة ومن أهم المعلومات التي يجب أن تكون درجة عالية من الدقة والوضوح هوا أن التوزيع المكاني لامتدادات الخام والتغيرات الفيزيائية والكيميائية وتحليل هذه المعطيات، هي التي تحدد أسس قيام مشاريع التعدين.

دراسة حاجة السوق من عرض وطلب والتنبؤات المستقبلية للسوق وكذلك تقدير القيمة الاقتصادية تدخل كعامل مهم من تقييم الترسبات المعدنية لتفادي الفشل في مشاريع الاستثمار التعدينية الذي يتطلب إعادة تقييم ومراجعة والسيطرة على كل مرحلة من مراحل التقييم المعدني للمشروع بدءاً من مرحلة دراسات الجدوى الاقتصادية وانتهاءاً بمراحل التسويق والتصدير.

(1-3) مصطلحات وتعاريف Definitions

لغرض فهم واستيعاب بعض المفردات والمصطلحات التي يتطرق إليها مواضيع هذا الكتاب والتي تعتبر مرتكزاً أساسياً ترتكز عليها أساليب وعمليات الجيولوجية المنجمية والتعدينية فكان لا بد من الإشارة إلى بعض المفاهيم الأساسية لهذه المصطلحات والتعاريف وكما يلي :-

1- **الجيولوجية المنجمية** : فرع من فروع علوم الأرض التطبيقية التي تختص بدراسة وتقييم الترسبات المعدنية وطرق الاستخراج والقلع والاستخلاص بفائدة اقتصادية مريحة.

2- **الجيولوجية الاقتصادية:** فرع من فروع علوم الأرض يختص بدراسة مصادر الثروات الطبيعية من القشرة الأرضية التي تكون هدفاً للإنسان بغية استكشافها واستخراجها لغرض الاستفادة منها في تلبية متطلباته الحياتية.

3- **المعادن الاقتصادية Economic Minerals**: هي مجموعة المعادن ذات القيمة الاقتصادية لعموم المجتمع البشري وتشمل مجموعة المعادن والصخور الصناعية ومواد البناء الأولية التي تستخدم في مجالات الصناعة المختلفة.

4- **معادن الخامات Ore Minerals**: خامات أو مواد أولية أو ترسبات معدنية تحتوي على معدن معين أو مجموعة معادن أو عندما يحتوي المعدن على فلز أو مجموعة فلزات يمكن استخلاصها من الخام بالوسائل التقنية المعروفة وبجدوى اقتصادية.

5- **المعادن الغثة Gangue Minerals**: وهي معادن لا فلزية مصاحبة لمعادن الخامات وهي غير مرغوب بها ولا يمكن الاستفادة منها وتسمى المعادن الغثة أو العقيمة التي تفصل وتستبعد خلال عمليات معالجة واستخلاص المعادن.

6- **الخام أو الركاز Ore:** هي ترسبات معدنية تحتوي على عدد من معادن الخامات فلزية أو لا فلزية ومعادن عقيمة مصاحبة لها تتواجد بأشكال وأحجام وتراكيز مختلفة في القشرة الأرضية والتي تكون هدفاً للاستكشاف والتحري المعدني لغرض استغلالها واستثمارها اقتصاديا مثل خام الحديد، خام النحاس، خام القصدير، ... الخ.

7- **درجة تركيز الخام Ore Grade**: وهو يعبر عن تركيز المحتوى الفلزي والمعدني للخام ضمن سمك معين في جسم الخام ويعتبر هذا المفهوم مؤشراً لجودة الخام ويعبر عنه بالنسبة المئوية أو بالجزء بالمليون p.p.m. ، وتعتبر أحد العوامل المهمة التي يجب تعيينها في الترسبات المعدنية لمعرفة مدى جودة الخام.

8- **الترسبات المعدنية Mineral Ore Deposits**: هي تجمعات لمعادن اقتصادية أو معادن الخامات أو الصخور الصناعية ومواد البناء الأولية التي تتواجد في القشرة

الأرضية بأشكال وأحجام وتراكيز مختلفة وهي التي تستهدفها عمليات الرصد والتقييم والاستخراج والتي تتواجد بتراكيز أكثر من التواجد الطبيعي لها في القشرة الأرضية.

9- **حد القطع في التركيز Cut-off Grade**: اقل تركيز يمكن عنده استغلال الترسبات المعدنية أو الخام بصورة اقتصادية مربحة والتركيز تحت هذا الحد يهمل، كون الخام المستخرج ليس ذا جدوى اقتصادية ويعتبر حد القطع للتركيز متغير وغير ثابت إذ يعتمد على التقدم التكنولوجي وعلى زيادة سعر الخام الذي يتيح ويسهل معالجة واستخلاص الخامات واطئة التركيز.

10- **حد القطع للسُمك Cut-off Thickness**: أقل سمك يمكن عنده استغلال وقلع الترسبات المعدنية بصورة اقتصادية ومربحة، إذ يعتبر السمك أقل من هذا الحد ليس ذا أهمية اقتصادية ويترك الخام في محله، حد القطع للسمك متغير تبعاً لتغير سعر الخام، والتقنية والمعدات المستخدمة في القلع.

11- **التقييم المعدني Mineral Evaluation**: مجموعة دراسات وتحليل تجرى على الخام أو الركاز لإعطاء القرار فيما إذا كان الجسم المعدني أو الخام ممكناً استغلاله أو استثماره بجدوى اقتصادية مبرمجة التي تقوم معظمها على مبدأ اقتصادي وكلف ونتاج وبيع وربح وتسويق ...الخ.

12- **التقييم ألمنجمي Mining Evaluation**: هي مجموعة عمليات التخطيط والدراسات والغرض منها تطوير مشاريع التعدين المنجمية ووضع خطط كلف الاستثمار والمبالغ المصروفة لغرض البدء بعمليات استخراج واستخلاص الخامات وثم استخدامها للأغراض الصناعية أو بيعها في الأسواق ومعرفة المردودات المالية منها لتحديد كمية الأرباح المستحصلة في الزمن المخطط له.

13- **الاستكشاف المعدني Mineral Exploration**: وهو البحث والتنقيب عن معادن أو ترسبات معدنية اقتصادية في مناطق جديدة من المحتمل العثور على هذه الترسبات وتحديد شكلها وحجمها وأهميتها الاقتصادية.

14- **المنجم Mine**: حفرة كبيرة إما تكون على سطح الأرض وتسمى المنجم السطحي إما تكون على شكل أنفاق وفجوات تحت سطح الأرض وتسمى منجماً تحت سطحي أو منجماً باطنياً ويشمل على عمليات استخراج وقلع ونقل المواد الصخرية والمعدنية أو الخامات من مكان تواجدها الطبيعي بإحدى طرق الاستخراج ألمنجمي إلى معمل الاستخلاص والمعالجة.

15- **حدود الترسبات للأشكال المعدنية Geometry or Limit of the ore Deposits**: يمثل هذا المفهوم هو موقع الترسبات المعدنية أو الجسم المعدني في القشرة

الأرضية وامتداداتها وحجمها وشكلها، ويعتبر ذا أهمية في عملية التعدين لأنه يتحكم باختيار طريقة التعدين المستخدمة.

16- **الغطاء الصخري Overburden:** وهي التي تمثل (الصخور، التربة) غير المرغوب بها التي تعلو ألترسبات ألمعدنية والتي يجب أن تزال وتنقل بعيدا عن موقعها إذا تم استخراج الترسبات المعدنية بإحدى طرق التعدين السطحية.

17- **دراسات الجدوى الاقتصادية Feasibility study:** هي مرحلة من مراحل التقييم ألمعدني والتي تتضمن دراسات هندسية والتصميم الهندسي للمنجم واختيار طريقة الاستخراج وكلف الاستثمار المالي وطرق التعدين والاستخلاص بكافة التفاصيل والمراحل الزمنية اللازمة لبدء الإنتاج والبيع من اجل تقليل المجازفة وزيادة الثقة في الدراسات التخمينية التي أجريت على الخام.

18- **معامل الكشف Stripping Ratio:** هي معادلة توضح الكلف الاقتصادية للعمليات التعدينية المتبعة. وهي تمثل العلاقة بين كمية صخور الغطاء الصخري Overburden التي يجب إن تزال مقابل كمية الخام التي تستخرج إثناء عمليات التعدين السطحية وكلما كانت العلاقة عالية (5.0<) اكبر من خمسة، كانت العمليات المنجمية المتبعة غير اقتصادية.

19- **زاوية الرقاد Angle of Repose:** هي ألزاوية التي يستقر عندها ألسفح أو ألمنحدر للخام أو الركام مع سطح الأرض أو مع الأفق. وهي مهمة أثناء عمل المدرجات(المصاطب) أو ألمنحدرات في المنجم السطحي لمنع حصول أي انزلاق أو هدم لصخور السفح.

20- **فتحة المنجم Mine Shaft:** هي عبارة عن فتحة منجميه عمودية رئيسية أو بئر رئيسي بقطر يتراوح بين (2- 4 م) يتم إنشاءه دائما في المنجم تحت السطحي والذي يستخدم لدخول وخروج العمال باستخدام مصعد كهربائي خاص واستخراج الخام بالعربات المنجمية وكذلك يكون ممر للتهوية ومرور أسلاك الكهرباء وضع المياه وكافة الخدمات المنجمية الأخرى.

21- **نفق أفقي Drift:** هو عبارة عن ممر أفقي يستخدم في الأعمال المنجمية تحت سطحية يتم عمله بالقرب من الخام أو الجسم المعدني يستخدم لأغراض الاستخراج ونقل الخام.

22- **الصخور الصناعية Industrial rocks:** ويعني بها كافة الصخور والمعادن اللافلزية التي يستفاد منها للأغراض الصناعية والأعمال الهندسية المدنية مثل الحصى والرمال والبرايت Baryte ..... الخ.

23- **خام أولي Protore:** هي عبارة عن مواد معدنية تحتوي على فلز أو مجموعة فلزات ولكن بتراكيز واطئة غير اقتصادية لم تصل الى درجة النضوج ولكن ممكن أن تصبح هذه المواد خام ذو قيمة اقتصادية عندما يتأثر بعمليات جيولوجية طبيعية إضافية مثل عمليات ألإغناء السطحي Supergenic Enrichment تؤدي إلى زيادة تركيز هذه الفلزات.

24- **احتياطي الخام Ore Reserve:** هو عبارة عن مقدار الخزين من الخام الموجود في القشرة الأرضية القابل للاستغلال والاستثمار والتي تم تحديد كمية الخام وامتداداته بعمليات التحري الجيولوجي وأعمال الحفر أللبابي.

25- **النواتج العرضي By-Product:** توجد في معظم الأجسام المعدنية أو الخامات معادن فلزية أو لا فلزية مصاحبة لها وبدرجة تركيز واطئة غالباً ما يتم معالجة واستخلاص هذه المعادن أثناء أعمال استغلال واستخلاص المعادن الرئيسية ذات التراكيز العالية الموجودة في الخام. وكمثال على ذلك إن منجم النحاس الكبير في مقاطعة بوكين فيل Bougainville في غينيا الجديدة حيث قيم إنتاج (50×10^5) أونس من الذهب سنوياً كناتج عرضي أثناء معالجة خام النحاس وان الأرباح ألمستحصلة من بيع الذهب تغطي تقريباً جميع تكاليف استخراج وإنتاج النحاس، ان وجود هذه المعادن المصاحبة تشجع على مبدأ استغلال الخامات ذات التراكيز الواطئة عند ضمان عوائد ربحية مجزية لتغطية التكاليف.

26- **الهيئة المعدنية للخام Mineralogical form of Ore:** يقصد بها هي كيفية أو هيئة تواجد المعدن ضمن الخام وكذلك خواص المعدن الحاصل للفلز وهذه الخصائص هي التي تتحكم بدرجة كبيرة في مدى سهولة استخلاص وتنقية الفلز من المعدن والخام وكمثال على ذلك إن عملية استخلاص النيكل من الكبريتيدات SO_4 أسهل وارخص مما هي في حالة ارتباطه مع السيليكات.

27- **صفات التجمعات الركازية Ore Deposits characters:** يقصد بها هي الهيئة التي يتواجد بها الخام في القشرة الأرضية كأن يكون بشكل صخور صلبة أو رواسب هشة مفككة حسب طبيعية واصل العوامل الجيولوجية التي أدت إلى تكوينه وترسيبه حيث إن هذه الصفات هي التي تحدد أعمال الاستخراج والاستغلال ألمنجمي.

28- **الصخور Rocks:** تعتبر الصخور الوحدة الأساسية المكونة للقشرة الأرضية وتتكون الصخور إما من معدن واحد أو خليط من عدة معادن مع مواد عقيمة أخرى، وتكون هذه الصخور مستقرة تحت ظروف معينة من ضغط وحرارة والصخور على ثلاث أنواع إما نارية أو رسوبية أو متحولة.

29- **ألينـــابيع المعدنيـــة Mineral Spring** :عبـارة عـن ينـابيع محملـة بالمحاليـل المعدنيـة الطبيعيـة كـأن تكـون محاليـل ملحية،كبريتية،حديديـة أو مغنيسـية.مثال علـى ذلـك ينـابيع مدينـة حمام العليل في محافظة نينوى

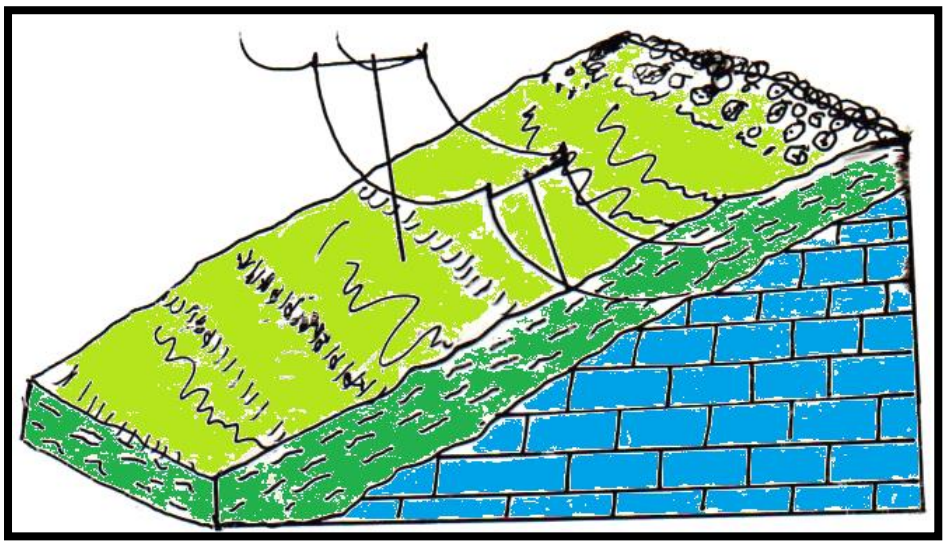
30- **الحبيبـات المعدنيـة Mineral Grain**: هـي اصـغر جـزء مـن المكونـات الصـخرية التـي تحتـوي علـى نـوع معـدني واحـد. هـذه الحبيبـات المعدنيـة أمـا تكـون مثـل حبيبـات السيليكا أو مثل حبيبات الكرانيت.

31- **الجزيئـات المعدنيـة Mineral Particles**: هـي عبـارة عـن أجـزاء منفصـلة وغيـر مترابطة من القطع الصخرية التي تحتوي على عدد من المعادن.

32- **كلفـة رؤوس الأمـوال Cost of Capital**: يقصـد بكلفـة رؤوس الأمـوال هـي مقـدار المـال الـلازم لتغطيـة كافـة أعمـال الاسـتغلال والاسـتثمار وكافـة أعمـال التعـدين المنجميـة لحـين إنتـاج وبيـع المـواد المعدنيـة المنتجـة وتحقيـق الأربـاح اللازمـة للاسـترداد وتغطيـة هذه الأموال.

33- **معامـل تركيـز الفلـز Concentration factor**: يمثـل هـذا العامـل هـو مقـدار أو عـدد ألمـرات التـي يجـب أن يزيـد بهـا تركيـز فلـز معـين فـي الصـخور الحاملـة لـه عـن تركيـزه الاعتيـادي فـي صـخور القشـرة الأرضـية لكـي تسـمى الصـخور الحاملـة لـه خـام ويمكـن اسـتثماره اقتصـاديا وكمثـال علـى ذلـك إن معـدل تركيـز النحـاس القشـرة الأرضـية هـو 0.005% وان معـدل الحـد الأدنـى لاسـتثماره بجـدوى اقتصـادية هـو 0.4% حيـث يكـون معامل التركيز هو 80.

34- **زحـف التربـة Soil Creep**: تحـدث هـذه الحالـة علـى سـفوح الـتلال والجبـال المغطـاة بالتربـة حيـث تحصـل حركـة وزحـف للتربـة نحـو أسـفل المنحـدر نتيجـة لتشـبع ألتربـة بميـاه الأمطـار وعـدم تماسـكها وزاويـة ميـل المنحـدر يعتبـر عامـل مسـاعد علـى حصـول مثـل هذه الظاهرة. كما في الشكل (5-1)



شكل رقم (5-1) يوضح زحف التربة على السفوح نحو الأسفل

35-**الزحف الصخري Creep Rock**: هي عبارة عن انفصال كتلة صخرية وزحفها نحو الأسفل على سطح مائل أو منحدر شديد وتحدث هذه الحالة نتيجة لعدم تماسك ألكتل الصخرية مع حصول إنجماد للماء بين التشققات والكسور وشدة انحدار السطح وتشبع المواد بالمياه المتساقطة.

36-**الانزلاق Land slides**: وهي عبارة عن حركة سريعة لكتل صخرية غير حاوية على الماء على امتداد مستويات انزلاق أو سطوح أو كسور ذات انحدار شديدين وتشمل على هبوط ارضي Slump أو انزلاق ركام صخري **slide**-Debris أو سقوط ركام صخري Debris-fall.

37- **التكوينات الصخرية**: هي تجمعات لكتل صخرية أو فتاتيه تمتلك خصائص وصفات متشابهة من ناحية أصل تكوينها ونشأتها والظروف الترسيبية التي أدت إلى نشوئها وتكونها وتواجدها وممكن أن تكون من نوع واحد من الصخور أو من عدة صخور حاوية أو خالية من المعادن وممكن أن تظهر بأشكال متعددة وعلى أعماق مختلفة من القشرة الأرضية.

38- **المقلع**: هي مناطق تمثل تواجدات لترسبات عالية التركيز خاصة بمواد البناء الأولية (حصى، رمال، أطيان، حجر الجبس،0000الخ) وذات قيمة اقتصادية، ودائما يكون استغلالها بالطرق السطحية المفتوحة.

39- **مياه الترسيب أو (المياه الخلقية) Connate Water**: وهي المياه المحصورة في المسامات الصخرية المتكونة أثناء عملية ترسيب تلك الصخور والمشتقة إما من مياه البحار والمحيطات أو من المياه العذبة وهي بذلك تعتبر احد مصادر المياه الجوفية.

40- **المياه الجوفية (أو المياه المتساقطة) Meteoric Water:** هي المياه الموجودة تحت سطح الأرض وتشمل على مياه الأمطار والماء المنساب على سطح الأرض (مياه الأنهار) والماء الناتج عن ذوبان الثلوج حيث تكون هي المياه هي المصدر الأساسي للمياه الجوفية.

41- **الانخفاضات Subsidence:** هي عبارة عن حصول هبوط لسطح محدد من منطقة معينة أو حركة لكتلة صخرية أو شاقولية نحو الأسفل وعادة ما تحدث بصورة بطيئة وأحيانا تحدث بصورة سريعة خاصة في الأماكن يحصل فيها تعدين أو استخراج معادن من باطن الأرض وتترك فجوات أو مساحات فارغة كبيرة وبذلك عند حصول ذوبان لصخور كلسيه أو صخور ملحية تؤدي إلى حصول هذه التخسفات أو الانخفاضات.

42- **المياه الداخلية العميقة Juvenile Water:** وهي عبارة عن مياه جوفية أولية ناتجة عن عمليات اتحاد الهيدروجين مع الأوكسجين تحت عمليات جيولوجية معينة أو عن التفاعلات الكيميائية أو مصدرها حجم من مياه الصهير Magmata Water.

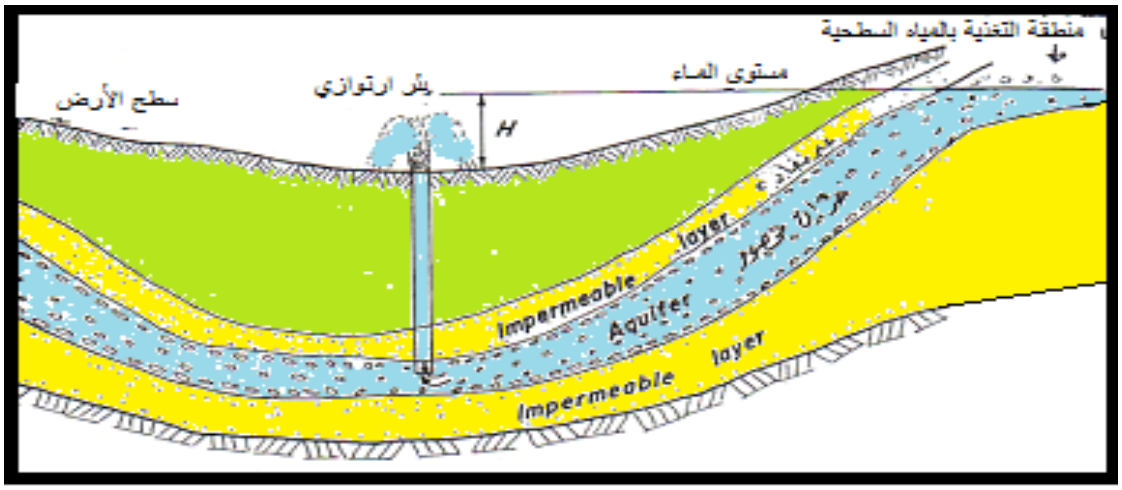
43- **الترسبات النهرية المروحية Alluvial Fans:** هي عبارة عن رواسب مروحية ومخروطية التي تنشأ في وسط الأنهار حيث تتكون عندما يقل انحدار أو ميل قاع النهر فجأة وتظهر هذه الترسبات على هيئة مخروط قمته إلى الأعلى وقاعدته إلى الأسفل وغالبا ما تتميز بها ألمناطق ألجبلية في المنحدرات التي تتساقط من الجداول والأنهار وتصب عند أراضي منخفضة أو منبسطة.

44- **الشرفات النهرية River Terraces or Natural levees:** تتكون هذه الأنواع من الترسبات في مجاري الأنهار عند جريانها في وديان ذو قيعان مستوية وعريضة إذ تقوم بترسيب حمولتها من الرمال الدقيقة والحصى والأطيان فوق ضفافها حيث تكوِن هضبات عريضة تمتد على جانبي النهر وتكون على شكل عدة مصاطب مزدوجة على جانبي النهر واحدة فوق الأخرى ويقع مجرى النهر بين زوج المصاطب السفلى منها. وتتكون هذه الشرفات في فترات ازدياد سرعة النهر حيث تكون له القدرة على نحت نفسه بعد فترة ترسيب.

45- **السهول الفيضية Flood Plains:** هي تلك الترسبات التي تنشأ من جراء الترسبات النهرية أثناء مواسم الفيضانات عند مصبات الأنهار أو على جانبي النهر وتتكون من الرمال الناعمة والطمي والأطيان.

46- **الترسبات في القنوات النهرية Channel Deposits**: هي تلك الترسبات التي تنشأ في قناة النهر نتيجة لتضاؤل سرعة جريانه أو قلة ميله وتسمى بالجزر أو القضبان الرملية.

39- **صخور خزان المياه الجوفية Aquifer**: هي عبارة عن صخور ذات مسامية و نفاذية عالية وتحتوي على مياه جوفية بكميات اقتصادية يمكن استخراجه واستغلاله للاستخدامات البشرية المختلفة. كما في الشكل التالي (6-1)



شكل (6-1) خزان المياه الجوفية مع البئر الارتوازي

40- **الينبوع Spring**: هو مكان خروج المياه الجوفية طبيعياً إلى سطح الأرض دون الحاجة إلى استخدام الوسائل الصناعية لاستخراجه وقد تكون المياه صالحة لشرب أو مياه معدنية الأصل.

41- **الترسبات الدلتاوية Delta Deposits**: هي عبارة عن ترسبات تظهر عند مصبات الأنهار عندما يلقي النهر حمولته من الراسب في البحر أو بحيرة هادئة، حيث تتكون أراضي واسعة تشبه المثلث رأسية الشكل باتجاه أعالي النهر ينتج عنها تفرع النهر أو فرعين أو ثلاثة.

42- **المسامية Porosity**: تمثل المسامية نسبة حجم الفراغات في حجم معين من الصخرة إلى حجم تلك الصخرة الكلي(حجم المسامات +حجم حبيبات الصخر) ويمكن حساب المسامية بموجب الصيغة الرياضية التالية:-

$$\text{المسامية} = \frac{\text{حجم الماء اللازم لاشباع النموذج وهي جافة}}{\text{الحجم الكلي للعينة}} \times 100$$

نأخذ بنظر الاعتبار إن الوزن النوعي للماء يساوي واحد.

أو من الممكن حسابها حسب الصيغة الرياضية التالية:-

المسامية = $\frac{\text{وزن النموذج وهو جاف (Wd) – وزن النموذج بعد تشبعه بالماء (Ww)}}{\text{وزن النموذج وهو مغمور بالماء (Wi) – وزن النموذج بعد تشبعه بالماء (Ww)}}$

أو المسامية =(الوزن النوعي للنموذج وهو جاف– الوزن النوعي وهو مشبع بالماء)×100

ودائما يعبر عن المسامية بصيغة النسبة المئوية.

43- **النفاذية Permeability:** تمثل النفاذية للصخور هي امتلاكها مسامية عالية تتصل المسامات مع بعضها بشكل تسمح بحركة المياه خلالها تحت تأثير ضغط المياه الجوفية، بمعنى آخر هي قابلية الصخور المسامية على السماح للسوائل بالمرور من خلالها وتحسب النفاذية طبقا لقانون دارسي الآتي:

$$Q = Aki$$

حيث إن:

Q = كمية السائل المار خلال الصخور.

A = مساحة المقطع العرضي للنموذج.

K = معامل النفاذية.

i = الانحدار الهيدروليكي.

44- **التعرية Denudation or Erosion:** وهي عبارة عن تفتيت وتكسير الصخور وتحليلها إلى أجزاء مفككة ونقلها إلى أماكن أخرى وتتم هذه العملية أما بالتحليل الكيميائي أو التكسير الميكانيكي وبالتالي نقلها بفعل طاقة المياه الجارية أو الثلاجات أو الرياح.

45- **الوزن النوعي (الثقل النوعي) Specific Gravity:** ويعرف الوزن النوعي بأنه نسبة وزن حجم معين من المادة الصخرية أو المعدن إلى وزن نفس الحجم من تلك المادة من الماء، ويكون دائما بلا وحدات ويقسم الوزن النوعي إلى قسمين:

أ- الوزن النوعي الظاهري: وهو الذي يتم تحديده في المختبر وكما في الصيغة التالية:

$$\text{الوزن النوعي الظاهري} = \frac{\text{وزن النموذج وهو جاف}(W1)}{\text{وزن النموذج وهو مشبع بالماء}(W2) - \text{وزن النموذج وهو مغمور بالماء}(W3)}$$

$$= \frac{\text{وزن النموذج وهو جاف}}{\text{وزن الماء المزاح}} = \frac{w1}{w2 - w3}$$

ب- الوزن النوعي الحقيقي: وهو عبارة عن النسبة بين حجم معين من المادة الصخرية إلى وزن نفس الحجم المساوي له من الماء (وزن الماء المزاح)

$$\text{الوزن النوعي الحقيقي} \quad \frac{\text{وزن النموذج وهو جاف } (w1)}{\text{وزن النموذج وهو جاف}(w1) - \text{وزن النموذج وهو مغمور بالماء}(w3)} = \frac{w1}{w1 - w3}$$

46- **التجويــة Weathering**: وتعنـي بهـا هـي تلـك العمليـات التـي تجـرى علـى التكوينـات الصـخرية بفعـل العوامـل الجويـة كـأن تكـون ميكانيكيـة أو كيميائيـة ممـا ينـتج عنهـا تحويـل التكوينـات الصـخرية إلـى مـواد مفتتـة أو متحللـة قـد تتكـرر إلـى عـدة مـرات علـى سـطوح التكوينات الصخرية،إذ تبقى هذه النواتج في مكانها.

47- **المعــدن Mineral**: يعـرف المعـدن بأنــه عبــارة عــن مــادة طبيعيــة صــلبة متجانســة التركيـب مكونـة مـن مجموعـة مـن العناصـر أو مركبـات كيميائيـة ثابتـة غيـر عضـوية لهـا بنـاء بلـوري معـين وتركيـب كيميـائي وصـفات فيزيائيـة ثابتـة والمعـدن ممكـن أن يتكـون مـن عنصــر واحــد (Native) أو مجموعــة مــن العناصــر (Compound) وممكــن أن يكــون فلز (Metallic) أو لا فلز Non- Metallic.

48- **التربــة Soil**: هـي الطبقـة العليـا المفككـة مـن القشـرة الأرضـية والناتجـة عـن تفتيـت وتحلـل الصـخور بفعـل عوامـل التجويـة والتعريـة المختلفـة تتكـون مـن مـواد معدنيـة دقيقـة مفككـة بالإضـافة إلـى بعـض المـواد العضـوية المتحللـة التـي تسـمى (الـذبال) كمـا تحتـوي علـى بعـض النباتـات والبكتريـا، وممكـن أن تكـون نشـأتها فـوق الصـخور الأم تسـمى بالتربـة المتبقيـة (Residual Soil) أو ممكـن أن تنتقـل إلـى مكـان آخـر بفعـل عوامـل التعريـة تسمى بالتربة المنقولة (Transported Soil).

49- **نمـوذج لبـابي Core Samples**: هـي تلـك النمـاذج التـي يـتم جمعهـا أو إستحصـالها مـن خـلال حفـر الآبـار الاستكشـافية اللبابيـة تمتـد تحـت سـطح الأرض حيـث يـتم الحفـر بأنابيب حفر لبابي خاصة بأقطار وأطوال مختلفة .

50- **ترسـبات ثانويـة Epigenetic Deposits**: هـي تلـك الترسـبات المعدنيـة التـي تتكـون بعـد تكـوين أو ترسـيب الصــخور الحاضــنة لهــا مثــل ترســبات نــوع المقحــم Dyke أو Vein

51- **ترسبات أولية Syngenetic deposits**: هي تلك الترسبات التي تتكون أثناء أو في نفس الوقت التي تتكون فيه الصخور الحاضنة لها، مثل طبقة رسوبية غنية بالمعادن الحديدية.

52- **ترسبات عرقية Vein Type Deposits**: هي عبارة عن ترسبات معدنية تتموضع في الكسور والشقوق والفواصل الموجودة بين الصخور وتكون عادة بأشكال وأنماط مختلفة ، وتكون إما من أصل محاليل حرمائية Hypothermal أو من نوع المقحم Intrusive

53- **خامات الكاشف Ore Outcrop**: هو انكشاف جزء من الجسم المعدني على سطح الأرض بفعل عوامل التجوية والتعرية ويكون معرض للظروف الجوية.

54- **الفواصل Joints**: هي عبارة عن شقوق تحصل في القشرة الأرضية أو التكوينات الجيولوجية لا يصاحبها أي حركة للكتل الصخرية على جانبي سطح الكسر وسبب حدوثها يعود إلى قوة الشد أو الانكماش أو الضغط التي غالبا ما تحصل في الصخور، إما أثناء تكونها أو بعد حصول عمليات الترسيب.

55- **بحيرات الصحاري Playa Lakes**: وهي عبارة عن بحيرات موسمية ذات عمر قصير تمتلئ بالمياه نتيجة لسقوط الأمطار الغزيرة في الصحاري بكميات يزيد عن المتبخر منها أو المترسب إلى باطن الأرض وغالبا ما تكون هذه البحيرات ذات طبيعة ملحية تمتاز بترسبات السبخة أو ترسبات ملحية ، مثال على ذلك بحيرة الشارع في العراق/ محافظة صلاح الدين.

56- **الفوالق أو الصدوع Faults**: عبارة عن تشققات أو تصدعات تحدث في الصخور والتكوينات الجيولوجية المكونة للقشرة الأرضية تصاحبها حركة وإزاحة إما تكون أفقية أو عمودية أو مائلة وقد تمتد هذه الإزاحة لعدة كيلومترات.

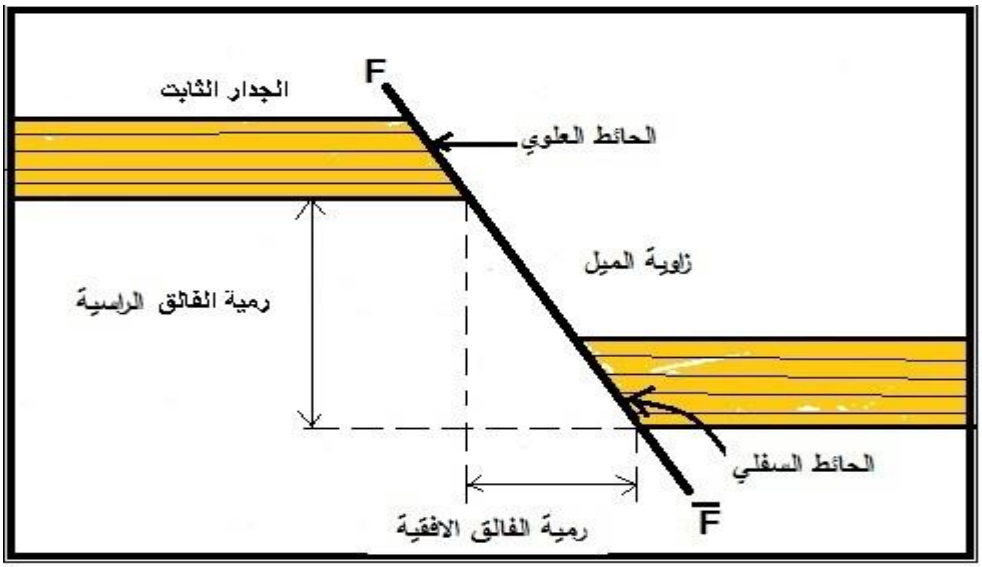
57- **الحائط المعلق Hanging Wall**: تحدث في حالة الفالق المائل وهي كتلة الصخور المنزلقة فوق مستوى سطح الفالق.

58- **الحائط الأسفل أو الثابت Foot Wall**: تحدث في حالة الفالق المائل وتمثل كتلة الصخور المنزلقة التي تقع تحت مستوى سطح الفالق.

59- **رمية الفالق الرأسية**: وهي تمثل الإزاحة أو المسافة الرأسية التي تقطعها كتلة صخور الحائط الأسفل.

60- **رمية الفالق الأفقية**: وهي تمثل إزاحة أو المسافة الأفقية التي تقطعها كتلة صخور الحائط الأسفل (كما في الشكل 7-1).

61-طـوق فوهــة المــنجم Collar Shaft: وتسـمى كـذلك دعامـة فوهـة أو فتحـة البئـر ألمنجمـي وهـي المنطقـة التـي تقـع حـول فتحـة المـنجم التـي يـتم تقويتهـا وإكسـاءها بالكونكريـت المسـلح أو دعمهـا وإسـنادها بالأخشـاب أو الحديـد لغـرض المحافظـة عليهـا من الانهيار.



شكل (7-1) يوضح تفاصيل الفالق الاعتيادي

62-سـطوح التشـقق أو الإنفـلاع Cleavage: هـي عبـارة عـن مسـتويات ضـعف تتواجـد بصـورة طبيعيـة فـي المعـادن عنـد نشـوءها، هـذه المسـتويات لهـا تـأثير سـلبي علـى متانـة الصـخور والأنفـاق المنجميـة عنـد إنشـاءها حيـث يمكـن إزالـة المـواد الخـام مـن الكتـل الصخرية من خلال هذه المستويات.

63-درجــة تركيــز الخــام الأوليــة Grade Head: وهـي درجـة تركيـز الخـام الـذي يـتم اسـتخراجه مـن المـنجم ويرسـل إلـى معمـل المعالجـة والاسـتخلاص. يسـتخدم هـذا المصـطلح نظـراً لوجـود تذبـذب فـي درجـة تركيـز الخـام المسـتخرج مـن المـنجم يسـبب وجـود عـدم تجـانس فـي الترسـبات المعدنيـة أو قـد يحصـل تلـوث إثنـاء الاسـتخراج المعـدني لـذا مـن المتوقـع وجـود اختلافـات فـي درجـة تركيـز الخـام الواصـل إلـى معمـل المعالجـة بنسـبة معينة.

64-درجــة تركيــز الخــام المســترجع Grade Recoverable: وهـي قيـاس لنسـبة الخـام الـذي مـن الممكـن اسـترجاعه أو استخلاصـه مـن الخلـيط المعـدني أو الترسـبات المعدنيـة أثناء عمليات المعالجة والاستخلاص المعدني

الفصل الثاني

الترسبات المعدنية Mineral Deposits

(2-1) مقدمة

تعرف الترسبات المعدنية بأنها تواجد طبيعي لتراكيز عالية من المعادن أو الخامات أو الصخور الصناعية بكميات كبيرة ضمن القشرة الأرضية. سبب تواجد هذه الترسبات بهذا الشكل يعود إلى العمليات الجيولوجية والظروف الترسيبية التي تسيطر على العمليات هذه والتي أدت إلى نشوءها وتواجدها أو إعادة توزيعها وتركيزها عبر التاريخ الجيولوجي الطويل والتي أصبحت ذات أهمية اقتصادية.

إن التطور الكبير والتوسع الصناعي الحديث أدى إلى استثمار هائل في الثروات الطبيعية والمعادن الصناعية لسد المتطلبات الصناعية والحاجة البشرية وبذلك ثم إطلاق كلمة خام (**Ore**) على كافة المواد الاقتصادية بما فيها المعادن والصخور الصناعية كونها مواد ذات قيمة اقتصادية تتواجد في الطبيعة بتراكيز عالية سواء كانت معدنية أو غير معدنية طالما إنها تستخرج وتستثمر لأغراض صناعية وبشرية واقتصادية.

هنالك اعتبارات عديدة اقتصادية وأحيانا سياسية هي التي تحدد إمكانية استغلال وتحديد وتعيين حدود أي ترسبات معدنية طبيعية هناك عدة أعمال جيولوجية ودراسات فنية تجري على الخام لغرض تقييم هذه الترسبات ومن ضمنها جمع نماذج مختلفة لأغراض التحاليل لتعيين مواصفات الخام.

تمتلك ألترسبات ألمعدنية أشكال وحجوم مختلفة تحكمها في ذلك ظروف نشأتها وتواجدها وتكوينها حيث إنها تشكل أجساما ثلاثية الإبعاد غير منتظمة نظرا لسيطرة متغيرات معقدة من العوامل الجيولوجية والتركيبية والطباقية عليها بالإضافة إلى تأثرها بالصخور الحاضنة لها. يمثل البعدين في الامتداد الأفقي للجسم المعدني (الطول والعرض) أما الامتداد الثالث في الاتجاه العمودي فيمثل سمك الخام أو الجسم المعدني.

درجة تركيز الخام طبقا إلى المتغيرات أعلاه تختلف من جسم معدني إلى آخر ومن المشاهدات الطبيعية غالبا ما تكون الترسبات المعدنية كبيرة الحجم وذات درجة تركيز للخام واطئة، من الملاحظ في السنوات الأخيرة اتجاه معظم الأعمال التعدينية إلى استغلال الخامات ذات التراكيز الواطئة لسد الحاجة الصناعية والاستخدام البشري والذي يقابلها تطور وزيادة في حجم الأعمال المنجمية بهدف زيادة الطاقة الإنتاجية من الخامات المستخرجة والمستغلة. ان وجود معادن مصاحبة في الخام بتراكيز قليلة تعطي مؤشر مشجع على استغلال الخام لغرض الحصول على معادن ثانوية متواجدة في الجسم المعدني، مثال على

ذلك الذهب والكاديميوم ممكن أن يستخرج كناتج ثانوي من عمليات تعدين واستغلال خامات الرصاص والزنك.

إن تطور التقنية الصناعية وتطور المكننة والمعدات الآلية الكبيرة الحجم أدت الى تشجيع استغلال الخامات ذات الدرجة الواطئة بكلف اقتصادية مربحة. قيمة المعدن الاقتصادية تعتبر عامل مهم في تطوير الصناعات التعدينية كونه مصدر هم من مصادر الحصول على العملات الصعبة التي تساهم في تطوير اقتصاديات البلد وبذلك أصبح تحديد سعر المعدن عامل مهم نتيجة للتذبذب الحاصل من عرض وطلب على هذه المواد حتى أصبحت الأسعار تنتشر يوميا في أكثر النشرات اليومية الاقتصادية.

شكل وحجم الترسبات المعدنية تؤثر بشكل كبير على عمليات الاستخراج المعدني وعلى درجة تركيز الخام التي من الممكن أن يتم استغلال الخام على ضوءها، مثلا ان الترسبات ذات الأحجام القريبة من سطح الأرض والتي تحتوي على درجة خام واطئة ممكن ان يتم استغلالها بكلف اقتصادية واطئة بطريقة المنجم المفتوح، بينما الترسبات المعدنية صغيرة الحجم مثل ترسبات العروق المعدنية البعيدة عن سطح الأرض تتطلب طرق استخراج تحت سطحية عالية الكلفة. التضخم وزيادة حجم الطلب على المعادن هي التي أدت الى انتعاش وتوسع صناعة التعدين.

ألترسبات ألمعدنية بكافة أشكالها وتراكيزها لا تزال تشكل مصدر مهم من مصادر المواد الأولية التي تدعم مختلف الأنشطة الصناعية وهي التي تستهدفها عمليات التحري المعدني والاستكشاف الجيولوجي والتي تستخدم فيها كافة الوسائل والطرق الجيولوجية، الجيوفيزيائية والجيوكيميائية لغرض تحديد موقعها وحجومها وتراكيزها وبالتالي تقييمها لغرض استثمارها اقتصاديا.

(2–2) تصنيف الترسبات المعدنية Classification of Mineral Deposit

إن دراسة الترسبات المعدنية أو الخامات بصورة عامة يتطلب فحص وتدقيق عدد كبير من المعادن ومعرفة أوجه التشابه والاختلاف بينهما. إن الترسبات المعدنية التي يمكن تصنيفها الى مجاميع ذا خصائص وصفات متشابهة تسهل عملية وصفها من خلال التعرف على أصل نشوء هذه الترسبات وموقعها في القشرة الأرضية والظروف الترسيبية التي أدت إلى تكوينها وتواجدها. هذه التصانيف من الممكن أن تسهل كثيرا من الأعمال الحقلية والجيولوجية ودراسات الاستخراج ألمنجمي وكذلك عمليات التعرف على امتدادات وإشكال هذه الترسبات وطرق البحث عنها وإمكانية التنبؤ باحتمال وجود ترسبات معدنية في مواقع

جيولوجية ملائمة عند مقارنتها مع ترسبات معدنية مستغلة ومستثمرة في أماكن أُخرى من خلال هذه التصانيف.

كثير من الترسبات المعدنية تشترك في صفات عديدة وممكن ان تنشأ من أصول مشتركة لا توجد هناك حدود واضحة بين مجموعة وأُخرى وكمثال على ذلك خاصة في المعادن الناتجة من أصل ناري أو حراري فهنالك نوع محدد من الصخور النارية في موقع معين من هذه الترسبات تحتوي على مجموعة معادن تنشأ في ظروف مختلفة حسب اختلاف الضغوط ودرجة الحرارة المتواجدة فيها.

إن أهم ما يهتم به الباحثون في مجال جيولوجيا المناجم هو تصنيف الترسبات المعدنية من ناحية تواجداتها، شكلها، موقعها في القشرة الأرضية والقيمة الاقتصادية لها التي تترتب على ضوءها إمكانية تقييم تلك الترسبات وبالتالي دراسة وتحديد إمكانية استخراجها وتعدينها. إن أفضل تصنيف للترسبات المعدنية هو ذلك التصنيف الذي لا يتطرق الى أصل نشوء هذه الترسبات لتجنب الدخول في صعوبات وتفرعات لا فائدة منها في العمليات المنجمية أو التعدينية. هناك محولات عديدة وضعت لتصنيف الترسبات المعدنية وجدت منذ ظهور علم جيولوجيا المناجم لاتزال تستخدم لحد الآن، قسم منها طورت مع تطور المعرفة العلمية وظهور الاستكشافات الجيولوجية والمفاهيم الحديثة، وقسم منها أُهمل لعدم مطابقته وعدم احتواءه على كافة المتغيرات الجيولوجية الجديدة، لغاية الوقت الحاضر لا يوجد تصنيف معدني مقبول عالميا يمكن على أساسه الاعتماد على ترتيب وتصنيف كافة الترسبات المعدنية. سوف نتطرق في هذا الفصل باستعراض عدة تصانيف تستخدم حاليا في علوم جيولوجيا المناجم وأعمال الاستخراج ألمنجمي وان الاعتماد أو اختيار احد التصانيف يعتمد على خبرة ومهارة الجيولوجي وطبيعة فهمه وكيفية التعامل مع هذه الترسبات، لأغراض التقييم والاستخراج ألمنجمي وأعمال التعدين.

أهم التصانيف المعتمة في أعمال الاستكشاف والتعدين ألمنجمي هي:-

أ- الترسبات المعدنية من ناحية الشكل والتواجد.

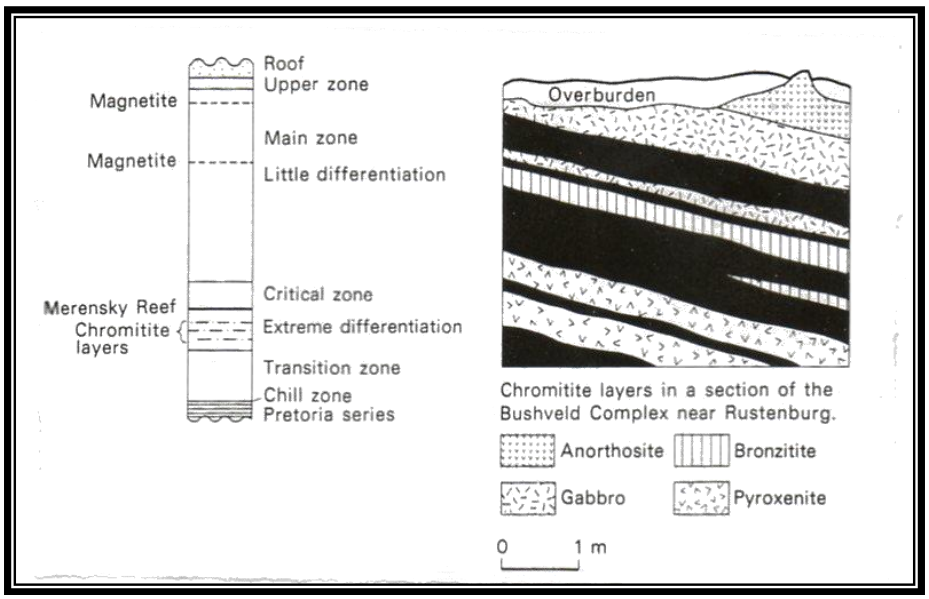
ب-الترسبات المعدنية من ناحية أصل تواجدها.

ج- الترسبات المعدنية اعتمادا على السحنات الصخرية المكونة لها.

د- الترسبات المعدنية اعتمادا على أصل نشوء الترسبات وكذلك المحتوى المعدني لها.

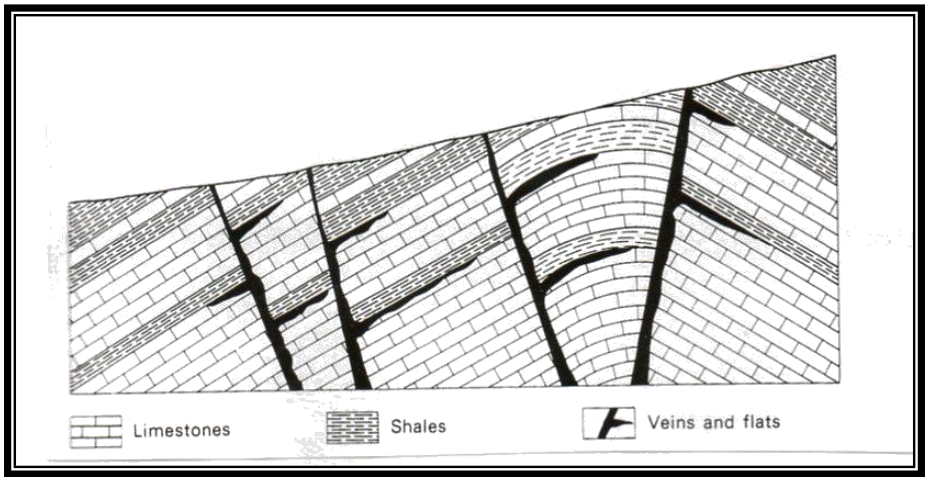
(2-2-1) الترسبات المعدنية من ناحية الشكل والتواجد

1- الترسبات المعدنية الطباقية Stratiform: وهي الترسبات التي تشكل امتدادات طباقية مستوية أو شبه مستوية تتخذ موقعها فوق أو بين الطبقات الصخرية الأخرى وهي ذات أصل رسوبي أو ناري. شكل رقم (1 – 2).



شكل رقم (1 – 2) مقطع عرضي لترسبات معدنية طباقية حاوية على الكرومايت

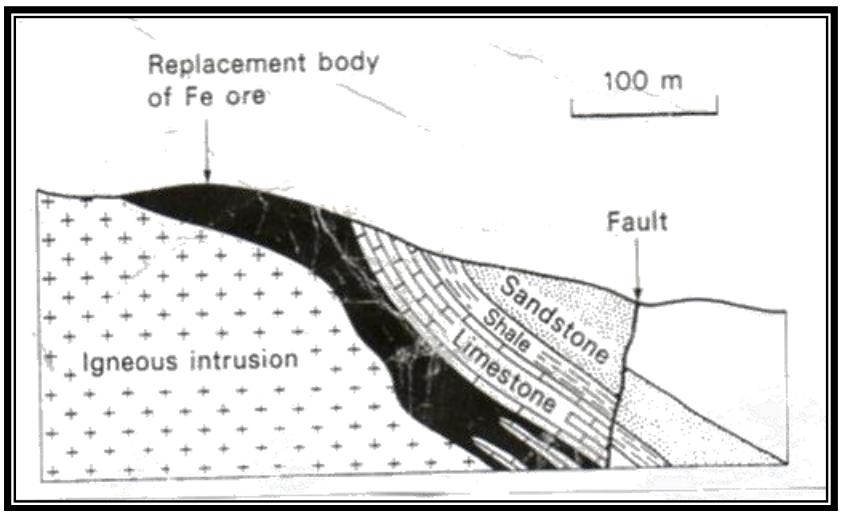
2- الترسبات المعدنية من النوع العرقي Vein type: وهي الترسبات المعدنية التي تتواجد بين الفوالق والكسور والصخور وتتكون بأشكال واتجاهات مختلفة وتكون عادة من أصل حرمائي Hydro thermal شكل رقم (2 – 2).



شكل رقم (2 – 2) ترسبات عرقية

المصدر: (Evans, 1986, p: 11)

3- ترسبات معدنية من النوع المقحم Intrusive: تكون على شكل أجسام معدنية مندسة خلال صخور القشرة الأرضية تكونت بفعل الأنشطة الصهيرية أو الإحلال الميتاسومي Metasomatic Replacement. شكل رقم (3 – 2)



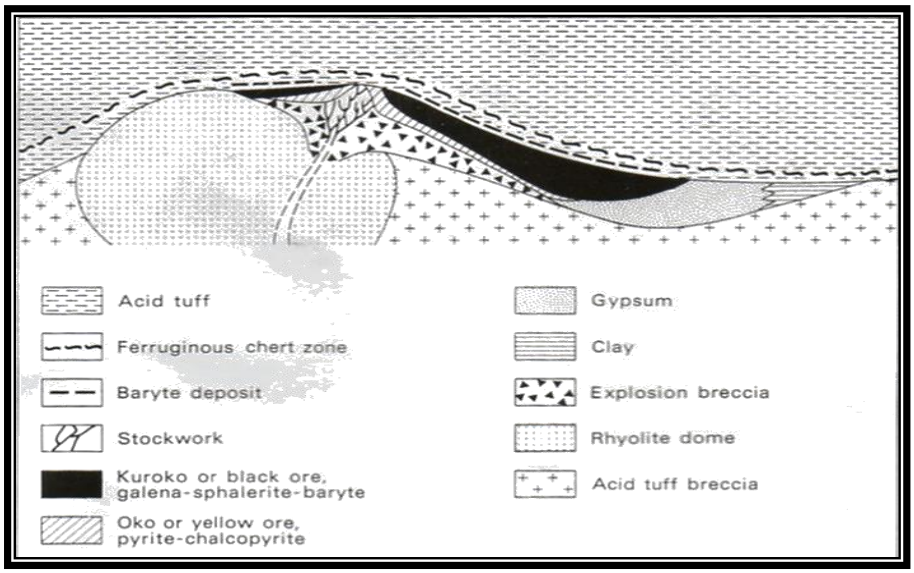
شكل رقم (3 – 2) ترسبات مقحمة

المصدر: (Evans, 1986, p: 11)

(2–2–2) الترسبات المعدنية من ناحية اصل تواجدها Origine of Mineral deposits

1- الترسبات الصهيرية Magmatic deposits

وهي الترسبات المرتبطة بالصخور النارية والتي تتكون من تبلور المواد الصهيرية المذابة والمتكونة في المناطق الحارة جدا في باطن الأرض، واندفاعها نحو سطح الأرض بواسطة الحركات الأرضية، مثال على ذلك ترسبات الكرومايت، كبريتات النيكل، النحاس، التيتانيوم ، البلاتينيوم ، كالينا ، سفالرايت و بايرايت. شكل رقم (4 – 2)



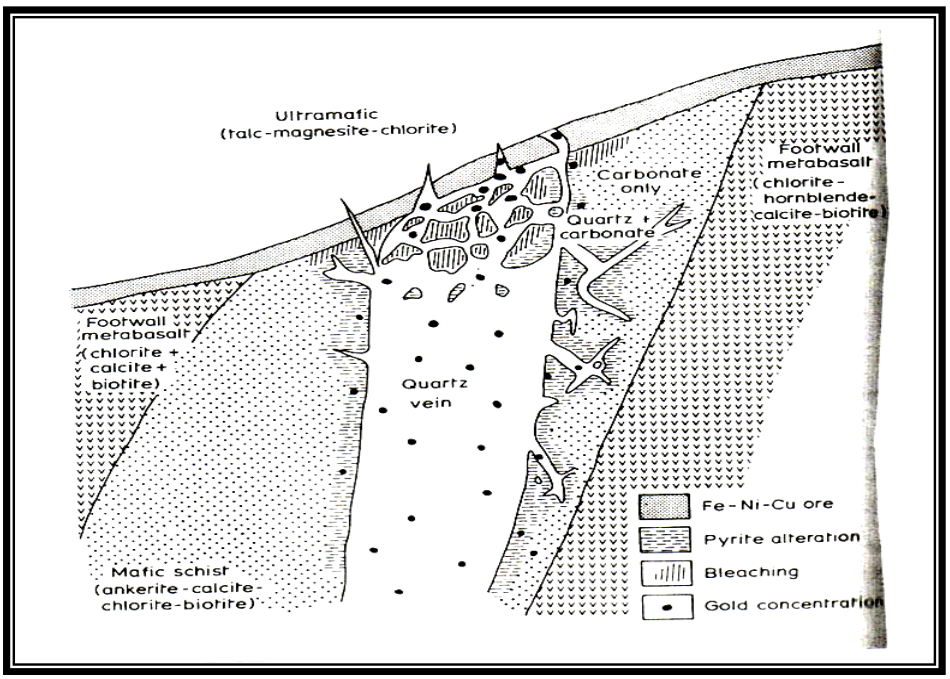
شكل رقم (4 – 2) ترسبات صهيرية من الكالينا والبايرايت

المصدر: (Evans, 1986, p: 11)

2- الترسبات الصهيرية الحرمائية Magmatic Hydrothermal Deposits

هذا النوع من الترسبات ينتج من صعود المحاليل الصهيرية Hydrothermal Activity وبدرة حرارة عالية جدا وتكون مرتبطة بالصخور النارية المتواجدة في مستويات عالية من القشرة الأرضية ويستدل عليها من خلال دراسة الوضع التكتوني لها ونوعية التمعدن الحاوية له.

ألترسبات ألناتجة من هذه العملية هي ترسبات البورفيري Capper porphyry وكذلك تعتبر هذه ألترسبات من أهم مصادر تواجد الذهب، ترسبات الزنك والرصاص. يعتبر الذهب أهم معدن تستهدفه الشركات المتخصصة بأعمال التعدين لأغراض عمليات الاستثمار كونه غالي الثمن والعوائد المالية لرأس المال المستثمر تكون عالية وبوقت قصير مما يساعد على إعادة رأس المال مع ربحية جيدة، مقارنة بالمعادن الأخرى. شكل رقم (2 – 5).

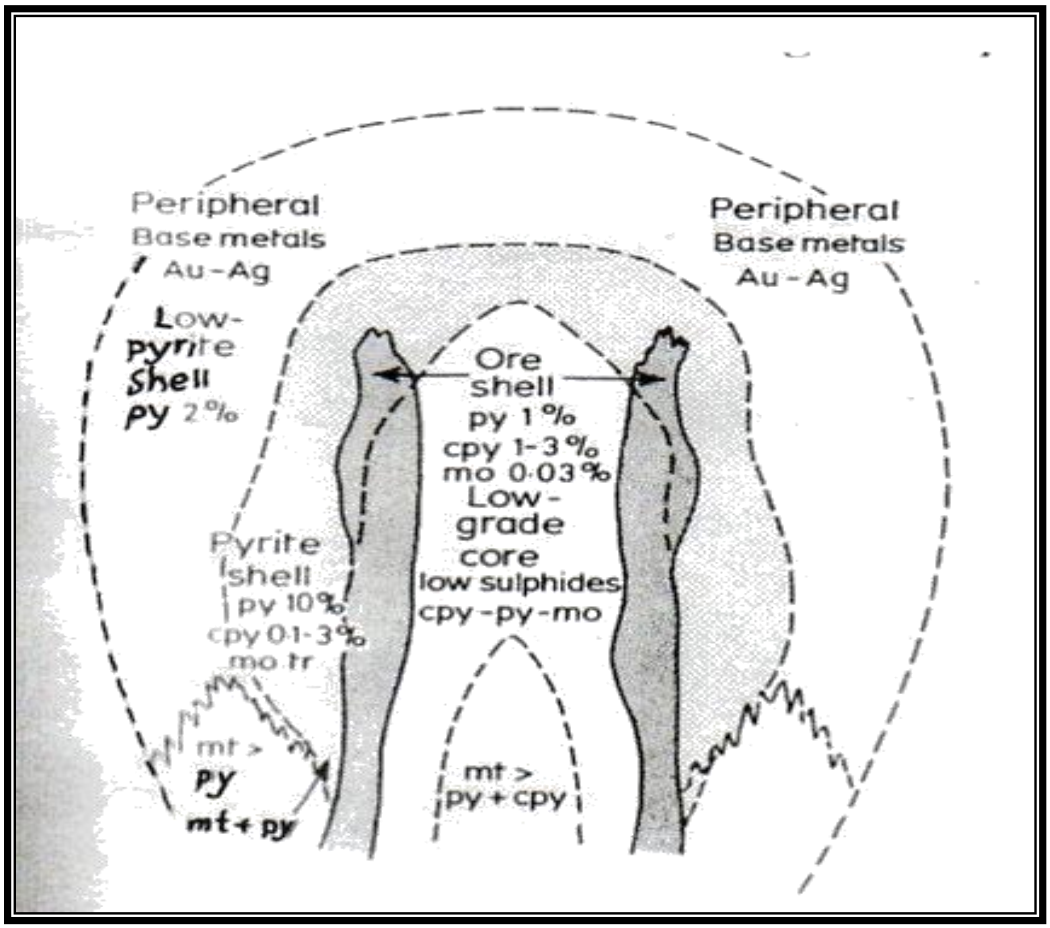


شكل رقم (5 – 2) المعادن المتكون بعمليات صهيرية حرمائية

المصدر: (Edwards, 1986, p: 160)

3- الترسبات العرقية الحرمائية Hydrothermal Vein Deposits

هذه الترسبات ناتجة من صعود المحاليل الحارة جدا والحاملة للمعادن من خلال الشقوق والكسور والفوالق النافذة بين الصخور نحو الأعلى وما تسببه من عمليات إحلال متبادل للصخور المارة بها وتغيير درجة الحرارة والضغط تبعا لموقعها في القشرة الأرضية. نواتج هذه العمليات يؤدي الى ظهور ترسبات معدنية مختلفة، مثال على هذا النوع من الترسبات هي التنكستن، القصدير، الذهب، اليورانيوم، الكوبالت والفضة. شكل رقم (2–6).



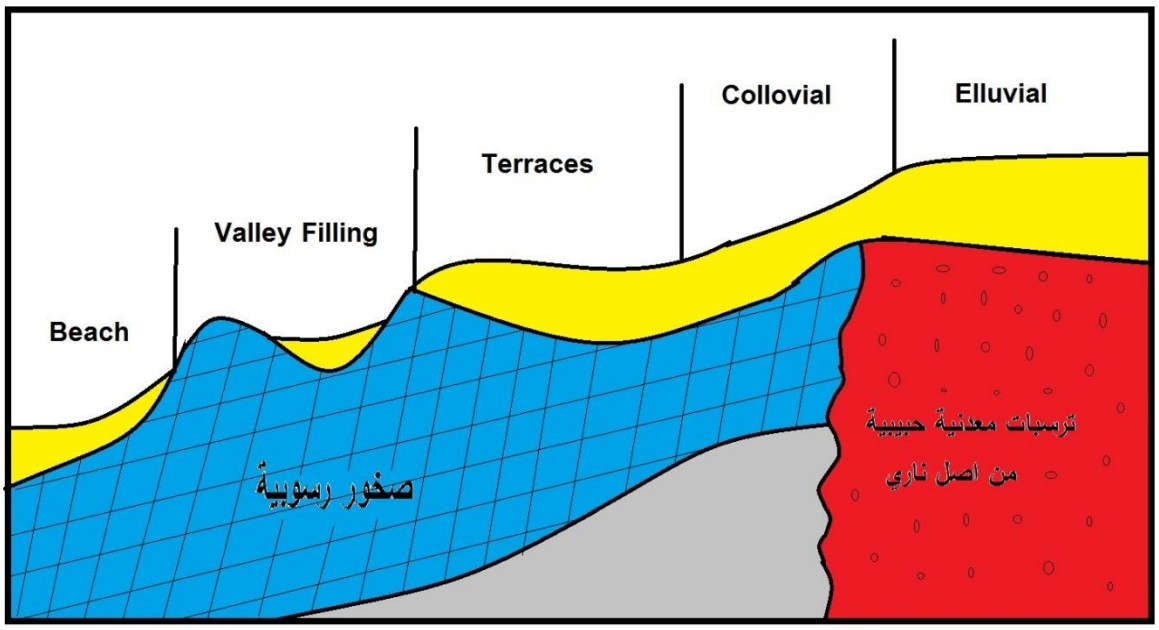
شكل رقم (6 – 2) تكون مترسبات من تأثير المحاليل الحرمائية

المصدر: (Edwards, 1986, P: 77)

4- الترسبات المعدنية السطحية الناتجة من عمليات الغسل Placer Deposits

هذه الترسبات ناتجة من عمليات التركيز الميكانيكية للمعان المقاومة للإذابة والتآكل التي تم تحريرها من الصخور الحاضنة لها بعمليات التجوية والتعرية يمكن لهذه الترسبات إن تتعرض في الوقت اللاَحق من عمليات التركيز الميكانيكية إلى عمليات نقل وترسيب في أماكن اخرى جديدة. تتمتع هذه الأنواع من الترسبات بانتشار واسع في القشرة الأرضية وعادة تكون في الزمن الوسيط Tertiary والزمن الحديث Quaternary وتعتبر ترسبات ثانوية من الناحية والأهمية الاقتصادية.

من هذه الترسبات هي الرواسب الغرينية، الرواسب الفتاتية، رواسب الرمال الساحلية والبحرية، من أهم المعادن الناتجة من هذه الفعاليات الترسيبية هي الذهب، القصدير، البلاتين، الزركون والماس شكل رقم (7–2) يوضح مقطعاً عرضياً تخطيطياً لظروف ترسيب هذا النوع من الترسبات.



شكل رقم (7 – 2) مقطع عرضي تخطيطي لترسبات المعادن السطحية

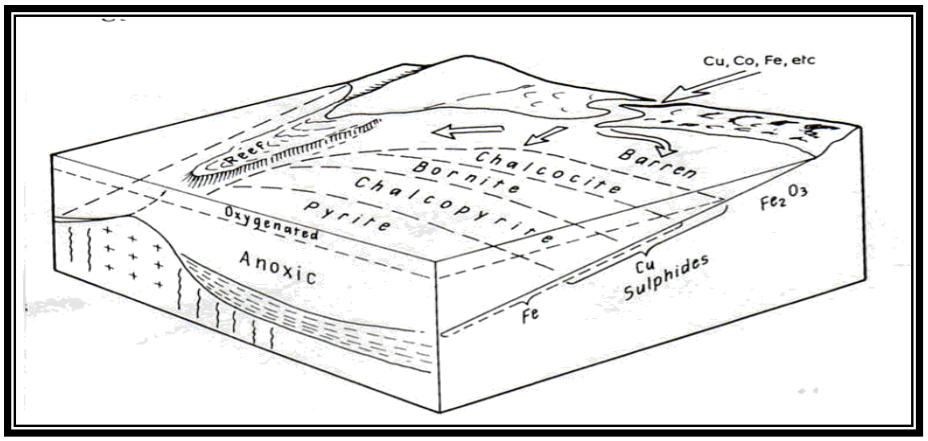
5-الرسوبيات الحاضنة للمعادن الثقيلة ألاساسية (نحاس، رصاص، زنك)

Sediments – hosted Lead – Zinc– Copper Deposits

هناك عدة نظريات وضعت لتوضيح أصل نشوء هذا النوع من الترسبات وكان أخرها النظرية التي تعتقد بان أصل نشوء هذا النوع من الترسبات ناتج من عمليات الإحلال من المحاليل التي تتحرر بعد حصول عمليات تبريد للصهير (Magma). لهذا يعتبر ان تغلغل الصهير الناري Intrusion Igneous في القشرة الأرضية سبب تواجد وظهور هذا النوع من الترسبات. النظرية الأخرى تعتقد ان الغازات البركانية الصاعدة إلى الأعلى خلال طبقات القشرة الأرضية قد تكون إحدى الأسباب لظهور هذا النوع من المعادن الثقيلة.الرأي الآخر يعتقد إن سبب وجودها يتم بإزالة هذه المعادن من الترسبات المجاورة Leaching وتجميعها في أماكن جديدة، على أية حال فان أصل نشوء هذه الترسبات مرتبط بالعمليات الترسيبية المكونة للصخور الحاضنة لها. مثال على هذه الترسبات هي الصخور الجيرية الحاضنة لمعادن الرصاص والزنك، الرمال الحاضنة لليورانيوم، فاناديوم، نحاس أو المدملكات الحاضنة للذهب.

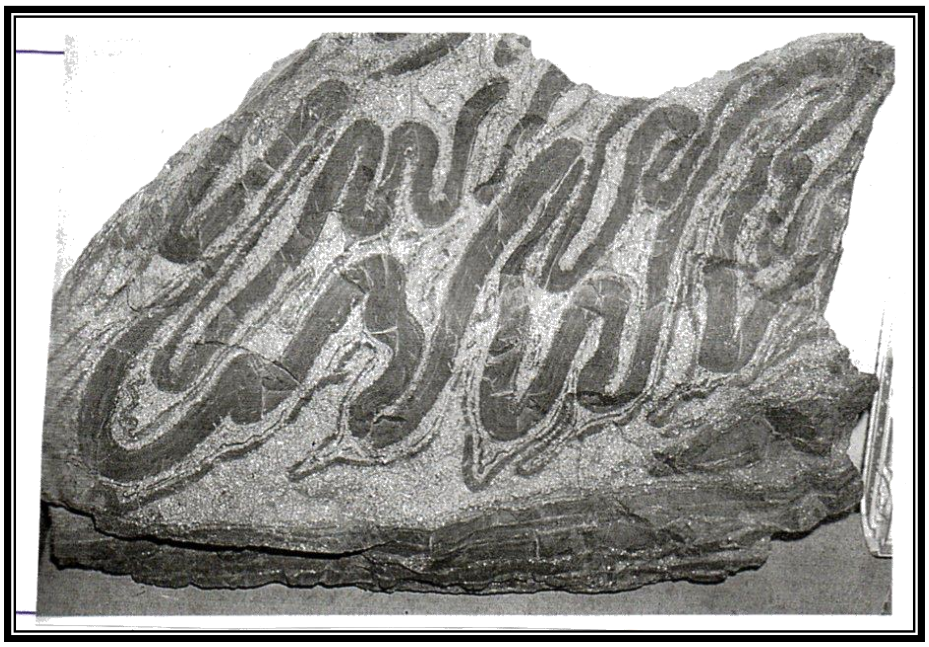
طرق الاستكشاف المناسبة للبحث عن هذه المعادن تشتمل على دراسات جيولوجية، تركيبية، دراسات جيوكيميائية مثل نماذج رواسب الأنهار والجداول وجيوكيميائية التربة، الطرق الجيوفيزيائية تشتمل على تطبيق الطريقة المغناطيسية و IP مع الطريقة الجذبية.

شكل رقم (8 – 2) يوضح مجسم تخطيطي لميكانيكية تكون هذه الترسبات، شكل رقم (2 – 9) يوضح ترسبات المعادن الثقيلة في طبقات الطين.



شكل رقم (8 – 2) مجسم لتكون ترسبات المعادن الثقيلة

المصدر: (Edwards, 1986, P: 225)



شكل رقم (9 – 2) ترسبات المعادن الثقيلة في طبقات الطين

المصدر: (Edwards, 1986, P: 239)

6- الترسبات المعدنية المتكونة بعمليات التجوية Ore Deposits formed by weathering

تعرف التجوية بأنها عمليات تكسير وتحطيم الصخور وتحويلها الى أنواع أُخرى بعمليات فيزيائية، كيميائية، مناخية وميكانيكية، وتكون النشاطات العضوية أحياناً عاملاً مساعداً على تسريع هذه العمليات. نواتج هذه العمليات تكون استجابة للظروف الترسيبية

الجديدة التي تكونت بها هذه الصخور أو الترسبات العدنية والتي تكون أكثر توازنا مع الظروف الترسيبية الجديدة عما هي عليه في الصخور الأُم التي اشتقت منها. مثال على ذلك معادن الصخور النارية المتكونة بدرجة حرارة عالية مع عدم وجود المياه فإنها تكون غير مستقرة على سطح الأرض حيث توجد الرطوبة والبرودة، هذه المعادن تتحول إلى معادن أخرى بعمليات الإذابة أو الإحلال. كذلك تكسير الصخور عند زيادة المساحة السطحية للصخور التي تتعرض للتجوية الكيميائية من أكسدة أو تميع تنتج منها معادن جديدة تكون متوازنة مع الظرف البيئية الجديدة مثال على هذه الترسبات هي الترسبات المعدنية المتخلفة Residual Deposits مثل الذهب، النحاس، نيكل، البوكسايت، الكاؤولين وترسبات الكبريتيدات Sulphide. شكل رقم (10–2) مقطع عرضي لنواتج التجوية المكونة لترسبات النيكل.

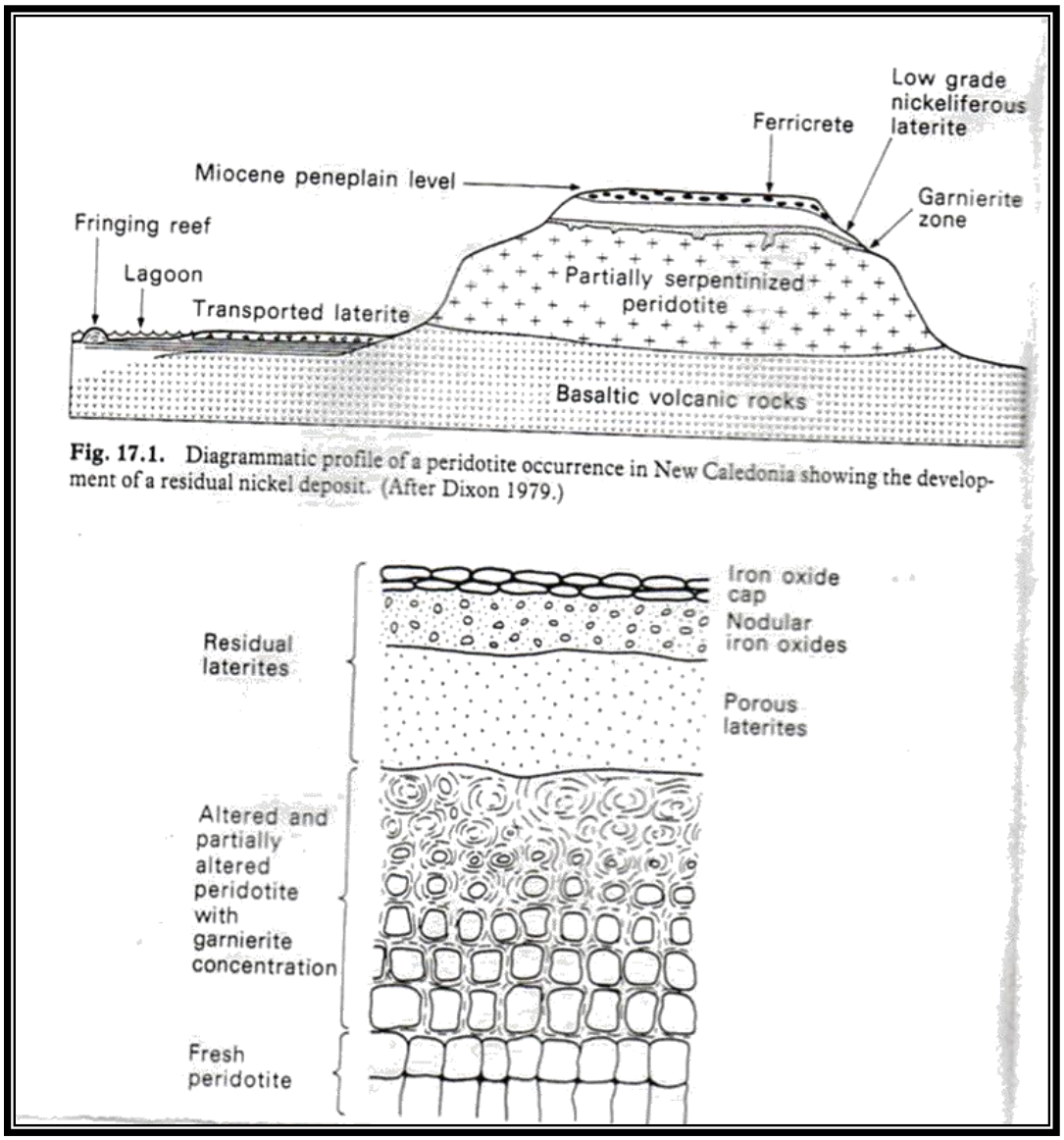


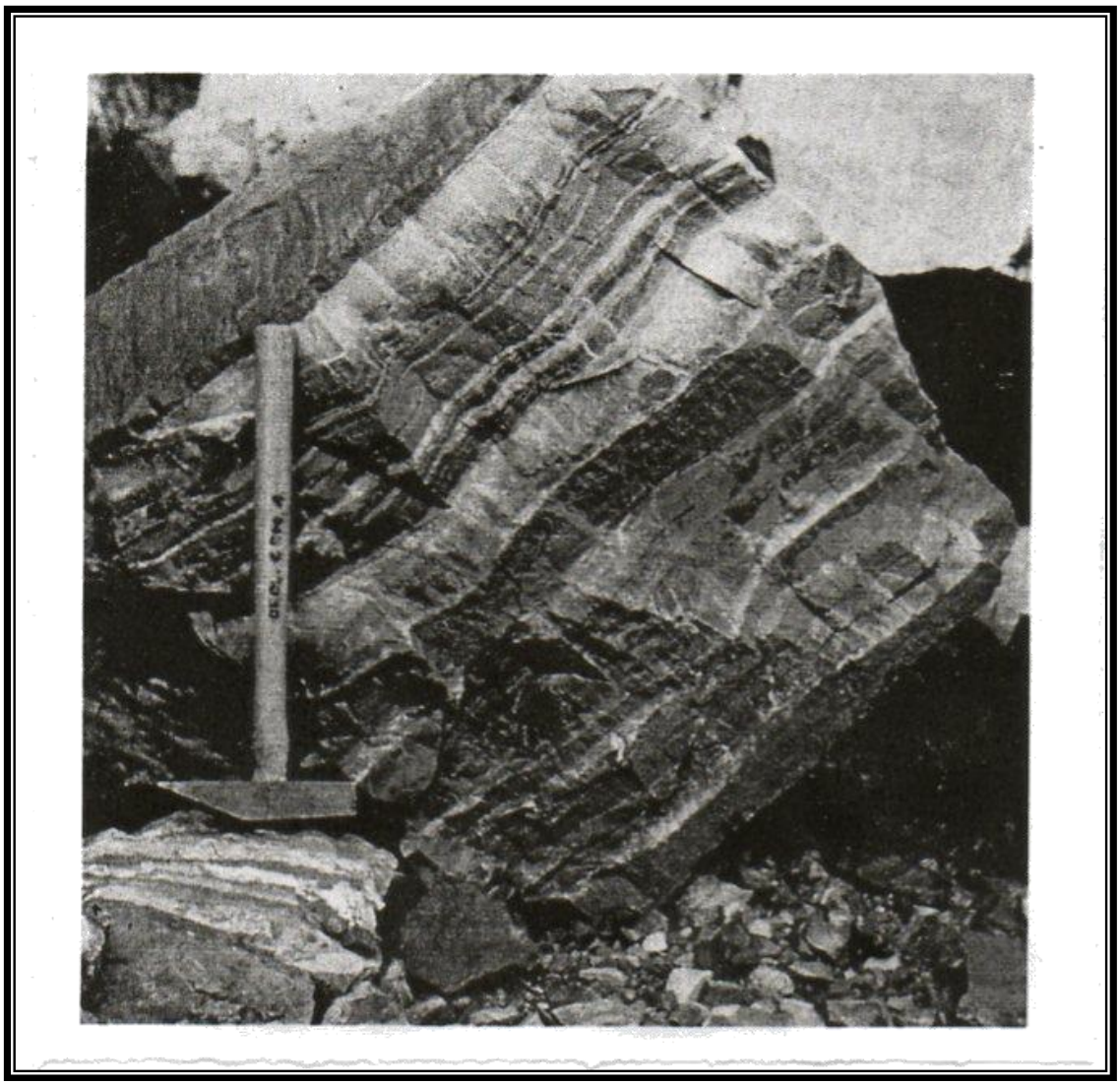
Fig. 17.1. Diagrammatic profile of a peridotite occurrence in New Caledonia showing the development of a residual nickel deposit. (After Dixon 1979.)

شكل رقم (10 – 2) مقطع عرضي لنواتج تجوية المكونة لترسبات النيكل

المصدر: (Evans, 1986, p: 182)

7- خامات الحديد الناتجة من الأصل الرسوبي Iron ores of sedimentary Affiliation

نواتج هذه العمليات عبارة عن صخور رسوبية غنية بالحديد ومن أهم تلك الخامات هي المعادن الهيماتايت، جيوثايت، ماكنيتايت والسيديرايت، يتراوح تركيز الحديد فيها من%(55–20) ونسبة السيليكا اقل من 45%. تتواجد ترسبات الحديد على شكل طبقات ذو سمك قليل وهي التي تكون من أصل صخور رسوبية كيميائية Chert – Iron formation واحيانا تتواجد على شكل كرات حديدية حمصية فتاتية. شكل (11 – 2)



شكل رقم (11 – 2) ترسبات حديد طباقية من أصل رسوبي

المصدر: (Edwards, 1986, p: 321)

تكوينات الحديد المكتشفة في مناطق عديدة من العالم تكونت معظمها في العصر القديم (Precambrian) والقسم الآخر تكون في عصر (Early Proterozoic) والظروف الترسيبية التي أدت إلى ظهور هذه الخامات هي تركيبية، جيوكيميائية وبايولوجية بسبب

قابلية الحديد الكبيرة على التأكسد ثم يترسب كهيدروكسيد الحديد. أو نقل الحديد المذاب مع السيليكا بواسطة تيارات المحيطات الصاعدة لمناطق ترسيب مناسبة لها.

يستخدم خام الحديد بصورة رئيسية في الصناعات الحديدية وبسبب من توسع هذه النشاطات أدت الى زيادة الطلب على هذه الخامات بصورة متسارعة مما أدى إلى التوجه في الاستكشافات المعدنية نحو الترسبات ذات التركيز القليلة بعد نفاذ معظم تراكيز الحديد ذات درجة التركيز العالية.

8- خامات أليورانيوم من الأصل الرسوبي Uranium ores of sedimentary Affiliation

تعتبر نسبة ستين في المائة من الترسبات العالمية المكتشفة من خامات اليورانيوم هي من النوع الرملي sand stone –type وكذلك تواجداتها في مناطق عدم التوافق الطباقي Unconformity. الاستخدام الرئيسي له هي استعماله كوقود نووي لمحطات الكهرباء وكذلك في الأسلحة النووية .توجد كذلك بنسب متباينة في تكوينات المدملكات Conglomerates ، في الصخور المتحولة والصخور الجيرية .

ترسبات اليورانيوم في حالة تعرضها لتأثير المياه الجوفية الاختزالية يتحول إلى ايون رباعي التكافؤ U^{+4} (Uranous Ion) ويتواجد على شكل معدن اليورانينايت Uraninite ومعدن الكوفينايت Coffinite. اما في الظروف التأكسدية فانه يتحول إلى مركبات اليورانيل Uranyl–Complex وهذه العملية لحد ألان موضوع مناقشة بين علماء الجيولوجيا ومن اهم معادن اليورانيل هي بجبلند Pitchblende ، فانادايت Vanadates ، كارنوتايت Carnotite تعتبر صخور الفوسفات من أهم التكوينات الجيولوجية الحاملة لهذا المعدن.

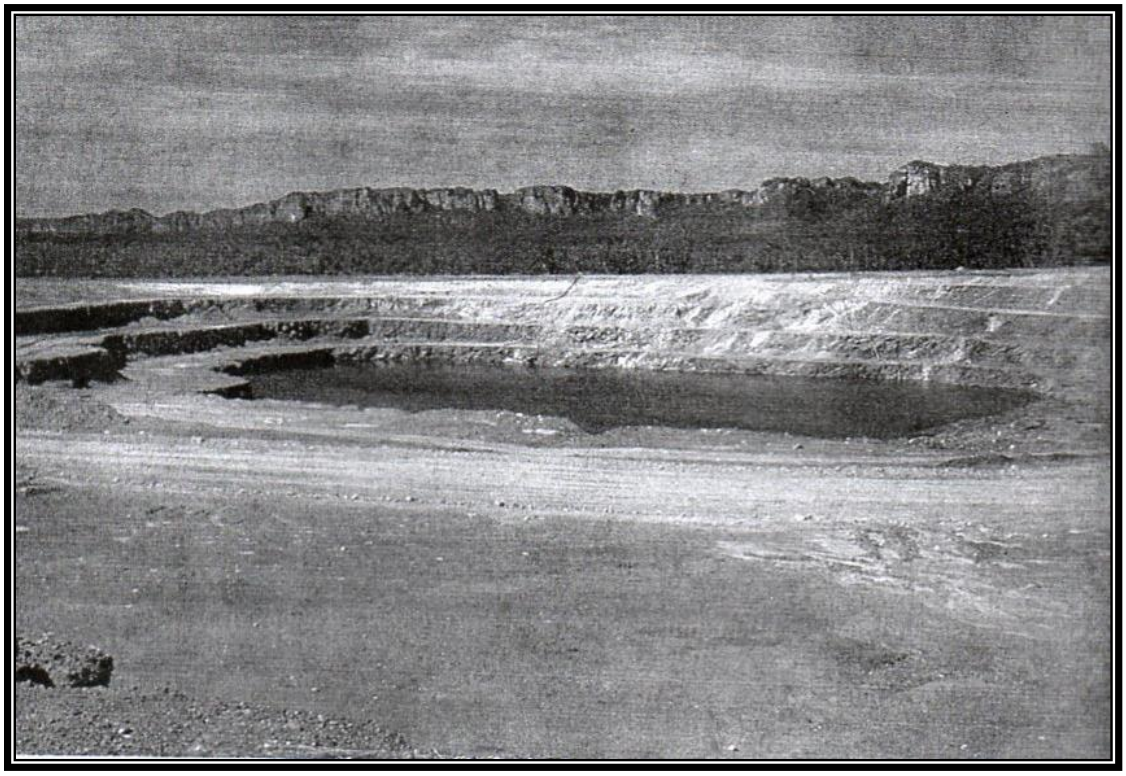
ممكن أن يتواجد اليورانيوم في الصخور الحاملة للمواد العضوية مثل الصخور الطينية والصخور الجيرية لأنها تساعد على قنص وتكثيف لايون اليورانيل وبالتالي ظهور تراكيز مهمة لهذا الايون . شكل رقم (12–2) يوضح صخور طينية حاملة لليورانيوم .

شكل رقم (12 – 2) صخور طينية حاملة لليورانيوم

المصدر: (Edwards, 1986, p: 348)

عدم التوافق الزمني بين الطبقات دائما تتخلله ظروف ترسيبية متغايرة، مثل ترسيب سحنات رسوبية في ظروف بحرية ضحلة تؤدي إلى ظهور أو تكوين رواسب مشتقة من أصل صخور متحولة أو صخور سيليكية ،وتعتبر هذه الصخور مهمة كصخور حاضنة لليورانيوم أو تكوين صخور رملية أو صخور من نواتج عمليات التجوية والتعرية في عصر Lower–Preterozoic.

معظم علماء الجيولوجيا متفقين على أن أصل اليورانيوم جاء من الصخور المتبلورة ، نارية كانت أو متحولة من عصر Precambrian بعدها تعرضت هذه الصخور للتجوية الكيميائية ولقابلية اليورانيوم على ألإذابة يتم نقله بواسطة المحاليل الحرمائية أو المياه الجوفية فيما بعد إلى مناطق وتكوينات أخرى حاضنة له تكون ذات مسامية ونفاذية مناسبة أو وجود تراكيب جيولوجية تساعد على حركة هذه المحاليل . شكل رقم(13–2) يوضح احد مناجم اليورانيوم الحاوي على ترسبات الرمال الحاضنة لليورانيوم وهذه الترسبات مليئة بالمياه الجوفية.



شكل رقم (13 – 2) منجم لليورانيوم عبارة عن صخور رمال حاوية لترسبات اليورانيوم

المصدر: (Edwards, 1986, p: 346)

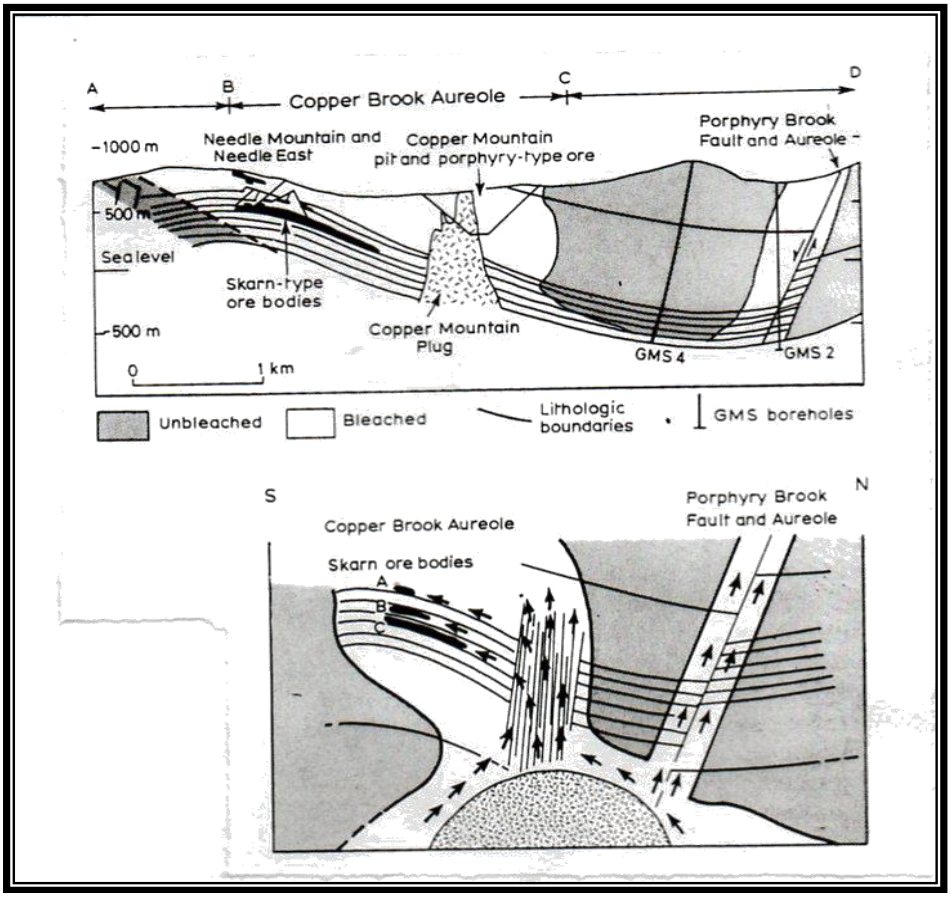
9- الخامات المتكونة بعمليات التحول Ore Formed by Metamorphism

إن أهم الترسبات المعدنية الموجودة حول العالم الناتجة من عمليات التحول هي التنكستن، النحاس، موليبدينوم، رصاص، قصدير، الحديد والزنك، كذلك معظم المعادن الصناعية مثل الاسبيستوس Aspestos، وولستونايت Wollastonite، بايرايت Pyrite، ماكنيسايت Magnesite كرافايت Graphite، مايكا Mica والشيلايت Scheelite.

تعرف عملية التحول Metamorphism بأنها عملية تغيير في الخصائص المعدنية والكيميائية للصخور التي تؤدي إلى ظهور معادن جديدة أخرى تتناسب مع الظروف الجديدة التي تكونت تحت تأثيرها من جراء الحرارة والضغط العاليين.

من الترسبات المعدنية المنتشرة حول العالم الناتجة من عمليات التحول هي ترسبات الـ Skarn ، هذا الاسم هو مصطلح سويدي يطلق على عمليات التحول التي تجري على صخور الحجر الجيري (Limestone) ينتج منها البايروكسين والامفيبول. توسع هذا الاسم وأصبح يطلق على كافة الصخور الجيرية التي يحصل لها عمليات تحول وفي بعض ألأحيان نتيجة تأثير المحاليل الحرمائية. عمليات التحري المعدني والاستكشاف الجيولوجي التي تجري على ترسبات الـ Skarn ترتبط بدراسة أصل تكون هذا النوع من الترسبات ثم

يتم بعد ذلك أجراء عمليات نمذجة ورسم خرائط جيولوجية لتتبع امتداداتها ثم يتبعها أجراء مسوحات جيوفيزيائية ودراسات صور فضائية ممكن أجراء مسوحات جذبيه ومغناطيسية لأنها ملائمة للكشف على هذه الترسبات . شكل رقم (14-2) يوضح عملية تكون ترسبات الـ Skarn.



شكل رقم (14 – 2) عمليات تكون ترسبات الـ Skarn

المصدر: (Edwards, 1986, p: 389)

(2-2-3) الترسبات المعدنية اعتمادا على السحنات الصخرية المكونة لها

Lithological Classification of Mineral Deposits

تم تقسيم الترسبات المعدنية اعتمادا على السحنات الصخرية المكونة لها الى نوعين هما:-

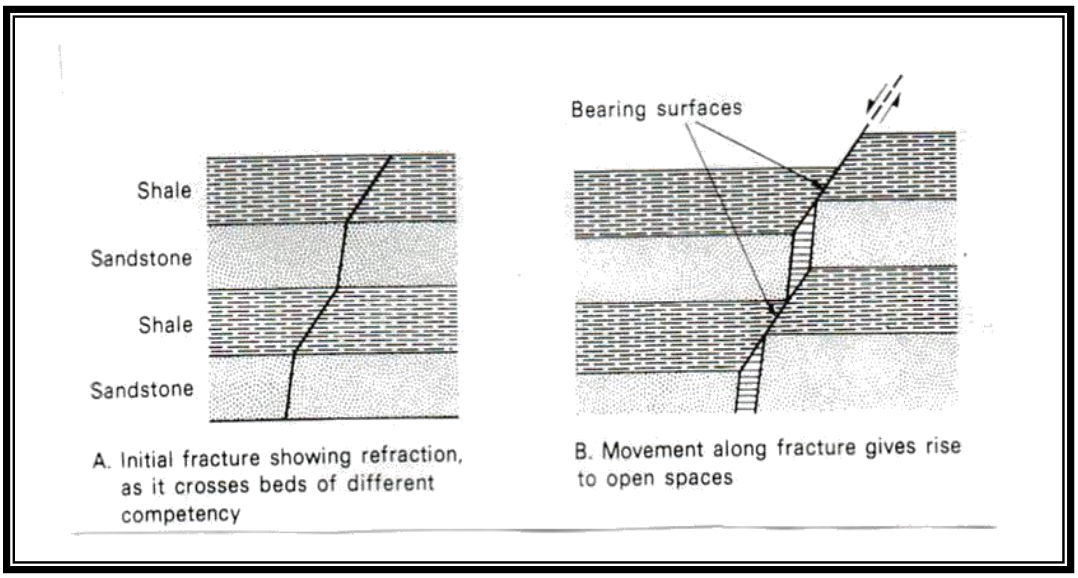
1- <u>الأجسام المعدنية غير المنسجمة Discordant Ore bodies</u>

وهي تلك الأجسام المعدنية التي تتقاطع مع سطوح الطبقات الرسوبية الحاضنة لها أو تكون غير متوافقة في الشكل مع الصخور الحاوية لها وتقسم الى :-

أ- **<u>الأجسام منتظمة الشكل Regularly shaped bodies</u>**

ا- الأجسام المعدنية ذات السطوح المستوية Tabular Ore bodies

هذه الأجسام المعدنية تتميز بان لها امتدادات جانبية في اتجاهين ومحدودة الامتداد في الاتجاه الثالث، مثال على ذلك العروق المعدنية أو الفوالق المملوءة بالترسبات المعدنية شكل رقم (15-2).



شكل رقم (15 – 2) مقطع عرضي لعملية تكون الترسبات المعدنية ذات السطوح المستوية

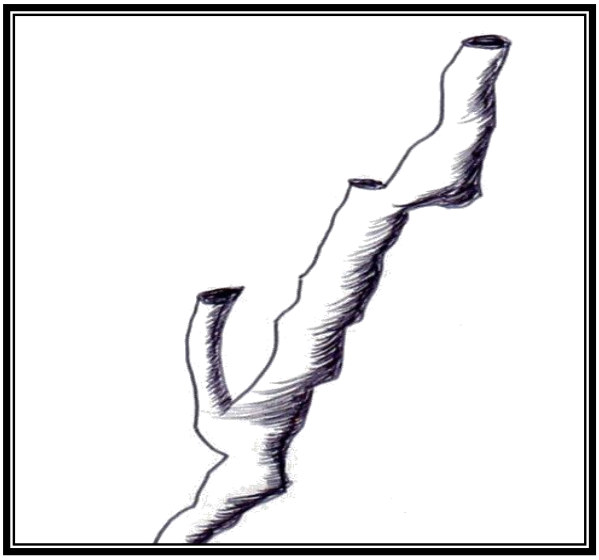
المصدر : (Evans, 1986, p: 7)

عملية تكون ونشوء هذا النوع من الترسبات يحدث عند حصول حركات أرضية أو زحف صخور تؤدي الى حصول تراكيب جيولوجية تسمى Pinch and swell أي هناك منطقة يحصل فيها ضغط أو فراغ. هذا النوع من التراكيب يسبب مشاكل وتعقيدات خلال عمليات الاستكشاف المعدني والاستخراج ألمنجمي ويحصل بهذه الحالة ان تتكون هذه الترسبات في أماكن الفراغات swells عبر جدار الحركة بواسطة أي سبب من الأسباب الجيولوجية والترسيبية التي تؤدي الى نشوء هذه الترسبات المعدنية. ممكن ان تحتوي هذه الأنواع من الترسبات على نوع معدني واحد أو عدة معادن مصاحبة مرتبطة بصيغة معينة مع المواد العقيمة ومحددة بجدار العمق المعدني.

II- الأجسام المعدنية الأنبوبية Tubular ore bodies

هذه الأجسام المعدني تكون قصيرة في اتجاهين ولكنها تمتد بصورة واسعة في الاتجاه الثالث، وعندما تكون على شكل عمودي أو شبه عمودي تسمى أنبوبية أو مدخنة pipes أما عندما تكون افقية أو شبه افقية فتسمى Mantos أو ترسبات أنبوبية افقية شكل (2-16). مثال على هذه، الأجسام الكرانيتية المقحمة في مقاطعة كوينزلاند Queens Land

التـــي تحتـــوي علـــى الكـــوارتز مصـــاحبة لمعـــادن البزمـــوث Bismuth، الموليبـــدينوم Molybdenum التنكستن Tungsten والقصدير Tin.

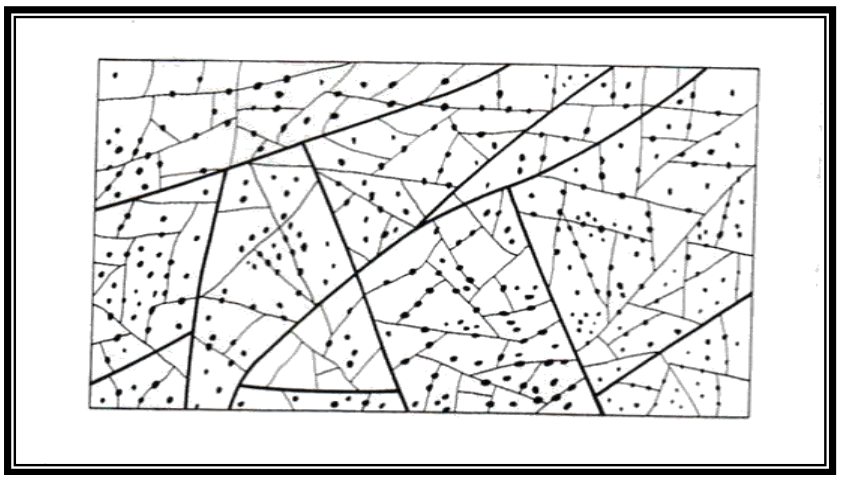


شكل رقم (16 – 2) أشكال ترسبات الأجسام المعدنية الأنبوبية

ب- الاجسام المعدنية غير منتظمة الشكل Irregularly shaped Ore bodies

I- ألترسبات ألمعدنية ألمنثورة أو الحبيبية Disseminated deposits

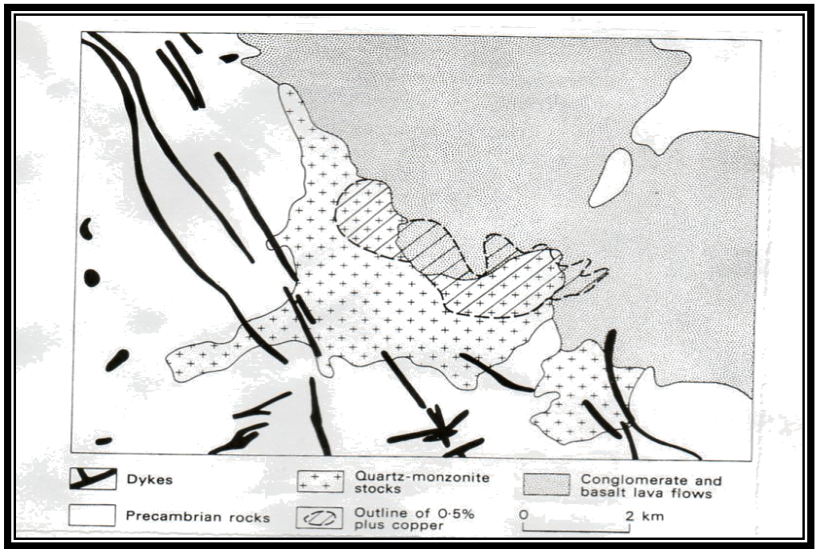
في هذا النوع من ألترسبات تكون معادن الخامات منثورة في الصخور أو على شكل حبيبات متناثرة في الصخور الحاضنة لها، ممكن أن تتواجد معادن الخامات متغلغلة خلال الكسور والشقوق المغلقة في الصخور الحاضنة لها شكل رقم (17 – 2) يوضح الطبيعة انتشار حبيبات معادن الكبيريتيدات Sulphide في الصخور الحاضنة لها ضمن ترسبات العرق المعدني. مهما يكن شكل تواجد وتموضع مثل هذه الترسبات المعدنية فإنها تعتبر من الدرجة الثانية من الناحية الاقتصادية، ممكن ان تتواجد على عدة أشكال مختلفة أنبوبية أو اسطوانية غير منتظمة



شكل رقم (17 – 2) الترسبات المعدنية المنثورة

المصدر: (Evans, 1986, p: 113)

تتبع التراكيب الجيولوجية من كسور وشقوق وفي مختلف الاتجاهات شكل رقم (18 – 2) الذي يمثل خارطة جيولوجية لمنطقة منجم بغداد في مقاطعة اريزونا / امريكا ومن أهم المعادن المتواجدة في هذه الترسبات هي النحاس، القصدير، الموليبدينوم، الزئبق وكذلك اليورانيوم.



شكل رقم (18 – 2) خارطة جيولوجية الى منجم بغداد / اريزونا

المصدر: (Evans, 1986, p: 10)

II – ترسبات غير منتظمة الإحلال Irregular replacement deposits

أكثر الترسبات المعدنية التي تتكون بفعل عوامل الإحلال للصخور القديمة تكون بصورة عشوائية وغير منتظمة الأشكال خاصة عندما تحصل مثل هذه الحالات في الصخور الكاربونية (لايمستون ودولومايت) حيث تحصل عمليات الإحلال في أماكن التماس لهذه الصخور مع حدود الصخور النارية المقحمة أو الصاعدة الى الأعلى، هذه الترسبات عادة يطلق عليه تسمية (Skarn ore bodies) شكل (14 – 2)، تحتوي على

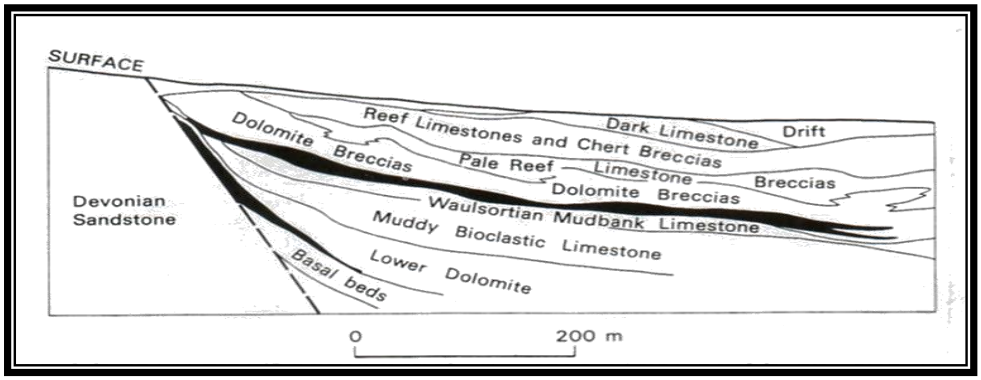
معـــادن مثـــل الكارنيـــت Garnet، دايوبســـايت Diopsite، وولســـتونايت Wollastonite، حديد، نحاس، زنك، رصاص، قصدير، يورانيوم.

2-الأجسام المعدنية المنسجمة Concordant ore bodies

وتعـرف بأنهـا الأجسـام التـي تمتلـك سـطوح أو مسـتويات تكـون متوافقـة أو متوازيـة مـع سطوح الطبقات الرسوبية الحاضنة لهذه الأجسام وتقسم إلى:-

أ- الصخور الرسوبية الحاضنة للأجسام المعدنية Sedimentary host rocks

الأجسـام المعدنيـة المتواجـدة أو التـي تحتضـنها أو تؤويهـا الصـخور الرسـوبية تعتبـر مـن المصـادر المهمـة لكثيـر مـن الفلـزات والمعـادن. هـذا النـوع مـن الترسـبات المعدنيـة تكـون ذات مسـتويات ترسـيب متوازيـة أو منسـجمة مـع التتـابع الطبقـي للصـخور الرسـوبية وهـي أمـا تكونـت بعـد تكـون الصـخور الرسـوبية الحاضـنة لهـا أو تكونـت بعمليـة الإحـلال Replacement أو أثنـاء تكـون وتواجـد الصـخور الرسـوبية حيـث تمـلأ الفجـوات والفراغـات المتكونـة فـي الصـخور الرسـوبية بواسـطة المحاليـل الحرمائيـة أو المحاليـل المعدنيـة المـادة خـلال هـذه الصـخور أثنـاء عمليـات الترسـيب. عـادة تتواجـد هـذه الأنـواع مـن الترسـبات المعدنيـة ممتـدة باتجـاهين ومحـددة بالاتجاه الثالث كما موضحة في الشكل (19-2).



شكل رقم (19-2) أجسام معدنية منسجمة ضمن الصخور الرسوبية

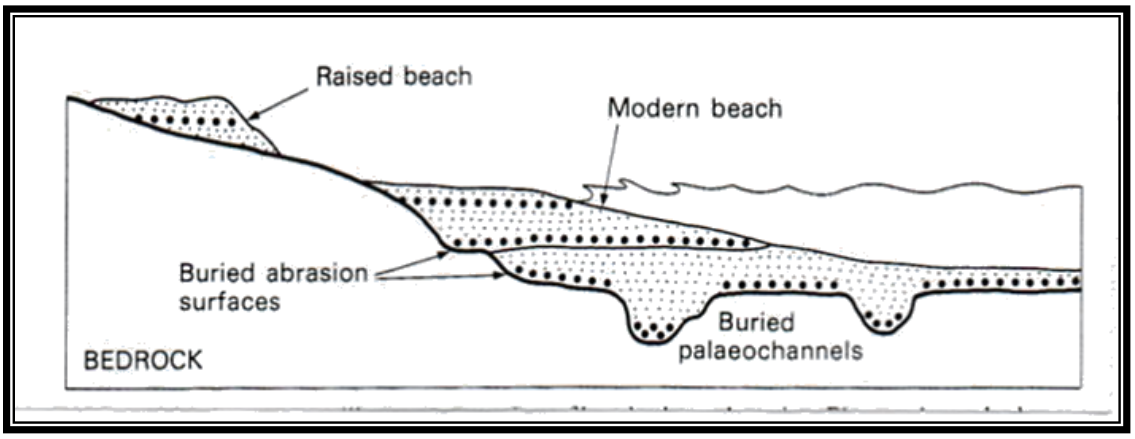
المصدر : (Evans, 1986, P: 12)

صخور الحجر الجيري Limestone عادة تكون هي الصخور الكاربونية الحاضنة لصخور الكبريتيدات Sulphide والتي تتواجد هذه الترسبات على طول السطوح الفاصلة بين الطبقات الصخرية. تواجدها يعود إلى إحتمالية زيادة نفاذية الصخور الكاربونية بعد حصول عملية إعادة تبلور لها Dolomitization ، أو عند وجود كسور وتشققات خلالها تسمح بمرور السوائل والمحاليل الحاملة للمواد المعدنية خلالها. مثال على ذلك المنجم (Silver mine) في ايرلندا الذي يحتوي على معادن (زنك - رصاص) التي تكونت مع تكون الصخور الحاضنة لها بفعل وجود الكسور وتوفر الصخور الفتاتية التي هي البريشيا Breccia.

حالات الترسيب ألأخرى عند وجود الصخور الطينية Shales و Slates حيث تكون ألأجسام المعدنية ذات امتدادات واسعة وتمتاز بسمك جيد مثال على هذه الترسبات هو منجم سوليفان في كولومبيا البريطانية Sullivan mine وتتميز الترسبات المعدنية له بأنها تحتوي على (زنك – رصاص) وعلى ما يعتقد بأن الترسبات المعدنية هذه متأثرة جدا بالتشوهات الرسوبية مثل حصول زحف صخري أو هبوط موقعي.

ممكن أن تتواجد ترسبات معدنية نتيجة العمليات الميكانيكية مثل عمليات نقل الترسبات بالمياه أو الرياح وهذه الحالة تحصل مع الصخور الرملية وغالبا ما تكون حاضنة للمعادن الثقيلة مثل الزركون، روتايل ، تيتانيوم والنحاس الذي يعتبر من الفلزات المهمة المتواجدة في ترسبات الصخور الرسوبية خاصة في الظروف الصحراوية حيث يتواجد على شكل طبقات حمراء اللون، الكثبان الرملية التي تمتلك مسامية ونفاذية عالية تكون مكان ملائم لتواجد فلز النحاس، مثال على ذلك ترسبات الأورال في روسيا والتي تتواجد على شكل طبقات رملية بسمك(10–40) سنتمتر تحتوي كل نسبة %(1.5–1) نحاس.

إذا كانت الصخور الحاضنة للترسبات المعدنية صخور فتاتية تسمى Radaceous hosts وممكن أن تكون الصخور الحاضنة عبارة عن الحصى أو الأحجار المتكسرة وغالبا ما يكون هذا النوع عبارة عن ترسبات موقعيه Placer deposits مثل الحصى الشاطئي التي تحتوي على الماس أو الذهب كما هي الحال في ترسبات كاليفورنيا وترسبات الرصاص في أستراليا شكل رقم (20–2) الذي يوضح الترسبات الشاطئية الحاوية على المعادن الثقيلة.



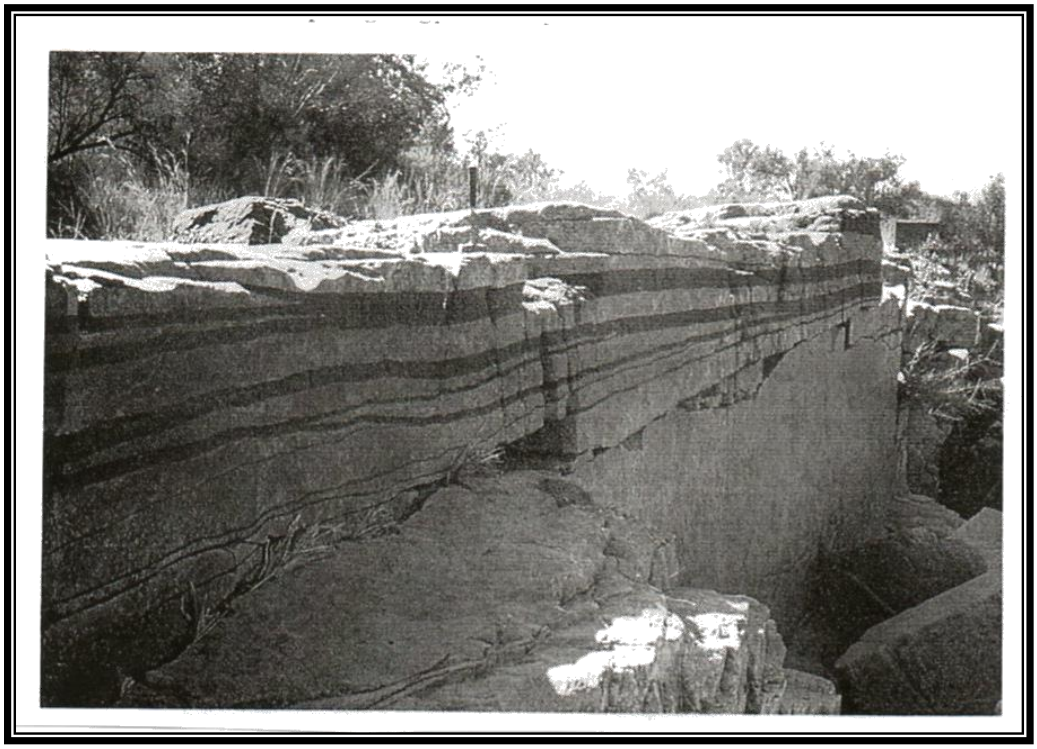
شكل رقم (20–2) مقطع عرضي للترسبات الشاطئية

المصدر: (Evans, 1986, P: 166)

ب- **الصخور النارية الحاضنة للأجسام المعدنية Igneous host Rocks**

تعتبر الترسبات المعدنية ذات الأصل الصهيري أو البركاني ذات تراكيز مهمة وهذا النوع من الترسبات ينقسم إلى نوعين ،الأول يسمى بالترسبات الحويصلية أو الفجوات المملوءة بالمعادن وهي الحالة التي تحصل في الحمم البركانية المقذوفة عندما تكون مساماتها كبيرة الحجم وتسمى بالحويصلات (Vesicular) وممكن أن يحصل لها نفاذية عالية بفعل عمليات تكون البريشيا (Brecciation). نواتج هذه العملية هو ظهور معدن النحاس كما هي الحالة في منجم كوينو (Keweenaw) في شمل ولاية ميشيكان وفي كندا، هذا النوع من الترسبات غير شائع عالميا.

النوع الثاني عندما تكون الصخور النارية الحاضنة للترسبات المعدنية قادمة من مصدر عميق وبعيد عن سطح الأرض أثناء صعود الصهير البركاني نحو الأعلى بهذه الحالة فأنها تمتلك ميزة أو صفة الترسبات المعدنية الطباقية أو المتناغمة تأخذ شكل حزم متكررة من المعادن غامقة وأخرى فاتحة اللون، يحتوي هذا النوع من الترسبات على معادن الماكنيتايت، كرومايت، المينايت، مثال على هذه الترسبات المتواجدة في معقد بوشفيلد Bushvield Complex في جنوب افريقيا .شكل (21-2)، الذي يمثل ترسبات طباقية لمعدن الكرومايت مع ترسبات انارثوسايت Anarthosite.

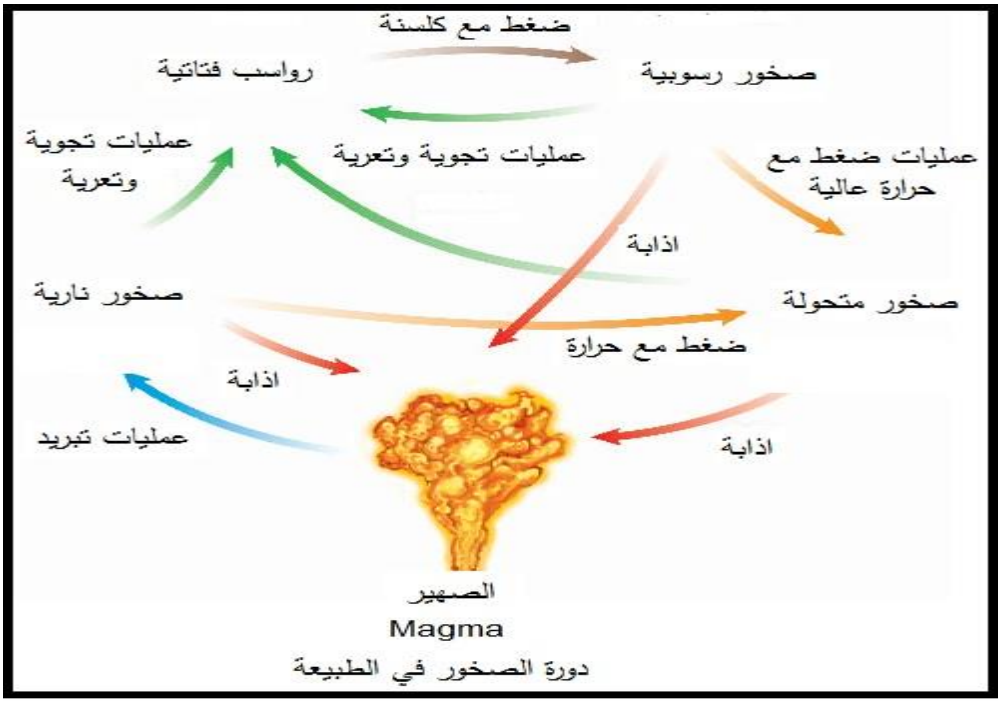


شكل رقم (21-2) ترسبات معدنية طباقية حاوية على الكرومايت والانورثوسايت في معقد بوشفيلد

المصدر (Edwards, 1986. P: 28)

ج – **الصخور المتحولة الحاضنة للأجسام المعدنية Metamorphic host rocks**

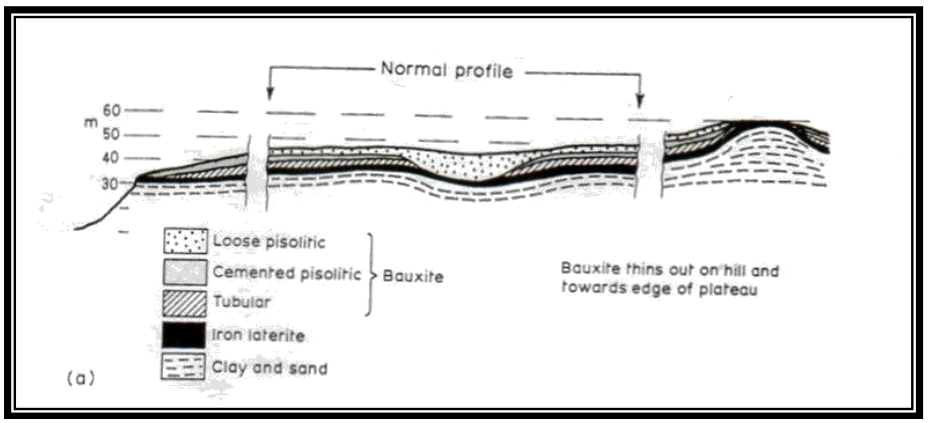
بعض التواجدات للترسبات المعدنية تكون ذات أصل متحول أو ناتج من جراء حصول عمليات التحول على الصخور إلام مهما كان نوعها أو أصلها حيث ينتج بهذه الحالة نوع جديد من المعادن المتحولة. شكل رقم (22–2)



شكل رقم (22 – 2) مخطط لعملية تكون الصخور المتحولة

د– **الترسبات المعدنية المتخلفة Residual deposits**

تحصل أو تتواجد هذه الترسبات المعدنية من خلال إزالة المواد العقيمة من الصخور إلام ونقلها بعيدا عن أماكن تواجدها لتترك خلفها ترسبات معدنية مركزة، مثال على هذه الترسبات كما يحصل من اختزال أو ترشيح للسيليكا والقلويات بعيدا عن موقعها وتترك مخلفة في موقعها اكاسيد الألمنيوم أو ما يسمى بترسبات البوكسايت Bauxite ، ممكن ان تحصل هذه العملية على سطح الأرض أو في الأعماق للترسبات الواقعة في طريق مجاري مياه الأمطار أو المياه الجوفية ،شكل رقم (23–2) الذي يوضح مقطع عرضي لترسبات البوكسايت.



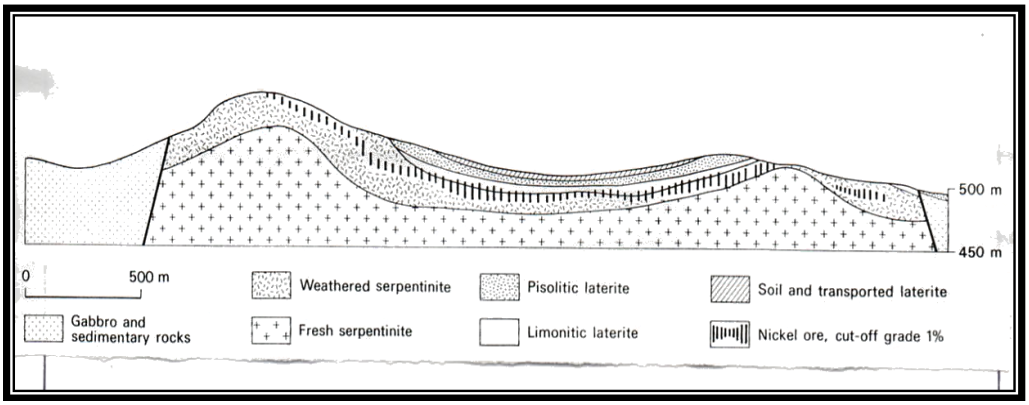
شكل رقم (23-2) مقطع عرضي لترسبات البوكسايت

المصدر: (Edwards, 1986, P: 29)

ألبوكسايت يحصل في أي ترسبات تجري عليها عمليات غسل وإزالة مكونات الحديد والسيليكا خلال عمليات التجوية والتعرية تاركة خلفها اكاسيد الألمنيوم، أو ممكن ان تتواجد ترسبات البوكسايت بعمليات النقل إلى منطقة ثانية بإحدى طرق التعرية، مثال على ذلك ترسبات البوكسايت في روسيا واهم معادنها هي الجبسايت Gibbsite، بوهيميايت Boehemite والدايسبور Diaspore.

هـ - المعادن المتكونة من حركة المحاليل من الأعلى الى الأسفل Supergene Enrichment

هذه العملية ممكن أن تؤثر على أية أجسام معدنية متكونة أو متواجدة مسبقا في أي منطقة بدرجة أو بأخرى بواسطة عمليات التعرية . تذبذب مستوى المياه الجوفية صعودا ونزولا يؤدي إلى ترشيح أو إذابة لبعض المعادن من الجزء العلوي من الجسم المعدني وترسيبها في الجزء الأسفل تحت مستوى المياه الجوفية، مثال على هذه الترسبات هو تواجد ترسبات السربنتين Serpentinite في استراليا شكل رقم (24 - 2). هذه العملية مهمة كذلك في تكوين ترسبات النحاس البورفيري porphyry Copper deposits كما هي الحال في ترسبات نحاس مقاطعة ميامي في اريزونا.



شكل رقم (24 - 2) مقطع عرضي لترسبات السربنتين في استراليا

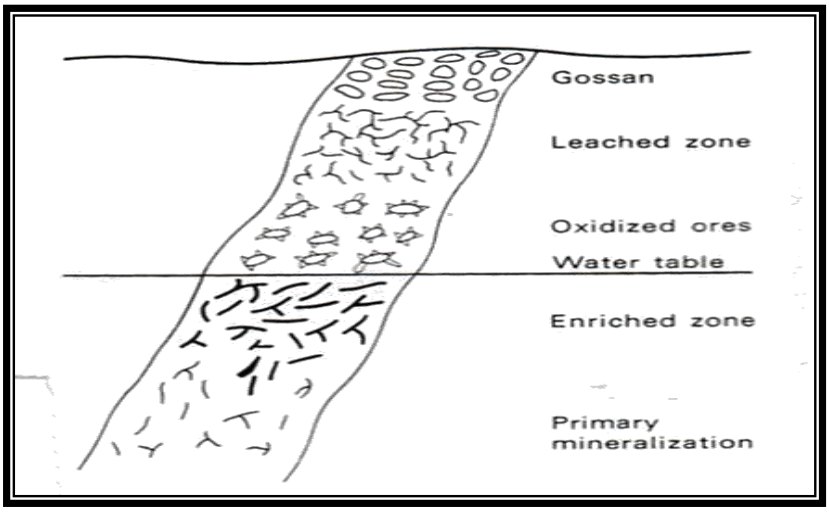
المصدر: (Evans, 1986, P: 183)

إحدى العمليات الترسيبية الجيوكيميائية المهمة التي تحصل في حالة وجود ترسبات السلفايد (Sulphide)، عندما يوجد جزء من الجسم المعدني فوق مستوى المياه الجوفية أي في منطقة التأكسد، والجزء السفلي يوجد تحت مستوى المياه الجوفية أي في الجزء الاختزالي، هذه الوضعية تؤدي الى إذابة مركبات البايرايت وحصول هيدروكسيد الحديد غير الذائب كما في المعادلة التالية:-

$$2FeS_2 + 15O + 8H_2O + CO_2 \longrightarrow 2Fe(OH)_3 + 4H_2SO_4$$

$$2CuFeS_2 + 17O + 6H_2O + CO_2 \longrightarrow 2Fe(OH)_3 + 2CuSO4 + 2H_2SO_4 + H2CO_3$$

النحاس، الزنك، الفضة لها قابلية عالية على الذوبان، لذلك فأن الجزء العلوي من الجسم المعدني يحصل له تأكسد ويحصل ترشيح وإزالة لمعظم العناصر المهمة وتحركها نحو الأسفل إلى مستوى المياه الجوفية، المواد المتبقية خلفها في الجزء العلوي هي اكاسيد الحديد مكونة ترسبات اقتصادية متخلفة Residual deposits، هذه الترسبات يطلق عليها اسم Gossan أو قبعة الحديد وعادة تحصل هذه الحالة في الصخور الكربونية. شكل رقم (25-2) مقطع عرضي لأحد العروق المعدنية المكونة لترسبات الكوسان Gossans.



شكل رقم (25-2) مقطع عرضي لعرق معدني يوضح ميكانيكية تكون ترسبات ال Gossans

المصدر (Evans, 1986, p.186)

(2-2-4) الترسبات المعدنية اعتمادا على أصل نشوء الترسبات، موقعها، والمحتوى المعدني لها

كثير من الترسبات المعدنية تشترك في صفات عديدة وممكن أن تنشأ من أصول مشتركة، إذ لا يمكن إيجاد حدود واضحة بين مجموعة وأخرى خاصة في المعادن المشتقة من أصل ناري أو حراري فهناك أنواع محددة في موقع معين من هذه الترسبات تحتوي على مجموعة معادن تنشأ في ظروف مختلفة من ضغط ودرجة حرارة وموقعها من سطح الأرض.

إن التصانيف الحديثة التي تم تطويرها تعتمد على الأصل وعلى الظروف الترسيبية التي اشتقت منها هذه الترسبات المعدنية، لحد ألان لا يوجد تصنيف عالمي مقبول عالميا يمكن على أساسه الاعتماد في تصانيف تستخدم حاليا في أعمال جيولوجيا المناجم والاستخراج المعدني وهي :-

1- التصنيف الأوربي أو تصنيف (نيكليز) Nigglis classification

2- تصنيف شنايدرهونز Schnider hohn's classification

3- التصنيف الأمريكي أو تصنيف ليندكرن Lindgren classification

نستعرض فيما يلي هذه التصانيف التي تكون على شكل جداول دون إجراء أية مقارنة فيما بينهما.

جدول رقم (1 – 2)

1) تصنيف نيكليز Nigglis أو التصنيف الأوربي

1- الترسبات الجوفية أو المقحمة Plutonic or Intrusive

أ- مشتقة من الصهير الناري Orthomagmatic

1- الماس، بلاتين والكروم.

2- تيتانيوم – حديد – نيكل – نحاس.

ب- مشتقة من الصهير بعمليات تبادل الغازات أو الأنشطة الكيمياوية عن طريق الأبخرة الصادرة من الصهير في نهاية مرحلة التصلب Pneumatolytic or pegmatitic

1- معادن ثقيلة – القلويات الأرضية – فسفور – تيتانيوم

2- سيلكون – فلور – بورون – قصدير – تنكستن

2- المحاليل الحرمائية Hydrothermal

1- حديد – نحاس – ذهب – ارسنك.

2- رصاص – زنك – فضة.

3- نيكل – كوبالت – أرسنك – فضة.

4- كاربونات – اكاسيد – كبريتيدات – فلورايد.

3- الترسبات البركانية أو السطحية Volcanic or extrusive

1- قصدير – فضة – بزموث.

2- فلزات ثقيلة.

3- ذهب – فضة.

4- زئبق – انتيموني.

5- نحاس حر.

6- ترسبات بايوكيميائية أو ترسبات بسبب وجود المياه.

جدول رقم (2 – 2)

2) تصنيف شنايدرهونز Schneiderholn's

هو تصنيف شائع في أوربا وتم اعتماد هذا التصنيف للأسباب التالية:-

أ- طبيعة المحاليل الحاملة للخامات.

ب-المعادن المرتبطة مع الخامات.

ت- تم التفريق بين الترسبات العميقة والترسبات السطحية.

ث- التميز بين الترسبات، هل هي حاضنة للمعادن ام ترسبات عميقة.

I- الترسبات المقحمة والمتكونة من الصهير السائل.

II- الترسبات المتكونة بفعل الأنشطة الكيميائية التي تحصل بين المعادن في الصخور والابخرة أو السوائل الصهيرية التي تحدث في المراحل الأخيرة من عمليات التصلب، أو قد تحدث في الصخور النارية نفسها.

أ- العروق البكماتية.

ب-العروق المتكونة بفعل أنشطة وابخرة غازية وكيمياوية.

ج – إحلال بفعل الأبخرة والغازات.

II- ترسبات حرمائية Hydrothermal deposits

أ- ذهب – فضة.

ب-حديد – نحاس.

ج – رصاص – فضة – زنك.

د- فضة – كوبالت – نيكل – بزموث – يورانيوم.

هـ- قصدير – فضة – تنكستن – بزموث.

و- زئبق – ارسنك – سيليينوم.

ي – معادن غير كبريتيدية.

ع- معادن غير فلزية.

III- ترسبات متكونة بسبب عمليات لفظ الغازات Exhalation

جدول رقم (3 – 2)

تصنيف ليندكَرن المحدَّث أو التصنيف الأمريكي

I- ترسبات تنشأ بعمليات تركيز كيميائية، درجة الحرارة مختلفة.

أ- ترسبات من الصهير البركاني بعمليات الفصل.

1- ترسبات صهيرية، ترسبات صهيرية بعمليات الفصل، ترسبات مقحمة درجة الحرارة (– 700 1500 c^o)، ضغط عالي جدا.

2- ترسبات بكماتاتية، درجة حرارة عالية، ضغط عالي جدا.

ب- ترسبات في بنية الصخور.

- ترسبات ناتجة من عمليات تركيز من مواد غريبة عن الصخور الحاضنة.

1- ترسبات ناتجة من انفجار الصخور النارية Eruption.

أ- ترسبات بركانية، ترسبات مرتبطة مع الركام البركاني، درجة الحرارة من (c^o 600 – 100)، ضغط معتدل.

ب-ترسبات ناتجة من عمليات الإراقة effusive، التسامي Sublimates الأبخرة، درجة الحرارة (c^o 600 – 100)، ضغط معتدل.

ج – ترسبات ناتجة من الأجسام المقحمة، ترسبات متحولة من اصل نارية درجة الحرارة (– 500 800 c^o)، ضغط عالي جدا.

2- ترسبات مشتقة من صعود المياه نحو الأعلى سواء كانت من أصل صهيري، متحول، مياه بحار، مياه طبيعية وجوفية.

أ- ترسبات حرمائية Hydro thermal على عمق كبير جدا بدرجة حرارة ($300-500c^o$) وضغط عالي جدا

ب- ترسبات حرمتوسطية Meso thermal، على عمق متوسط بدرجة حرارة ($200-300c^o$) ضغط عالي

ح- ترسبات حرضحلية Epithermal، تتكون من عمق بعيد جدا بدرجة حرارة ($50-200c^o$) وضغط متوسط

د- ترسبات حرنائية Tele thermal،تترسب من المحاليل القريبة بدرجة حرارة وضغط قليلة،

هـ- ترسبات حرغريبة Xeno thermal، تترسب على عمق بسيط بدرجة حرارة عالية أو مختلفة من عالي إلى واطئ وضغط معتدل

3- ترسبات من أصل حركة المحاليل على أعماق متوسطة إلى بسيطة بدرجة حرارة $100c^o$ وضغط معتدل

- ترسبات تنشأ بعمليات تركيز للمواد في البنية الجيولوجية نفسها.

1- تركيز بعمليات تحول أو عمليات ديناميكية طبيعية، درجة الحرارة $400c^o$ وضغط عالي

2- تركيز نتيجة حركة المياه الجوفية على أعماق بعيدة، درجة الحرارة ($0-100c^o$) وضغط معتدل

3- تركيز نتيجة تحلل الصخور وكذلك عمليات التجوية قرب السطح درجة الحرارة ($0-100c^o$) وضغط معتدل إلى طبيعي .

I – ترسبات تشتق من المياه

1– من أصل بركاني، من مياه العيون والينابيع المرتبطة بالعمليات البركانية، درجة الحرارة عالية إلى متوسطه وضغط معتدل إلى متوسط.

2–مشتقة من تفاعل المحاليل، درجة الحرارة ($0 - 70\ c^o$) وضغط معتدل

أ– تفاعلات عضوية

ب– تفاعلات لا عضوية

3– بعمليات التبخير.

II– ترسبات تشتق بعمليات تركيز ميكانيكية، درجة الحرارة والضغط من قليل إلى معتدل.

إن الخصائص والصفات التي اعتمدت في هذه التصانيف هي العمق الذي تكونت فيه، درجة الحرارة وكذلك اعتمادا على نوع التمعدن والمعادن المرتبطة مع أو المكونة لهذه الترسبات .يمكن ملاحظة بعض المعادن التي لها استقرارية عالية تحت ظروف ترسيبية متباينة مثل الكوارتز والبايرايت تتواجد على امتداد أعماق بعيدة إلى الأعماق الضحلة القريبة من سطح الأرض. هناك ترسبات معدنية تعكس الظروف البيئية التي تكونت منها ولكنها نشأت وتواجدت في بيئات ترسيبية تختلف تماما عن أصل تكونها بسبب نقلها من مكان إلى أخر.

لا تزال هذه التصانيف تحتوي على قصور في تفسير تواجد وتكوين بعض المعادن النارية أو التجمعات المعدنية التي تتكون في ظروف بيئية مختلفة عن ما جاء ذكره في هذه التصانيف.

تصنيف ليندكَرن Lindgren لا يزال لحد ألان محض اهتمام الجيولوجيين والباحثين في اختصاص الخامات لأنها تعطي صورة واضحة عن صفات وخصائص الخامات والترسبات المعدنية الموجودة في القشرة الأرضية ، نلاحظ في هذا التصنيف تم تصنيف ترسبات Epigentic – hydr thermal الحرمائية السطحية اعتمادا على العمق ودرجة الحرارة التي تكونت بها هذه الترسبات في حين إن الترسبات الحرعميقة Hypothermal صنفت على أنها مشتقة من الأعماق البعيدة ودرجة الحرارة العالية، ترسبات الحر متوسطية Mesothermal مشتقة من درجة حرارة واطئة وعمق متوسط، بينما صنفت الترسبات الحرضحلية Epithermal بأنها متكونة قرب سطح الارض.

تم إدخال مصطلح ترسبات حرسطحية Lepto thermael لكي تغطي الترسبات التي تتدرج من صفات ترسبات حرمتوسطية Mesothermaal إلى ترسبات حرضحلية Epithermal ومصطلح ترسبات حرنائية Telethermal أصبح يطلق على الترسبات التي تتكون في درجات الحرارة الواطئة جدا التي تتكون بعيدا عن مصدر المحاليل الحر مائية Hydrothermal Solution التي تشتق منها أصل نشوء هذه الترسبات.

في الحقل يمكن التمييز بين هذه الأنواع من الترسبات من خلال دراسة التجمعات المعدنية المكونة لهذه الترسبات وكذلك نوع الصخور الحاضنة لها. من خلال دراسة هذه التصانيف يمكن

معرفة موقع وامتداد هذه الترسبات من ناحية محدودية واستمرارية العمق والمساحة لها أو تعطي أحيانا دليل على وجود معادن مصاحبة أو مرتبطة مع هذه الترسبات.

التصنيف التالي يلقي الضوء على الترسبات المعدنية حسب موقعها من القشرة الأرضية والذي يعتبر ملخص أو مختصر لتصنيف ليندكَرن Lindgren (جدول4 – 2).

جدول (4 – 2) ملخص تصنيف ليندكَرن

الخصائص العامة للترسبات الحر عميقة Hypothermal

العمق: (3000 – 15000) متر

درجة حرارة التكون: (300 – 600) م^{o}

التواجد: قرب الصخور الحامضية الجوفية، تظهر في المناطق الشديدة التعرية خاصة في عصور ما قبل الكامبري.

الخامات المدنية: ماكنيتايت، بيروتايت، كاسيتيرايت، ارسينوبايرايت، موليبيدينايت، بورنايت، جالكوبايرايت، وولفرومايت، بايرايت، كالينا، شيلايت. ذهب.

العناصر: As, Zn, pb, Cu, w, Mo, Sn, Au

النسيج: تحبب خشن جدا ومخططة تكراريا، تتغير الصفات النسيجية مع العمق.

مثال: الذهب في هومستيك / داكوتا

الذهب في بحيرة كرينلاند / أونتاريو

النحاس– الذهب في روبن / كندا

الخصائص العامة للترسبات الحرمتوسطة Mesothermal

العمق: (1200 – 4500) متر

درجة حرارة التكون: (200 – 300) م^{o}

التواجد: توجد بصورة عامة قرب الصخور النارية الجوفية المقحمة واحيانا ترتبط مع الكسور والصدوع التكتونية.

الخامات المعدنية: ذهب، جالكوبايرايت، برومايت، بايرايت، سفلرايت، كَالينا، بجبلند، كوبلتايت، أملاح كبريتيدية.

العناصر: Ni, Zn, pb, As, Cu, Ag, Au, U, Mo, w, Co

النسيج: التحبب اقل خشونة، العروق حزمية الرواسب العدسية تكون عادة كتلية.

مثال: الذهب في بنديكو / استراليا

الفضة في مدينة كوبالت / أونتاريو

النحاس في بوت / مونتانا

الخصائص العامة للترسبات الحرضحلية Epithermal

العمق: (قرب سطح الأرض – 1500) متر

درجة حرارة التكون: (50 – 200) م°

التواجد: في الصخور الرسوبية والنارية وخاصة ارتباطها مع الصخور النارية المقحمة قرب سطح الارض. توجد غالبا في الفوالق والفواصل الاعتيادية.

الخامات المعدنية: الذهب، الفضة، النحاس، بايرايت، بزموث، ماركسايت، سفاليرايت، كالينا، جالكوبايرايت، سينابار، ستيبنايت، ارجنتايت، تيلورايت.

العناصر: Au, pb, Zn, Ag, Hg, sb, Cu, Se, Bi, U.

النسيج: شيوع صفة التقشر والأحزمة تكون دقيقة والخامات مشابهة لشكل عرف الديك Cockade تكون الفجوات والبريشيا في العروض المعدنية، حجم حبيبات الخام يكون متنوع.

مثال: الذهب في كوستوك / نيفادا

النحاس في كويناوات

الانتيموني في الصين

الخصائص العامة للترسبات الحرنائية Telethermal

العمق: (قرب سطح الأرض)

درجة حرارة التكون: ± (100) م°

التواجد: في الصخور الرسوبية وفي الطفح البركاني، وفي المناطق التي تختفي فيها ظاهريا الصخور النارية الجوفية.

الخامات المعدنية: كَالينا سفالرايت، سينابار، ماركسايت.

العناصر: Hg, Ge, Cd, Zn, pb

النسيج: مشابه للرواسب الحرضحلية.

مثال: ترسبات الرصاص – خارصين / تراي ستين – امريكا

ترسبات الزئبق.

(2-3) نمذجة الترسبات المعدنية Sampling of Mineral Deposite

إن عملية فهم ودراسة أي ترسبات معدنية تتطلب الحصول على معلومات وافية حول الظروف الترسيبية التي أدت الى نشوء هذه الترسبات، تراكيزها، حجمها وامتداداتها، وبذلك فان دور الجيولوجي هو توفير وجمع أدلة حقلية ومختبريه حول آلية نشوء وتكوين هذه الترسبات. إن الخطوات المهمة والأساسية هي عمليات إجراء نمذجة لهذه الترسبات المعدنية والتي تعتبر المفتاح الرئيسي في دراستها وفهم طبيعتها، خصائصها مميزاتها وتحديد امتداداتها الجانبية والعمودية وبالتالي التعرف على درجة تركيزها من المعادن والعناصر الاقتصادية.

يجب إعطاء عملية النمذجة اهتمام وحرص كبيرين وذلك لغرض الاطمئنان على سلامة عملية النمذجة. يجب ان يكون النموذج المستحصل ممثل للترسبات المعدنية وعدم انحيازه باي شكل من الأشكال باتجاه ممكن ان يؤثر على واقعية ومعقولية هذا التمثيل مع ضمان عدم الانتقاء عند إجراء عملية النمذجة. يمكن الاعتماد على النماذج في الحصول على مؤشرات ومعطيات استكشافية في تقييم الترسبات المعدنية. وتحديد امتداداتها وسمكها ودرجة تركيز الخام مع الخصائص الهندسية والتعدينية التي تقود باتجاه القرار في استثمار هذه الترسبات ام لا.

نستعرض هنا اهم أنواع وطرق النمذجة التي تستخدم بصورة كبيرة وواسعة في عمليات تقييم الترسبات المعدنية وهي كما يلي:-

1- النماذج اللبابية Core Samples

هي النماذج التي يتم جمعها واستخراجها بواسطة حفر الآبار الاستكشافية اللبابية، تتم هذه الحالة عندما تكون الترسبات المعدنية مطورة تحت سطح الأرض بإعمال لا يمكن الوصول اليها بإعمال حفر يدوية أو ميكانيكية. قطر النماذج اللبابية عادة تتراوح من عدة سنتمترات الى حوالي عشرة سنتمتر ويستخرج بأطول مختلفة وذلك اعتمادا على عدة عوامل هي:-

أ- صلابة وتماسك الترسبات المعدنية.

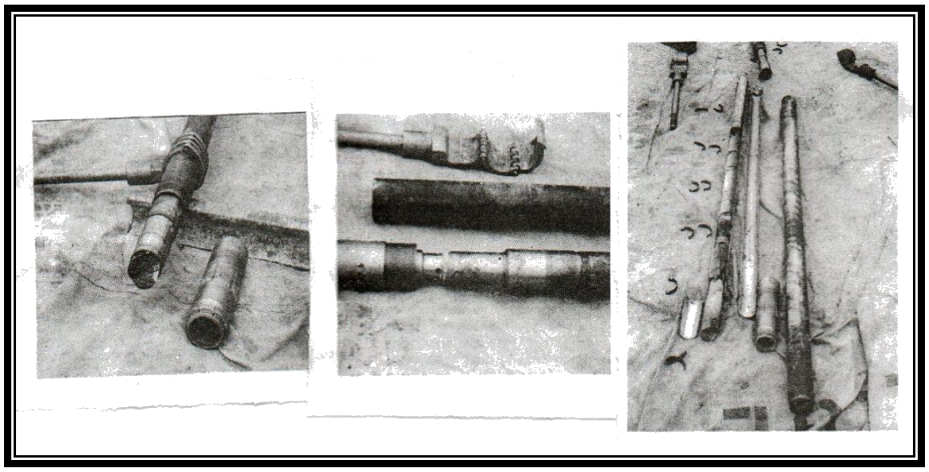
ب-تقنية الحفر المستخدمة وطبيعة **الآلات** والمعدات المتوفرة.

ج-الهدف من عمليات التحري والاستكشاف المعدني.

د- الكلفة الاقتصادية اللازمة لتغيير برنامج الحفر الاستكشافي.

يتم تقسيم النموذج أللبابي الى عدة أقسام، القسم المهم هو القسم الطولي الأول لأغراض التحليل والفحوصات الكيماوية والهندسية لتحديد مكوناته المعدنية والفيزيائية والقسم الثاني يتم الاحتفاظ به لكي يكون مرجع (Reference) للرجوع اليه عند الحاجة المستقبلية. من العوامل المهمة التي تجدر الإشارة اليها التي ترتبط بالحفر أللبابي هي نسبة استرجاع اللباب (Core Recovery factor %) وهي التي تمثل نسبة اللباب الحقيقي المسترجع أو المستخرج من الحفر الى السمك الحقيقي الذي تم حفره في الطبقة المستهدفة أو المتمعدنة، حيث تكون نسبة اللباب المستخرج كاملا (% 100) اذا

لم يوجد هناك أي فقدان لأي من سمك الطبقة التي تم حفرها وتقل النسبة عن ذلك في حالة وجود فقدان لجزء من سمك الطبقة لثناء أعمال الحفر، ذلك يعود لأسباب تتعلق بكفاءة عملية الحفر، مهارة الحفار القائم بأعمال الحفر وكذلك الصفات الصخارية والفيزيائية وصلابة وتماسك الطبقة المتمعدنة. تعتبر نسبة الاسترجاع عامل مهم جدا في أعمال التقييم المعدني للترسبات المعدنية، يجب ان تصحح النتائج في حالة وجود فقدان نسبة معينة الى السمك الحقيقي الذي تم حفره في البئر الاستكشافي. شكل رقم (26 – 2) نماذج من اشكال معدات الحفر اللبابية مختلفة الاقطار.



شكل (26 – 2) نماذج مختلفة لمعدات الحفر اللبابي

المصدر: (Hoek & Brown, 1982, p: 49 M1MM)

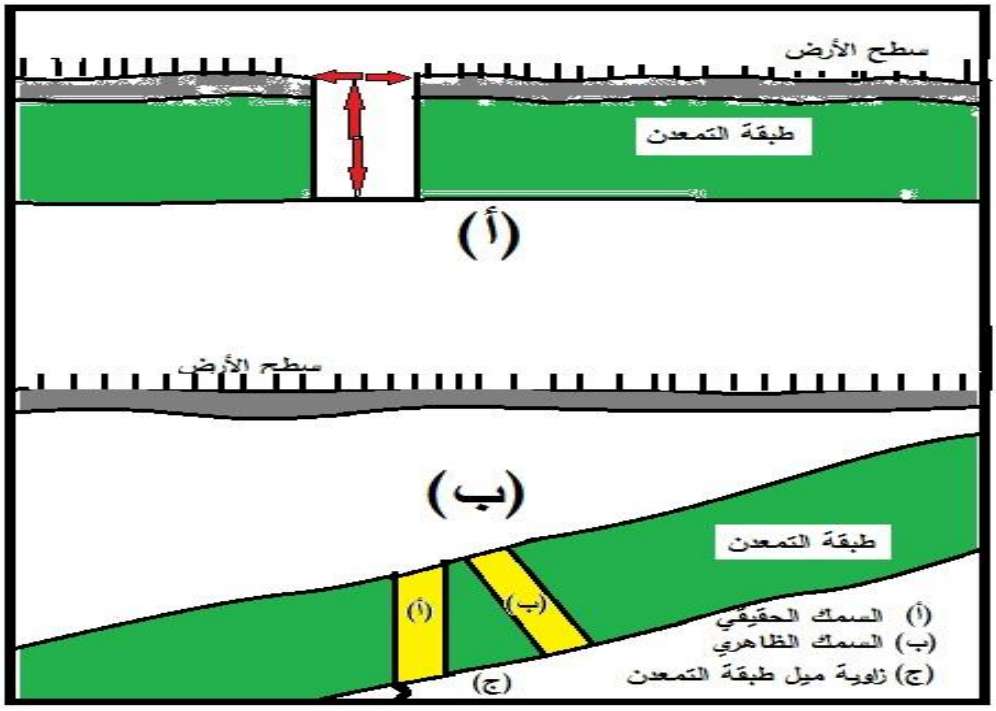
2- النماذج القناتية Channel Samples

هي تلك النماذج التي يتم جمعها من الترسبات المعدنية التي تتكشف مقاطعها على سطح الأرض بواسطة أعمال حفر خنادق (Trenches) أو بواسطة عمل حفر (pits) استكشافية أو يتم جمع هذه النماذج على طول واجهات الأشغال المنجمية (Surface Mining). باستخدام هذه الطريقة يتم حفر قناة استكشافية على سطح الطبقة المتمعدنة وبصورة عمودية على مضرب التمعدن Strike أي باتجاه الميل الحقيقي للطبقة لضمان تمثيل السمك الحقيقي للتمعدن وفي حالة تعذر ذلك يتم حفرها شاقوليا ثم تحسب زاوية الميل ويصحح بموجبها السمك الظاهري لاحتساب السمك الحقيق لطبقة التمعن باستخدام المعادلة التالية:-

السمك الحقيقي = السمك الظاهري × جتا زاوية الميل

كما هو موضح في الشكل (27–2). يتراوح عرض القناة من (25–20) سنتمتر أو حسب المعدات اليدوية المستخدمة من الحفر وتكون على عمق (5) سنتمتر أو أكثر لضمان ظهور السطح الحقيقي للتمعدن غير المتأثر بالتجوية وعندئذ يتم جمع نماذج صخرية على طول سطح القناة وتوضع في كيس خاص للنماذج وترقم حسب رقم القناة. تتباعد القنوات فيما بينهما بمسافة (50) متر تقريبا

في حالة الترسبات المتجانسة وتقل هذه المسافة إلى حوالي (10) عشرة متر في حالة الترسبات غير المتجانسة.



شكل رقم (27 – 2) السمك الحقيقي والسمك الظاهري

3- النماذج الحتاتية Chips Samples

هذا النوع من النماذج يتم بواسطة اخذ قطع صغيرة (حتات) وبصورة مستمرة على طول خط أو مقطع يمر على مكشف التمعدن ويجمع الحتات كنموذج يمثل طبقة التمعدن على طول هذا الخط وهكذا ... بالنسبة لموقع آخر، أو في حالة أخرى يتم جمع نماذج عشوائية من مواقع مختلفة من مكاشف الجسم المعدني حيث تعتبر بأنها ممثلة لمجمل الطبقة المعدنية أو الجسم المعدني. هذه الطريقة يتم إجراؤها في المراحل الأولية من عمليات الاستكشاف المعدني لغرض الحصول على النتائج الأولية بأسرع وقت ممكن وبأقل كلفة اقتصادية.

4- أنواع أخرى من النماذج Another kind of Samples

هناك طرق وأساليب عديدة يتم بواسطتها جمع نماذج من الترسبات المعدنية وعادة ما تؤخذ بشكل عشوائي ودوري بصورة مستمرة على طيلة أيام العمل الحقلي الاستكشافي أو ألمنجمي وذلك إما أن تؤخذ من العربات المنجمية المحملة بالمواد الخام وتسمى (Mine ore Sample) أو من عجلات التحميل وتسمى (Muck Sample) وعادة تستخدم هذه النماذج للسيطرة على عمليات الاستخراج أو الإنتاج ألمنجمي لغرض توجيه أعمال القلع والاستخراج. من الجدير بالذكر ان نشير هنا الى ضرورة إجراء عملية توثيق للنماذج المأخوذة من منطقة الدراسة وذلك بالاعتماد على بطاقات

خاصة تسمى (Sample Card) يتم فيها تسجيل كافة المعلومات الخاصة بالنموذج مثل موقعها على الأرض أو الإحداثيات ورقمه واسم المنطقة...

إلى غير ذلك من المعلومات الاسترشادية والتي تعتبر مهمة جدا وبدونها يفقد النموذج قيمته العلمية، هنالك عدة أساليب خاصة بعمليات وإجراءات التوثيق وتسجيل المعلومات جميعها تصب في اتجاه الاستفادة من كافة النتائج المستحصلة من النموذج في المراحل اللاحقة من عمليات دراسة وتقييم الترسبات المعدنية. الشكل رقم (28–2) يمثل نموذج بطاقة توثيق النماذج.

بطاقة توثيق النماذج

الموقع/منطقة العمل .....

رقم النموذج .....

تاريخ النمذجة.....

نوع النموذج.....

1 . –نموذج لبابي( ) رقم البئر ( )
العمق من ( ) إلى ( )
2 . نموذج فتاتي ( ) رقم الخندق ( )
3. نموذج عشوائي ( )

الإحداثيات

التحليلات الكيميائية

الملاحظـــات

توقيـــع المســـؤول

شكل رقم (28–2) بطاقة توثيق النماذج

(2-4) كثافة الترسبات المعدنية Ore deposits Density

إن تعيين كثافة الترسبات المعدنية أو الصخور عامل مهم في مجال الدراسات الجيولوجية والتقييمية، يتم من خلالها التعرف على طبيعة هذه الترسبات وخصائصها الفيزيائية والميكانيكية، مقدار الكثافة احد المؤشرات التشخيصية التي تستخدم في التعرف على طبيعة المعادن والخامات وهي كذلك احد عناصر المعادلة الرياضية التي تستخدم في حساب احتياطي الخامات التي تتضمن حساب حجم الخام ومن ثم تحويله الى وزن باستخدام معدل الكثافة.

توجد نوعين من الكثافة :-

1-الكثافة الحجمية Bulk density

تعرف الكثافة الحجمية بأنها كتلة وحدة حجميه من الخام أو الصخور أو بكلام أخر هي وزن وحدة الحجم المادة الصخرية في موقعها وتقاس بوحدات غم/سم^3 أو طن/م^3 ،وهي التي نهتم بها في تقدير احتياطات الخامات وإعمال الاستخراج ألمنجمي. يمكن إن تقاس هذه الكثافة موقعيا بواسطة إجراء حفر موقعي للخام أو للمادة الصخرية المراد معرفة كثافتها ويكون هذا الحفر بشكل هندسي منتظم لحجم معين كأن يكون متر مكعب أو نصف متر مكعب ويقاس بكل دقة ثم يتم وزن المواد المستخرجة من هذا الحجم بشكل دقيق، تحسب الكثافة وفق المعادلة التالية :-

$$\rho = \frac{w}{v}$$

الكثافة $\rho =$ ، **وزن المادة أو الكتلة** $w =$ ، **حجم المادة الصخرية** $v =$

ويقصد بحجم المادة الصخرية هو الحجم الطبيعي الحقيقي للكتلة الصخرية بما تحويه من فراغات أو مسامات.

2-الكثافة الكتلية Mass Density

تعرف الكثافة الكتلية بأنها كثافة المادة في حالتها الصلدة والمتراصة بدون مسامات أو فراغات في الكتلة الصخرية وتقاس أيضا بوحدات غم/سم^3 أو طن/م^3. لغرض تعيين هذه الكثافة يتم اخذ نموذج محدد من الكتلة الصخرية ثم يطحن هذا النموذج بدرجة ناعمة جدا لإزالة تأثير المسامات والفراغات من حجم الكتلة الصخرية أو بذلك يكون حجم الكتلة في هذه الحالة اقل بمقدار معين يمثل حجم المسامات عما هي في الحالة الطبيعية في للكتلة الصخرية. إن قيمة الكثافة الحجمية تكون اصغر من الكثافة الكتلية لنفس المادة.هذه الكثافة تستخدم لأغراض المعالجة والاستخلاص المعدني للمعادن والفلزات من الخامات. لغرض

تعيين قيمة الكثافة الكتلية يتم وزن النموذج بعد الطحن ويعين الحجم له بطريقة الإزاحة وتطبق عليه نفس المعادلة السابقة $\rho = \frac{w}{v}$

(2-5) نظام شبكة مواقع النمذجة Sampling grid system

عندما تخضع أية منطقة مستهدفة لعمليات دراسة وتحري جيولوجي أو عمليات استكشاف للبحث عن الترسبات المعدنية، يتم إعداد نظام لتوزيع مواقع نقاط القياس الاستكشافية كأن تكون (مواقع أبار، خنادق، نمذجة، نقاط قياس جيوفيزيائية... الخ) التي تعتبر المفتاح الأساسي في الحصول على المعلومات الاستكشافية والمعدنية اللازمة لتقييم هذه المواقع المختارة يتم وفق الاعتبارات التالية :-

1- الهدف من إجراء العمليات الاستكشافية.
2- عمق وامتدادات الترسبات العدنية.
3- الظروف الترسيبية والجيولوجية للمنطقة التي تحكم أو تسيطر على نشأة هذه الترسبات.
4- الكلفة الاقتصادية اللازمة لتنفيذ المشروع الاستكشافي.
5- الطبوغرافية والتضاريس الأرضية.

ان شكل ونمط توزيع مواقع النمذجة يسمى شبكة النمذجة (Sampling Grid) وهي توضح كيفية توزيع نقاط النمذجة والمسافات البينية بينهما، هناك أنواع عديدة من أنظمة شبكات النمذجة وهي:-

1- نظام الشبكة المربعة Square Grid system

في هذا النظام يتم توزيع نقاط النمذجة بشكل منتظم وبمسافات بينية متساوية بحيث تشكل مواقع النماذج رؤوس مربعات كما في الشكل رقم (2-29a). يتم الاعتماد على هذه الشبكة في حالة الترسبات المعدنية الطباقية Stratiform أو الترسبات المتجانسة ذات الامتداد الواسع.

2- نظام الشبكة المستطيلة Rectangular grid system

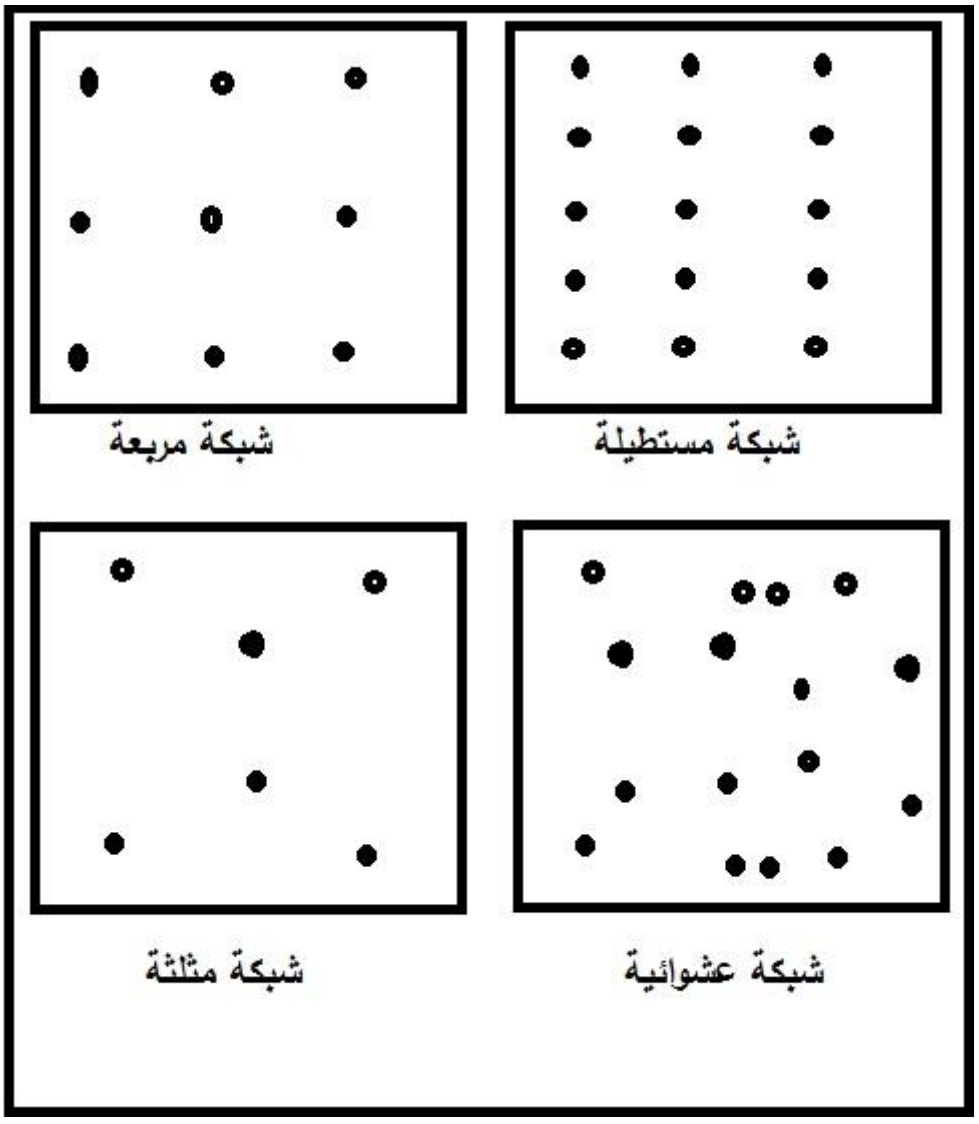
في هذا النظام يتم توزيع نقاط النمذجة بمسافات بينية متساوية باتجاه معين وبالاتجاه الأخر تكون هذه المسافات أيضا متساوية بين النماذج ولكن بمسافات فاصلة بينهما اكبر أو اقل من الاتجاه الأخر. أي ان نقاط النمذجة تشكل رؤوس مستطيل كما في الشكل (2-29b) هذه الشبكة تلاءم الترسبات المعدنية التي تتواجد على شكل مستطيل (Elongated deposits) مثل الترسبات العرقية Vein type أو الترسبات النهرية.

3- نظام الشبكة المثلثة Triangular grid system

في هذا النظام تتوزع نقاط النمذجة بمسافات بينية متساوية وتشكل رؤوس مثلثات شكل (2-29c) وتلاءم هذه الشبكة الترسبات المعدنية الطباقية.

4- نظام الشبكة العشوائية Random grid system

يتم توزيع نقاط النمذجة في هذا النظام بشكل غير منتظم (عشوائي) حيث تكون المسافات البينية بين نقاط النمذجة غير متساوية، يتم تطبيق هذا النظام في حالة عدم إمكانية استخدام أي من أنظمة النمذجة السابقة لأسباب تتعلق بعدم تجانس الترسبات المعدنية أو تعقيدات طبوغرافية المنطقة.



شكل رقم (29-2) انواع شبكات مواقع النمذجة

إن تصميم شبكة مواقع النمذجة عند تطبيق برامج الاستكشاف المعدني للبحث عن الترسبات المعدنية يجب مراعاة الترسبات التالية:-

1-تحقيق دقة عالية في النتائج المستحصلة.

2-تنفيذ العمل بأقل كلفة اقتصادية ممكنة.

3-تنفيذ حفر اقل عدد من الآبار للحصول على نتائج جيدة تفي بمتطلبات المعرفة حول الترسبات المعدنية.

4-سرعة انجاز العمل واختصار الوقت اللازم لتنفيذ البرنامج.

5-دراسة شكل وجم الترسبات المعدنية المتوقعة.

6-تحديد المسافات البينية بين مواقع النمذجة أو القياسات على ضوء مرحلة الاستكشاف، وتقل هذه المسافات في حالة الدراسات التفصيلية.

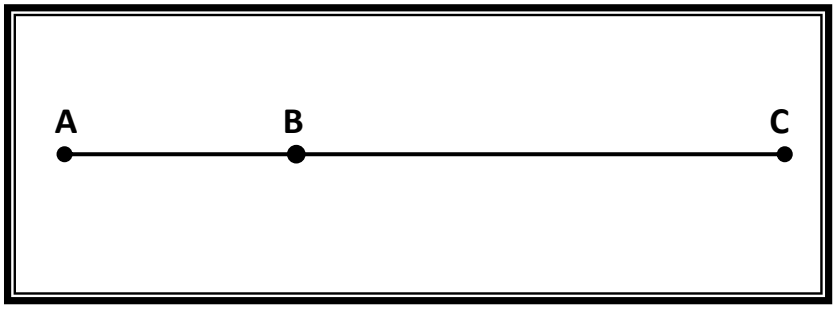
(2-6) مدى التأثير ألموقعي للنموذج Rang of Influence

كما تم ذكره في الفقرات السابقة عن كيفية توزيع مواقع النماذج في الأنظمة انفه الذكر فان أي مشروع جيولوجي يتضمن دراسة واستكشاف أية ترسبات معدنية فأنها تخضع لعملية نمذجة وفق نظام محدد. يتم بموجبه تحديد المسافات البينية بين النماذج، هذه المسافات تختلف باختلاف مراحل الاستكشاف وتقل هذه المسافات وتزداد كثافة النماذج في وحدة المساحة مع تقدم مراحل الاستكشاف، عليه يجب دراسة وفهم مدى تأثير كل نموذج حول موقعه وتأثير في وحدة المساحة، بكلام آخر إلى أي مدى ممكن أن يمتد تأثير هذا النموذج إلى النموذج المجاور؟ هذا المفهوم يعبر عنه بمدى التأثير Rang of Influence وهي من المسائل المهمة التي يجب التعامل معها بجدية حيث كلما زاد تأثير النموذج حول موقعه كلما زادت الثقة بالنتائج المستحصلة لمعرفة امتدادات وتوزيع التمعدن ضمن الجسم المعدني.

سوف نتطرق هنا إلى بعض التطبيقات العملية التي تساعد على زيادة الاستيعاب بالنسبة للطلبة وامتلاك المهارة في التعامل مع كيفية تقييم الترسبات المعنية من النماذج محددة.

مثال تطبيقي رقم (1 - 2)

تم تحديد ثلاثة مواقع لنماذج هي (A, B, C) على طول مسار مسح جيولوجي استكشافي في منطقة معينة كما في الشكل رقم (1 – 2)



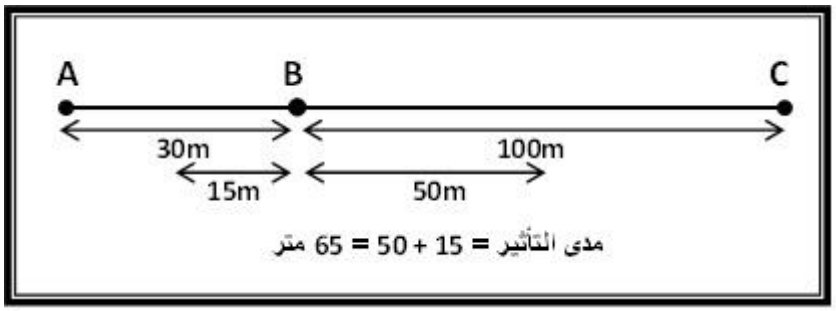
شكل رقم (29 – 2) مواقع نماذج على طول مسار جيولوجي

تتباعد هذه النماذج فيما بينهما بالمسافات التالية AB = 30 m و BC = 100 m.

المطلوب حساب مدى التأثير للمواقع (B) باتجاه موقع النموذجين A و C.

الحـــــــل:

ان مدى تأثير النموذج في الموقع (B) باتجاه الموقع (A) يمتد الى منتصف المسافة بين الموقعين B و A ويساوي (15) متر، كذلك فان مدى تأثير النموذج في الموقع (B) باتجاه النموذج في الموقع (C) يمتد الى منتصف المسافة بين B و C والذي يساوي (50) متر، ان اختيار منتصف المسافة هو الخيار الطبيعي والقاعدة السليمة الذي يسمح به للجيولوجي في التعامل مع تحديد مسافة التأثير في



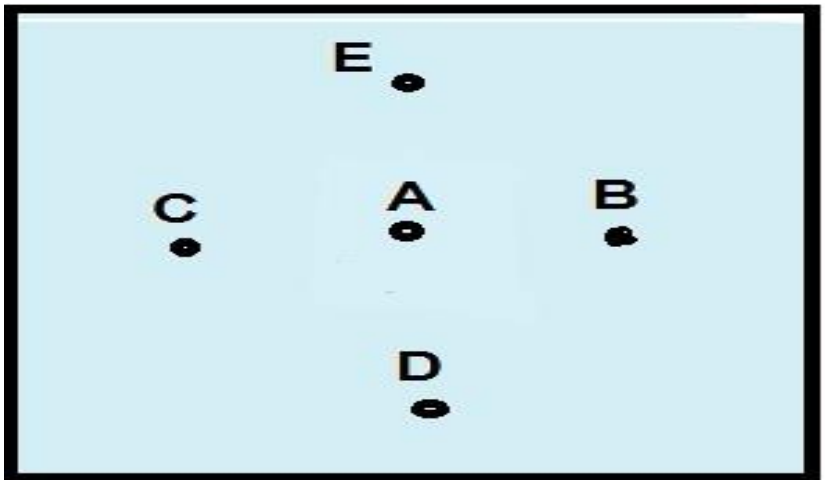
مواقع النمذجة لغرض وضع الحدود الاستكشافية أو امتدادات الخام المفترضة أو وضع حدود للتمعدن ...الخ وعليه فان مدى التأثير للنموذج في الموقع (B) نحو الموقعين (C و A) يساوي 65 متر كما موضح في الشكل أعلاه.

مثال تطبيقي رقم (2-2)

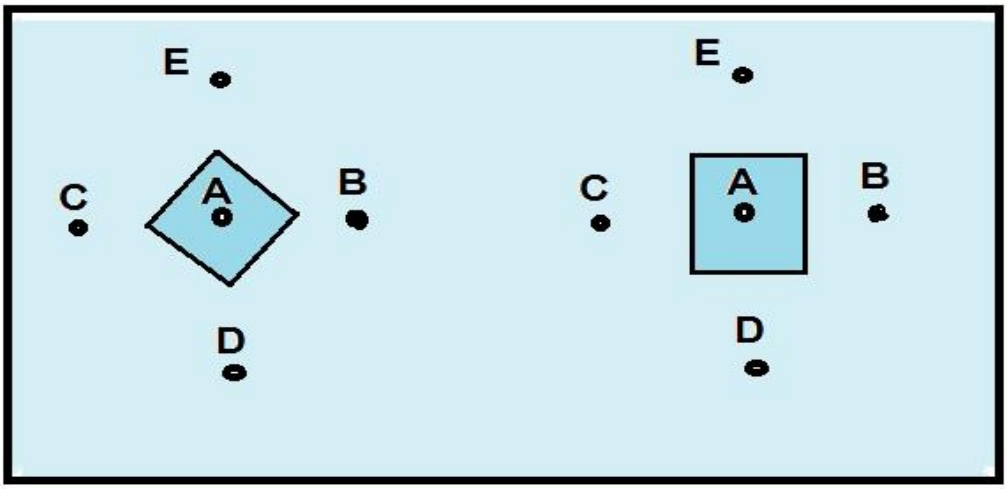
تم اختيار عدة مواقع للنمذجة وفق نظام الشبكة المثلثة كما في الشكل رقم (2-30)، تتباعد مواقع النماذج فيما بينهما بمسافات متساوية قدرها (100) متر. احسب مساحة تأثير النموذج في الموقع (A) على بقية مواقع النماذج.

الحـــــــل:

بما ان النموذج في الموقع (A) محاط بمواقع النماذج الأخرى وهي (B,C,D,E) وعليه فان مدى تأثير النموذج في الموقع (A) باتجاه هذه المواقع يمتد الى منتصف المسافة باتجاه هذه النماذج كما في الشكل (a,b 30-2). يتم رسم أعمدة على النقاط المنصفة لهذه المسافات لنحصل على مربع طول ضلعه يساوي (50) متر.هذا المربع يمثل مساحة تأثير النموذج (A). يمكن بطريقة ثانية إيصال المنتصفات بخط فيما بينهما لنحصل على مربع ولكن بمساحة اقل ، تمثل مساحة تأثير الموقع (A) كما في الشكل (b 30-2).



شكل رقم (30-2) مواقع نماذج لنظام شبكة مثلثة



شكل رقم (31-2) تقدير مساحة التأثير

(2-7) تقدير مدى التأثير ألموقعي لقيمة النموذج

Rang of Influence of Sample Value

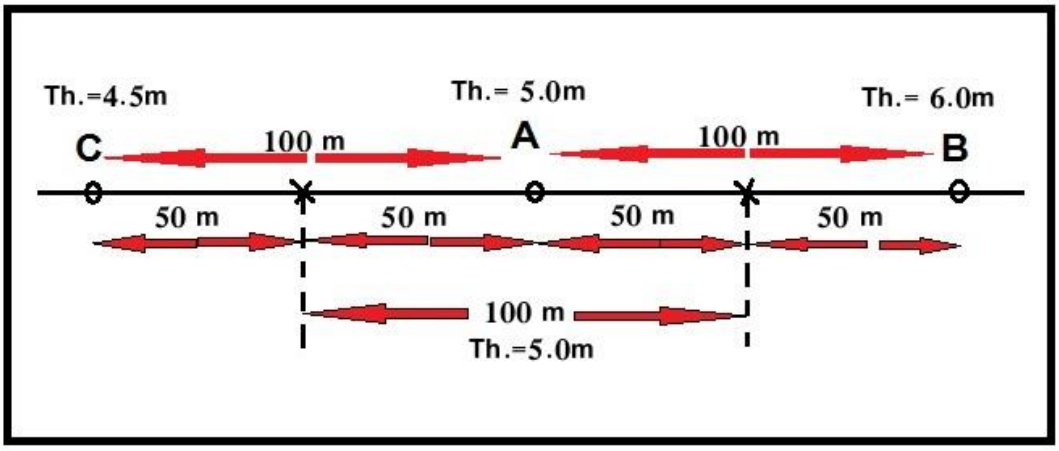
تضمنت الفقرة السابقة ان كل نموذج يمثل موقع مختار على سطح الأرض في منطقة الدراسة فوق الترسبات المعدنية يتم تحديده مسبقا على ضوء خطة وبرنامج عمل لتنفيذ المشروع الاستكشافي لهذه الترسبات. من كل نموذج يتم الحصول على عدة معلومات وبيانات مثل (سمك طبقة الخام، درجة تركيز الخام، طبيعة التمعدن، الصفات الفيزيائية والهندسية للخام...الخ). ان مدى تأثير كل متغير من هذه المتغيرات يمتد إلى مسافة محددة باتجاه النموذج المجاور وهذا الامتداد أو التأثير يعتمد بالدرجة الأساس على طبيعة تجانس هذه الترسبات، وبذلك لا يمكن أن نتحقق من نتائج مدى تأثير هذه النماذج بصورة مطلقة إلا بعد إجراء عمليات كشف واستخراج لهذه الترسبات ، وهذا الأمر غير معقول وغير منطقي ولا يمكن تحقيقه خلال مرحله الاستكشاف والتقييم المعدني ، وعليه لابد من إيجاد طريقة علمية أو وسيلة مقبولة لتقدير حدود مدى التأثير لقيم النماذج المستحصلة من مواقع النماذج بصورة دقيقة واقرب ما يمكن إلى الرقم الحقيقي وبدون مبالغة Exaggeration أو مجازفة

بحيث تعزز الثقة بدقة المعلومات والنتائج، لان أية معلومات خاطئة أو مبالغ فيها أو دون مستوى الرقم المطلوب تؤثر سلبا على الحسابات اللاحقة في دقة نتائج عمليات تقييم الترسبات المعدنية.

هنالك عدة طرق معتمدة لتقدير مدى تأثير قيمة كل نموذج حول موقعه باتجاه النموذج المجاور له واهما هي:-

1-طريقة التصنيف الجانبي Bilateral Intersection

تعتمد هذه الطريقة على فرضية إن خصائص ومواصفات الترسبات المعدنية تتغير بصورة منتظمة، ان نتائج التحاليل المستحصلة من كل نموذج كأن يكون سمك، درجة الخام، الكثافة.... الخ في الموقع (A) شكل رقم (32–2) تتغير بصورة منتظمة باتجاه الموقع للنموذج (B) وكذلك الموقع (C) لمسافة افتراضية اعتبرت منتصف المسافة بين (B,A) و (C,A) والتي تساوي (50) مترا هي الحد الفاصل لمدى تأثير النموذج (A) نحو اتجاه النموذجين C و B.



شكل رقم (32 – 2) مدى التأثير بطريقة التصنيف الجانبي

إن دقة التقدير بهذه الطريقة تعتمد على كثافة مواقع النمذجة بوحدة المساحة وهي أكثر ملائمة في حالة الترسبات المعدنية المتجانسة والطباقية دقة التقدير تعود الى مهارة وخبرة الجيولوجي ومدى فهمها لطبيعة جيولوجية المنطقة المستهدفة بالدراسة والعوامل الترسيبية والتركيبية المسيطرة على هذه الترسبات، مع ذلك تبقى المعلومات والنتائج المستنبطة من حساب مديات التأثير هي تخمينية وتقريبية Estimated وليست نتائج ذات قيم حقيقية أو مطلقة، زيادة الدقة والثقة بالنتائج تعتمد على زيادة عدد أو كثافة النماذج مع تقدم مراحل الاستكشاف والتقييم المعدني.

2-الطريقة الإحصائية Statistical Method

تعتمد هذه الطرقة في تقدير مدى تأثير كل نموذج حول موقعه وذلك بالاستفادة من نتائج كل نموذج في المواقع الأخرى المحيطة به والمراد حساب مديات التأثير بالتفاعل مع المعطيات والنتائج بين كافة النماذج وإدخالها في الحسابات باستخدام قوانين رياضية إحصائية، على افتراض ان كافة النماذج المأخوذة من الترسبات المعدنية والنتائج المستحصلة منها نخضع لتوزيع إحصائي يفترض ان كل نموذج يؤشر على النموذج المجاور اعتمادا على المسافة الفاصلة بين هذه النماذج بالإضافة إلى اتجاه كل نموذج بالنسبة إلى الأخر.

إن نظرية هذه الطريقة هي اقرب للواقع وان النتائج المستحصلة ذات دقة مقبولة على عكس طريقة التصنيف الجانبي حيث تتطلب هذه الطريقة في معالجة المعطيات خاصة اذا كانت كثيرة لتقدير مدى تأثير موقع كل نموذج على النماذج الأخرى. هناك طريقتين احصائيتين لمعالجة تقدير مدى تأثير النماذج بعضها على البعض الآخر وهي طريقة مقلوب المسافة وطريقة نصف التباين وفي ما يلي استعراض لهذه الطرق.

أ- طريقة مقلوب المسافة Inverse distance Method

تعتد هذه الطريقة في حساب مدى تأثير نتائج كل نموذج في موقع معين على معطيات النماذج في المواقع الأخرى استنادا على المسافة بين النماذج الفاصلة بينهما، تختلف مديات تأثير كل نموذج عن موقع النموذج المجاور حسب المسافة الفاصلة بينهما (d) وبصورة عكسية مع (1 / d)، لذلك سميت هذه الطريقة بمقلوب المسافة، حيث يكون مدى التأثير كبير بين النماذج عندما تكون المسافة الفاصلة بين مواقع النماذج القصيرة والعكس بالعكس، حيث يكون مدى التأثير قليل عند تكون المسافة الفاصلة بين النماذج الكبيرة. تسمى هذه الطريقة كذلك بطريقة التأثير الكروي (Sphere of Influence) لأنها تأخذ في الحساب تأثيرات المواقع الأخرى على كل نموذج في جميع الاتجاهات. شكل رقم (33 – 2) نلاحظ ان تأثير النموذج في الموقع (B) على الموقع (A) اكبر من تأثير الموقعين (C) و (D) وبشكل يتناسب عكسيا مع المسافات الفاصلة بينهما d_1, d_2 و d_3 على التوالي

تستخدم المعادة التالية:-

$$V=\frac{v_1/(d_1)^n+v_2/(d_2)^n+...+v_x/(d_x)^n}{1/(d_1)^n+1/(d_2)^n+...+1/(d_x)^n+}$$

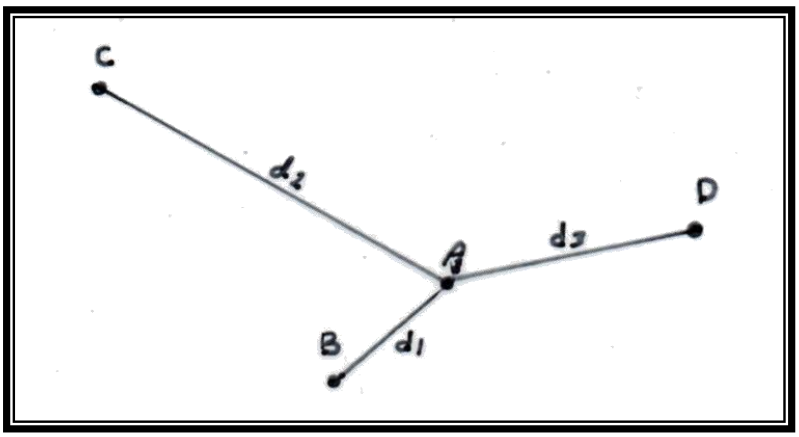
حيث ان:-

V = قيمة التغير المستحصل من النموذج (السمك، درجة التركيز) المطلوب حسابه في موقع معين

(v_1, v_2, v_3) = قيمة المتغير في مواقع النماذج المجاورة للمواقع المراد حساب معدل القيمة

(d_1, d_2, d_3) = مقدار المسافة التي تبعد بها المواقع الأخرى

(n)= الأس المرفوع له مقدار المسافة وتزداد دقة التقدير مع ارتفاع قيمة الأس



شكل رقم (33 – 2) تقدير مدى التأثير بطريقة مقلوب المسافة

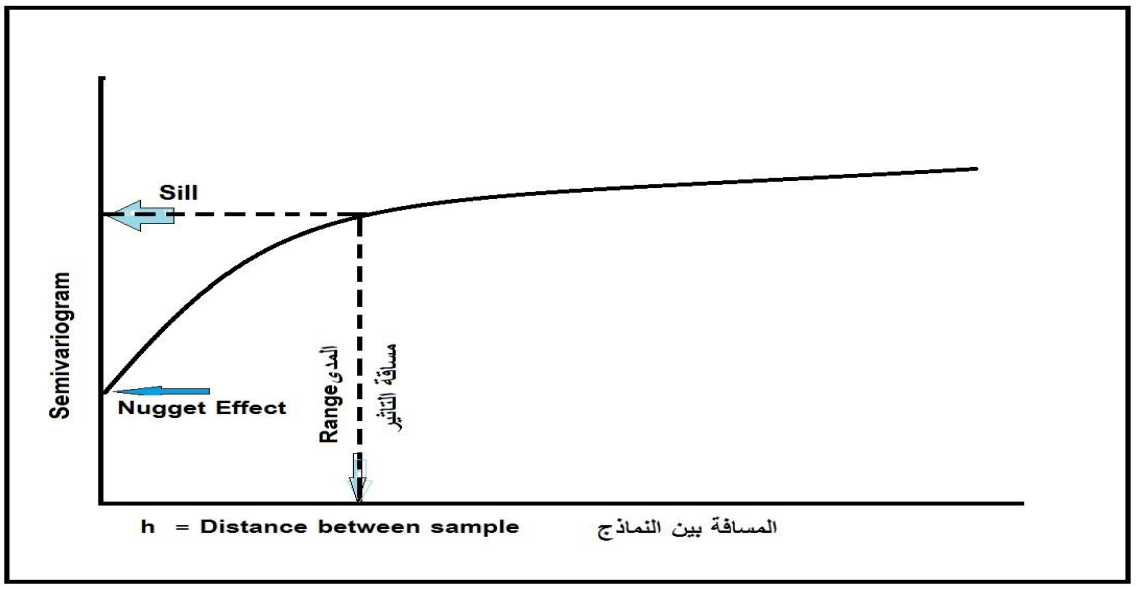
ب- طريقة نصف التباين أو Semivariogram

تعتبر هذه الطريقة من الطرق الإحصائية الحديثة والمتقدمة في معالجة النتائج الاستكشافية المستحصلة من النماذج أثناء مراحل الدراسات الأولية أو دراسات التقييم المعدني والجدوى الاقتصادية حيث لا بد من استخدام الحاسوب في معالجة هذه المعطيات باستخدام أنظمة معدة لهذا الغرض.

تعتمد هذه الطريقة على أساس ان موقع كل نموذج ضمن الجسم المعدني يمثل عنصر ضمن مجموعة إحصائية يختلف في القيمة لموقع نموذج آخر في هذا التوزيع الإحصائي. من الواضح ان موقع أي نموذج ضمن الجسم المعدني (x) والذي يبعد عن موقع نموذج آخر قدرها (x + h) بمسافة قدرها (h)، إن قيمة أي نموذج مثل (السمك، درجة التركيز، ... الخ) تتأثر بقيم النماذج المجاورة بمقدار المسافة والاتجاه التي تفصل بين كل زوج من هذه النماذج. لو اعتبرنا ان قيمة درجة تركيز الخام في موقع نموذج هو Z(x) فان قيمة درجة تركيز الخام في موقع نموذج آخر هو [Z (x) + Z (x + h)] إما تكون بالزيادة أو بالنقصان، هذه القيمة تعتمد على المسافة الفاصلة بين كل زوج من هذه النماذج وتتأثر أو تتقارب في القيمة عندما تكون المسافات بين النماذج قصيرة وبهذا فان التأثير يكون كبير، مدى التأثير يقل عندما تزداد المسافة الفاصلة بين النماذج. إن مسافة التأثير بين النماذج تمتد الى حد الذي يزول به التأثير في القيم بين النماذج مسافة التأثير هذه تختلف ضمن الجسم المعدني الواحد باختلاف المسافة بين كل زوج من النماذج وكذلك باختلاف اتجاه كل نموذج بالنسبة للآخر.

إن الأداة أو الوسيلة الجيواحصائية المستخدمة لتوضيح أو حساب التشابه والاختلاف في النتائج المستحصلة من النماذج الواقعة ضمن الجسم المعدني والتي تعتبر دالة للمسافة والاتجاه بين النماذج تسمى نصف التباين (Semivariogram). يمكن تعريف مفهوم نصف التباين المسمى بال Semivariogram بأنه مقدار التفاوت أو التباين Variance لمتغير معين من المتغيرات النماذج (سمك، درجة تركيز الخام) التي تم حسابها في موقعين لنموذجين يتباعدان عن بعضهما بمسافة قدرها

(h)، هذا التباين هو دالة لمقياس مدى تأثير كل نموذج على موقع النموذج المجاورة له الواقعة ضمن الجسم المعدني حيث إن المسافة (h) كل ما كانت قليلة كل ما كان تأثير النموذج كبير أي إن مقدار التباين قليل يسمى هذا التباين بال (variogram) ويعبر عنه رياضيا بالصيغة 2γ(h) أما ال Semivariogram فيعبر عنه γ (h) . شكل رقم (34–2) شكل منحني Semivariogram



شكل (34 – 2) نموذج مثالي الى (Semivariogram)

تعتبر الحسابات أو النتائج المستحصلة من ال Semivariogram الأساس في تقدير حسابات احتياطي الترسبات المعدنية بطريقة (كريكنك) kriging التي سوف نتطرق اليها بشيء من التفصيل في فصل حساب احتياطي الخامات.

تكتب الصيغة الرياضية لحساب variogram كالتالي:-

$$2\gamma(\vec{h}) = \frac{1}{N(\vec{h})} \sum_{i=1}^{N(\vec{h})} \left[Z(x_i) - Z(x_i + \vec{h}) \right]^2$$

أما الصيغة الرياضية إلى Semivariogram تكتب كما يلي:-

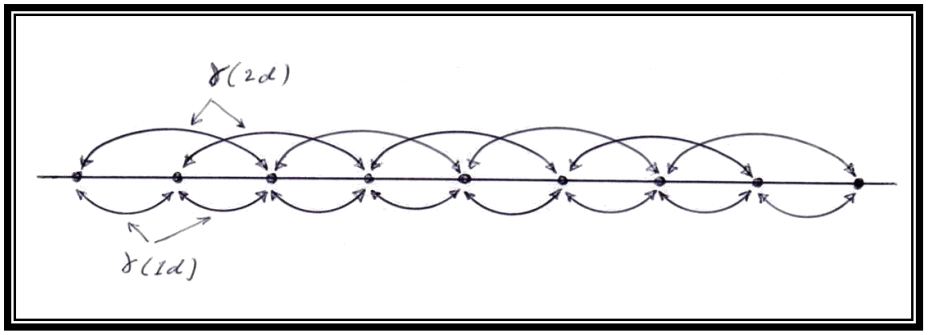
$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(\vec{h})} \sum_{i=1}^{N(\vec{h})} \left[Z(x_i) - Z(x_i + \vec{h}) \right]^2$$

عدد الازواج (pairs) للنماذج الموجودة على مسافة (h) باتجاه = $N(\vec{h})$ معين حيث ان ($\vec{h}$) تمثل المسافة وهي متجه.

قيمة المتغير للنموذج (سمك، درجة التركيز) في النموذج الأول = $Z(x_i)$ عند المسافة صفر.

قيمة المتغير للنموذج (سمك، درجة التركيز) على مسافة $= Z(x_i + \vec{h})$ قدرها $(\vec{h})$ من موقع النموذج الأول.

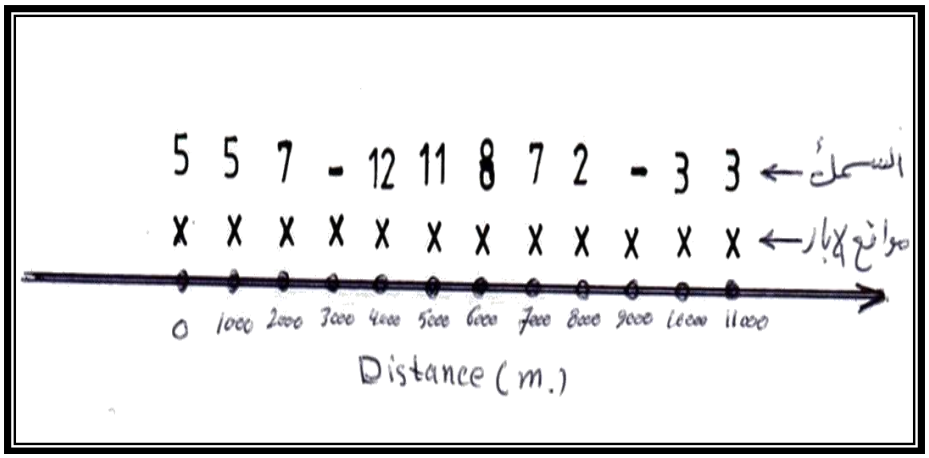
ولتبسيط هذه الحالة لغرض زيادة الاستيعاب لنفترض ان لدينا مواقع نماذج موزعة بصورة منتظمة على طول مسار معين كما في الشكل رقم (35 – 2)، ولنفترض ان لدينا عدد نماذج قدره (n) تفصل بين كل زوج (pairs) مسافة قدرها (d) بالأمتار حساب γ(d)، أي نحسب Semivariogram لمسافة (d) بين الأزواج، ويوجد لدينا أزواج نماذج بعدد (n – 2) عندما نحسب الـ Semivariogram لمسافة قدرها (2d) بين الأزواج وهكذا...



شكل رقم (35–2) كيفية حساب Semivariogram باستخدام ازواج النماذج تفصل بينهما مسافة (h) في اتجاه معين

مثال تطبيقي رقم (5 – 2)

يوجد لدينا عشرة مواقع للآبار محفورة لغرض النمذجة اللبابية تقع على طول مسار مستقيم، المسافات الفاصلة بين الآبار تساوي (1000) متر. ثم إجراء تحاليل ودراسات لقياس سمك هذه الترسبات المعدنية في مواقع الآبار كما مؤشر إزاء كل منهما في شكل رقم(36 – 2). المطلوب حساب قيمة نصف التباين Semivariogram المسافات الفاصلة بين الآبار (1000 م، 2000 م، 3000 م).



الحل:

باستخدام معادلة حساب Semivariogram يتم حساب القيمة له للمسافات المختلفة لغرض حساب معدل السمك وكما يلي:-

$$\gamma(1000)\frac{1}{2}\times\frac{(5-5)^2+(5-7)^2+(12-11)^2+(11-8)^2+(8-7)^2+(7-2)^2+(3-3)^2}{7}=2.86$$

$$\gamma(2000)\frac{1}{2}\times\frac{(5-7)^2+(5-12)^2+(12-8)^2+(11-7)^2+(8-2)^2+(2-3)^2}{6}=8.17$$

$$\gamma(3000)\frac{1}{2}\times\frac{(5-12)^2+(12-7)^2+(7-3)^2+(7-11)^2+(11-2)^2+(2-3)^2}{11}=15.67$$

وبهذه الطريقة ممكن أن نبني ال Semivariogram في اتجاهات مختلفة ضمن الترسبات المعدنية ثم نقوم بعد ذلك برسم منحني Semivariogram بين (h) γ على المحور العمودي والمسافة على المحور الأفقي نحصل على المنحني كما في الشكل (34 - 2). نستطيع ان نحصل من هذا المنحني على عدة متغيرات حول خصائص ومتغايرات الترسبات المعدنية. نحصل من هذا المنحني على مدى الاختلافات العشوائية بين الآبار والمتمثل بالمدى (Range) كلما كان المدى قليل كان مقدار درجة التجانس الترسبات المعدنية كبيرة، وكلما كانت قيمة ال Sill قليلة تعني ان امتداد الترسبات المعدنية تكون كبير في الاتجاه المحسوب. اي ممكن ان نستنتج من شكل المنحني على مميزات وخصائص الترسبات المعدنية فيما يخص التجانس، الاستمرارية، مدى التأثير بين مواقع النماذج ... وهكذا.

الفصل الثالث

الاستكشاف المعدني The Mineral Investigation

(3-1) المقدمة: Introduction

يعرف مفهوم الاستكشاف المعدني بأنه مجمل العمليات والدراسات الجيولوجية، التي تهدف إلى اكتشاف وتعيين أماكن تواجد الترسبات المعدنية، التكوينات والتراكيب الجيولوجية المختلفة الواقعة ضمن المنطقة المستهدفة بأعمال الاستكشاف، وبالتالي إبداء التوصية والاستنتاج حول نتائج هذه العمليات والدراسات الجيولوجية وقيمتها الاقتصادية والعلمية.

تعتبر عمليات الاستكشاف المعدني القاعدة الأساسية في العمل الجيولوجي ومنه تنطلق بقية أنشطة العمل الجيولوجي بمختلف الاختصاصات لما تتضمنه هذه المرحلة من دراسات وتوصيات مهمة توظف لها مبالغ مالية ضخمة لغرض انجاز الدراسات والتوصيات المطلوبة منها وبذلك فإنها تعتبر مرحلة مجازفة على درجة كبيرة من الأهمية والخطورة في العمل المهني الجيولوجي والتعديني حيث تبنى على ضوء التوصيات المستحصلة منها قرارات حول المضي قدما في استكمال بقية مراحل العمل الجيولوجي.

إن من أصعب المشاكل التي تواجه الجيولوجي أو مهندس المناجم هو المشاكل غير المتوقعة خلال العمل الحقلي الاستكشافي أو أثناء تنفيذ أعمال فتح الأنفاق والقنوات المنجمية. المشاكل غير المتوقعة تكون خطوة وصعبة المعالجة في أكثر الأحيان مثل وجود كسور، تشققات، إستقرارية الصخور، ألمياه ألجوفية، المعالجة السريعة والآمنة لمثل هذه المشاكل هي تغيير موقع الفتحة المنجمية أو النفق ألمنجمي، أو إجراء أعمال تدعيم وإسناد للأنفاق، أو ممكن تحويل مجرى المياه الجوفية أو تخفيض مستواها لتجنب المشاكل التي تسببها، في حين يكون من المستحيل مواجهة كافة الظروف الجيولوجية التي تواجه الجيولوجي والتي تظهر على شكل مشاكل جيولوجية غير متوقعة مثال على ذلك تغيير في السحنات الجيولوجية أو الحدود الجيولوجية للترسبات المعدنية ظهور تراكيب جيولوجية تحت سطحية غير مكتشفة سابقا... الخ، لذلك من الواجب الحصول على معلومات وافية مع رسم صورة واضحة عن مجمل الخصائص والصفات الصخرية والتكوينات والتراكيب الجيولوجية في المراحل الأولية من برنامج العمل الاستكشافي المعدني. يجب إعطاء الوقت الكافي للقيام بانجاز دراسة وافية وشاملة تنجز من قبل جيولوجيين متخصصين ذو خبرة علمية جيدة في العمل الحقلي الجيولوجي مع وجود دعم مالي كافي لتغطية برنامج العمل الاستكشافي مثل جمع النتائج والملاحظات الجيولوجية مع نماذج مختلفة تمثل مختلف التكوينات الجيولوجية موزعة في منطقة الدراسة.

أي قصور أو عجز في جمع النتائج أو القراءات ونقص في الدراسات والاستنتاجات ممكن إن يؤدي إلى مواجهة مشاكل وصعوبات غير متوقعة قد تظهر في المراحل النهائية من برامج الاستثمار

ألمعدني مما يسبب مشاكل كارثية أو خسائر مادية كبيرة قد تقود إلى فشل برنامج الاستثمار المعدني. إن الظواهر والتراكيب الجيولوجية الموجودة في أية منطقة تعتبر نتاج للتاريخ الجيولوجي للمنطقة الإقليمية ككل وما يحيط بها، نوع الصخور، الصدوع والطيات، التكوينات الجيولوجية ما هي إلا حصيلة ما أنتجته العوامل والظروف الترسيبية الجيولوجية المعقدة عبر الزمن الجيولوجي التي أدت إلى ظهور ونشوء هذا النوع من الترسبات والتكوينات الجيولوجية.

إن فهم ودراسة هذه الظواهر الجيولوجية والعوامل التي آدت إلى تواجدها تعطي فائدة علمية كبيرة حول بناء صورة واضحة عن جيولوجية المنطقة الإقليمية وبالتالي من الممكن تفسير التراكيب والظواهر الجيولوجية للمناطق الصغيرة أو في حالة وجود تواجدات للترسبات المعدنية ضمن المناطق الأصغر حجما ومساحة هذه الدراسات والاستنتاجات يجب ان تتم وتستكمل خلال مرحلة الاستكشاف المعدني.

مرحلة الاستكشاف المعدني تعتبر بداية السلسلة من الدراسات المستمرة والأعمال الجيولوجية المتعاقبة تعاد عند بروز الحاجة إلى إجراء دراسات واستكشافات جيولوجية لمناطق جديدة على ضوء الأهداف والحاجات البشرية والصناعية لتوفير مواد أولية ومعادن صناعية طالما كان هناك استهلاك مستمر للمعادن والمواد الأولية المكتشفة والمستثمرة ولسد النقص المستقبلي من هذه المواد. هذه الدراسات والاستنتاجات يجب ان تتم وتستكمل خلال مرحلة الاستكشاف المعدني. كافة الدراسات الجيولوجية والأعمال الحقلية يجب ان توثق وتسجل ضمن بحوث منشورة في مجلات علمية أو على شكل خرائط وكتب أو منشورات تحفظ في المؤسسات العلمية المهتمة بهذا المجال أو لدى الشركات المتخصصة أو في الجامعات التي تحتوي على أقسام جيولوجية تهتم بالأنشطة الجيولوجية. إن توثيق العمل الحقلي الجيولوجي خطوة مهمة جدا في الحفاظ على تداول المعلومات وسهولة الحصول عليها لغرض تطويرها واستخدامها والاستفادة منها باعتبارها مراحل أولية يجب إن تستكمل لغرض إنضاج المعلومات وزيادة الدقة والمعقولية في النتائج والقراءات باعتبار ان هناك وقت طويل وكلف مالية طائلة وجهود كبيرة حقلية ومكتبية تم صرفها لغرض الحصول على هذه المعلومات.

المعلومات المستحصلة من المراحل الأولية للعمل الحقلي في أي برنامج عمل استكشافي غالبا ما تستخدم من قبل المختصين من الجيولوجيين أو مهندسي المناجم لغرض تطويرها والاستفادة منها في الأعمال الحقلية أو المكتبية الخاصة بالبحث والتطوير في تقييم الترسبات المعدنية، الأعمال ألمنجميه، استكشاف المقالع واستغلالها، الأعمال الهيدروجيولوجية، الهندسة المدنية والثروة المعدنية للاستفادة منها من قبل المؤسسات ذات الاختصاص بأعمال الاستثمار المعدني.

في المراحل الأولية من عمليات الاستكشاف المعدني يجب الاستفادة من كافة المعلومات التي يتم الحصول عليها من الحقل مثل دراسة مكاشف التكوينات الصخرية وتثبيت مواقعها على الخارطة، جمع نماذج صخرية لأغراض التحاليل الكيميائية المختلفة، الاستفادة من جداول تصريف المياه

والوديان حيث تتواجد طبقات ومكاشف صخرية التي تعتبر مصدر مهم من مصادر الحصول على معلومات جيولوجية عن الصخور والتكوينات الجيولوجية تحت السطحية عندما تقطع بأحد وديان تصريف المياه السطحية شكل رقم (1-3). هذه المعلومات يستفاد منها في رسم الخرائط الجيولوجية الإقليمية وبصورة سريعة لاختصار الوقت اللازم وإعطاء فكرة وصورة واضحة عن الجيولوجية الإقليمية للمنطقة. في حالة عدم كفاية المكاشف الصخرية في الحصول على المعلومات المطلوبة يتم اللجوء إلى حفر خنادق في مناطق منتخبة يحددها الجيولوجي المختص ويجب ان تكون بأعماق (3 – 2) متر لغرض الحصول على نماذج صخرية للتكوينات الجيولوجية إضافة إلى دراسة الصخور المتكشفة للعيان لوصفها ورسمها على الخارطة.

شكل قم (1-3) مكاشف صخرية في الصحراء الغربية العراق – منطقة الكعرة تلال العفايف

يجب ان يمتلك الجيولوجي المكلف بأعمال التحري والاستكشاف المعدني خبرة جيولوجية عالية وممارسة عملية حقلية جيدة بالإضافة إلى ضرورة أن تتوفر لديه خبره في المعالجة والاستخلاص المعدني لكي تكون القرارات والتوصيات على درجة عالية من الكفاءة والثقة والتأكيد وذلك لأن التوصيات اللاحقة سوف تتخذ استنادا على نتائج هذه الدراسات إما بالاستمرار في تطوير الأعمال الجيولوجية أو التوقف وبالتالي فشل مشاريع البحث والتعدين. تستخدم خلال المراحل الأولية من أعمال التحري والتنقيب الجيولوجي البوصلة (Compass) حيث تعتبر الجهاز الحقلي الرئيسي والمهم بيد الجيولوجي الذي يختصر

الوقت والجهد عند تسجيل بعض المعلومات عن التكوينات الجيولوجية مثل ميل الطبقات الصخرية، اتجاه المضرب تحديد جهة الشمال الجغرافي والمغناطيسي في الحقل كذلك تعيين مواقع التكوينات الصخرية واتجاهات هذه المواقع واحد بالنسبة إلى الآخر.

الخارطة الحقلية الجيولوجية يجب أن تُرسم وتوضح من قبل الجيولوجي القائم بأعمال المسح الاستكشافي الحقلي ويفضل ان تكون بمقياس رسم من (1:1000) إلى (1:100000) تثبت عليها كافة المعلومات المستحصلة مثل الإحداثيات، امتدادات وحدود التكوينات الجيولوجية والتراكيب والظواهر الطبوغرافية المهمة مع تعيين وتثبيت أماكن جمع النماذج الصخرية، ... الخ. هذه الخارطة تعتمد كأساس من قبل بقية الباحثين والمختصين الآخرين عند إجراء الدراسات التفصيلية اللاحقة عن المنطقة لذا يجب إعطاء هذه المعلومات الأهمية والدقة العالية.

خلال مرحلة الاستكشاف المعدني يجب أن تكون المعلومات المتوفرة حول الترسبات المعدنية كافية لكي تتبلور الدراسات والتوصيات باتجاه صنع قرار الاستمرار بتخصيص الموارد المالية اللازمة لتطوير وتقييم هذه الترسبات، لا يوجد خط فأصل وواضح بين مراحل الاستكشاف المعدني حيث تعتبر كافة مراحل الاستكشاف المعدني كحلقات لسلسلة واحدة تؤدي في النهاية إلى تطوير عمليات التعدين. هناك دراسات يجب إجراؤها بصورة متوازية مع مسعى الاستكشاف والأعمال والنشاطات الجيولوجية وهي دراسات الجدوى الاقتصادية الأولية وحالة الأسواق الاستهلاكية للطلب على المواد المنتجة مع كلف الإنتاج والتسويق لهذه المعادن. من المعوقات والمشاكل التي تواجه الاستثمار المعدني والتي يجب أن تؤخذ بنظر الاعتبار هي: هل يوجد طلب كافي ومستمر على المواد المنتجة؟ هل إن الأسعار مجزية تغطي كلف الإنتاج؟ هل إن القوانين السياسية والاقتصادية في البلد المنتج تسمح بممارسة نشاطات الإنتاج والتسويق بحرية ضمن قوانين اقتصاد السوق؟ هذه الأسئلة يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار وتناقش في المراحل البدائية لبدء عمليات الاستكشاف المعدني. وإذا كانت النتائج غير مشجعة أو كان هناك عائق فلا فائدة من الاستمرار في هذه المشاريع وعدم صرف أموال طائلة وإضاعة الوقت والجهد في الاستمرار في تطوير هذه الترسبات.

في النشاطات التعدينية الحديثة إن معظم رأس المال المستثمر يذهب إلى إنشاء وتطوير البنى التحتية للعمليات المنجمية دون تطوير عمليات التعدين نفسها مثل إنشاء الطرق ووسائل النقل، بناء مدينة سكنية للعاملين مد خطوط الكهرباء، شراء المعدات والأجهزة المتخصصة، ... ،الخ إن بناء مدينة سكنية تقوم نشاطاتها وكافة وسائل الحياة فيها على العمل في المشاريع التعدينية للترسبات المعدنية يزيد من كلف الاستثمار وبالتالي تؤجل المردودات الاقتصادية الربحية لفترة طويلة مما يجبر أكثر الشركات العاملة في هذا القطاع عن العزوف عن ممارسة هذا النوع من العمل خاصة في المناطق النائية والصحراوية.

إن الاتجاه ألسائد والتوصيات الحالية هي ضرورة اللجوء إلى إيجاد واستخدام وسائل تقنية وعلمية كفوءة في التحري والاستكشاف المعدني بكلف واطئة وسهلة وسريعة لغرض خفض كلف الاستثمار وتقليل مبدأ المجازفة. مرحلة الاستكشاف المعدني تتضمن تثبيت وتأكيد نوعية وكمية المعادن الموجودة في الخام وإعطاؤها أهمية كبيرة بسبب رأس المال الكبير الذي تتم المخاطرة به حيث إن مشاريع التعدين تتطلب السرعة في بلوغ المراحل النهائية لبدء الإنتاج وتحقيق العوائد المالية. مثال على ذلك هو منجم نحاس بوكانفيل (Bougainville Copper Mine) الذي يعتبر اكبر منجم في العالم افتتح عام 1970 في غينيا الجديدة حيث تبلغ كلف استثماره (350000000$) ثلاثة مئة وخمسون مليون دولار أمريكي تم صرف مبلغ قدره (10000000$) عشرة ملايين دولار أمريكي فقط في مرحلة الاستكشاف والتقييم المعدني وهو مبلغ يعتبر قليل بالنسبة إلى المبلغ الكلي المستثمر تم بموجبه استكمال كافة الدراسات والتوصيات والأعمال الجيولوجية وإبداء التوصية حول الجدوى الاقتصادية في المضي قدما في استثمار هذه الترسبات دون إضاعة الوقت وصرف أموال طائلة قد تستنفذ رأس مال المستثمر ويتم اتخاذ القرار الاقتصادي على ضوء توصيات مرحلة الاستكشاف المعدني، إضافة إلى ذلك تجنب كلف الاستثمار العالية في تطوير واستثمار مناجم غير ذات مردود اقتصادي.

من ناحية توفير مواد البناء الأولية للصناعات الإنشائية والمدنية مثل الرمال والحصى والأحجار الصناعية فإنها تعتبر نشاط جيولوجي سهل وذلك لتواجد وانتشار هذا النوع من الترسبات قرب سطح الأرض وعلى مساحات وامتدادات واسعة، ومع ذلك تبقى الحاجة قائمة إلى التحري واستكشاف مقالع جديدة دون اللجوء إلى الأعمال الجيولوجية المعقدة والدراسات التفصيلية الطويلة وتتم تلك المشاريع بكلف استثمارية بسيطة.

إن فرص العثور على ترسبات معدنية بدرجة تركيز وحجم كبير تكون دائما أقل من فرصة إيجاد ترسبات كبيرة وبدرجة تركيز قليلة خاصة في الوقت لحاضر حيث ادى التقدم التكنولوجي والاستهلاك الصناعي الكبير إلى استنفاذ قسم كبير من الترسبات ذات التراكيز العالية والاتجاه السائد الآن هو البحث والتنقيب عن الترسبات المعدنية ذات درجة التركيز القليلة ومحاولة استثمارها واستغلالها بربحية جيدة باستخدام وسائل وأساليب تقنية متطورة.

ألتوصية والاستنتاج ألمستحصل في نهاية مرحلة الاستكشاف المعدني يجب أن يتضمن قرار واضح ومعلومات كافية وشاملة حول وجود ترسبات معدنية واعدة ممكن استغلالها واستثمارها بصورة اقتصادية جيدة، هذه التوصيات تساعد في اتخاذ القرار المناسب حول الاستمرار في تطوير واستثمار هذه الترسبات أو وجوب إجراء دراسات تقييمية وتطويرية لاحقة تحتاج إلى المزيد من التحقق حول المتغيرات الخاصة بها مثل درجة التركيز ومقدار الاحتياطي إلى غير ذلك من المعلومات حول طبيعة ومواصفات هذه الترسبات.

في عقد التسعينات تقريبا، تم الانتهاء من تصوير العالم ككل بواسطة الأقمار الصناعية وأجزاء عديدة تم تصويرها بالصور الجوية للأغراض العسكرية أو المدنية، هذه الصور توفر معلومات مهمة وواسعة عن الظواهر الجيومورفولوجية، التراكيب الجيولوجية السطحية مع التوزيع الصخري وامتدادات الأراضي ذات الصفات المشتركة في اللون والشكل التي تمتلك خصائص فيزياوية متشابهة. توزيع الأشجار ممكن أن يعكس التغيرات في التربة تحت السطح مع توزيع المياه الجوفية هذا البرنامج متوفر على شبكة المعلومات العالمية (الانترنت) تحت عنوان (Earth Google) الصور الجوية تعتبر مصدر رئيسي في رسم وتهيئة الخرائط الطبوغرافية سوء كانت إقليمية أو محلية وتوفر معلومات سريعة ودقيقة حول الظواهر السطحية الجيولوجية والطبوغرافية للمنطقة.

(3-2) أهداف برنامج الاستكشاف المعدني

The aim of the Mineral Investigation program

ألغاية من مجمل العمليات الجيولوجية والدراسات التي تتخذ في المراحل الأولية من بداية العمل الجيولوجي ضمن مراحل الاستكشاف المعدني هي تحقيق عدة أهداف يمكن إيجازها كما يلي:-

1- تحديد المناطق ذات الأهمية الجيولوجية أو التكتونية التي من الممكن ان تتواجد فيها ترسبات أو تراكيب جيولوجية مهمة.
2- رسم خرائط جيولوجية للتكوينات الجيولوجية الظاهرة على السطح وامتداداتها وأماكن تواجد المكاشف الصخرية العائدة لها بالاستفادة والاستعانة من كل الوسائل والأساليب والطرق الجيولوجية المستخدمة.
3- تعريف مع وصف دقيق وشامل لكافة التكوينات الجيولوجية والترسبات المعدنية المكتشفة في منطقه الدراسة.
4- إجراء حسابات أوليه في تحديد درجة تركيز الترسبات المعدنية وإجراء حسابات تقدير الاحتياطيات فيها و دراسة نوعيتها و مواصفاتها.
5- إجراء دراسة تقييميه حول الظروف ألمنجميه المناسبة لاستخراج واستغلال الترسبات المعدنية وإبداء ألتوصية حول إمكانية استثمار هذه الترسبات بجدوى اقتصاديه جيده.
6- إبداء التوصية حول حفر عده آبار استكشافية في مناطق منتخبه في منطقة الدراسة لغرض دراسة ووصف التتابع الطبقي للمنطقة .
7- دراسة هيدروجيولوجيه حول إمكانية وجود مياه جوفيه في المنطقة ومناطق تواجدها،أعماقها، تصاريفها، وإبداء التوجيه بمدى إمكانية الاستفادة منها للأغراض البشرية أو الصناعية.
8- تقديم دراسة تفصيلية عن أسلوب استخلاص المعدني الكفوء الذي يمكن به فصل المكونات المعدنية عن بعضها البعض.

9- تقديم دراسة أولية عن حالة السوق المحلي والعالمي وحاجة السوق لهذه المواد مع أسعارها العالمية في وقت الاستثمار وفي المستقبل.

10- دراسة تفصيلية عن المكونات المعدنية والكيميائية مع التوزيع الحبيبي للترسبات المعدنية الموجودة في المنطقة.

11- دراسة أولية جيوهندسية عن مواصفات الصخور الهندسية وسمك الغطاء الصخري، انواع الصدوع والتشققات ان وجدت في المنطقة.

12- دراسة وتحديد التكوينات الجيولوجية مع تعين حدودها وامتداداتها،تحديد ميل واتجاه الطبقات الصخرية ،مع رسم خارطة جيولوجية أولية لمنطقة الدراسة.

(3-3) العوامل التي تحدد طرق الاستكشاف المعدني

Factors Affecting Mineral Exploration Methods

إن طرق الاستكشاف المعدني التي تستخدم أثناء العمل الجيولوجي سواء كان عمل حقلي أو عمل مكتبي تعتمد على عدة عوامل ممكن وصفها كما يلي:-

1- **نوع الترسبات المعدنية المستهدفة:** نوع الترسبات المعدنية، خصائصها، وصفاتها والهدف من استخدام هي التي تحدد الطرق الجيولوجية الاستكشافية المستخدمة أثناء هذه المرحلة، مثلا اذا كان البحث عن مواد البناء الأولية لغرض الصناعات الإنشائية فتعبر نشاط جيولوجي سهل وسريع لا تتطلب استخدام طرق معقدة أو مكلفة في حين اذا كان البحث عن المعادن أو الفلزات فهذه الحالة يتطلب العمل الجيولوجي استخدام وسائل وأساليب معقدة وطرق علمية وأجهزة متطورة ومتقدمة.

2- **طبيعة المنطقة المستهدفة في الاستكشاف:** المنطقة التي تحتوي على تكوينات جيولوجية وصخرية ظاهرة على سطح على شكل مكاشف صخرية تكون سهلة للدراسة والاستكشاف المباشر أما ذا كانت مطمورة على أعماق معينة أو يعلوها غطاء صخري صلب عندئذ لابد من استخدام وسائل استكشاف غير مباشرة مثل اللجوء إلى طرق الجيوفيزيائية والجيوكيميائية أو استخدام الحفر أللبابي ودراسة النماذج اللبابية.

3- **الهدف من اعمال الاستكشاف:** قد يكون الهدف من أعمال الاستكشاف المعدني هو تحديد المناطق المشجعة على تواجدات لترسبات معدنية أو ثروات معدنية وتحديد امتداداتها فقط بهذه الحالة يتم استخدام الطرق السهلة والسريعة في هذه العمليات أما إذا كان الهدف هو تحديد أماكن تواجدها وحساب كمياتها وبالتالي استثمارها واستخراجها عندئذ يجب استخدام الطرق والوسائل العلمية المتطورة والدقيقة لغرض انجاز هذه المهمة.

4- **الجهة التي تقوم بالاستكشافات:** معظم الشركات أو المؤسسات العلمية المتخصصة والمعينة بالاستثمار المعدني تكون عادة متخصصة في استثمار وإنتاج نوع معين من المعادن وتكون غير

مهتمة بالاستكشاف وإنتاج الأنواع الأخرى من المعادن، وبهذه الحالة فان هذه الشركات تقوم بتطوير طرق ووسائل وأجهزة متخصصة بالكشف عن هذا النوع من المعادن فقط.

(3-4) التخطيط لبرنامج العمل الاستكشافي Planning of Exploration Project

إن التخطيط الجيد والسليم لأي برنامج عمل استكشافي هو تطبيق سياقات وقواعد العمل الجيولوجي الصحيحة، يتضمن هذا البرنامج سلسلة متعاقبة من المراحل تبتدئ من كيفية التخطيط للبرنامج وتنتهي بمراحل التنفيذ، إلى الإسراع في إنهاء الأعمال الاستكشافية وتقديم نتائج دقيقة ذات موثوقية عالية.

تعتمد عمليات تنفيذ هذه المراحل على عوامل أهمها هي :

أ- اختيار الجيولوجي المشرف على تنفيذ البرنامج الاستكشافي

Selection of Professional Leadership.

إن أهم قرار يتخذ هو اختيار الجيولوجي المتمكن ذو مؤهلات علمية وخبرة عملية جيدة وواسعة في أعمال الاستكشاف المعدني والعمل الجيولوجي، يتمتع بمهارة عالية في مختلف تقنيات التحري واستخدام مختلف أنواع أجهزة المسح الجيولوجي والجيوكيميائي، لديه خلفية جيدة في معظم المفاهيم الجيولوجية عن أصل نشوء وتكوين مختلف أنواع الترسبات المعدنية، استخداماتها، وأهميتها الصناعية، ملم بالعمليات التكتونية والترسيبية، وتأثير المياه السطحية والجوفية على مختلف أنواع الصخور إلى غير ذلك من المفاهيم في مختلف وتخصصات علوم الأرض الأخرى مثل التقييم المعدني، الجيولوجيا الاقتصادية ... الخ، حتى يكون متمكن من أداء دوره في تفسير معظم الظواهر والمتغيرات والكشف عن الغموض الذي يرافق العمل الجيولوجي السطحي في معرفة المكونات الجيولوجية تحت سطح الأرض.

إن التحدي الذي يواجه كل جيولوجي هي المتغيرات الكثيرة التي يتعامل معها، عدم وجود قوانين و قواعد تمكنه في تفسير مختلف أنواع الظواهر الجيولوجية الموجودة تحت سطح الأرض. إن كل ما يتمكن من الحصول عليه هي مجمل النتائج والقرارات التي يحصل عليها بمختلف أنواع المسح والتحري الجيولوجي من سطح الأرض وعليه إن يتعامل مع هذه النتائج بما يمكنه من معرفة ما موجود تحت سطح الأرض بكل دقة وموثوقية.

إن قواعد ومفاهيم الاستكشاف المعدني التي وضعت واستخدمت هدفها هو محاولة حل كافة المشاكل وكشف الغموض عما هو تحت سطح الأرض مع وجود درجة من عدم التأكيد ويعتبر ذلك هو التحدي الكبير والمستمر الذي يلازم كل جيولوجي في مختلف الأعمال الجيولوجية الحقلية والمكتبية، لن ينتهي ذلك التحدي إلى ان يتمكن الجيولوجي من الانتهاء من كافة اعمال استخراج تلك

الترسبات من موقعها تحت سطح الأرض وتحويلها إلى مواد ومعادن صناعية تستخدم في مختلف أنواع الأنشطة الصناعية والبشرية.

مصادر المعلومات التي يجب على الجيولوجي الحصول عليها

عند تنفيذ أي مشروع عمل استكشافي معدني، هناك دراسات أولية يجب القيام بها وهي محاولة الحصول على معظم الأعمال والدراسات الجيولوجية السابقة المنفذة سواء كانت في المنطقة المستهدفة بالدراسة أو التي تهتم بنفس الظواهر الجيولوجية أو الترسبات المعدنية وذلك يتم بالحصول على هذه المعلومات أما من مصادر مباشرة وهي الحصول على تقارير العمل الجيولوجي السابق ودراسة الاستنتاجات والنتائج المستحصلة منها، أية منشورات ودراسات سابقة تعطي صورة واضحة عن جيولوجية المنطقة، الطبوغرافية، الوضع التكتوني، التتابع الطبقي وحركة المياه الجوفية إلى غير ذلك من المعلومات. أما المصادر الغير مباشرة تتضمن دراسة مكاشف جيولوجية أو آبار محفورة أو أي دراسات سابقة في المناطق المجاورة أو القريبة من منطقة الدراسة يمكن استخدامها للمقارنة والمضاهاة.

النقاط التالية تعطي فكرة من مصادر المعلومات التي على الجيولوجي الاهتمام بها إثناء العمل الجيولوجي الاستكشافي

1- الدراسات السابقة والتقارير المنجزة حول العمل الجيولوجي في منطقة الدراسة.
2- دراسة التتابع الطبقي من الآبار المحفورة سابقا في المنطقة.
3- دراسة الجس ألبئري للآبار النفطية أو الجس الجيوفيزيائي بمختلف أنواعه المتوفر في المنطقة.
4- الخرائط الجيولوجية والطبوغرافية المنشورة وغير المنشورة.
5- خرائط تركيبية للتكوينات الجيولوجية المنجزة حول المنطقة.
6- المكتبات العلمية المتخصصة التي تمتلك الكتب والدوريات حول الاختصاصات الجيولوجية ذات العلاقة بالمشاريع الاستكشافية.
7- أطاريح الدكتوراه والماجستير المنجزة حول منطقة الدراسة أو المناطق القريبة منها.
8- شبكة الانترنيت على المواقع المتخصصة بالعمل الجيولوجي.
9- مراجعة الشركات والمؤسسات العلمية المتخصصة والمهتمة بالدراسات والبحوث الجيولوجية.
10- الاتصالات الشخصية المباشرة مع الباحثين والمهتمين بالاختصاصات الجيولوجية المختلفة.

ب- اختيار المنطقة Selection of Area

إن الغرض الأساسي من هذه المرحلة هي اختيار المنطقة أو المقاطعة التي تمتلك ظواهر جيولوجية أو نتائج مشجعة على وجود شواهد معدنية ممكن ان تكون ذات أهمية على إجراء عمليات مسح استكشافي معدني فيها. إن اختيار المنطقة يتم على أساس الدراسات الجيولوجية الإقليمية

والتفصيلية بالإضافة إلى النشاطات الجيولوجية السابقة مثل عمليات المسح الاستطلاعي أو دراسات التحسس النائي أو النشاطات المنجمية التي من الممكن أن تكون متوفرة في المنطقة جميعها تساعد على إعطاء فكرة عن إمكانية وجود ترسبات معدنية معينة في المنطقة.

يجب أن يكون هناك اهتمام خاص بدراسة توزيع الصخور ودراسة الخرائط الجيولوجية والتركيبية، دراسة نوع وطبيعة التربة مع الغطاء الصخري الموجود، عمليات التجوية وتأثيراتها على الصخور في المنطقة.

المفاهيم الأخرى ذات الصلة بالموضوع والجديرة بالدراسة أيضا هي دراسة الوضع السياسي في المقاطعة أو البلد، ملكية الأرض وعائديتها للمنطقة المعنية، بالدراسة، ظروف وطبيعة الأسواق، الضرائب، الاتصالات، القوانين، توفر الأيدي العاملة، دراسة كل هذه العوامل تساعد على اتخاذ القرار حول الاستمرار باستكمال بقية أعمال المسح الاستكشافي.

ج- الأعمال الاستكشافية The Exploration processes

بعد أن يقع الاختيار على إحدى المناطق، تتم بعدها المباشرة بتنفيذ الأعمال الاستكشافية بالتتابع وعلى شكل خطوات ودراسات متعاقبة. يبدأ من مرحلة الدراسات الإقليمية والاستطلاعية الواسعة المتمثلة بدراسات التحسس النهائي والخرائط الجيولوجية والتركيبية والدراسات والأعمال السابقة المنفذة والتي من خلالها يتم عزل واختزال المناطق وان الأهمية الجيولوجية والتي تمتلك أدلة وشواهد جيولوجية مختلفة تكون هي المستهدفة من الأعمال الاستكشافية اللاحقة على ضوء النتائج والدراسات المستحصلة منها.

ألخطوة التالية هي تقييم ودراسة النتائج من الخطوة الأولى، إجراء دراسات وأعمال استكشافية تفصيلية على المناطق التي تم تعيينها في الخطوة الأولى تتمثل في الدراسات للمكاشف الصخرية، إستحصال وجمع نماذج صخرية، تربة، مياه، إلى غير ذلك من النماذج، دراسة الخرائط التفصيلية لهذه المناطق وعلى ضوء النتائج المستحصلة منها يتم تحديد أهم المناطق المشجعة والتي تمتلك شواهد وأدلة على وجود تكوينات جيولوجية أو ترسبات معدنية والتي يجب أن تجري عليها دراسات أكثر تفصيلا مع إجراء مسوحات تفصيلية أرضية بمختلف الوسائل والأساليب لغرض وضع برنامج حفر لبابي استكشافي لدراسة التتابع الطبقي التحت السطحي.

مجمل هذه الدراسات هدفها هو تحديد واختزال المناطق الواسعة والتي ممكن ان تكون طبوغرافية صعبة أو وعرة إلى مناطق صغيرة تمتلك أدلة وشواهد على وجود ترسبات معدنية أو مكونات جيولوجية تستحق إجراء دراسات تفصيلية أرضية مع وضع شبكة لحفر آبار لبابيه استكشافية والحصول على نماذج لبابيه تحت سطحية لغرض تحليلها ومعرفة مكوناتها المعدنية الصخرية.

د- اختيار طريقة الاستكشاف الملائمة Choice of Exploration Method

تتميز معظم الخامات والترسبات بامتلاكها خصائص ومميزات خاصة بها تميزها عن غيرها نمن الناحية الفيزيائية، الكيميائية، المعدنية، النسيج، الحجم الحبيبي إلى غير ذلك وبذلك يكون بالإمكان استخدام إحدى طرق الاستكشاف المعدني الجيوفيزيائية أو الجيوكيميائية المناسبة لغرض الكشف وتحديد أماكن تواجد هذه الترسبات واستخدام طريقة الاستكشاف المعدني تعتمد كذلك على مرحلة الاستكشافي المعدني ضمن التخطيط لتنفيذ مراحل التحري والتنقيب، درجة الدقة وموثوقية النتائج المستحصلة. إن اختيار طريقة الاستكشاف المناسبة والملائمة للعمل تعتمد على اختيار الجيولوجي المشرف على تنفيذ برامج المسح الاستكشافي، الخبرة العملية المتوفرة ودقة النتائج المستحصلة من تطبيق طرق المسح والكشف عن الترسبات المعدنية.

من ذلك ممكن أن نستخلص العوامل التي تؤثر على اختيار طريقة الاستكشاف هي:

1- قيمة الترسبات المعدنية المستكشفة ويرمز لها بالرمز (V).

2- درجة الموثوقية بالطريقة المستخدمة على إستحصال نتائج واضحة ودقيقة ويرمز لها بالرمز (P_1).

3- الكلفة المالية اللازمة لانجاز العمل ويرمز لها بالرمز (C).

4- احتمالية وجود ترسبات معدنية في المنطقة ويرمز لها بالرمز (P_2).

5- درجة النجاح = E

من الممكن ان يتم تنظيم هذه العوامل ضمن العلاقة التالية $\frac{E}{C} = P_1 \times P_2 \times V$

هـ - حجم الترسبات المعدنية Size of the Ore Body

معظم الترسبات المعدنية ترتبط أو تؤثر على الصخور الحاضنة لها أو المنطقة التي تتواجد فيها هذه الترسبات بدرجة معينة من التأثير الفيزياوي، الكيمياوي أو الجيولوجي. الصخور الحاضنة للترسبات المعدنية أو المنطقة الحاوية على الأجسام المعدنية تتميز كذلك بامتلاكها ظواهر جيولوجية، فيزياوية أو كيماوية ممكن من خلالها يمكن الاستدلال أو تشخيص أماكن تواجد هذه الترسبات بصورة مباشرة أو غير مباشرة. معظم المناطق التي تتواجد فيها ترسبات معدنية تمتلك ظواهر جيولوجية يمكن من خلالها الاستدلال على وجود هذه الترسبات، مثل تواجد أنواع من الصخور الحاضنة للترسبات، أو وجود تراكيب جيولوجية مثل الصدوع والكسور والطيات التركيبية، وجود نطاق جيولوجي من الصخور المتأثر بأصل نشوء وتواجد الترسبات، بعض الشواهد والشواذ الجيوفيزيائية التي يعود سببها لتواجد بعض أنواع الخامات، الظواهر السطحية والمكاشف الصخرية المتأثرة بعمليات التجوية والتعرية مثل ظهور ترسبات gossans هذه الظواهر جميعها تعطي صورة واضحة عن حجم وطبيعة الأجسام المعدنية تحت سطح الأرض، كذلك طبيعة العلاقة ومدى التأثير المتبادل بين الأجسام المعدنية

والصخور المحيطة بها. هذا التأثير يمتد أحيانا لمناطق واسعة وأحيانا يكون ذات مساحة ضيقة قريبة من هذه الترسبات وبذلك يحتاج إلى مزيد من الأعمال والدراسات التفصيلية لغرض تحديد مواقع هذه الترسبات. مثال على ذلك كما نلاحظ في العراق هناك تواجدات لترسبات معدنية حيثما وجدت ظواهر جيولوجية أو تكتونية كما هي الحال في منطقة الصحراء الغربية وانكشاف التكوينات الجيولوجية القديمة على سطح الأرض ووجود الصخور الجيرية نلاحظ تواجد لترسبات الفوسفات، الحديد، مختلف أنواع الأطيان الرسوبية، أو التي تم تحديد أماكن تواجدها بإجراء دراسات تفصيلية وحفر آبار لبابيه استكشافية لاحقة.

و- رأس المال المستثمر Capital Investment

يعتبر رأس المال المخصص لتنفيذ أي برنامج عمل استكشافية معدني إحدى العوامل المهمة والحاكمة في الاستمرار بتنفيذ كافة المراحل العمل لحين العثور على ترسبات معدنية وبالتالي استغلالها وتحقيق الهدف المنشود من إجراء العمل الاستكشافي وهو استرجاع لرأس المال المستثمر ثم تحقيق أرباح مالية بعد ذلك على مدى السنوات التالية، أما في حالة حصول أي عواقب أو فشل النتائج في العثور على ترسبات معدنية يجب أن يتحقق ذلك في المراحل الأولية من خطوات العمل الاستكشافي لتجنب هذه الأموال بدون فائدة علمية أو تحقيق الهدف المطلوب من ذلك، لذلك يجب أن تكون خطوات العمل الأولية سريعة ودقيقة واستخدام كافة الوسائل والطرق ذات الكلفة القليلة للتحقق من وجود هذه الترسبات وتحديد أماكنها ثم الانتقال إلى المراحل التالية وهي القيام بوضع برنامج حفر استكشافي ذات الكلف العالية لغرض دراسة خصائص ومميزات هذه الترسبات وحساب احتياطياتها وبالتالي التحول إلى مرحلة الاستخراج والاستغلال المعدني.

ر- العمل الحقلي الجيولوجي Field Operation

يتضمن العمل الحقلي الجيولوجي مختلف أنواع الدراسات والأنشطة الجيولوجية بمختلف الاختصاصات تستخدم فيه كافة الإمكانيات المتاحة. يتضمن العمل الحقلي، رسم خرائط جيولوجية، جمع مختلف أنواع النماذج، إجراء تحاليل حقلية وأعمال مكتبية مختلفة، هذه العمليات تتطلب تواجد فريق العمل قرب المنطقة المدروسة أو الإقامة ضمن مخيم عمل قرب منطقة العمل، الهدف من ذلك هو اختصار الوقت وسرعة انجاز الأعمال الحقلية المطلوبة.

نلاحظ من خلال تجارب الممارسات والأعمال الحقلية المختلفة ولغرض تقليل تكاليف العمل الحقلي الباهظة يتم اللجوء إلى استئجار الأيدي العاملة غير المهرة القليلة الكلفة يتم تكليفهم بانجاز الأعمال الجيولوجية المختلفة مثل جمع النماذج، العمل ضمن فريق الحفر أللبابي، القيام بأعمال المعيشة للمخيم، قيادة السيارات إلى غير ذلك من الأعمال غير الحاكمة ولكن تحت إشراف وتوجيه

جيولوجي مختص لضمان حسن سير هذه الأعمال لغرض تقليل التكاليف المالية للعمل الحقلي مع سرعة انجاز الأعمال البسيطة التي تستغرق وقت طويل وتكاليف مالية كبيرة.

ز- مختبر التحاليل الكيميائية Chemical Analytical Laboratory

تعتبر التحاليل الكيميائية هي المفتاح الذي يكشف الغموض عن نسبة تواجد العناصر والمكونات المعدنية في النماذج الصخرية، طبيعة المكونات المعدنية بالإضافة إلى كيفية توزيعها وانتشارها في الصخور أو الترسبات المعدنية. وبذلك تكون النتائج المستحصلة من التحليل الكيميائي مهمة جدا تستخدم في عمليات التقييم المعدني وتحديد امتدادات وتواجد الترسبات المعدنية. لهذه الأسباب تولي المؤسسات والشركات ذات الاهتمامات المعدنية بإنشاء مختبر متخصص للتحاليل الكيميائية المختلفة يحتوي على مختلف أنواع الأجهزة المختبرية المتخصصة. أما في حالة عدم وجود مثل هذه المختبرات عندئذ يتم اللجوء إلى إجراء التحليل ألمختبري في مختبرات تجارب متخصصة لابد من تكون ذا خبرة وسمعة جيدة لغرض الاطمئنان على الحصول على نتائج ذات موثوقية عالية.

(3-5) برنامج الاستكشاف المعدني Mineral Investigation programs

يقسم برنامج الاستكشاف المعدني إلى مرحلتين اعتمادا على طبيعة الدراسات والعمليات الجيولوجية التي يتم إجراؤها في كل مرحلة وهي نوعان:-

أ- الدراسات الأولية الإقليمية Preliminary Regional Studies

ب- المسح والتنقيب الأرضي Surface Investigation Survey

(3-5-1) الدراسات الأولية الإقليمية

الهدف من مرحلة الدراسات الأولية الإقليمية هو تعريف وعزل المناطق التي تعطي دلائل مشجعة على ما يشير إلى إنها أكثر ملائمة لتواجد ترسبات معدنية أو تراكيب جيولوجية أو غير ذلك من الأهداف الجيومورفولوجية على ضوء الشواهد المستنبطة من الصور الفضائية، الصور الجوية أو الخرائط الجيولوجية والدراسات السابقة.

مثال على ذلك عزل وتحديد المناطق المشجعة في احتمالية احتوائها على ترسبات معدنية ضمن مساحة القارة أو الولاية أو الصحراء... إلى غير ذلك وإبداء التوصية حولها لغرض دراستها تفصيليا من على سطح الأرض في المرحلة الثانية.

في بعض البلدان المهتمة بالموارد الطبيعية والثروات المعدنية التي لها تاريخ طويل في النشاط الجيولوجي والتعديني تحافظ على جمع وتداول كافة المعلومات الجيولوجية الخاصة بهذا النشاط منذ حوالي قرن أو أكثر من الزمان وقد أسست نظام معلومات ضخم من الكتب والخرائط والمجلات والدوريات التي توفر معلومات مهمة حول جيولوجية المناطق المختلفة وأماكن تواجد الترسبات المعدنية

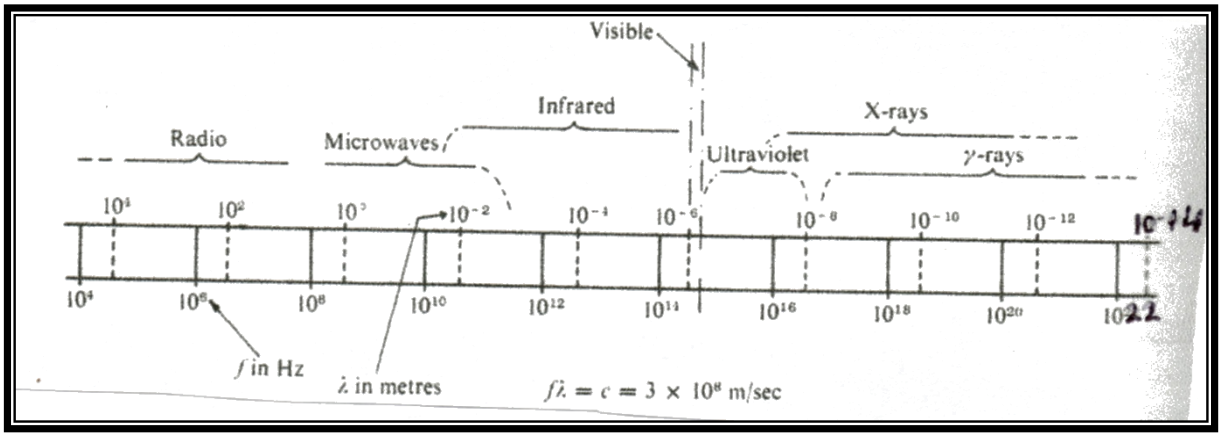
وتعمل على تطويرها وإضافة كافة المعلومات المستحدثة لغرض العمل على اختصار الوقت والجهد وتوفير قاعة علمية جيدة في هذا الاختصاص. في الدول النامية وبعض البلدان التي
تعتمد على الصناعات التعدينية في النشاط الاقتصادي تمتلك ضعف أو نقص في المعلومات المتوفرة عن توزيع الموارد الطبيعية والثروة المعدنية وتوزيع التكوينات الجيولوجية للمناطق التابعة لها، لذلك يتوجب عليها الرجوع على استنباط المعلومات من الصورة الفضائية والصور الجوية ومحاولة الاستفادة من التقدم العلمي الواسع الحاصل في هذا المجال باستخدام التقنيات الجديدة والمتطورة والتي تساعد على تغطية كاملة لمساحات واسعة من الأراضي ودراستها بصورة سريعة ثم عزل المشاهدات المشجعة على وجود ترسبات أو تراكيب جيولوجية، بالإضافة إلى ذلك من الممكن إجراء دراسات إقليمية جوية جيوفيزيائية جيومورفولوجية إذ إنها توفر معلومات واسعة عن طبيعة الصخور والتراكيب الجيولوجية التي تكون هدفا لإجراء دراسات تفصيلية لاحقة عليها مثل رسم الخرائط الجيولوجية وتعيين الشواذ والشواهد المشجعة من القراءات والنتائج المستحصلة.

برنامج الاستكشاف المعدني الإقليمي يتضمن دراسات ونشاطات جيولوجية متعاقبة تستخدم تقنيات علمية متعددة لانجاز هذه الدراسات وهي:-

1- دراسة وتحليل الصور الفضائية والجوية Remote Sensing Interpretation

يعرف مفهوم التحسس النائي بأنه طريقة جمع المعلومات عن أي أهداف أرضية محددة باستخدام الصور عن بعد وبدون وجود أي تماس مباشر مع هذه الأهداف . ويتم ذلك بواسطة تحسس وتسجيل الأشعة الكهرومغناطيسية الصادرة من الأجسام التي تقع ضمن الأطوال الموجية الواقعة بين الأشعة فوق البنفسجية والأمواج الميكروية (300 m to 1 m) ضمن الطيف الالكترومغناطيسي شكل رقم (2 – 3).

الصور الفضائية والجوية تعتبر تقنيات ووسائل مهمة جداً ومفيدة امكن توظيفها واستخدامها في الكشف والتحري عن التكوينات الجيولوجية والترسبات المعدنية الموجودة على سطح الأرض. ان استخدام تقنية الحاسوب في العمل الجيولوجي مكن بصورة فاعلة وكبيرة في معالجة وتحليل كافة المعلومات التي يمكن الحصول عليها بواسطة الأقمار الصناعية أو الطائرات لسطح الأرض ودراسة مختلفة أنواع المتغيرات واستخدام وسائل علمية متطورة مثل دراسة الأطوال الموجية المنبعثة من سطح الأرض، توزيع درجات الحرارة على سطح الأرض، دراسة الأشعة المنعكسة من على الصخور والتربة السطحية وحتى دراسة اللون مكن من دراسة وتفسير ظواهر جيولوجية متعددة وعلى امتداد مساحات واسعة جدا أمكن تحديد المناطق الحاوية على شواهد مشجعة أو التي تعطي دلالات مختلفة عن المناطق المحيطة بها الحاوية حيث امكن تحديد مناطق المكونات الجيولوجية، الفوالق والصدوع، المناطق الحاوية على ترسبات معدنية وأية ظاهرة جيومورفولوجية أخرى مع امتداداتها على سطح الأرض.



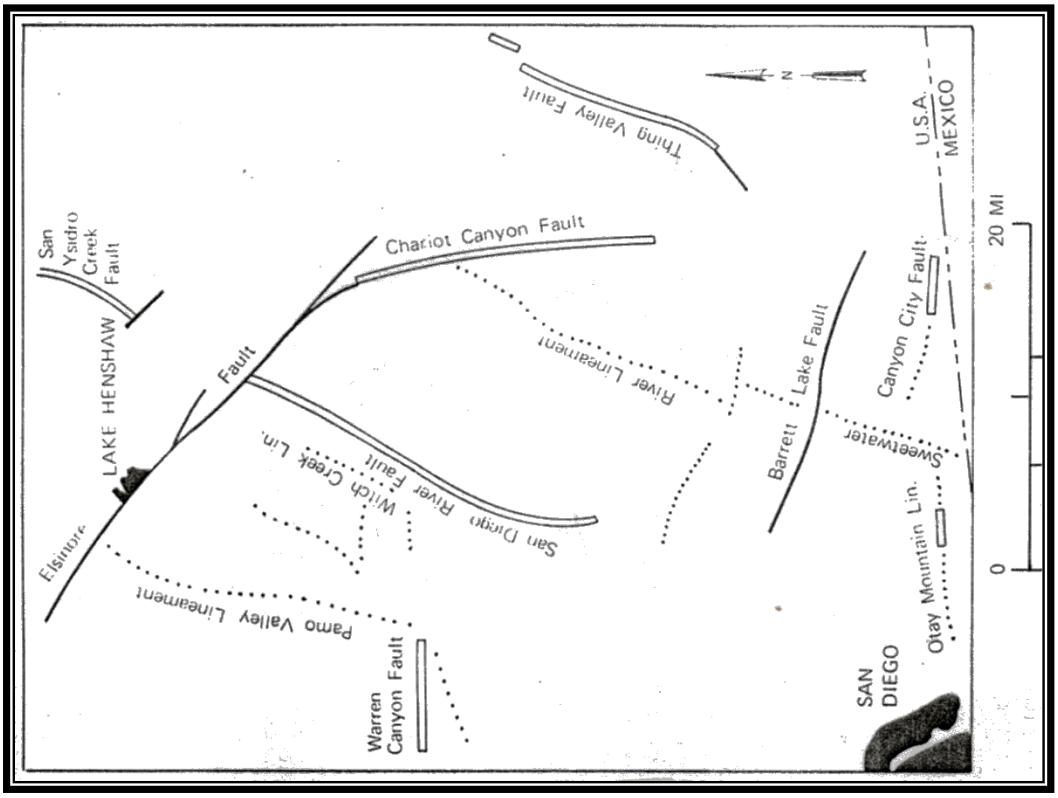
شكل رقم (2–3) الطيف الالكترومغناطيسي حيث نشاهد حزم الأطوال الموجية مع الترددات للأشعة الالكترومغناطيسية

إن استخدام تقنية الأطوال الموجية المتعددة أو المركبة وكذلك استخدام أسلوب التحليل للصور الحرارية دليل جيد ومهم في دراسة توزيع الترسبات المعدنية على سطح الأرض وكذلك الصور الجوية باللون الأسود والأبيض وباستخدام مقياس رسم 1:20000 أو 1:5000 مفيد جدا في الاستكشاف المعدني التفصيلي حيث نحصل منها على تفاصيل دقيقة لاماكن تواجد الشواهد الجيولوجية المشجعة، وعملا بالقول السائد ان الصورة خير من ألف كلمة ساعدت هذه الصور على تقدم علم الجيولوجي كثيرا من خلال توفير معلومات كبيرة عن المناطق النائية والصحراوية والصعبة الوصول وبصورة سريعة وسهلة وبتكاليف قليلة. ان الصور الفضائية الفعالة التي تستعمل في إعمال المسوحات الجيولوجية هي الصور التي تسمى (Mss) والتي تنجز بواسطة (الماسح الطيفي المتعدد) (Multispectral Scanner) والذي بدء العمل بهذا النظام منذ عام 1971 هذه النظام ينتج صور مكونة من عناصر صور صغيرة تسمى (pixels) وهي تمثل اصغر جزيء تتألف منه الصورة والتي تغطي مساحة من الأرض ما يقارب (80×60) متر مربع تعكس شدة اللمعان أو الذُكونة في الضوء للصورة وعندما تجمع سوية ينتج لنا صورة فضائية كاملة تمثل مساحة معينة من الأرض وهناك نظام آخر من الصور الفضائية أكثر تفصيلا يسمى (TM) (Thermatic Mapper) والذي يمثل كل عنصر فيه pixel ما يساوي (30×30) متر مربع. باستخدام هذه التقنية استفاد علم الجيولوجي كثيرا منها في تفسير الظواهر الجيولوجية وتحديد مواقع الترسبات المعدنية بالإضافة إلى تحديد الصدوع والكسور (Faults) التي غالبا ما يصاحبها وجود ترسبات معدنية مهمة. هذه الوسائل والأساليب العلمية الجديدة ادت إلى اختصار الوقت وتقليل كلف المسح الجيولوجي كثيرا أثناء عمليات الاستكشاف المعدني. شكل رقم (a–3–3) يوضح احد الصور الملتقطة بالأقمار الصناعية (a) مع تفسير هذه الصورة جيولوجيا شكل رقم (b–3–3)

التقنيــة الثانيــة المســتخدمة فــي الصــور الفضــائية هــي اســتخدام الفقــدان الحــراري للمــواد التــي تقــع ضــمن الأطــوال الموجيــة تحــت الحمــراء (IR) إن المــواد لهــا خاصــية تحريــر أو اشــعاع طاقــه فــي الليــل و النهــار، ان قابليــه التحســس أو تســجيل هــذا الإشــعاع الحــراري علــى شــكل صــور يبــدو فيهــا علــى شــكل أمــاكن مضــيئة أمكــن الاســتفادة مــن هــذه الخاصــية فــي التطبيقــات الجيولوجيــة الاســتطلاعية . الحــرارة تــؤدي إلــى حصــول حركــه عشــوائية فــي جزئيــات المــادة ، هــذه الحركــة العشــوائية تســبب تصــادم بــين جزئيــات المــادة وبالتــالي تــؤدي إلــى فقــدان فــي الطاقــة علــى شــكل انبعثــات أشــعة الكترومغناطيســية فــي ســطح هــذه المــواد . هــذه الأشــعة المنبعثــة تقــع ضــمن الأطــوال الموجيــه للأشــعة تحــت الحمــراء. تســجل بــأجهزة خاصــة علــى شــكل صــور مضــيئة ومظلمــة تمثــل الفــرق فــي الانبعــاث الحــراري و بالتــالي أمكــن الاســتفادة منهــا فــي التطبيقات الجيولوجية.

شكل رقم(3-3-a) صورة ملتقطة بالأقمار الصناعية لإحدى المناطق جنوب كاليفورنيا

المصدر Floyd F., 1979 p.90



شكل (3-3-b) التفسير يوضح التراكيب الجيولوجية الظاهرة على سطح الأرض

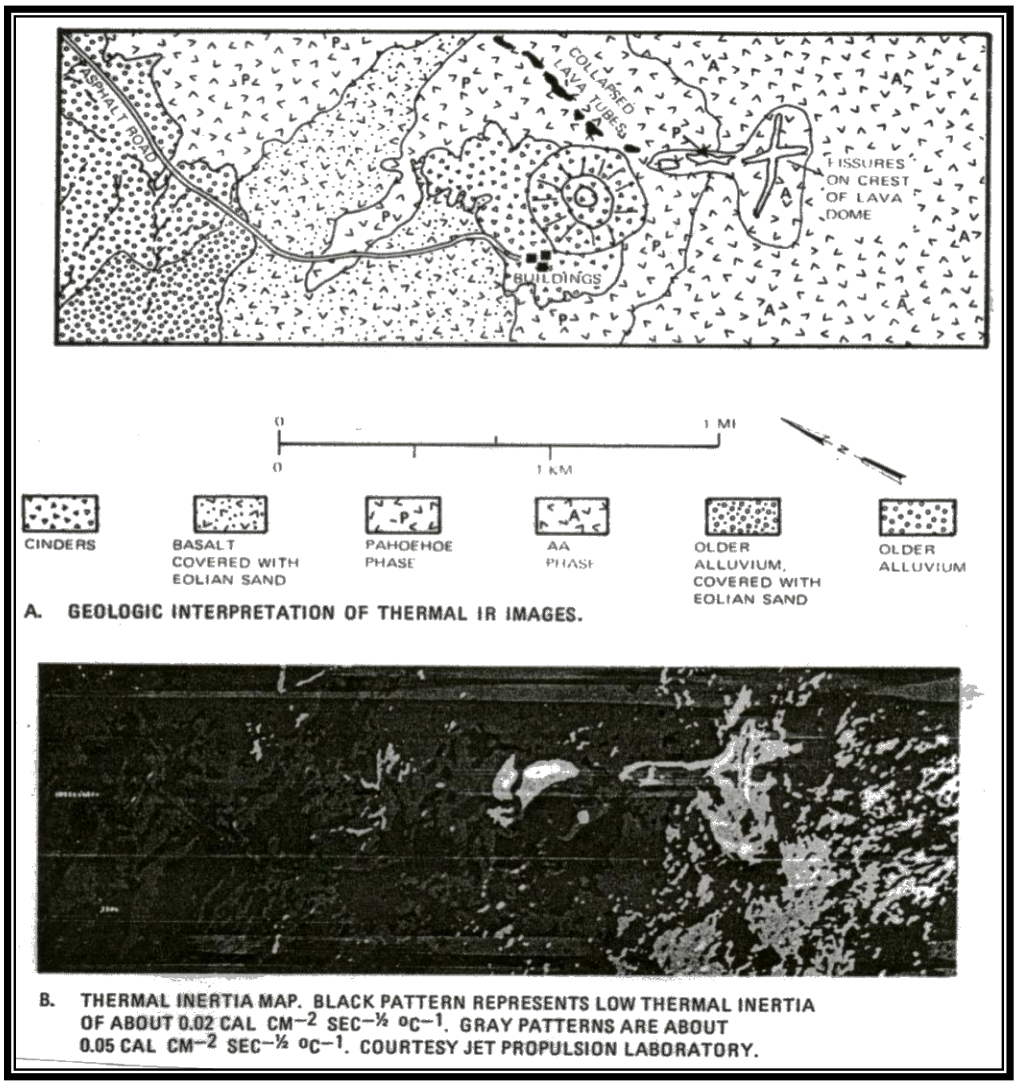
المصدر: Floyd F., 1979, p.91

القشرة الأرضية التي تحتوي على مياه جوفية تحت سطح الأرض عادة ما تمتلك درجة حرارة باردة مما هي علية في الصخور الجافة الغير حاوية على المياه حيث تكون درجة حرارتها قليلة ليلاً ونهاراً بسبب حصول تبخر للماء وبالتالي يسبب تقليل في درجة الحرارة للصخور والذي يظهر على شكل مناطق داكنة أو سوداء في الصورة التحت حمراء. لذلك فأن المناطق التي تحتوي على مياه جوفية قريبة من السطح، فإنها تظهر على شكل مناطق داكنة سوداء في الصور الحرارية التحت الحمراء شكل رقم (4-3).

أمكن استخدام تقنية الرادار في الصور الفضائية والرادار عبارة من أشعة راديوية تقع ضمن الطيف الكهرومغناطيسي بطول موجي يتراوح من (Im to few mm).

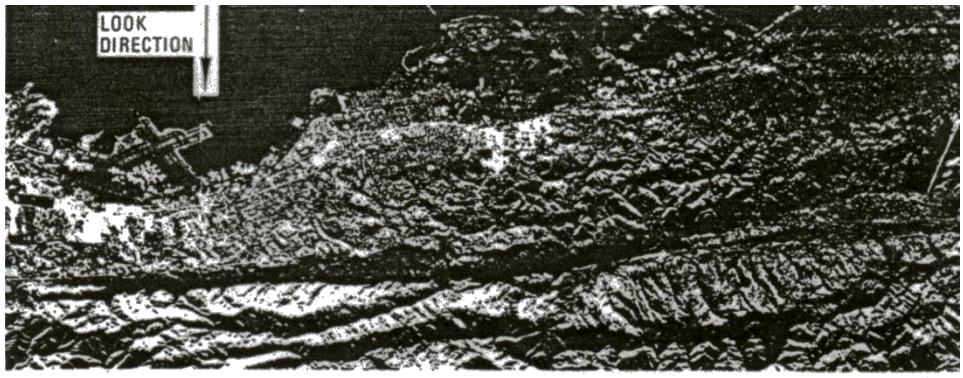
تطلق هذه الأمواج الراديوية من أجهزة خاصة في الأقمار الصناعية نحو الأرض بزاوية معينة ثم ترتد من على السطوح للتضاريس الأرضية حيث تظهر السطوح المواجهة لسقوط الأشعة على شكل مناطق مضيئة والسطوح المعاكسة لها شكل مناطق داكنة وبالتالي فإنها تعكس شكل تضاريس الأرض التي من الممكن الاستفادة منها في تفسير الظواهر الجيولوجية والتركيب السطحية (شكل رقم 5-3) إن أهمية الصور الرادارية هي كونها مستقلة ولا تتأثر بالظروف المناخية والغيوم.

إن تفسير الظواهر الجيولوجية عن طريق استخدام الصور الفضائية أو الصور الجوية تعتمد بصورة أساسية على الخبرة العلمية المتراكمة لدى الشخص القائم بأعمال التفسير حيث ان الممارسة الطويلة تعطي خبرة جيدة وخاصة عند مطابقة ما هو مشاهد في الصور الفضائية مع الظواهر الحلقية والخرائط الجيولوجية وهي مهمة جدا في اكتساب الخبرة والمهارة في تفسير مختلف التراكيب والظواهر التي تساعد على تفسير الصور الفضائية بالإضافة إلى استخدام الوسائل المتقدمة والبرامج العلمية الحديثة في الحاسبة الالكترونية واستخدام أسلوب الصور الرقمية التي تسهل كثيراً في عمليات التفسير والدراسة وتحليل الصور الفضائية. شكل رقم (6-3). يوضح مختلف الصور الفضائية الملتقطة لمختلف أنواع



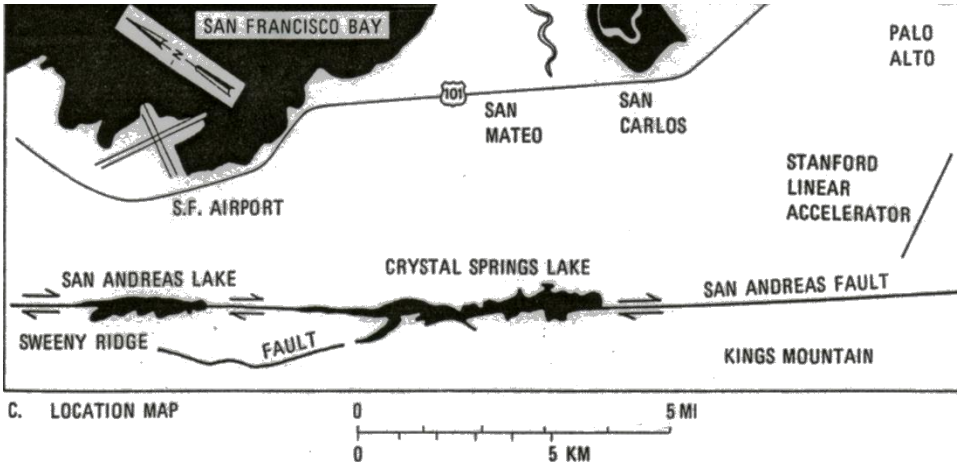
شكل رقم (4-3) صورة ملتقطة بالأقمار الصناعية بالأشعة تحت الحمراء

المصدر : Floyd F., 1979, p.153



A. Ka–BAND (λ = 0.86 cm) REAL APERTURE IMAGE WITH LOOK DIRECTION TO SOUTHWEST. DISTORTION IN NEAR RANGE IS DUE TO SLANT RANGE DISPLAY.

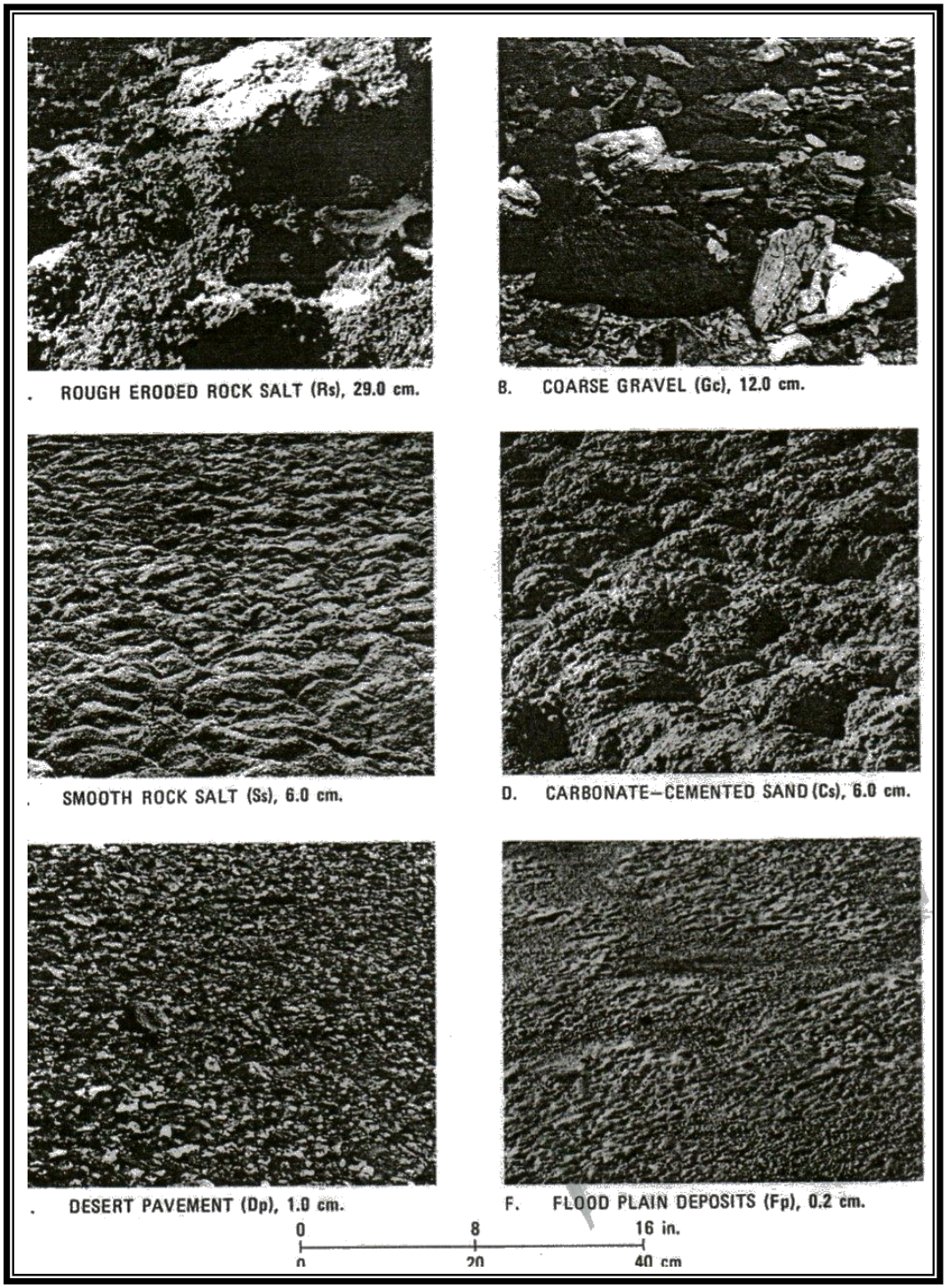
B. X–BAND (λ = 3 cm) SYNTHETIC APERTURE IMAGE WITH LOOK DIRECTION TO NORTHEAST. GROUND RANGE DISPLAY WITH LITTLE DISTORTION.



C. LOCATION MAP

شكل رقم (5–3) تفسير الصور الفضائية الملتقطة بالأقمار الصناعية باستخدام تقنية الرادار

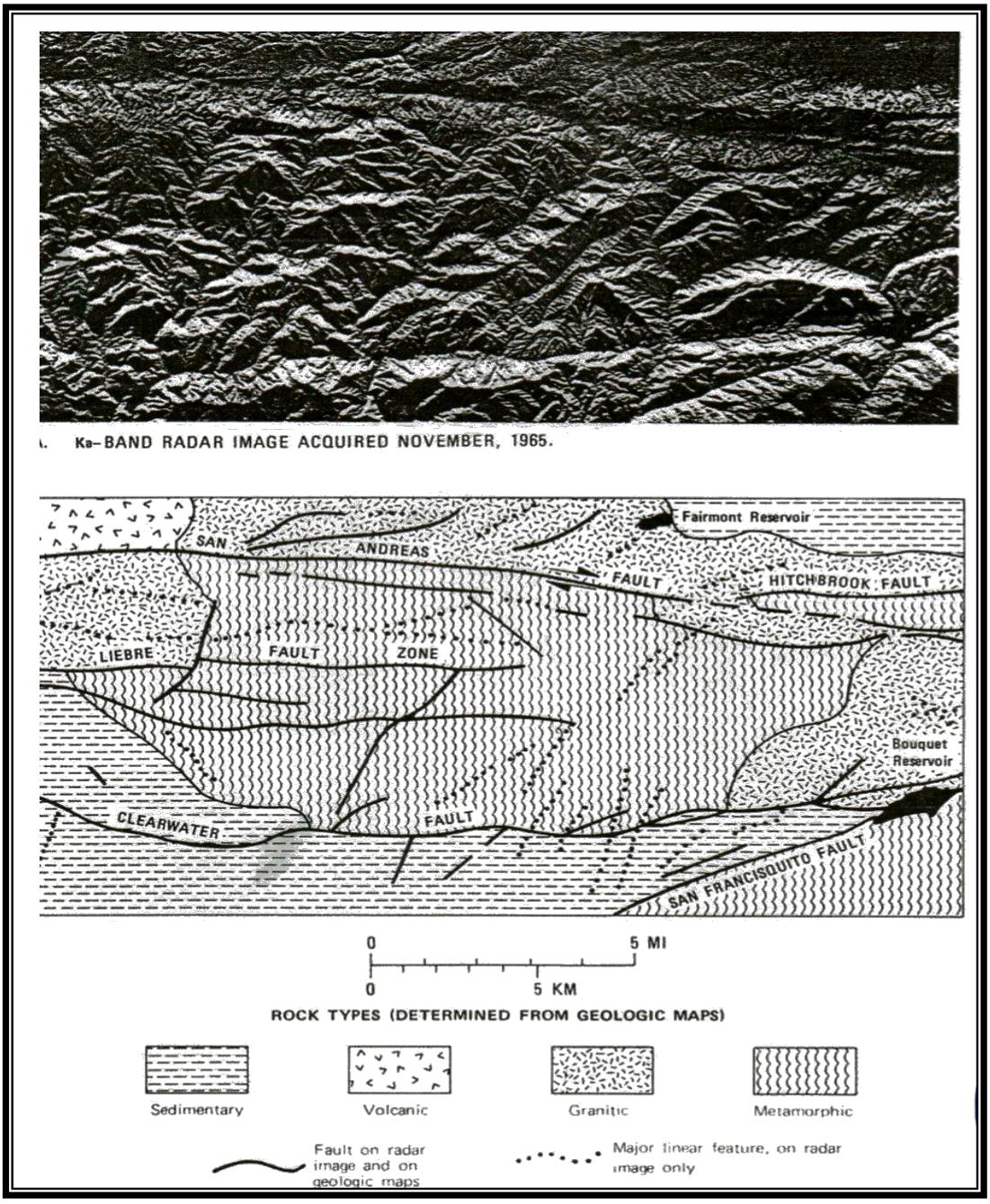
المصدر Floyd F., 1979, p.189



شكل رقم (6–3) صور فضائية لمختلف انواع التضاريس الأرضية

المصدر Floyd F., 1979, p.198

التضاريس الأرضية وهي مهمة جدا في تفسير الصور الفضائية بالمقارنة مع الأشكال المتشابهة كذلك من الممكن الاستعانة بالخرائط الجيولوجية ومطابقتها مع الصور الفضائية لتفسير ظواهر وتراكيب جيولوجية كثيرة تظهر على سطح الأرض شكل رقم (7–3).



شكل رقم (7–3) تفسير الصور الفضائية بالاستعانة بالخرائط الجيولوجية والتكتونية

المصدر Floyd F., 1979, p.229

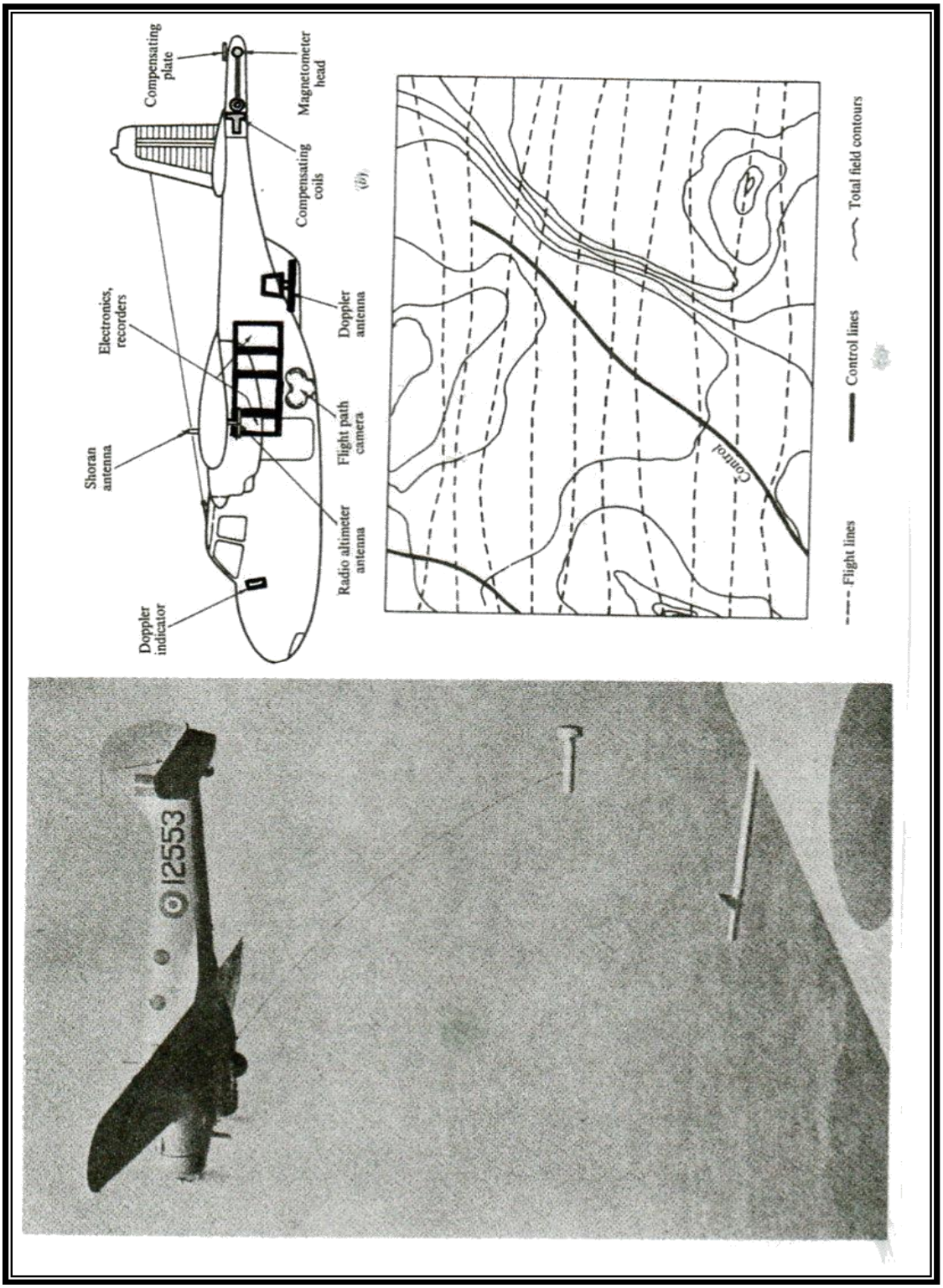
2- التحسس الجيوفيزيائي الإقليمي Regional Geophysical Detection

من المعروف إن الترسبات المعدنية تحتوي على تراكيز عالية من بعض المعادن اكثر بكثير من معدلات انتشارها في القشرة الأرضية ، هذه المعادن تمتلك خصائص وصفات فيزيائية خاصة لكل معدن تختلف عن الصخور المحيطة بها، مثال على ذلك، كثافتها عالية، امتلاكها لخاصية المغناطيسية،الخاصية الإشعاعية، وبذلك أمكن من استخدام أجهزة متخصصة في الكشف عن هذه الصفات باستخدام الطائرات، الطرق الجيوفيزيائية الجوية

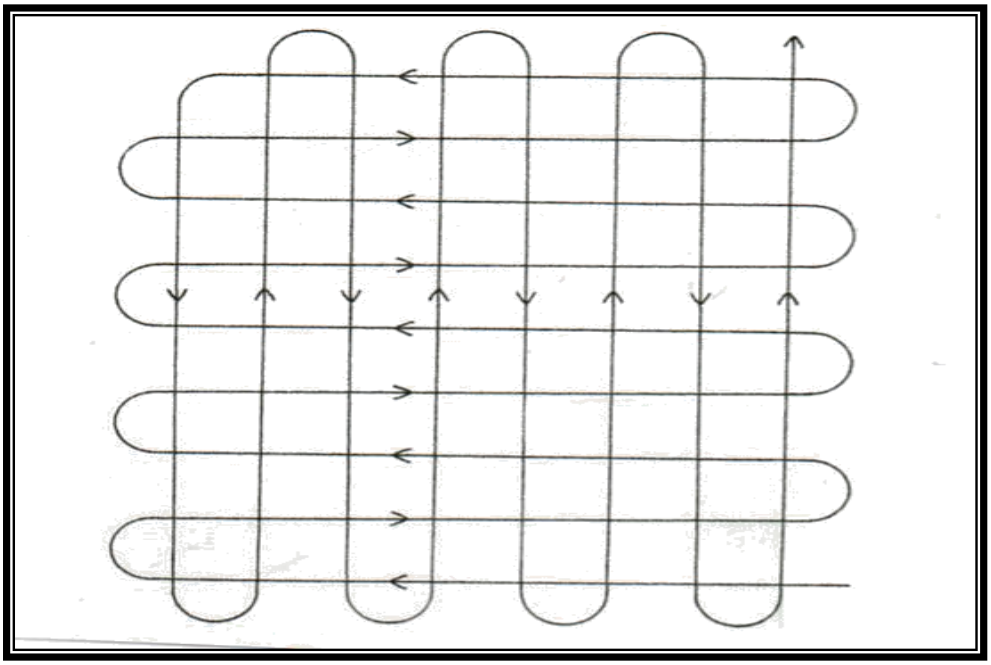
أمكن استخدامها وتطبيقها في دراسة ومسح المناطق الإقليمية الواسعة، المناطق الجبلية، المناطق الصحراوية وبصورة سريعة حيث تختصر الوقت والجهد وتقلل التكاليف المالية. من أهم الطرق الجيوفيزيائية المستخدمة في المسح الجوي هي الطريقة المغناطيسية الجوية والطريقة الالكترومغناطيسية الجوية.

أ – الطريقة المغناطيسية الجوية Aeromagnetic survey

يتم قياس المغناطيسية الأرضية (المجال المغناطيسي الكلي)من الجو باستخدام الطائرات ويتم ذلك عن طريق ربط جهاز قياس المغناطيسية (magnetometer) خلف أو أسفل الطائرة لأبعاده عن تأثير مغناطيسية الطائرة، يتم تسجيل الاختلافات في القراءات المغناطيسية المستلمة من الأرض من قبل جهاز يسجل النتائج على شريط خاص (شكل رقم 8–3) يتم إجراء المسح الجوي على طول مسارات متوازية تسلكها الطائرة اثناء الطيران لكي تغطي كامل المنطقة المدروسة (شكل رقم 9–3). من أصعب المشاكل التي تواجه المسح الجوي هي تثبيت المسارات التي تسلكها الطائرة مع تسجيل القرارات ويتم تجاوز ذلك في كثيرمن الأحيان بإستحصال صور جوية بصورة موازية مع المسح الجوي، بعد ذلك تتم معالجة وتحليل هذه النتائج لاستخراج وفصل القراءات المغناطيسية العالية أو ما يسمى الشذوذ المغناطيسي حيث يتم تسقيطها على شكل خرائط ترسم وتحدد منها المناطق المشجعة على تواجدات لشواهد مغناطيسية عالية (شكل رقم 10–3) تم تطوير أجهزة حديثة تقوم بتسجيل القراءات المغناطيسية تلقائيا وقسم منها يقوم بطرح الخلفية المغناطيسية الأرضية مباشرة ليعطي نتائج الشواهد المغناطيسية العالية وتحديد أماكنها وامتداداتها، بعدها يتم رسم وإنتاج خرائط كنتورية تسمى Isomagnetics map تُظهر الشواذ المغناطيسية، يتم من خلالها تحديد شكل واتجاه التراكيب الجيولوجية والتكوينات الصخرية الحاوية على مواد مغناطيسية.

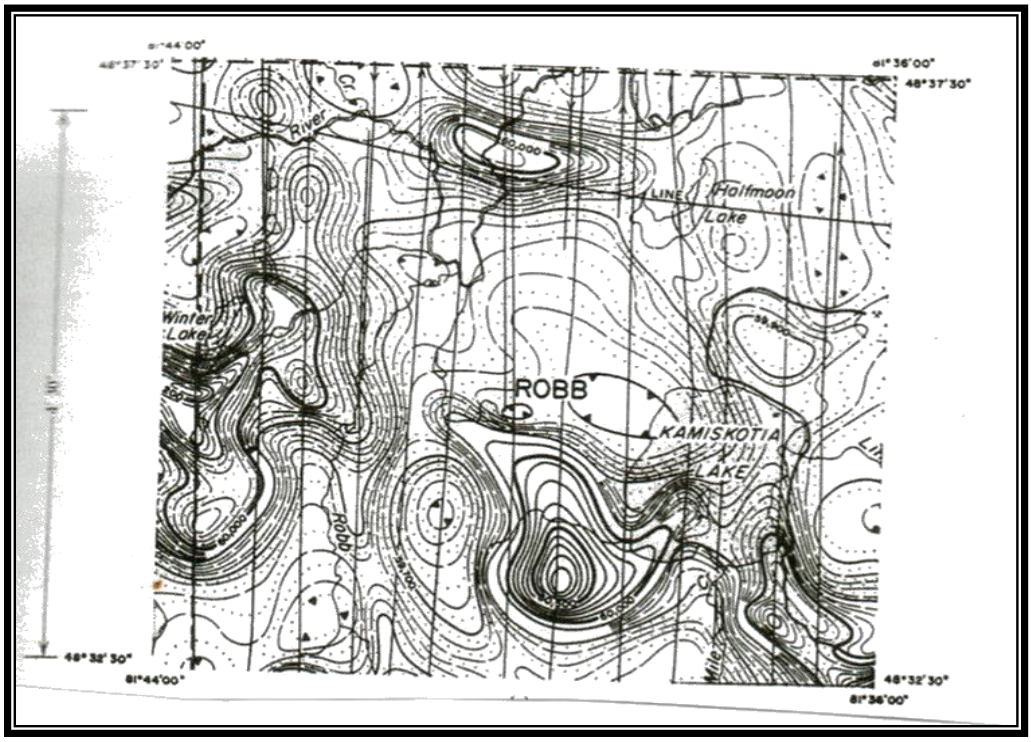


شكل رقم (8–3) شكل يوضح ترتيب الأجهزة في في المسح الجوي المغناطيسي



شكل رقم (9-3) مسارات المسح الجوي الإقليمي

هذه الطريقة فعالة وسريعة وغالبا أول ما تستخدم في الاستكشاف المعدني الإقليمي لسرعة انجاز العمل والكلف القليلة ولها قيمة عالية في رسم الخرائط المغناطيسية الإقليمية.



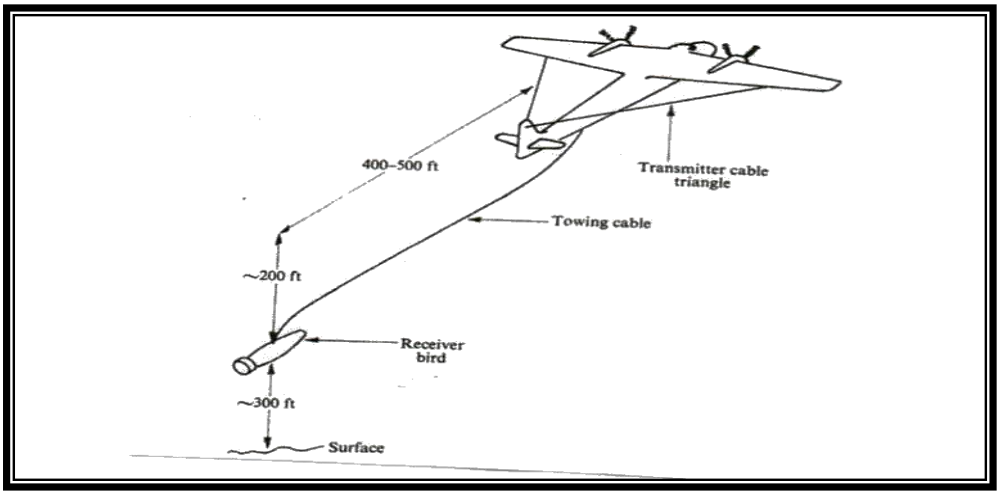
شكل رقم (10-3) خارطة المسح الجوي الإقليمي توضح الشذوذ المغناطيسي

المصدر Telford s W.M. et al 1985, p. 199

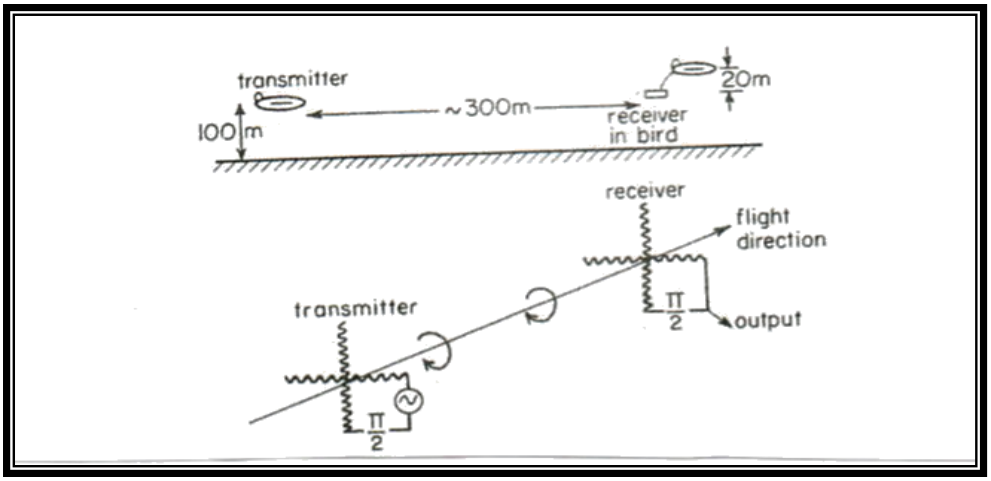
ب- المسح الجوي الالكترومغناطيسي Aero Electromagnetic Survey

المسح الجوي المغناطيسي يعتمد على إحداث مجال مغناطيسي أولي بواسطة ملف أو قابلو يتم ربطه أو حمله في الطائرة، يمتاز بكونه ذو ترددات واطئة وسعة كبيرة وذات مجال مغناطيسي قوي، ارتفاع الطائرة يتراوح من (500) قدم إلى حوالي (1/2) ميل تسير على مسارات طيران محددة. هذا المجال المغناطيسي عند مروره وتغلغله في الطبقات الصخرية الأرضية وفي حالة وجود ترسبات معدنية حاصلة لمعادن الحديد أو أية مواد مغناطيسية فانه يؤدي إلى إحداث تيار كهربائي عن طريق حصول استقطاب للشحنات الكهربائية داخل الجسم المعدني مما يؤدي إلى ظهور مجال مغناطيسي ثانوي حول الجسم المعدني، محصلة المجال المغناطيسي الثانوي عند تقاطعه مع المجال مغناطيسي الأرضي يتم استلامه عن طريق ملف استلام مثبت كذلك في الطائرة يسجل كافة التغيرات الحاصلة في المجال المغناطيسي والتي تعكس وجود أجسام معدني أو تراكيب جيولوجية تحت سطح الأرض.

عادة يتم ربط الملف المرسل للمجال المغناطيسي بين أطراف أجنحة الطائرة وبين مؤخرتها (شكل رقم a-11-3) أما ملف الاستلام والذي يسمى (الطائر Bird) يربط بواسطة سلك يتدلى أسفل الطائرة، تسمى هذه الطريقة (Quadrature method). الطريقة الثانية المحورة لهذا الترتيب هو استخدام ملف إرسال مغناطيسي ثابت على سطح الأرض ويكون ملف الاستلام في الطائرة، من فوائد هذه الطريقة هو الحصول على تغلغل كبير للمغناطيسية في باطن الأرض خلال الصخور التحت سطحية وتكون مسارات الطيران عمودية على هذا الملف. الطريقة المستخدمة هي استخدام طائرتين واحدة خلفية تحمل ملف الإرسال المغناطيسي والطائرة الأمامية تحمل ملف الاستلام المغناطيسي تفصل بينهما مسافة ثابتة تقريبا قدرها (300m)، في هذا النظام نحصل على تغلغل كبير للمغناطيسية في الصخور والتكوينات التحت سطحية. شكل رقم (b-11-3) يوضح طريقة ترتيب وعمل هذه الطريقة.

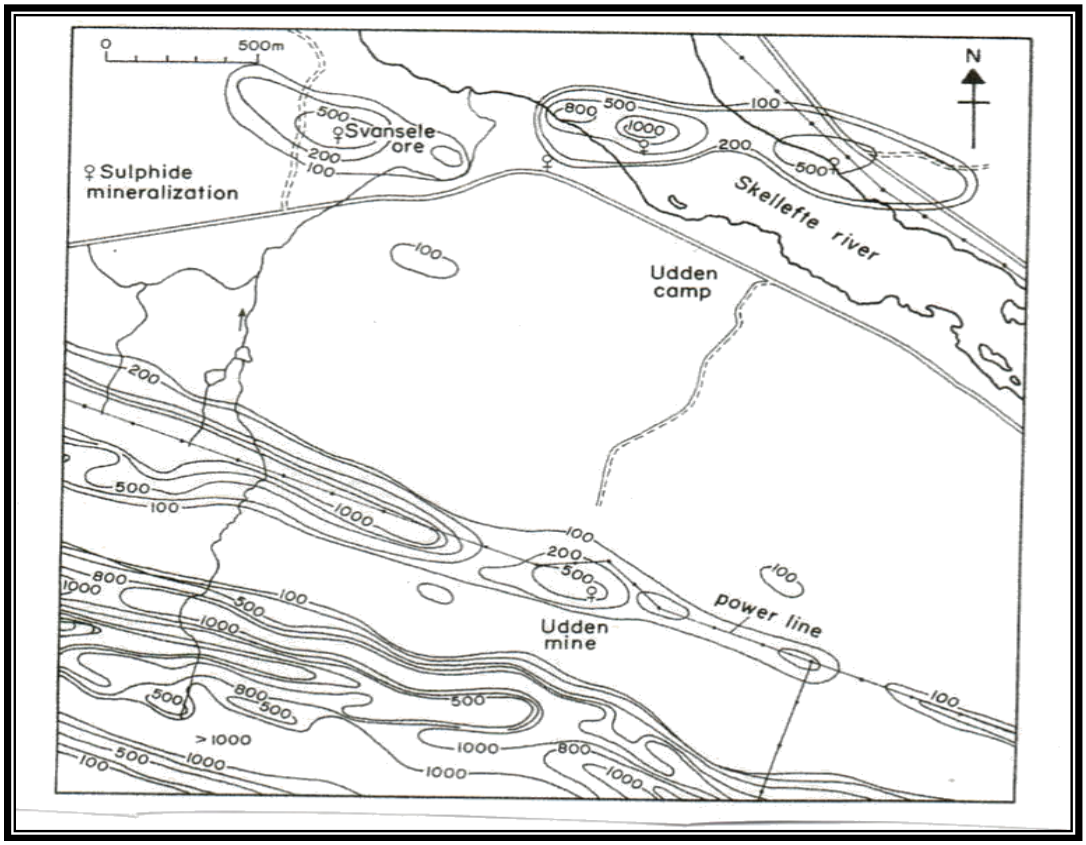


شكل رقم (3–11–a) مخطط يوضح طريقة ربط واستخدام أجهزة المسح الجوي الإقليمي للطريقة الالكترومغناطيسية



شكل رقم (3–11–b) مخطط يوضح طريقة عمل واستخدام أجهزة المسح الجوي الإقليمي للطريقة الالكترومغناطيسية باستخدام أجهزة إرسال مغناطيسي ثابت

النتائج المستحصلة من المسح الجوي الإقليمي هي عبارة عن خرائط كنتورية تسمى Iso–Electromagnetic map ممكن ان تحتوي على مناطق ذات شواذ مغناطيسية عالية يتم تحديدها وتعيين مواقعها تمهيداً لإجراء دراسات تفصيلية عليها في المراحل اللاحقة. كما في الشكل(12–3)



شكل رقم (12-3) يبين خارطة الشواذ الالكترومغناطيسي

المصدر: Kearey and Brook, 1984, p240

ج- طريقة الاستنشاق الهوائي Air Sniffing Device

يعتمد نظام الاستنشاق الهوائي على طريقة سحب الهواء الجوي بواسطة أجهزة متخصصة معدة لهذا الغرض ثم يتم إمرار الهواء على فلتر أو متحسس، هذا المتحسس يعتمد على إعطاء إشارة عند حصول انبعاث للغازات أو الجزيئات من داخل سطح الأرض إلى الخارج مثل بخار الزئبق، غاز ثاني أوكسيد الكبريت SO_2 وغاز الرادون المشع Rn^{+226} والذي تدل على وجود ترسبات معدنية تحتوي على مركبات هذه الغازات تحت سطح الأرض، يمكن تحديد مواقعها وامتداداتها على الخرائط الجيولوجية أو الطبوغرافية الإقليمية.

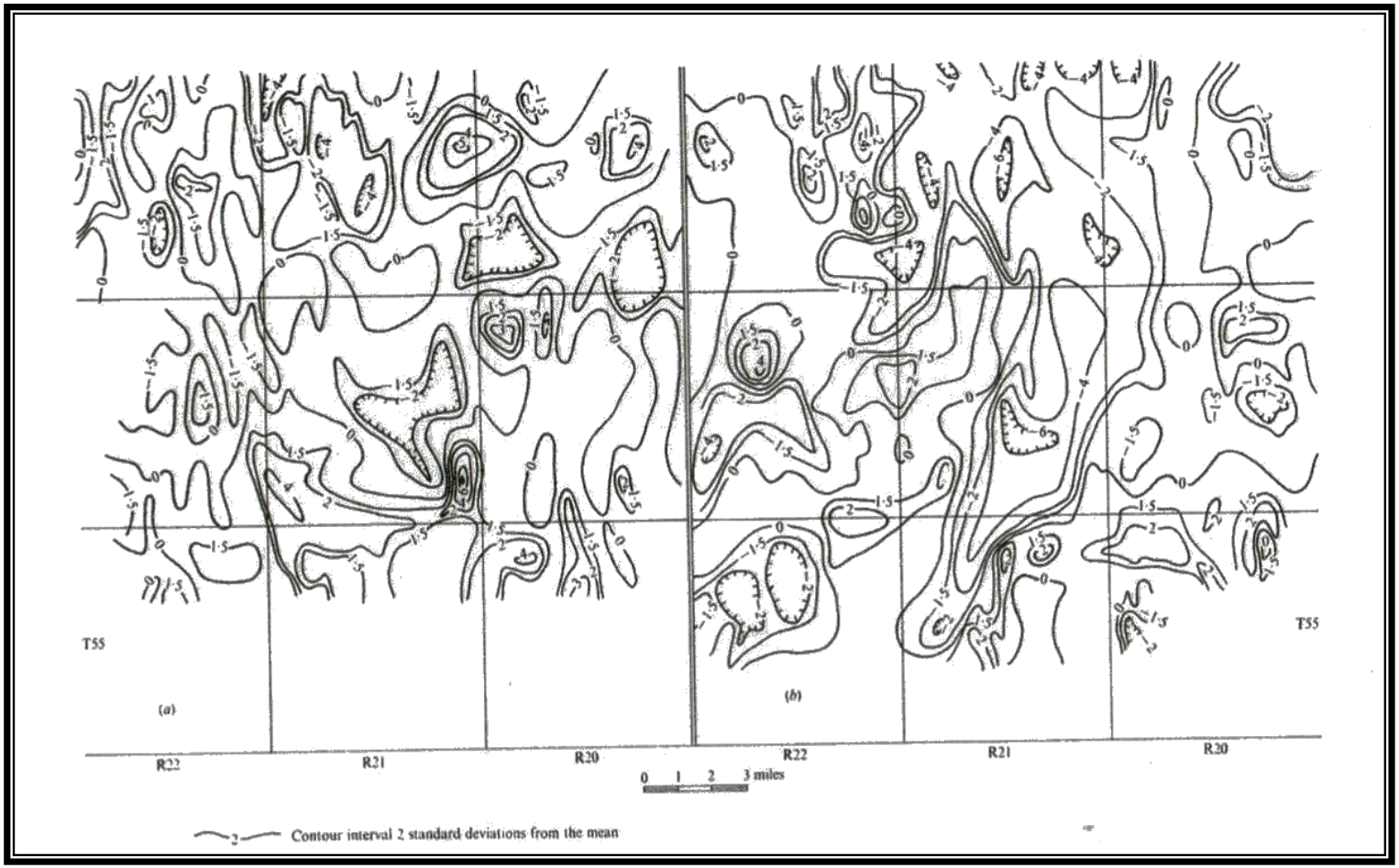
د- الطريقة الإشعاعية Radioactive Method

تعتمد هذه الطريقة على استخدام أو استكشاف النشاط الإشعاعي لبعض العناصر وخاصة اليورانيوم في البحث والتنقيب عن المواد المشعة. إن ذرات العناصر المشعة وأهمها اليورانيوم (U)، الثوريوم (Th) والبوتاسيوم (K) تمتلك خاصية التحلل التلقائي وتحولها إلى عناصر أخرى من خلالها إشعاعها طاقة إما على شكل جسيمات (أشعة α وأشعة β) أو على شكل أشعة الكترومغناطيسية (أشعة γ).

تعتبر أشعة كاما أهم أنواع الإشعاعات التي تطلقها المواد المشعة كونها تؤين الوسط الذي تسير فيه ولها قابلية نفاذ عالية من خلال المواد، حيث يمكن إيقاف هذه الأشعة من خلال سطح من الصخور سمكه (50) سنتمتر أو بواسطة طبقة من الرصاص سمكها (4) أنج.

إن الهدف من طريقة التحري والتنقيب عن المواد المشعة هي تحسس واكتشاف أشعة (γ) كاما وذلك لأنها أمواج كهرومغناطيسية لها طول موجي قصير وترددات عالية جدا تسير مسافة طويلة في الهواء أو في بعض الأوساط الأخرى، هذه الخاصية أعطت سهولة في الكشف عن الخامات المشعة باستخدام الطائرات وعمليات المسح الجوي، تستخدم أجهزة خاصة في المسح الإشعاعي تسمى العداد ألوميضي Scintillation Counter حيث تحتوي هذه الأجهزة على بلورات خاصة تولد ومضة ضوئية عند سقوط أشعة كاما عليها تتناسب طرديا مع شدة الأشعة الساقطة عليها.

الأجهزة المستخدمة في المسح الجوي تكون كبيرة وثقيلة نسبيا لغرض تحسس الإشعاعات البسيطة ويتم تسجيل النتائج على شكل شريط أو على أقراص رقمية تدخل إلى الحاسبة مباشرة التي تقوم برسم خرائط كنتورية للمناطق المستهدفة بعمليات التحري الإشعاعي حيث يتم تحديد وتعيين الأماكن والمناطق ذات الشواهد والشذوذ الإشعاعي (Isorad map) شكل رقم (13-3).



شكل رقم (13-3)

خارطة الشذوذ الاشعاعي الاقليمي

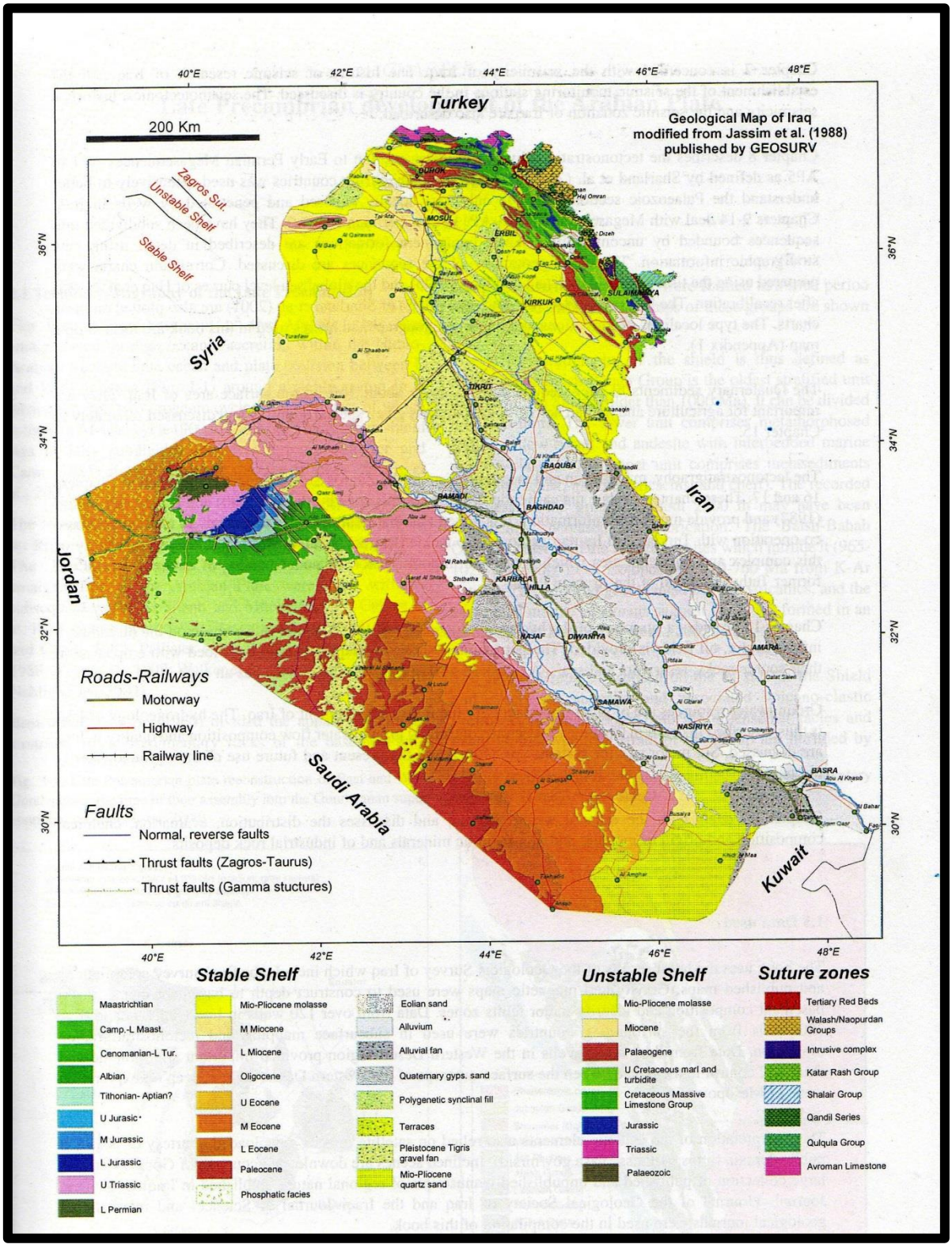
المصدر : Telfod, etal, p.766

3- دراسة الخرائط الجيولوجية والطبوغرافية

Studying of the Reagional Topographic and Geological Maps

إن استخدام الخرائط الجيولوجية والطبوغرافية المعدة مسبقا والمتوفرة من دراسات حلقية سابقة إحدى الوسائل المهمة التي يعتمد عليها كثيرا في العمليات الاستكشاف المعدني الإقليمي، أهم الخرائط المستخدمة هي التي تكون بمقياس رسم يتراوح من (1:250000 إلى 1:25000). إن مقياس الرسم للخرائط المختارة يعتمد بصورة كبيرة على طبيعة تواجد وامتداد الترسبات والتراكيب الجيولوجية وكذلك على مرحلة الاستكشاف المعدني ان كانت تفصيلية أو استطلاعية. مثال على ذلك إذا كان الاستكشاف المعدني يجري في منطقة الصحراء الغربية في العراق وهي مناطق منبسطة سهلة تقريبا وواسعة، يفضل استخدام رسم الخرائط (1:100000) في حين إن الاستكشاف المعدني في المناطق الجبلية شمال العراق يفضل استخدام مقياس رسم بمقدار (1:25000) لغرض إجراء تغطية تفصيلية لمنطقة الدراسة.

في المراحل الأولية من عمليات الاستكشاف المعدني الاستطلاعي حيث تكون المناطق المستهدفة بالدراسة واسعة جدا ولغرض ضمان تغطية شاملة لهذه المناطق يفضل استخدام خارطة بمقياس 1:100000 أما في المراحل اللاحقة من عمليات الاستكشاف المعدني التي تكون تفصيلية أكثر يجب استخدام خرائط بمقياس رسم صغير (1:20000) لغرض عرض وتوضيح التفاصيل الدقيقة للمكونات الجيولوجية المدروسة. بعض الترسبات المعقدة تحتاج إلى خارطة بمقياس اصغر لغرض دراسة توضيح ودراسة التفاصيل الدقيقة لهذه الترسبات. شكل رقم (14-3) يمثل خارطة العراق الجيولوجية الإقليمية التي تعتبر الأساس في دراسة التكوينات والتراكيب الجيولوجية التفصيلية.



شكل رقم (14-3) خارطة تمثل جيولوجية العراق الإقليمية

المصدر: الهيئة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين،2010

(3-5-2) المسح والتنقيب الجيولوجي الأرضي

Surface Investigational and Geological Survey

إن مرحلة المسح والتنقيب الأرضي الجيولوجي المرحلة الثانية الأكثر أهمية في سلسلة مراحل العمل الاستكشافي الجيولوجي والتي تعقب مرحلة المسح الجيولوجي الإقليمي. يتم استخدام والاستفادة من المعلومات والدراسات المتوفرة من المرحلة الأولى والتي أعطت مؤشر ايجابي على وجود تواجدات لترسبات معدنية أو تراكيب جيولوجية مشجعة بعد ان تم تحديد أماكن تواجدها وامتداداتها عندئذ تظهر الحاجة إلى ضرورة إجراء المزيد من الدراسات الجيولوجية الحقلية وأعمال التحري والتنقيب الأرضي لغرض التحقق من نتائج وتوصيات مرحلة المسح الإقليمي. إن دراسة توصيات المرحلة الأولى تفصيليا والتحقق منها موقعيا على الأرض مباشرة، يتم ذلك باستخدام وتطبيق تقنيات مختلفة وأسلوب عمل أكثر دقة وتفصيل حيث يتم توظيف الخصائص الفيزيائية، الكيميائية والبيولوجية بالإضافة إلى استحصال النماذج اللبابية أو الخندقية التي تعطي أمكانية التعرف عن قرب على المكونات المعدنية للترسبات المعدنية، خصائصها ومميزاتها إضافة إلى وصف وتحديد التكوينات الجيولوجية الأخرى الموجودة في المنطقة. تشمل هذه المرحلة على عدة إعمال ودراسات متعاقبة هي:

(3-5-2-1) وصف التراكيب والتكوينات الجيولوجية أو الترسبات المعدنية Structural Description

من أهم الأعمال والمهام التي يقوم بها الجيولوجي المكلف بتنفيذ إعمال هذه المرحلة من عمليات الاستكشاف المعدني هي تحديد أماكن تواجد الشواهد والتراكيب الجيولوجية مع الشواذ التي تدل على وجود ترسبات معدنية على خرائط جيولوجية حقلية . بالإضافة إلى ذلك الحصول على نماذج صخرية من المكاشف الصخرية و التكوينات الجيولوجية الموجودة في مناطق الدراسة . إجراء دراسة تحليليه ووصفيه على هذه النماذج لمعرفة الطبيعة الكيميائية والمعدنية لهذه المكونات الجيولوجية مع وصف للظروف الترسيبية التي أدت إلى نشؤها وتكوينها، ممكن إعطاء أو إيجاد أية معلومات عن امتدادات التكوينات الجانبية وحدودها الجيولوجية التقريبية بصورة استدلالية من المعلومات الحقلية المتوفرة. كافة هذه المعلومات تعتبر معلومات أولية تقريبية غير مؤكدة والنتائج المستنبطة قد تكون مشجعة تدل على ما يشير إلى وجود شواهد وتواجدت لترسبات معدنية أو تراكيب جيولوجية تقود إلى الاستمرار بإجراء المزيد من الدراسات التفصيلية اللاحقة للحصول على معلومات أضافية دقيقة حول حجم شكل الترسبات ودرجة تركيز الخام، هذه الأعمال تسمى أعمال وصف الترسبات المعدنية. (Delineating the Deposit)

الأعمال الجيولوجية والدراسات الحقلية اللاحقة لوصف الترسبات المعدنية بصورة أكثر دقة وتفصيل هي استحصال نماذج خندقية أو نماذج صخرية أكثر كثافة أو أي نوع من النماذج لغرض

تحليلها ومعرفة مكوناتها وتراكيزها المعدنية، وقد سبق وان تطرقنا إلى انواع النماذج وأسلوب إستحصالها في الفصل السادس ضمن احتياطي الترسبات المعدنية في حالة كونه الترسبات المعدنية أو التكوينات الجيولوجية المستهدفة تقع على أعماق بعيدة. لابد بهذه الحالة من إجراء بعض من أعمال حفر الآبار الاستكشافية المحدودة لغرض الحصول على النماذج اللبابية المطلوبة من الجسم المعدني.

الدراسات الحديثة توصي بضرورة إجراء عمليات حفر للآبار في المراحل الأولية من عمليات الاستكشاف المعدني الأرضي والذي يسمى بالحفر الاستكشافي (Scout Drilling) لغرض الحصول على نماذج لبابيه تعطي معلومات أولية مهمة من امتدادات الترسبات المعدنية وعمقها مع معلومات عن خصائص ومميزات الخام، نوع الصخور المحيطة به سواء كانت ضمن العمود الطبقي العلوي أو أسفل الترسبات المعدنية، هذه المعلومات تستخدم في الدراسات التقييمية اللاحقة ودراسة الجدوى الاقتصادية وفي تصميم المنجم. هذه الآبار الاستكشافية يجب ان تكون سريعة التنفيذ وتحفر بأدنى كلفة اقتصادية ممكنة ويجب العمل على الاستفادة القصوى من كل المعلومات التي ممكن الحصول عليها من النماذج اللبابية ومعلومات الحفر ألبئري بالإضافة إلى ضرورة توثيق كافة هذه المعلومات وتدوينها لتصبح مرجع أساسي يتم العودة لها عند الحاجة حتى المراحل النهائية من مراحل استثمار واستغلال الترسبات.

على ضوء المعلومات التي توفرها الدراسات أعلاه يمكن التوصية في نهاية العمل كيف سيكون شكل وحجم شبكة الآبار المطلوب حفرها في المرحلة اللاحقة والمسافات البينية بين الآبار توضع لغرض تصميم برنامج اقتصادي قليل الكلفة يمكن الحصول منه على كافة المعلومات والنتائج المطلوبة.

(3-5-2-2)المسح والتنقيب الأرضي Surface Investigation

تتضمن مرحلة المسح والتنقيب الجيولوجي الأرضي عدة عمليات جيولوجية وطرق قياس حقلية مختلفة مع دراسات عديدة يقوم بها الجيولوجي التطبيقي المختص أو القائم بهذه الأعمال بعضها يسير بصورة متوازية بعضها مع البعض، والقسم الآخر من هذه العمليات الجيولوجية تكمل بعضها البعض وتسير بصورة متعاقبة ومتسلسلة. هذه الطرق الجيولوجية هي:-

1- المسح الجيوكيميائي الأرضي.
2- المسح الجيوفيزيائي الأرضي.
3- حفر الآبار الاستكشافية.

1- المسح الجيوكيميائي الأرضي Survey Surface Geochemical

يعتبر المسح الجيوكيميائي الأرضي أداة إدارة ووسيلة مهمة من وسائل الاستكشاف المعدني والتحري عن الترسبات المعدنية خصوصا في الكشف عن الترسبات المعدنية الفلزية. طرق المسح الجيوكيميائي عديدة ومختلفة حيث تعتمد بصورة كبيرة على طبيعة الترسبات. أصل نشوئها وتواجدها وطبيعة المنطقة الحاضنة لهذه الترسبات من ناحية الطبوغرافية، المناخ، وجود شبكة لتصريف المياه السطحية، وجود مياه جوفية مع اتجاه جريانها...الخ.

الطرق الجيوكيميائية يمكن تطبيقها للكشف عن المعادن المتواجدة في الصخور بطرق التحليل الكيميائي للصخور، التربة، الرسوبيات أو المياه التي تعطي شذوذ أو شواذ كيميائية نستدل من خلالها على تواجدات لترسبات معدنية.

من الممكن إجراء المسح والتنقيب الجيوكيميائي على نطاق إقليمي أو محلي تفصيلي، ممكن الاستفادة من الأعشاب والأشجار التي تنمو في المناطق المنتخبة لإجراء الدراسة الجيوكيميائية بواسطة إجراء عمليات تحليل بايوكيميائية التي تعطي دلائل على التراكيز الفلزية في التربة وخاصة ما يستخدم على النبات التي تعطي شواهد وأدلة على نوع التربة وظروفها أو خصائصها اعتمادا على التغذية المستخدمة للنبات.

أهم طرق المسح والاستكشاف الجيوكيميائي المستخدمة في عمليات الاستكشاف المعدني هي:-

أ- الاستكشاف باستخدام نماذج صخرية Lithogeochemical Survey (Rock Sampliy)

ب- الاستكشاف باستخدام نماذج التربة Pedogeochemical Survey (Soil Samples)

ج- الاستكشاف باستخدام نماذج مياه الطبيعية

Hydrogeochemical Survey (Water Samples)

د- الاستكشاف باستخدام نماذج رسوبيات جداول تصريف المياه

Drainage Sediments Samples

هـ - الاستكشاف باستخدام نماذج الغازات والغبار

Atmogeochemical Survey (Gases and dust particles)

و- الاستكشاف باستخدام نماذج النباتات

Biogeochemical and Geo botanical Survey (plants samples)

أ- الاستكشاف المعدني باستخدام نماذج صخرية

Rock Sampling or Lithogeochemical Survey

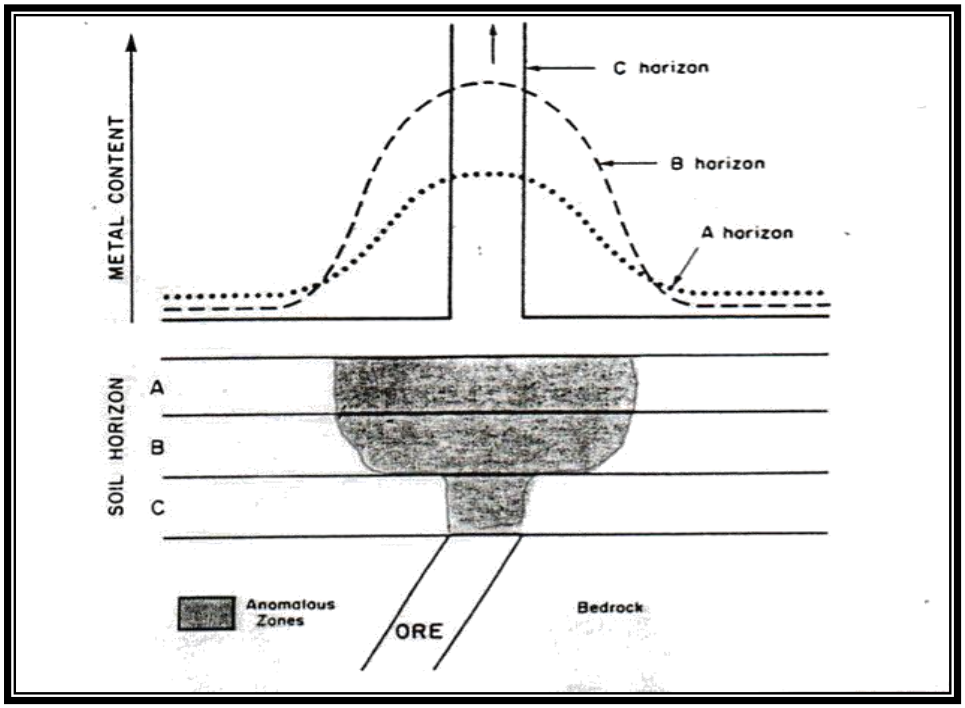
تستند عمليات الاستكشاف المعدني باستخدام النماذج الصخرية على تحليل كامل للنموذج الصخري أو تحليل فقط المحتوى المعدني الموجود في الصخور. تستخدم عمليات التحليل

الجيوكيميائي باستخدام نماذج الصخور في حالات التحري والتنقيب الاستطلاعي الإقليمي الذي يتم به تحديد المناطق المناسبة لتواجد صخور حاوية على عناصر معدنية بتراكيز عالية. الهدف من عمليات استخدام النماذج الصخرية في عمليات الاستكشاف المعدني الإقليمي هي تحديد وتشخيص بعض الظواهر الجيوكيمائية التي من الممكن أن تكون مرتبطة بوجود ترسبات معدنية قريبة.

إن التحري والاستكشاف المعدني الجيوكيميائي الذي يهتم بدراسة انتشار العناصر المعدنية في النماذج الصخرية يعتبر احد الوسائل المهمة في الكشف عن الترسبات المعدنية وتتبع أثارها، وتحديد مواقعها تحت سطح الأرض. إن الاستفادة الكبيرة المستحصلة من استخدام النماذج الصخرية هي الحصول على نتائج مباشرة عن طبيعة وشكل انتشار وتوزيع العناصر المعدنية في الصخور التحت سطحية المحيطة بالجسم المعدني.

يجب أن تكون النماذج الصخرية التي يتم جمعها خلال عمليات الاستكشاف الجيوكيميائي غير متأثرة بعمليات التجوية وبعيدة عن تأثيرات الظروف السطحية المعقدة التي من الممكن أن تغير من طبيعة انتشار هذه العناصر المعدنية في النماذج الصخرية. خلال العمليات الترسيبية التمعدنية Mineralizing processes التي تجري تحت سطح الأرض والتي تؤدي إلى ظهور أو نشوء ترسبات معدنية وخاصة عند تغلغل المحاليل الحرمائية Hydrothermal Solution خلال الشقوق والكسور والفجوات في التكوينات الصخري أو بالعمليات الجيولوجية الأخرى تكتونية أو ترسيبية غالبا ما يحصل هروب أو نضوح للعناصر والغازات من الجسم المعدني إلى الصخور المحيطة به بسبب اختلاف تراكيز هذه المكونات المعدنة مما يؤدي إلى حصول أو ظهور ما يسمى بالهالة (halos) ذات تراكيز عالية من المواد الكيمياوية والمعدنية تنتشر في الصخور المحيطة بالجسم المعدني، وممكن أن تمتد من سنتمتر واحد إلى عدة كيلومترات،هذه الظاهرة تكون دائما هدف للدراسة وتستخدم في المسح الجيوكيميائي الاستكشافي في اقتفاء اثر الترسبات المعدنية وتتبعها لغرض تحديد موقع تواجد هذه الترسبات، شكل رقم (15-3).

إن حجم وسعة الهالة تعتمد بصورة رئيسية على كثافة التشققات الموجودة في الصخور ونفاذية الصخور الحاضنة للمحاليل الحرمائية أو الترسبات المعدنية، وكذلك قابلية العناصر المعدنية على الانتشار والنضوح في الصخور المحيطة بها. مثال على ذلك الهالة المعدنية الموجودة في مقاطعة أوتا (Tintic district, UTAH) في الولايات المتحدة الأمريكية حيث تحتوي على عناصر Cu, Zn, Pb والتي تمتد لمسافة حوالي ثلاثون مترا من العرق المعدني الحاوي على الخام المتمثل بالكوارتز والمونوزايت (Quartz and Monazite).



شكل رقم (15-3) هالة شذوذ جيوكيميائي

المصدر: Levin son 1979, p.12

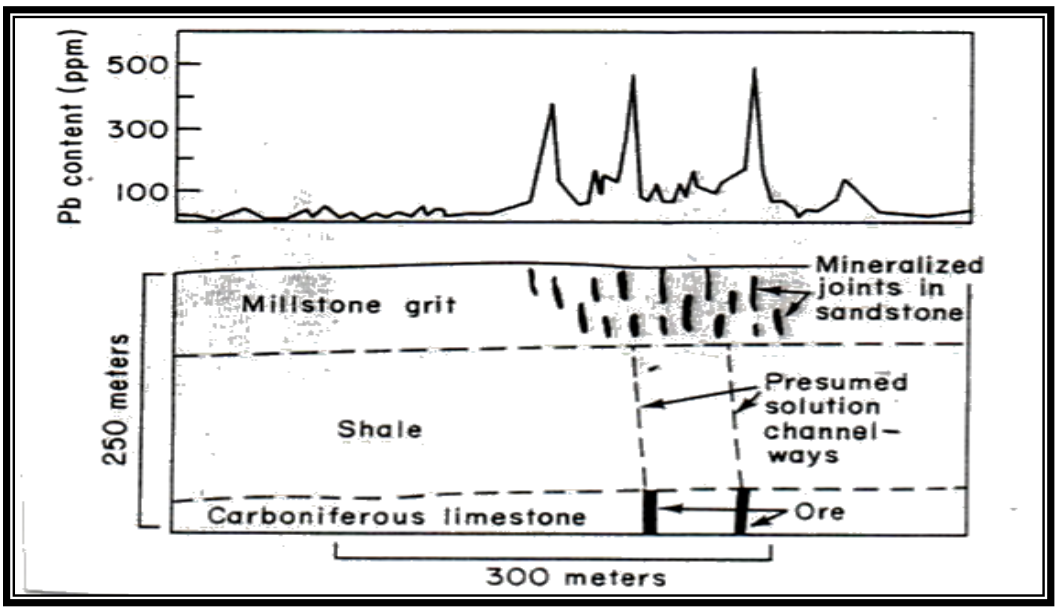
إن طريقة اختيار مواقع النماذج نوع وطريقة جمع النماذج، تحديد شبكة مواقع النمذجة والمسافة بين النماذج يجب أن توضع في بداية العمل الجيوكيميائية الاستكشافي وتحدد على ضوء مرحلة المسح هل هو تفصيلي ام استطلاعي، أولي أم ثانوي، شبكة مواقع النماذج يجب ان توضع بشكل يغطي كامل المساحة المطلوب إجراء الأعمال الاستكشافية عليها. في حالة المسح التفصيلي يفضل أن تكون المسافات بين مواقع النماذج متقاربة لضمان اكبر عدد من النماذج تقطع أو تقع ضمن منطقة التمعدن، في حالة عدم كفاية المكاشف الصخرية لأخذ نماذج تغطي المنطقة المستهدفة كاملا يمكن اللجوء إلى تقسيم المنطقة إلى قواطع مربعة بحيث يتم جمع أو استحصال نموذج واحد على الأقل من كل قاطع. في حالة عدم كفاية النماذج الصخرية في المنطقة من الممكن استبدال مواقع النماذج التي لا يوجد مكاشف صخرية أو آبار لبابيه إلى استحصال نماذج تربة (Soil Samples) وبعد إجراء التحليل الكيميائي عليها ممكن مقارنة نتائج التحليل بينهما لمعرفة مقدار أو قيمة الشذوذ المعدني.

من الأفضل جمع نماذج صخرية من خارج حدود التمعدن والغرض من ذلك هو معرفة مستوى الخلفية المعدنية في المنطقة وثم معرفة النماذج التي تحتوي على شذوذ معدني بالمقارنة مع هذه النماذج، يتم جمع النماذج الصخرية من المكاشف الصخرية الموجودة في المنطقة ويتم ذلك بعد إزالة الغطاء السطحي للصخور وإزالة الصخور المتأثرة بالتجوية والظروف السطحية والصخور الملوثة ويجب الحصول على نماذج نقية (Fresh

Samples)، وفي حالة تعذر ذلك لبعض المناطق يمكن الحصول على نماذج لبابية من الآبار الاستكشافية المحفورة مسبقا في المنطقة.

يجب حفظ النماذج الصخرية المستحصلة في أكياس بلاستيكية أو قماش مناسب لغرض حفظها من التلوث. النماذج اللبابية التي تجمع من الحقل يجب تنظيفها من تأثيرات سوائل الحفر والاحتكاك المعدني مع أنابيب الحفر، النماذج المستخرجة من الأعمال المنجمية يجب تنظيفها كذلك من تأثيرات غازات التفجير أو المياه الجوفية. تطحن النماذج الصخرية في وعاء خزفي خاص بها ثم خلطها جيد، وإرسالها إلى المختبر لأغراض التحليل الكيميائي.

نتائج التحليل الكيميائي يتم تسقيطها على شبكة مواقع النمذجة ثم يتم عملية إجراء رسم الخطوط الكنتورية لتساوي التراكيز المعدنية لغرض تحديد المناطق ذات التراكيز العالية التي يتم إجراء مسوحات تفصيلية لاحقة عليها لتحديد موقع الترسبات المعدنية.



شكل رقم (16-3) نضوج المواد المعدنية من المواد الخام إلى التربة السطحية

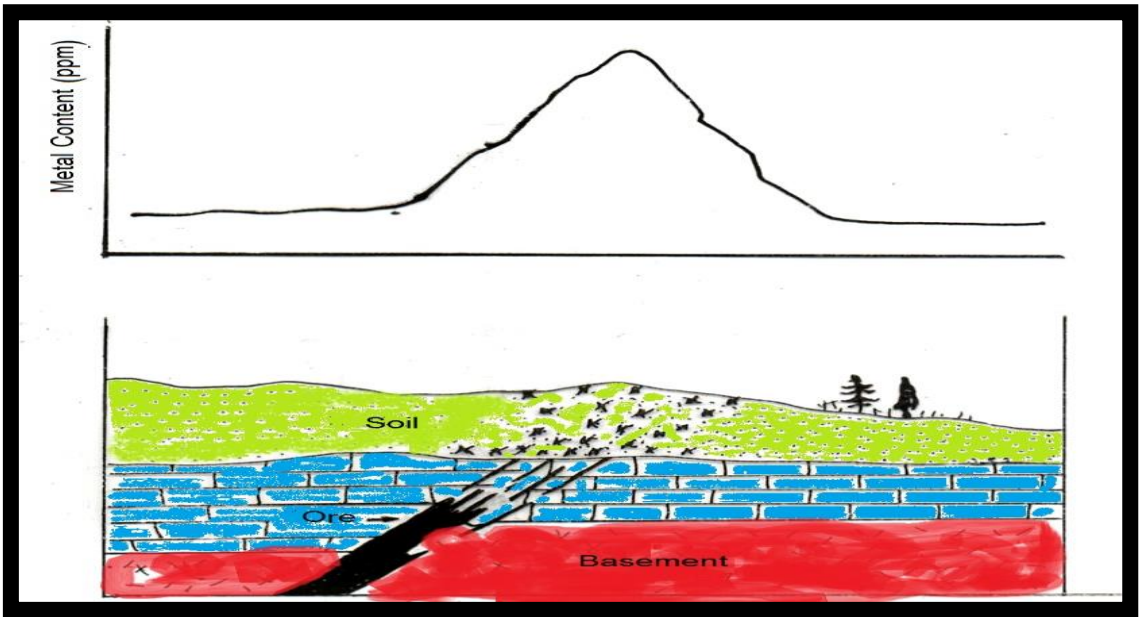
المصدر: Rose, 1981, p. 111

في منجم كريكوري في انكلترا (Gregory Mine, Derby shire) تم العثور على شواهد معدنية للرصاص والزنك في التربة السطحية المتخلفة الواقعة فوق شق معدني عميق بحدود (200) متر تحت سطح الأرض يفصل بينهما طبقات من الطين والحجر الجيري وبالرغم من عدم وجود تشققات أو فجوات حيث ان تأثير نضوج وخروج هذه العناصر إلى التربة العليا السطحية تم اكتشافها والاستدلال منها على موقع العرق المعدني كما في الشكل رقم (16-3).

ب- الاستكشاف باستخدام نماذج تربة Soil Sampling

النماذج المستحصلة من التربة المتخلفة Residual Soil تستخدم بصورة واسعة في المسح الجيوكيميائي الاستكشافي التي تعكس فيها إمكانية استخدام الشواذ والشواهد المعدنية في التربة كدليل لتتبع واستكشاف الترسبات المعدنية. من الخبرة العملية المكتسبة في الاستكشاف الجيوكيميائي ظهر انه في كافة الظروف المناخية وفي معظم الظروف الجيولوجية الترسيبية تبين أينما وجدت تكوينات صخرية متمعدنة يظهر هناك نوع من الشواهد الكيميائية مندمجة في التربة المتخلفة التي تعلو هذه التكوينات الصخرية ناتجة من عمليات التجوية التي تتعرض لها تلك التكوينات الصخرية.

إن المسح والاستكشاف الجيوكيميائي قابل للتطبيق في حالة وجود تربة متخلفة Residual Soil سميكة تقع فوق التكوينات الصخرية. إن التخطيط للمسح الجيوكيميائي باستخدام التربة المتخلفة تتضمن إجراء عدة تجارب أولية تهدف إلى تعيين خصائص ومميزات الشواذ الكيميائية المرتبطة مع الجسم المعدني حتى يكون من الممكن استهدافها في عمليات استكشاف. المعلومات الأولية المستحصلة من هذه التجارب تكون دليل في اختيار المسلك التقني المستخدم في عمليات الاستكشاف مع تعيين العوامل والأسس الكيميائية التي تقوم عليها عمليات تفسير النتائج الجيوكيميائية بالإضافة إلى اختيار طريقة العمل، الكلف المالية اللازمة لتغطية هذا النشاط، توفر الأشخاص القادرين على تنفيذ أعمال النمذجة فحص ومعاينة المنطقة المستهدفة التي لا بد أن تكون عبارة عن أراضي بكر غير ملوثة بعيدة عن النشاطات الصناعية الاستخدامات البشرية بالإضافة إلى التأكد من ان التربة السطحية هي تربة متخلفة وليست تربة منقولة لكي تتطابق مع طريق الاستكشاف الجيوكيميائي المستخدمة. شكل رقم (17-3).

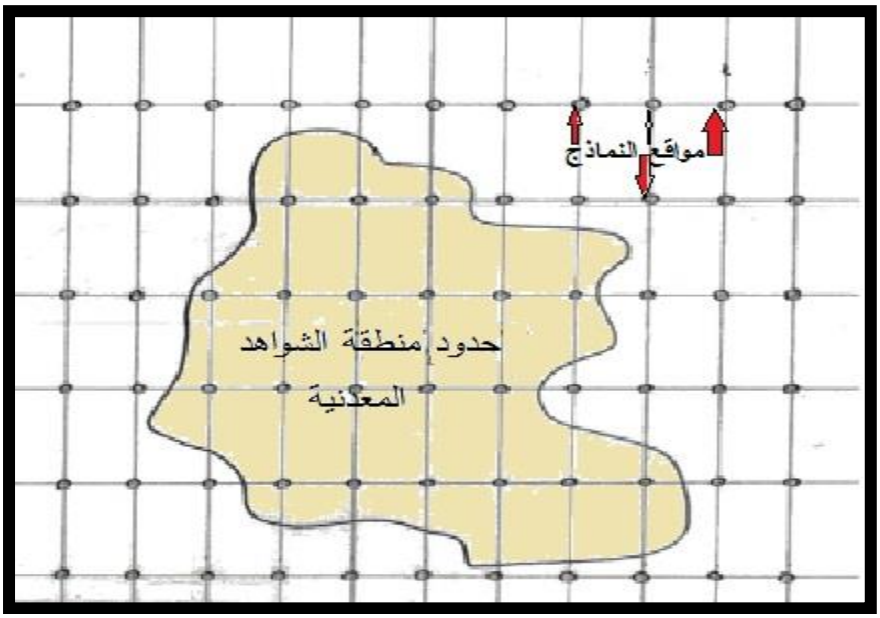


شكل رقم (17-3) تسجيل شذوذ المسح الجيوكيميائي

أن اختيار شكل وحجم شبكة مواقع النمذجة توضع على ضوء حجم وشكل الجسم المعدني المستهدف في الاستكشاف، شبكة النمذجة المناسبة هي الشبكة النظامية التي تقسم إلى مربعات متساوية لأنها سهلة التطبيق في الحقل بالإضافة إلى سهولة تسقيط النتائج ورسم الخرائط الكنتورية. في حالة معرفة اتجاه المضرب للجسم المعدني بهذه الحالة تكون مسارات موقع النمذجة عمودية على المضرب لغرض الحصول على اكبر عدد من النماذج تقطع منطقة الشذوذ الكيميائية. من الضروري توسيع شبكة مواقع النماذج لتشمل قسم منها مساحة من المنطقة الواقعة خارج الشذوذ الكيميائية لغرض معرفة الخلفية الكيميائية المعدنية لمنطقة الدراسة ومقارنة النتائج مع النماذج ذات النتائج العالية. المسافة بين النماذج يتم اختيارها بصورة مناسبة على ضوء حجم وامتداد الجسم المعدني المتوقع في المنطقة، في حالة كون الشواهد الكيميائية غير متجانسة بهذه الحالة يجب تقريب المسافة بين النماذج ووضع شبكة نماذج ذات مسافات متقاربة. شبكة النماذج يجب أن تكون نظامية وهندسية، بحيث تكون مربعة ومستطيلة لتغطي كامل المنطقة المستهدفة في الدراسة اعتمادا على شكل وامتداد الجسم المعدني المتوقع. شكل رقم (18-3)

في حالة إذا كانت منطقة الدراسة ذات تضاريس أرضية صعبة تحتوي على منحدرات ومرتفعات شديدة الانحدار، بهذه الحالة تصمم شبكة النمذجة بشكل تتبع فيه طبوغرافية المنطقة، بهذه الحال تكون مواقع النمذجة على طول قمة المرتفعات (Crest of the ridges) لتغطي كامل المنطقة الحاوية على الشواهد الكيميائية في حالة تعذر ذلك

وعند عدم وجود غطاء تربة تؤخذ النماذج على طول قعر الوديان والمنحدرات وعلى طول قعر جداول تصريف المياه.

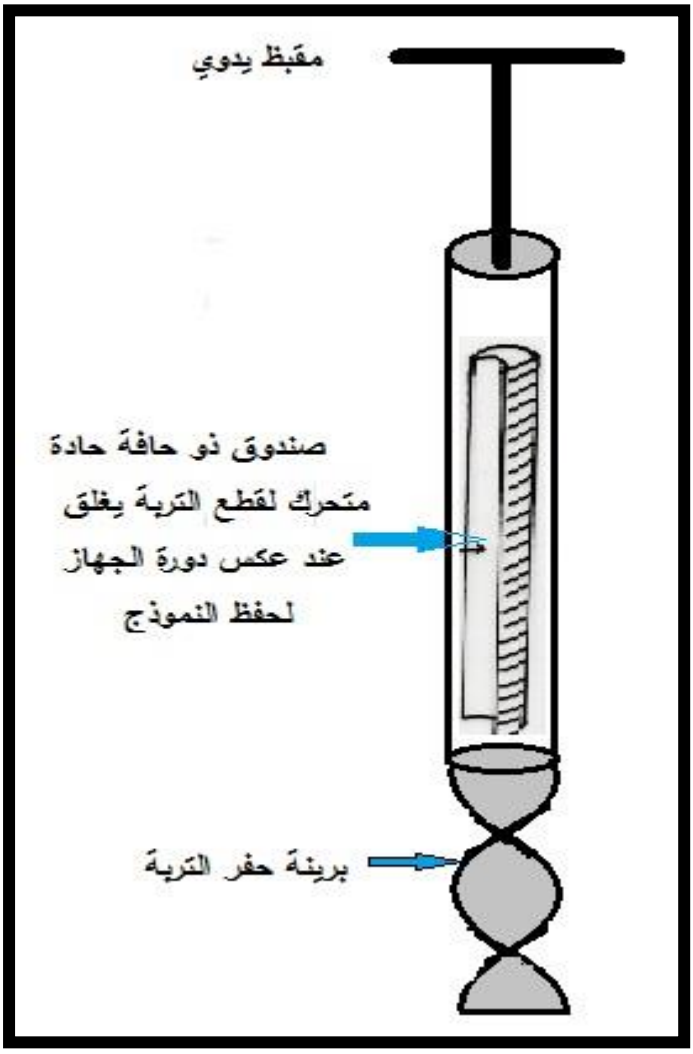


شكل رقم (18–3) شبكة نمذجة التربة المتخلفة

بعد تثبيت شبكة موقع النمذجة، يتم جمع نماذج التربة على شكل نماذج منفصلة ومتعددة لكل عمق محدد على امتداد المقطع العمودي للتربة من السطح العلوي حتى الوصول إلى الطبقة الصخرية تحت غطاء التربة. يؤخذ نموذج واحد لكل عمق معين لغاية نمذجة كاملة السمك العمودي للتربة المتخلفة، ترقم هذه النماذج وتوضع في أكياس بلاستيكية حفاظا عليها من التلوث وتثبت عليها أرقامها، عمقها ثم توضع هذه المعلومات مع الوصف الليثولوجي للتربة على النموذج الخاص بوصف النماذج (Sheet log) شكل رقم (19–3). جمع نماذج التربة يتم باستخدام جهاز جمع نماذج التربة المسمى (Auger) شكل رقم (20–3)، ويمكن بواسطة الوصول إلى عمق (3–2) متر وفي حالة تعذر الوصول إلى أعماق اكبر من ذلك يمكن اللجوء إلى حفر الخنادق الشقية في الأماكن المخصصة لها ثم تجمع نماذج التربة من الخندق. تجفف النماذج جيدة لطرد الرطوبة، بعد ذلك يتم نخلها باستخدام مصنف أو منخل معدني مقاوم للصدى أو بلاستيكي إلى حجم الحبيبي (80 mesh– to –100 mesh) وهو الحجم الحبيبي المطلوب عند فحص المحتوى المعدني أو فحص عناصر التتبع الكيميائية (Path finder elements) لغرض التحقق من الشواهد الكيميائية، يجب تجنب عمليات الطحن في نماذج التربة لمنع تكسير جزيئات المعادن المرنة.

Area:	Location:		Pit No:				
Sampler: Data:			Analyst: Data: Method:				
Description of site: وصف المنطقة							
Soil horizon Description وصف نموذج التربة	Pictorial Log وصف تصويري	Sample Depth (M) عمق النوذج	Sample No. رقم لنموذج	PPM			
				Pb	Zn	C_xM_e	

شكل رقم (19-3) نموذج توثيق ووصف نماذج التربة



شكل رقم (20-3) مخطط يوضح شكل جهاز حفر التربة (Auger) حديث التصميم

المصدر: Rose, etel. 1981, P. 334

تؤخذ كمية من النماذج (30-20) غرام وترسل إلى المختبر لغرض التحليل الكيميائية الخاصة بإيجاد المحتوى المعدني الكلي ويرمز له بالرمز (Me) [Total Metal Content] وكذلك تحليل محتوى المعادن القابلة للاستخراج ويرمز لها (C_xMe) Extractable Metal Content لغرض معرفة طبيعة التواجد المعدني في الترسبات المعدني.

نتائج التحاليل الكيميائية المستحصلة من المختبر تثبت على ضوء خارطة مواقع النمذجة، يتم مطابقة هذه الخارطة مع الخارطة الطبوغرافية والخارطة الجيولوجية في منطقة الدراسة لغرض الوصول إلى تفسير عن سبب ومصدر الشواهد والشواذ المعدنية وربطها مع التكوينات والتراكيب الجيولوجية أو اتجاه تصاريف مجاري المياه السطحية أو العيون المائية في المنطقة.

ج- الاستكشاف باستخدام نماذج المياه الطبيعية Water Sampling

إن الشذوذ الكيميائي المتكون من جراء إذابة العناصر المعدنية في المياه السطحية أو في المياه الجوفية يعرف باسم الشذوذ الهيدروجيوكيميائي. بعض العناصر المعدنية لها قابلية كبيرة على الإذابة والنقل بصيغة محاليل في المياه الطبيعية وتسمى بالعناصر المتحركة (Mobile elements). من التطبيقات الواسعة للتحاليل المائية في الاستكشاف الاستطلاعي الجيوكيميائي هي تعيين نسبة اليورانيوم (U) في المياه الجوفية أو في المياه السطحية. ان أكثر العناصر المعتمدة في تعيين تراكيزها في النماذج المائية هي العناصر الذائبة من فلزات أو معادن (Mo، Zn، Cu، So_4، He، Rn، F، Cl، I، Se، As، Sb، Bi، Ge، Sn، Pb، Ag، Au، Cd، Hg، Ni، Co، Cr، W، V، B، Be، K، Rb ، Cs و N6)

ان طريقة الاستكشاف المعدني الهيدروجيوكيميائي تسير بصورة بطيئة واستخدامها قليل وذلك لوجود صعوبات في إجراء التحاليل الكيميائية للعناصر ذات التراكيز الواطئة جدا في المياه الطبيعية والتي تصل حوالي جزء بالبليون [ppb, $Mg/1,10^{-9}g/ML$]. بالإضافة إلى ذلك المساحة الواسعة التي تمتد إليها الشواهد الكيميائية مع مجاري المياه حتى تتلاشى وتنتهي لتصبح محتويات طبيعية.

المكونات المعدنية الموجودة في المياه تكون على شكل وصيغ عديدة اما ذائبة أو على شكل مركبات معدنية عالقة وهي كما يلي:-

1- تكون بصيغة ذائبة على شكل ايونات موجبة (Cat ions) مثل Zn^{2+}، Cu^{2+}، Co^{2+}، $CaoH^{+}$، UO_2^{2+}.

2- تكون بصيغة ذائبة على شكل ايونات سالبة (An ions) مثل So_4^{2-}، MoO_4^{2-}، $UO_2(Co_3)_2^{2-}$.

3- على شكل ذرات غير مشحونة (Uncharged atoms)، اما جزيئات أو ايونات مزدوجة مثل Kn، He، O_2، H_4SiO_4، $PbCo_3$.

4- على شكل مركبات أو تجمعات عضوية (Organic Complex) تحتوي على تجمعات من مواد الهيدروكاربونات، كاربوهيدرات، بروتينات، كحول، فيتامينات.

5- على شكل جزيئات شبه غروية وتوجد كذلك على شكل مركبات شبه غروية في المياه الطبيعية مثل اكاسيد الحديد والالمنيوم.

6- على شكل ايونات ملتصقة على سطوح المواد العالقة.

ان وجود هذه الأشكال من العناصر الذائبة في المياه العذبة تعتمد بصورة اساسية على الخصائص الكيميائية للعناصر المعدنية بالإضافة إلى خصائص ومميزات الظروف التكوينية، لجيولوجية والمناخية المؤثرة على هذه المحاليل التي من الممكن ان تحول أي من هذه العناصر الذائبة من شكل إلى اخر عند تغيير كيميائية المحاليل.

أثناء عمليات التحليل الكيميائي ألمختبري لتعيين العناصر المذابة في المياه يجب معرفة وتعيين شكل تواجد العنصر المراد تحليله وإيجاد تركيزه في المياه واستبعاد أو إهمال بقية العناصر، عمليات الترشيح اثناء المعالجة المختبرية للنماذج ممكن ان تزيل تأثير المواد العالقة في المياه وتؤدي إلى عدم ظهورها في نتائج التحاليل الكيميائية، المعاملة بالمحاليل الحامضية قد تؤدي إلى إذابة بعض الجزيئات أو تغير شكل القسم الآخر منها.

(3-5-2-3) العوامل التي تؤثر على كيميائية المياه الطبيعية

Factors Affecting Composition of Natural water

إن المحتوى الكيميائي للمواد العذبة الحاوي على آثار عناصر معدنية لا يعود مصدرها إلى تأثيرات الترسبات المعدنية تعتمد على العمليات التي تؤثر على المياه منذ سقوطها على سطح الأرض بصيغة أمطار أو ثلوج. هذه العوامل هي:-

1- تركيب مياه الأمطار:

عادة ما تحتوي مياه الأمطار والثلوج الساقطة على الأرض على كميات قليلة من تراكيز (Cl، So_4، K، Mg) بالإضافة إلى بعض العناصر الأخرى المشتقة من رذاذ البحر، الغبار الجوي والملوثات الصناعية، تراكيز هذه المواد عادة تتراوح بين ppm(0.8 - 0.2) من الكلور (Cl) و ppm (1-3) من So_4 و ppm (10 - 4) من المواد غير الذائبة TDS. مياه الأمطار تكون قليلا حامضية نتيجة لإذابتها غاز ثاني أوكسيد الكاربون الجوي، بالاضافة إلى احتوائها على عدد من الغازات المذابة مثل (N_2, O_2, Ar,SO_2, H_2S, HCl, NH_3, No_2)

2- تفاعل المواد الطبيعية مع التربة والصخور

عندما تصادف المياه سواء كانت سطحية أو جوفية ، تربة وصخور في طريقها فإن ذلك يؤدي إلى إذابة معادن الصخور في هذه المياه، تتم عملية تحرير معادن الصخور وإذابتها في المياه بواسطة تفاعل ايون الهيدروجين H^+ مع المعادن الصخرية (الالمنيو-سيليكات) ومعادن الكاربونيت حيث يؤدي إلى تحرير الايونات الموجبة (Cat ions) والسليكا واذابتها بصيغة محاليل وتترك خلفها المحاليل الطينية المختلفة غير الذائبة. كمية العناصر المعدنية المذابة وسرعة الإذابة تعتمد على الوقت المستغرق لحصول هذه العمليات وكذلك كمية غاز ثاني أوكسيد الكاربون والحوامض الأخرى المتوفرة في المياه والهواء. المعادن المذابة في المياه بهذه الطريقة تؤدي إلى زيادة كمية (TDS) في المياه.

3- تأثير عوامل المناخ:

إن وجود غاز (Co_2) في الجو، معدل دورة المياه في الطبيعة، عمليات التجوية المؤثرة على التربة السطحية والصخور، لها تأثيرات مهمة على كيميائية المياه الطبيعية بالإضافة إلى ذلك ان المناطق التي تتمتع بمعدل سقوط أمطار عالي مع وجود مواد عضوية تؤدي إلى وجود مياه جوفية حامضية، مع وجود كميات قليلة من TDS، بسبب سرعة حصول دورة المياه في التربة والصخور مع حصول إذابة عالية لغاز Co_2. في المناطق القارية الجافة وشبه الجافة بسبب حصول معدل تبخر عالي للمياه من التربة وكذلك عمليات التبخر من النبات تؤدي إلى زيادة في تراكيز TDS.

4-عمر المياه الجوفية:

طول الفترة الزمنية التي تكون فيها المياه على تماس مع التكوينات الصخرية يؤدي إلى حصول زيادة في عمليات إذابة المواد الصلبة مع زيادة الحامضية PH على طول مسار حركة المياه الجوفية في الخزان المائي الواحد. في المناطق التي تتجدد المياه الجوفية فيها الواقعة قرب قمم التلال أو منابع المياه، المياه الجوفية تكون ذات تراكيز قليلة من TDS ونسبيا ذات حامضية بسيطة.

5-عمليات التأكسد والاختزال:

تحصل هذه الحالة بصورة واسعة في الصخور الرسوبية الحاوية على مواد عضوية، تأثير حركة المياه الجوفية تؤدي إلى حصول نطاق أو مناطق تأكسدية، قرب سطح الأرض حيث تكون المياه مخففة وذات صفة تأكسدية، مع زيادة العمق تحت سطح الأرض يتم استهلاك الأوكسجين نتيجة لتفاعله مع المواد العضوية ويصبح غاز Co_2 هو الغاز الأكثر تركيزاً مذاباً في المياه، بزيادة العمق أكثر تحصل لنا مناطق اختزالية مع زيادة في المركبات الهيدروكاربونية مع غازات H_2O، CH_4.

6- الامتزاز Adsorption

العامل الرئيسي الذي يؤثر على تواجد لأثار العناصر المعدنية في المياه هو الحصول عملية التصاق للعناصر المذابة في الماء على سطوح الجزئيات المعدنية (adsorption) وكذلك حصول عملية التبادل الأيوني مع الأطيان هذه العملية تسمى بالإمتزاز.هذه العملية تكون مهمة في حالة حصولها في المياه الجوفية. التجوية للصخور الطبيعية نادرا ما تؤدي إلى حصول إشباع أو تركيز للمعادن في المياه الجوفية ما عدا التي تكون قريبة من الترسبات المعدنية.

7- عمليات الاختلاط مع المياه Mixing of waters

على طول مسار حركة المياه سواء كانت جوفية أو سطحية ربما يحصل لها خلط ومزج مع مياه أكثر تخفيف القريبة من السطح، أو مياه اكثر تركيزا القادمة من الأعماق، أو مياه كيميائية قادمة من ظروف ترسيبية وكيميائية مختلفة، هذه العوامل تؤدي إلى حصول تغيير في مستوى تركيز العناصر المعدنية في المياه.

7- احتواء المياه الطبيعية على الخلفية المعدنية

Background Content of natural waters

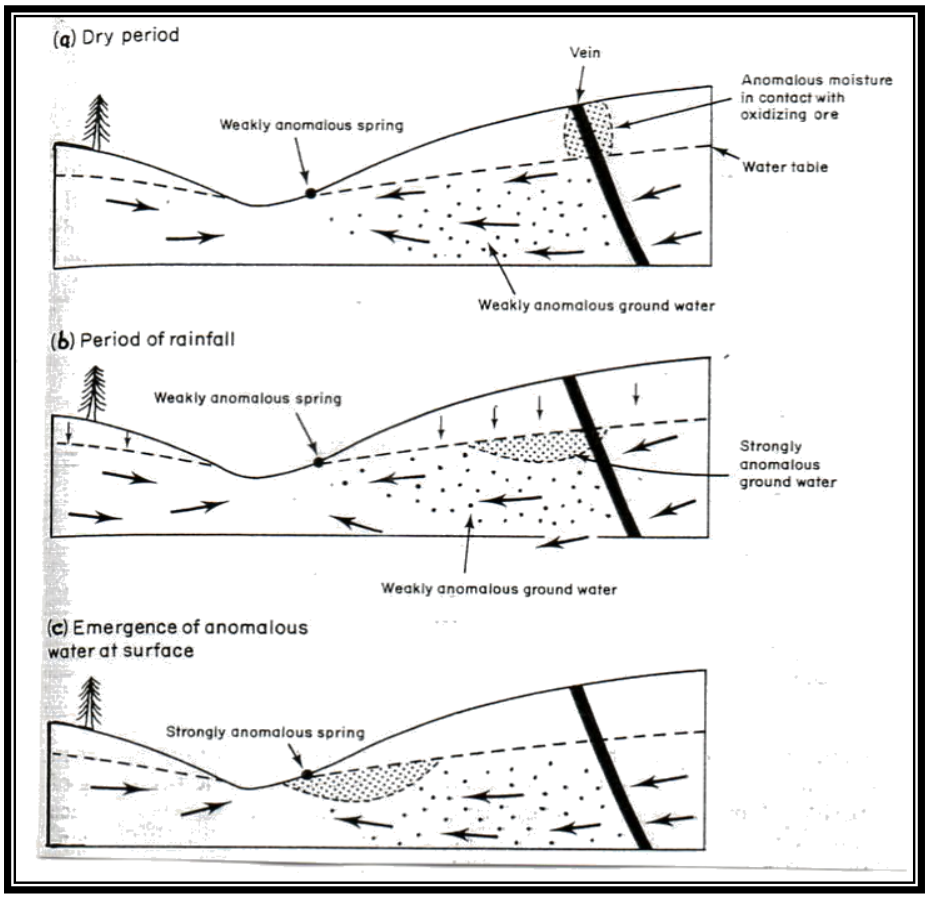
ان الوجود الطبيعي للعناصر المعدنية في المياه الطبيعية تختلف في معادلات تراكيزها اعتمادا على نوع الصخور التي تمر بها هذه المياه في الطبيعة، الجدول رقم (1-3) يوضح المعادلات الطبيعية لتراكيز بعض العناصر المعدنية في المياه الطبيعية

جدول رقم (1-3)

التراكيز الطبيعية لبعض العناصر في المياه الطبيعية

Element العنصر	Median Content معدل التركيز Mg/L	Element العنصر	Median Content معدل التركيز Mg/L
AL	10	La	0.2
Ag	0.3	Li	3
As	2	Mn	15
Au	0.002	Mo	1.5
B	10	Nb	1
Ba	20	Ni	1.5
Be	5	P	20
Bi	0.005	Pb	3
Br	20	Rb	1
Cd	0.03	Sb	2
Co	0.1	Se	0.4
Cr	1	Sn	0.1
Cs	0.02	Sr	400
Cu	3	Th	0.1
F	100	Ti	3
Fe	100	W	0.03
Hg	0.07	U	0.5
I	7	V	2
		Zn	20

أن الشواهد والشواذ الهيدروجيوكيميائية لها قابلية كبير جدا على التعبير في شدة هذه الشواذ عند حصول تغير في الظروف المناخية، لهذا السبب نلاحظ عدم استقرارية هذه الشواذ وتغيرها مع الوقت ومع الظروف الجوية، سقوط أمطار موسمية متقطعة، مما تسبب صعوبات وإرباك أثناء أعمال الاستكشاف المعدنية القائمة على أساس نماذج المياه، أن المكونات المعدنية في الصخور والتربة السطحية تكون مستقرة خلال فترة الجفاف، في حالة وجود جسم معدني يحدث هناك هالة من الشواهد الكيميائية حول هذا الجسم المعدني، عند سقوط الأمطار بعد فترة جفاف معينة، تحصل عمليات تخفيف للمكونات المعدنية بالإضافة إلى حصول عمليات غسل وإزاحة لهذه المكونات المعدنية و نقلها إلى مكان أخر، مما يؤدي إلى تغير في موقع وجود الشواذ الكيميائية وبالتالي يؤدي إلى ظهور شواهد كيميائية كاذبة كما نلاحظ ذلك في شكل رقم (21-3)، نلاحظ في الشكل-a- ظهور شواهد كيميائية حول الجسم المعدني يحصل لها إزاحة ونقل بعد سقوط الأمطار تم قد تنتقل بفعل حركات المياه تحت سطح التربة إلى مكان اخر تؤدي إلى ظهور شواذ كيميائية كاذبة.



شكل رقم(21-3) شواهد كيميائية كاذبة

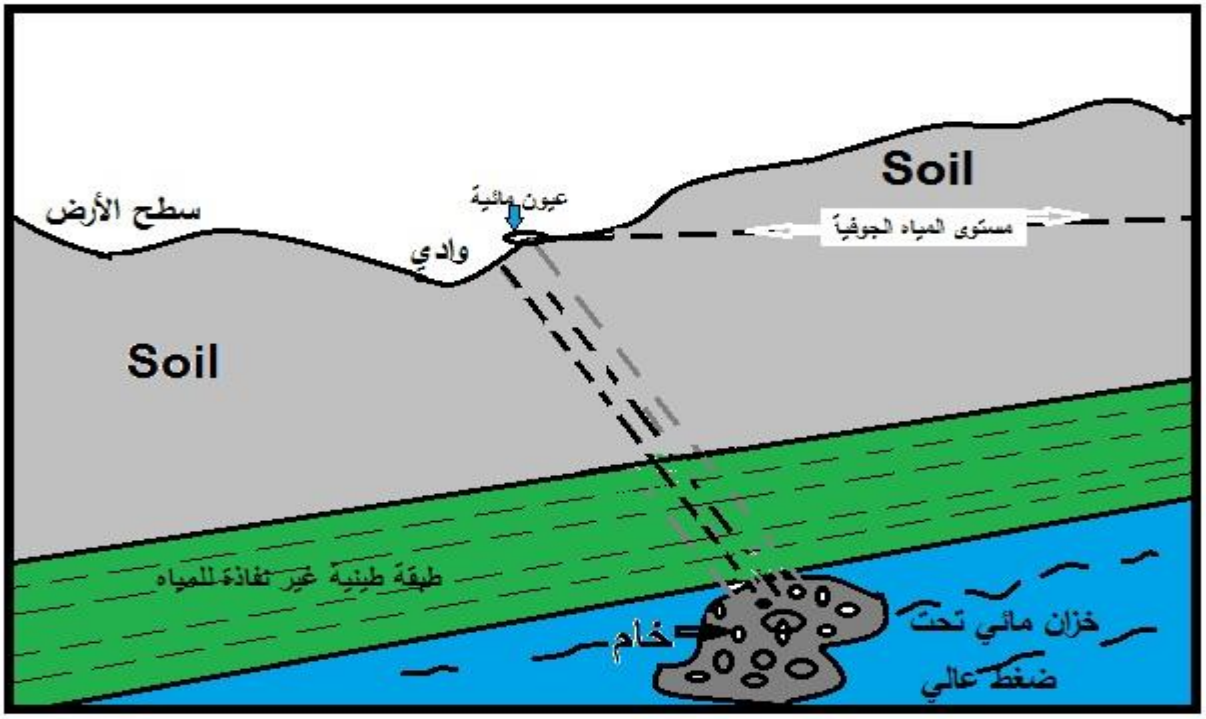
المصدر: Rose.1981.P.3، 9

الشذوذ الكيميائي للمياه الجوفية Ground-water Anomaly

أن الشذوذ الكيميائي في المياه الجوفية يعتمد بصورة رئيسية على طبيعة حركة المياه الجوفية التي تحددها نفاذية الصخور التي تمر بها، حجم وضغط الخزان المائي المصدري لهذه المياه وطبيعة ونوع الصخور التي تمر بها المياه الجوفية. المياه الجوفية تأتي من ثلاثة أنواع من المصادر هي: الشقوق والكسور المتواجدة في التكوينات الصخرية تحت سطح الأرض، الطبقات الصخرية الرسوبية الحاضنة للمياه وكذلك المياه السطحية. التجارب والدراسات الحقلية أكدت أن المياه النازلة من خلال الشقوق والكسور تحمل مكونات معدنية مشتقة من الجدار الصخري لهذه الشقوق والكسور بتراكيز تعتمد على المسافة والزمن المستغرق خلال حركة هذه المياه.

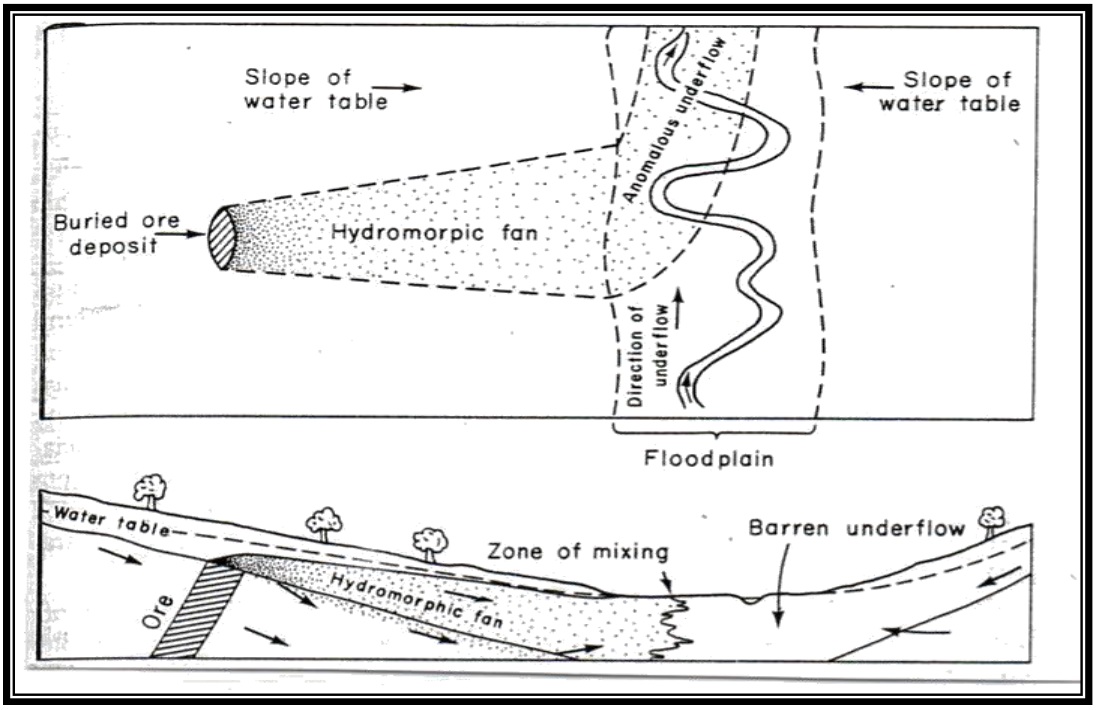
في الصخور الرسوبية ذات النفاذية العالية يكون التبادل ألايوني أو المعدني بين سطوح الفراغات و المسامات والمياه الجارية خلالها كبير وعادة هذه الشواهد المعدنية تأخذ شكل طولي مع اتجاه حركة المياه الجوفية.

وجود الينابيع المائية عادة ما تكون مرتبطة ومسيطرة عليها بصورة كبيرة بوجود طبقات غير نفاذة للماء، وجود الشواهد الكيميائية والمعدنية في هذه المياه مرتبطة بتواجد الصخور النفاذة للمياه أو الكسور والشقوق التي تنفذ من خلالها هذه المياه نحو السطح. شكل رقم (22-3)



شكل رقم (22-3)شواهد معدنية مرتبطة مع العيون المائية

في المياه السطحية التي تجري في الطبقة السطحية العليا مع وجود طبقة نفاذه تحتها لا تسمح للمياه بالنضوح والجريان نحو الطبقات السفلي، عادة تجري هذه المياه نحو المنحدرات وعلى سفوح التلال بجميع الاتجاهات مكونة شذوذ كيميائي يعرف بالشذوذ المروحي(Fan-shaped anamonaly) الشذوذ الكيميائي الخطي ذات الأشكال الطولية عادة يوجد على طول ترسبات الوديان.



شكل رقم (23-3) الشواهد الكيميائية في المياه الجوفية عند ظهورها على سفوح الوديان والمنحدرات

المصدر: Rose, 1981, P. 257

ان الخصائص الكيميائية للمياه الجوفية بمختلف أنواعها ومصادرها ممكن ان تكون دليل جيد على متابعة مصادر الشواهد الكيميائية باستخدام نماذج المياه.

الشذوذ الكيميائي في نماذج مجاري المياه السطحية Stream- water Anomalies

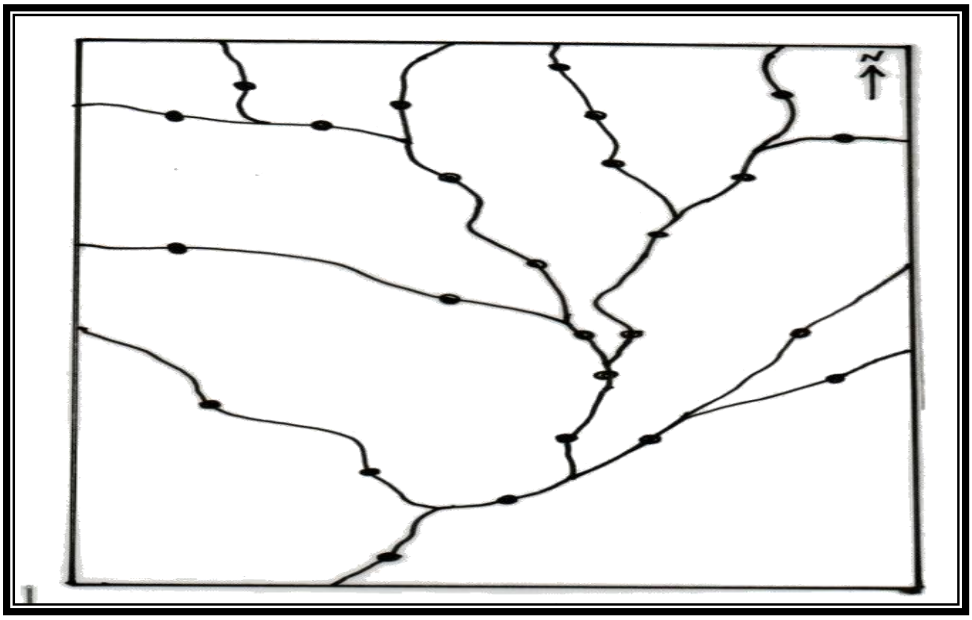
مجاري المياه السطحية وما تحمله من المواد الصلبة التي تكون على شكل مواد عالقة وكذلك احتواءها على مواد ذائبة تأتي من ثلاث مصادر: مياه الأمطار الجارية فوق سطح الأرض، مياه العيون والينابيع ومياه الآبار والنضوحات نحو سطح الأرض. الأملاح القابلة للذوبان التي تحملها الجداول والوديان تحتوي على جميع المكونات الذائبة في المياه الجوفية بالإضافة إلى ما تحمله هذه الجداول والوديان أثناء حركة المياه السطحية فيها من مواد عالقة أو ذائبة، وفي حالة احتوائها على مكونات معدنية ذائبة عندئذ تنتج لنا شواهد وشذوذ هيدروجيوكيميائي.

ان الشذوذ المعدني المتواجد في مجاري المياه السطحية ممكن ان تكون مصدر هذه الشواذ وجود عيون أو ينابيع مائية عند المنبع أو في أعلى مناطق جداول التصريف أو قد تكون في أي

منطقة على طول مجرى هذه الجداول في حالة وجود مصادر لنضوح مكونات معدنية أو ينابيع تحتوي على عناصر معدنية عالية التركيز، من الممكن تتبع تراكيز هذه المكونات المعدنية، بإستحصال نماذج مائية على طول مجرى هذه الجداول ابتداءا من أسفل هذه التصاريف باتجاه المنبع أو مصدر المياه العذبة والداخلة لهذه الجداول وبمسافات مناسبة مثلا قبل وبعد تقاطعات الجداول مع الروافد أو الوديان وعلى طول مجر النهر أو الجدول الرئيسي بمسافات معينة يتم تحديدها على ضوء طبوغرافية وجيولوجية المنطقة. شكل رقم (24-3).

الشذوذ الكيميائي في البحيرات Lake- water Anomaly

الشذوذ الكيميائي في البحيرات المائية يعتمد بصورة رئيسية على المكونات المعدنية الداخلة إلى البحيرة عن طريق الأنهار، جداول التصريف، المياه الجوفية، المياه السطحية ومياه الأمطار. التركيب الكيميائي لمياه البحيرات معقد تسيطر عليه عدة عوامل: هي التغايرات الحرارية بصورة عمودية مع العمودي الطبقي للمياه وكذلك تغايرها بصورة أفقية اعتبارا من الساحل باتجاه مركز البحيرة، كمية الأوكسجين الموجودة في المياه البحيرة، النشاط العضوي، PH، EH وكذلك اختلاف هذه التراكيز مع تغيرات فصول المناخ خلال السنة.



شكل رقم (24-3) مواقع نمذجة المياه على طول مجاري تصريف المياه باتجاه المنبع

من الحالات المهمة التي تؤثر أو تؤدي إلى تغيير التركيب الكيميائي لمياه البحيرات هو تأثير الفضلات أو بقايا تحليل الحيوانات المتفسخة التي تطفوا على سطح البحيرة، تعطي زيادة في تراكيز التحاليل المائية على سطح البحيرة خاصة عند وجود مواد عضوية أو أسمدة عضوية تقع في مناطق الغابات. من الممكن ان تعكس التراكيز للمكونات

المعدنيــة الذائبــة فــي ميــاه البحيــرات عــن طبيعــة التكوينــات الصــخرية ومكوناتهــا المعدنيــة المحيطة بهذه البحيرات.

النمذجة باستخدام المياه السطحية Surface Water Samples

مــن الأفضــل فــي حالــة اســتخدام المســح الجيوكيميــائي الاستكشــافي باســتخدام نمــاذج المياه السطحية يتم ذلك باختيار مناطق أو مواقع النمذجة المائية من الأماكن التالية:

أ- من المناطق القريبة من المصدر المعدني في مناطق أعالي تصاريف المياه.

ب- مــن المنــاطق المختــارة علــى طــول مجــرى جــداول تصــريف الميــاه وخاصــة مــن المنــاطق التي قد يحصل فيها تغيير في التركيب الكيماوي.

ج- قرب مناطق الترسبات المعدنية المحتملة.

د- من المناطق الخالية من الشذوذ المعدني لمعرفة التراكيز الطبيعية للمياه.

التحاليــل الكيميائيــة لنمــاذج الميــاه تتضــمن تحليــل PH، الملوحــة الكليــة، العناصــر المعدنيــة، والمكونــات الرئيســية للميــاه، نمــاذج الميــاه يجــب أن تجمــع بعنايــة تامــة مــع تجنــب أي تلــوث قــد يحصــل لهــا إثنــاء عمليــات جمــع النمــاذج إضــافة إلــى ذلــك ســرعة إجــراء عمليــات التحليــل الكيميــائي وعــدم الاحتفــاظ بــالنموذج لفتــرة زمنيــة طويلــة لمنــع حصــول تغييــر فــي المكونــات الأيونيــة للميــاه. يجــب الاهتمــام بطريقــة التحليــل مــع دقــة فــي إجــراء تحضــير وفحــص النمــوذج بســبب التراكيــز الواطئــة للمكونــات المعدنيــة والأيونيــة فــي الميــاه التــي لهــا حساســية عالية في التغيير خلال فترة إجراءات التحاليل الكيميائية.

العناصــر المهمــة التــي تســتخرج فــي التحاليــل لنمــاذج لميــاه هــي MO، U، So_4، ايونــات الحديــد، وجــود المــواد العضــوية فــي البيئــة تحــت الدراســة تــؤدي إلــى تقليــل فعاليــة وتــأثير نماذج المياه كوسيلة مستخدمة في تتبع واستكشاف العناصر المعدنية.

إن اســتخدام نمــاذج الميــاه المستحصــلة مــن ميــاه الجــداول وتصــاريف الميــاه، الميــاه الجوفيــة، ميــاه البحيــرات يعتمــد علــى توفرهــا فــي منطقــة الدراســة وســهولة الحصــول عليهــا. فــي المنــاطق المطريــة مــن الســهولة الحصــول علــى نمــاذج ميــاه مــن الجــداول والتصــاريف عمــا هــي فــي الميــاه الجوفيــة فــي المنــاطق الصــحراوية يفضــل الحصــول علــى جمــع نمــاذج ميــاه جوفيــة، بينما في مناطق الغابات أو الأحراش يكون الاتجاه نحو جميع نماذج بحيرات.

د- الاستكشاف باستخدام نماذج رسوبيات جداول تصاريف المياه.

Drainage Sediments Samples

تشمل نماذج الرسوبيات جداول تصريف المياه كل من رسوبيات الينابيع المائية ورسوبيات النضوحات الأرضية، رسوبيات الأنهار، الجداول النشطة الناقلة للمياه، رسوبيات مناطق الفيضانات ورسوبيات البحيرات.

تمتلك هذه الأنواع من الرسوبيات خصائص ومميزات خاصة من ناحية احتواءها على مكونات معدنية ناتجة من التبادل والتفاعل الذي يحصل بين المياه الجارية وهذه الرسوبيات في تتبع الشواذ الهيدروجيوكيميائية كدليل لوجود ترسبات معدنية. رسوبيات هذا النوع عبارة عن مواد فتاتيه قادمة مع مياه الينابيع أو ناتجة بفعل عوامل التعرية من ضفاف الأنهار والجداول المائية وتتميز في بعض الأحيان باحتوائها على المواد العضوية، من الممكن أن يمتد تأثير هذه الشواذ الهيدروجيوكيميائية إلى عدة كيلومترات من المصدر المسبب لوجود هذه الشواذ.

أن أهم مناطق تواجد هذه الأنواع من الشواذ الهيدروجيوكيميائية هي:-

أ-مناطق الينابيع والنضوحات المائية Spring and Seepage

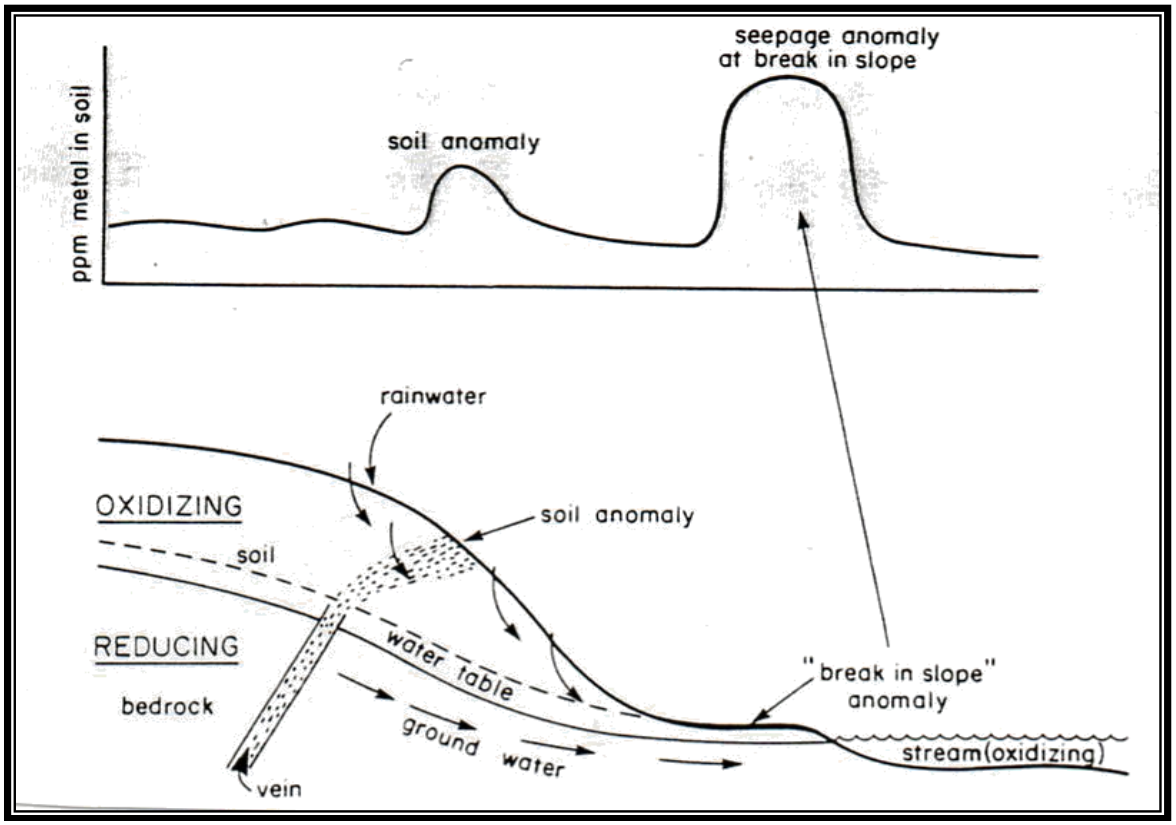
تتميز باحتوائها على مركَّبات أو مكونات معدنية غير ذائبة، عند مرور المياه الجارية من احد المناطق إلى منطقة أخرى تختلف في تركيبها الكيمياوي، هذه المركبات غير الذائبة تعمل على إزالة واقتناص العناصر المعدنية الذائبة الموجودة في هذه المياه، وبذلك تعمل على التسريع في تحليل و إزالة الشواذ الهيدروجيوكيميائية من المياه من مناطق أعالي المياه (Up-Drainage) مع حصول زيادة في الشواذ الهيدروجيوكيميائية في الرسوبيات باتجاه أسفل مجاري المياه (Down-Drainage) التي تكون على تماس مباشر مع المياه الجارية، شكل رقم (25-3).

في حالة وجود شواذ هيدروجيوكيميائية في التربة أو رسوبيات مجاري تصريف المياه تقع في طريق مرور أو حركة المياه الجوفية، لذلك ان سبب ظهور هذه الشواذ هي وجود تكوينات صخرية أو طبقات رسوبية تمر بها المياه الجوفية، مثال على ذلك اذا كانت المياه الجوفية تجري في التربة العليا بهذه الحالة ان اتجاه سريان هذه المياه وسرعتها يعتمد على مقدار ميل هذه التربة أو درجة ميل صخور القاعدة، في حالة اذا كان مصدر المياه الجوفية من الأعماق البعيدة فأنها تسلك الكسور والشقوق الصخرية. معظم الشواذ تتجمع وتتركز في المناطق الواطئة، الفجوات والأخاديد بالإضافة إلى تمركزها عند أقدام المنحدرات والسفوح حيث تكون متأثرة كثيرا بشكل التضاريس الأرضية ونوع الصخور المصدرية. شكل رقم (26-3).

الشواذ الهيدروجيوكيميائية تتواجد بأشكال متعددة أهمها:-

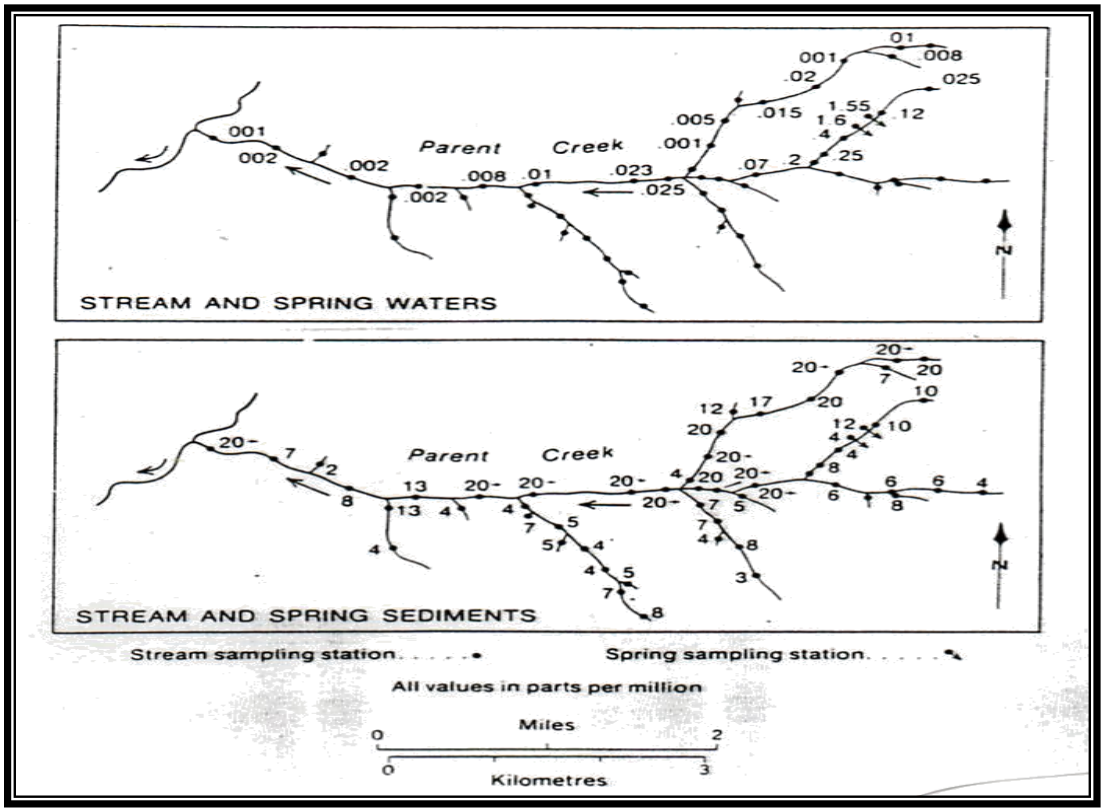
أ- تتواجد على شكل عناصر معدنية أولية المقاومة لعوامل الإذابة تسير مع مجاري المياه بصيغة عناصر معدنية ثقيلة مثل الوولفرومايت Wolframite والكاسيتيريت Casiterite.

ب- تتواجد على شكل عناصر معدنية ثانوية مشتقة بفعل عوامل التعرية،مثل المالاخايت Malachite، كارنوتايت Carnotite أو بعض نواتج التجوية الأخرى، والتي تكون على شكل فتاتيات ذات جزيئات ناعمة وكذلك تتميز بوجود مواد طينية ذات جزيئات ناعمة.



شكل رقم (25-3)ظهور الشواذ الجيوكيميائية في تصاريف المياه الجارية أسفل النهر

المصدر : Levisnson, 1979, p. 13



شكل رقم (26-3) ظهور الشواذ الجيوكيميائية في تصاريف المياه

المصدر : Levisnson, 1979, p. 17

3- تتواجد على شكل آثار لعناصر معدنية أو على شكل أكاسيد الحديد والمنغنيز تترسب مباشرة من المياه الجارية. هذه المواد عادة ما تؤدي إلى تغليف سطوح الحبيبات الفتاتية المتواجدة في رسوبيات مجاري تصاريف المياه أو تكون على شكل حبيبات ناعمة عالقة في المياه.

4- التبادل الامتزازي بين العناصر مثل أكاسيد الحديد، أكاسيد المنغنيز، المواد العضوية الأطيان.

5- مواد عضوية يحصل لها اندماج مع العناصر المعدنية، أو حطام النباتات الذي ينمو في مناطق الترسبات المعدنية يؤدي إلى ظهور شذوذ هيدروجيوكيميائي.

إن التغايرات والاختلافات الكثيرة التي توجد في الشواذ الهيدروجيوكيميائية التي تظهر في مجاري تصريف المياه يعود سببها إلى عدة عوامل من أهمها هي عدم التجانس الموجود في الصخور التي تمر بها مياه التصاريف، حصول تخفيف لهذه لتراكيز، هذه الشواذ عند مرورها على أراضي خالية من أي عناصر معدنية، طول مسافة مجاري المياه وتعدد المصادر التي تغذي هذه الجداول أو الأنهار، تنوع مصادر الشواذ الهيدروكيميائية مثل وجود مياه معدنية، عناصر تربة غنية بالعناصر المعدنية، عناصر معدنية مشتقة من الصخور الحاضنة للمياه الجوفية، واهم هذه التغايرات هي نوع وطبيعة التمعدن الموجود في

الترسبات المعدنية المصدرية، وفي بعض الحالات حصول تلوث للمياه من فضلات صناعية أو منجميه.

معظم الشواذ المعدنية التي تظهر في رسوبيات مجاري تصريف المياه تتركز في الجزيئات ذات الحجم الحبيبي الناعم (Finer grain Fraction)، في حين ان المعادن المشتقة في مصدر أولي المقاومة لعمليات الإذابة تتواجد في الجزء الحبيبي الخشن من هذه الترسبات. نلاحظ ان الشواذ المعدنية التي تتركز في الجزء الناعم وخاصة التي ترتبط مع حبيبات الطين الناعمة يحصل لها غسل وإزالة على طول المسافة وسرعة المياه باتجاه أسفل مجاري تصريف المياه ولذلك نلاحظ تلاشي هذه الشواذ وتصبح شواذ طبيعية.

ب- مناطق الفيضانات Flood- Plain

ألشواذ الهيدروجيوكيميائية في مناطق الفيضانات Flood- Plain تعكس طبيعة توزيع هذه الشواذ المتكونة من جراء تأثير جداول التصريف القديمة في هذه المناطق، تزداد تراكيز شواذ العناصر المعدنية باتجاه اسفل هذه المناطق. دائما تتركز الشواذ المعدنية لهذه المناطق في الجزء الحبيبي الناعم، بالإضافة إلى تميزها باحتوائها على نسبة كبيرة من المواد الفتاتية الناعمة التي تتصف بميلها إلى جذب واقتناص الشواذ المعدنية.

ج- مناطق البحيرات Lacke- Sediments

الرسوبيات المتكونة في قعر البحيرات تكون وسط مناسب ومشجع لإجراء أعمال الاستكشاف والتحري الجيوكيميائي. العناصر المعدنية تصل وتتركز في رسوبيات البحيرات بأحد الطرق التالية:-

1- في الجزيئات الفتاتية التي تنقل من قبل جداول التصريف الداخلة إلى البحيرة.
2- تدخل بصيغة عناصر معدنية عالقة مرتبطة مع المواد العضوية أو غير العضوية.
3- تدخل بصيغة مواد ذائبة مع مياه مجاري التصريف والمياه الجوفية.

ان مميزات وخصائص تواجد العناصر المعدنية في ترسبات البحيرات تتأثر كثيرا بعوامل المناخ، النباتات، عمق المياه، مساحة البحيرة إضافة إلى جيولوجية المنطقة. التغيرات في درجة حرارة مياه البحيرة مع العمق مع حصول مناطق تأكسد- اختزال تؤدي إلى ظهور الشواذ المعدنية. العناصر المعدنية المشتقة من نواتج التجوية والتعرية أو من الترسبات المعدنية تدخل البحيرة بشكل من الأشكال المذكورة انفاً، وبسبب سرعة المياه الداخلة في البحيرة يحصل ترسيب للجزيئات الخشنة قرب ضفاف البحيرة اما الجزيئات الناعمة والمواد العالقة تترسب بعيدا عن الضفاف نحو مركز ووسط البحيرة.

أن تواجد الشواذ الهيدروجيوكيميائية في الترسبات البحيرات تكون على الأشكال و الصيغ التالية:-

1- بصيغة أحلال معدني في الجزئيات الفتاتية.

2- بصيغة مواد عالقة وجزئيات ناعمة من المواد العضوية تتكون من جراء عملية التلبيد في البحيرة Flocculatino.

3- تدخل بصيغة عناصر معدنية ملتصقة على السطوح الجزئيات الرسوبية بالإضافة إلى التصاقها على السطوح المواد العضوية.

4- تواجدها بصيغة مواد غير عضوية تترسب في قعر البحيرة ومن هذه الشواذ هي اكاسيد الحديد والمنغنيز، الكبريتات والكربونات والمعادن الثقيلة الأخرى.

في السنوات الحديثة ازداد البحث و التحري الاستكشافي في عن نوعية وخصائص الترسبات المتواجدة على السواحل وقيعان البحار والمحيطات وذلك باحتوائها على المكونات معدنية مهمة وترسبات عناصر معدنية تمتد إلى ألاف الكيلومترات المربعة، التي جلبت انتباه الباحثين والمتخصصين نحو استكشاف هذه الترسبات البحرية. الترسبات البحرية تشتمل على وجود تراكيز للمنغنيز، الحديد، نحاس، زنك، فضة، بالإضافة إلى الفلزات الأخرى، فسفور، معادن ثقيلة مثل الكاسيتيرايت، الذهب، الماس. بالإضافة إلى مواد البناء الأولية مثل الرمل والحصى.

تم تطوير عدة أساليب وتقنيات جيوكيميائية استكشافية للتحري عن هذه الترسبات و خاصة تطوير أجهزة استحصال النماذج من قيعان البحار والمحيطات.

د - النمذجة باستخدام جداول تصريف المياه Drainage sediment sampling

خلال عمليات الاستكشاف المعدني في البحث والتحري عن المعادن باستخدام نماذج رسوبيات جداول تصريف المياه، النماذج التي تجمع لهذا الغرض يجب أن تكون متقاربة (50) متر بين نموذج وآخر في المنطقة التي تكون قريبة من منطقة الترسبات المعدنية، المسافة بين النماذج تزداد مع زيادة البعد عن مصدر الترسبات. نموذج الرسوبيات المستحصل يحتوي على مختلف أنواع الفتاتيات، رمل، حصى ناعم، أطيان مع رواسب مختلفة أخرى، نماذج الرسوبيات من الجداول النشطة يجب أن يؤخذ النموذج من وسط الجدول وبعيدا عن حافات مجرى الجداول والتصاريف وذلك لتجنب عمليات التخفيف والتلوث التي قد تحصل من جراء الهدم الذي قد يحصل في هذه الضفاف، نماذج أخرى تجمع من ضفاف الجداول لمعرفة تراكيز العناصر المعدنية أو مكوناتها المعدنية و مقارنتها بالنموذج الأصلي. التحاليل المختبرية لهذه النماذج تتضمن تحليل ومعرفة المكونات المعدنية إلى C_xMe والمكونات المعدنية الكلية الموجودة في النموذج. يجب تحديد أفضل

حجم حبيبي للرسوبيات يعطي أعلى قيمة شذوذ كيميائي و ذلك بإجراء عملية فصل للتدرج الحبيبي لمختلف الأحجام من عدة نماذج منتخبة مع نماذج طبيعية تم تحليلها كيميائيا لمعرفة أي من الحجوم الحبيبية تعطي أو تمتلك شذوذ معدني عالي يمكن الاعتماد عليه في إجراء عمليات الفصل الحجمي للحبيبات وللنماذج وإجراء التحليل كيميائي لها، لمعرفة المكونات المعدنية، الكيميائية والمعادن الثقيلة.

يفضل جمع نماذج رسوبيات تصاريف المياه في حالة وجود نقص في أو ندرة في المياه الجارية خاصة اذ كانت هذه التصاريف موسمية، إضافة إلى سهولة جمع هذه النماذج، خزنها وتحليلها مختبريا.

تتصف نماذج الرسوبيات في جداول تصريف المياه بتغايرها في التركيب الكيميائي من مكان إلى آخر اعتمادا على حجم الفتاتيات الحاضنة للشواهد المعدنية وكذلك تعتمد على نسبة المحتوى من المواد العضوية، ولغرض الحصول على نموذج رسوبيات ممثل للمنطقة بهذه الحالة يجب الحصول أو جمع كمية قليلة من نماذج الرسوبيات الناعمة من ثلاث إلى ستة مواقع ضمن منطقة طولها يتراوح من (5 – 10) متر من طبقة الرسوبيات، بعدها تخلط هذه النماذج وتوضع في حاوية واحدة. من الممكن جمع عدة نماذج على طول جداول تصريف المياه ومن الممكن تحليل هذه النماذج كل على حدة أو جمع عدة نماذج ضمن منطقة واحدة وتحليلها معاً.

عند جمع نماذج التحليل لأغراض المعادن الثقيلة من الضروري تجنب مناطق ضفاف وحافات الجداول منعا لوجود هدم من الجوانب وحصول نمذجة موقعيه لا تمثل الرسوبيات المنقولة. النموذج بحجم (50–10) غرام يكفي للتحاليل الكيماوية. في حالة جداول التصريف النشطة الجارية بالمياه السريعة يجب جمع نموذج بحجم (200–100) غرام لغرض استحصال كمية قليلة من المواد الناعمة منها بواسطة النخل لغرض الإيفاء بمتطلبات التحاليل الكيماوية. من الممكن إجراء عمليات نخل رطب في الحقل لغرض تقليل حجم النماذج والحصول على كميات قليلة من المواد الناعمة المطلوبة. في حالة ندرة الرسوبيات الناعمة في جداول التصريف من الممكن إجراء عملية تحريك للطحالب النامية على الصخور التي تعلق بها بعض الرسوبيات الناعمة. من الأفضل إجراء عمليات تجفيف للنماذج في الحقل باستخدام فرن حراري بسيط أو أشعة الشمس وان تعذر ذلك من الممكن وضع النماذج في حاويات أو أكياس بلاستيكية ممكن فتحها وغلقها لغرض تقليل الرطوبة لحين وصول النماذج إلى المختبر. الحجم الحبيبي المطلوب هو (200– μm) لانجاز التحاليل الكيماوية.

نمذجة ترسبات البحيرات

عادة يتم اللجوء إلى جميع نماذج ترسبات البحيرات في المناطق التي تتوفر فيها البحيرات وعند وجود نقص في شبكة جداول تصريف المياه. تجمع النماذج من رسوبيات وسط البحيرة لاحتوائها على شواهد معدنية عالية بسبب إستقراريتها العالية وعدم حصول خلط أو تلوثها مع رسوبيات ضفاف البحيرة.

نماذج مياه البحيرة مفيدة جدا في التحري والاستكشاف الاستطلاعي لسهولة الحصول عليها واحتوائه على شواذ جيوكيميائية عالية.

المعادن الثقيلة

المقصود بها المعادن غير القابلة للذوبان مثل Au، Sn، W، Hg وكذلك Ta–Nb. في كثير من المناطق الواقعة تحت عمليات المسح الجيوكيميائي بواسطة نماذج الرسوبيات لا تظهر فيها شواهد لتواجدات معادن ثقيلة. في حين من الممكن بسهولة العثور على تراكيز لهذه المعادن عند استحصال نماذج من الطبقات العميقة في الرسوبيات. المعادن الثقيلة عادة تعطي انتشار واسع من الممكن تحسسها في حالة الحصول على نماذج عميقة. توجد المعادن الثقيلة في الرسوبيات على شكل حبيبات ناعمة جدا من الصعب فصلها لوجودها في الجزء الناعم من الرسوبيات، يفضل إجراء فحص معدني لتحديد نسبة هذه المعادن عما هو في التحاليل الكيميائية.

من صفات المعادن الثقيلة الفتاتية هي تواجدها بصورة كبيرة في أسفل العمود الطباقي للرسوبيات وممكن ان تتواجد فوق طبقة صخور القاعدة. عملية جمع النماذج لأغراض التحري عن المعادن الثقيلة تتم عادة بعمل حفر أو خنادق عميقة أو باستخدام جهاز (الأوكر Auger).

هـ- الاستكشاف المعدني باستخدام الغازات والغبار Dust and Gases

ان ظاهرة انبعاث الغازات من أماكن تواجد الترسبات المعدنية إلى الهواء الجوي جلبت اهتمام الباحثين الجيولوجيين في إمكانية توظيفها واستخدامها كوسيلة للاستكشاف المعدني وتتبع أماكن تواجد الترسبات المعدنية. انبعاث الغازات والأبخرة من الأرض استخدمت كدليل لدراسة مختلف الظواهر الجيولوجية الموجودة تحت سطح الأرض المسببة لهذه الظاهرة. الظروف والأماكن التي تستهدف في عمليات الدراسة والبحث هي الهواء الجوي، المسامات الموجودة في التكوينات الصخرية وكذلك المياه الجوفية الحاوية على غازات مذابة. مثال على ذلك وجود غاز الهليوم وغاز الرادون بتراكيز عالية نتيجة التحلل الراديو متري لعنصر اليورانيوم تدل على وجود ترسبات أو تراكيز عالية لغازات اليورانيوم،

وجود غازات هيدروكاربونية مثل (CH_4) بتراكيز عالية والمتكون نتيجة تحلل المواد العضوية تدل على وجود ترسبات لتكوينات صخرية رسوبية حاوية على مواد عضوية، الترسبات الكبريتيدية Sulphide deposits تعطي تراكيز عالية لغاز الأوكسجين الذي ممكن ان يتفاعل مع مركبات الكبريت في هذه الخامات ليعطي غاز H_2S، CoS، So_4، هذه الخصائص والمميزات ممكن ان نستدل من خلالها على أماكن تواجد الترسبات المعدنية من هذه الأنواع.

الغبار المتساقط على سطح الأرض الذي ينقل من الصخور والترب المصدرية له من اماكن بعيدة، الهواء الذي ينقل مخلفات النبات الجافة جميعها تعكس نوع التركيب للتربة التي تنمو فيه مثل هذه الأصناف من النباتات وكذلك بالإمكان معرفة المكونات المعدنية للتربة السطحية في الأماكن المصدرية له.

و- الاستكشاف المعدني باستخدام النباتات Vegetation

استخدمت النباتات كدالة للكشف عن المكونات المعدنية تحت سطح الأرض بالإضافة إلى تتبع آثار الشواهد المعدنية و تركيزها في التحري والاستكشاف عن الترسبات المعدنية. ان المشاهدات و الملاحظات البصرية للنبات عندما تستخدم كدليل لتتبع الخامات المطمورة تحت سطح الأرض يعرف باسم (Geopotanical Prospecting) (أي الاستكشاف الجيونباتي).

في حين ان الطرق البايوكيميائية تتطلب إجراء عمليات تحليل كيميائي للمواد العضوية النباتية. ان طرق الاستكشاف الجيونباتية تعتمد على الملاحظات المباشرة عن طبيعة التوزيع لأصناف النباتات، طبيعة نموها والمناطق المناسبة لتكاثر بعض الأصناف مع البيئات المناخية المفضلة لنمو أصناف أخرى من النباتات.

إن جذور النباتات تعتبر عامل مهم ونظام ميكانيكي يعمل على جمع المحاليل المعدنية والأيونية من مناطق واسعة من التربة المحيطة بالجذور حيثما تمكنت من التغلغل في التربة تحت سطح الأرض. هذه المحاليل تحتوي على عناصر معدنية غير عضوية تترسب في الأجزاء العليا من النباتات (الأوراق والأغصان)، يمكن الكشف عنها عن طريق فحص أوراق وأغصان الأشجار وفي بعض الأحيان يعمل على تحفيز نمو النباتات لتعطي لون داكن أو نمو كبير تختلف هذه النباتات في طريقة النمو عما لو كانت في مناطق اخرى ممكن ان تحتوي على العناصر المعدنية.

أ- **تغذية النبات:** بعض أصناف النبات تمتلك نظام تغذية خاص بها يختلف عن الأصناف الأخرى من النبات. لذلك فان بعض الأصناف تحتوي على تراكيز لعناصر

معدنية معينة تم امتصاصها من التربة اعتمادا على نظام التغذية الخاص بها مثل (Mg, Ca, S, P, K, N) بعض النباتات تحتاج إلى كمية قليلة من بعض العناصر المعدنية حسب حاجتها الغذائية مثل (B, Mn, Mo, Fe, Zn, Ca) في حالة عدم توفر العناصر المعدنية أعلاه في التربة لم تتمكن النباتات من النمو بصورة طبيعية حيث يظهر عليها آثار نقص العناصر أعلاه من ناحية قصر النمو، الاصفرار وربما تموت بعد فترة وجيزة. ان وجود العناصر أعلاه بنسب أعلى أو اقل من التراكيز الطبيعية في النباتات تعتبر عناصر ضارة وربما سامة له تؤدي إلى هلاك هذه النباتات.

ب-**توفر العناصر المعدنية في التربة:** معظم العناصر والمكونات المعدنية توجد في مسامات التربة على شكل ايونات حرة أو على شكل مركبات أيونية، هذه الايونات تلتصق على سطح جزيئات الطين أو المركبات العضوية، هذه المركبات تمتص من قبل النبات على شكل عناصر غذائية، من الممكن الكشف عنها وتحسسها التي تعكس وجود خامات معدنية مطمورة تحت سطح الأرض. ان تواجد هذه الايونات بتراكيز معينة يعود سببه إلى الظروف البيئية السطحية التي تعمل على إذابة المكونات المعدنية وتحريرها على شكل ايونات ذائبة. عمليات الإذابة تتأثر كثيرا بالحامضية (PH) الظروف التأكسدية أو الاختزالية، مثال على ذلك ان فلز الحديد يكون غير ذائب في التربة التأكسدية بينما يكون ذائب على شكل Fe^{+2} في الظروف الاختزالية، وكذلك Zn, Cu تكون ذائبة في التربة الحامضية عما هي في التربة المعتدلة. إن وجود هذه العناصر في النباتات تعكس مميزات وخصائص التربة التي تتغذى عليها هذه النباتات.

ج-**التفاعلات التي تحدث في جذور النبات:** جذور النباتات التي تتغلغل في التربة تحت سطح الأرض تعمل على امتصاص الأملاح الذائبة في التربة. تحت توفر ظروف معينة يصبح لها قدرة على الإذابة وامتصاص العناصر المعدنية من التربة، حيث إن التربة القريبة أو الملاصقة لهذه الجذور تصبح حامضية لتحرير غاز CO_2 أثناء عمليات الامتصاص الغذائي، بالإضافة إلى ذلك ان وجود غاز الهيدروجين يعمل على تنشيط التفاعلات الكاتا أيوني بين جزيئات الطين المعدنية في التربة وسطح الجذور والتي تساعد على انتقال العناصر الأيونية المعدنية من التربة إلى جذور النباتات وبالتالي يؤدي إلى تركيزها في سيقان وأوراق النبات.

د- **تركيز وخزن العناصر في النبات:** عند امتصاص العناصر المعدنية من قبل الجذور ودخولها إلى الجهاز الغذائي للنبات تؤثر عليها عدة عوامل مثل التبادل الحراري والكهربائي، حركة المواد المذيبة في النبات، تفاعلات كيميائية واكثرها أهمية هي تجميع

المواد الغذائية المعدنية على شكل جزيئات عضوية – معدنية وكمثل على ذلك هو تركيز عنصر Mg في أوراق النبات في جزيئات مادة الكلوروفيل (اليخضور) والتي لها أهمية كبيرة في نمو النبات.

إن توفر المواد والعناصر المعدنية في النبات تعتمد بصورة كبيرة على طبيعة النظام الغذائي للنبات، عادة تتركز هذه العناصر المعدنية في الجزء العلوي من النبات، الأوراق، البذور، الثمار. ان أي تغير في تراكيز هذه العناصر في أجزاء النبات يعكس مدى توفر العناصر المعدنية في التربة المحيطة بالنبات.

إن الشواهد البايوكيميائية أصبحت وسيلة فعالة في تتبع وكشف عن الشواهد والشواذ المعدنية الذي تتواجد على شكل تراكيز عالية من المكونات المعدنية في التربة. أصبحت نماذج النباتات وفحص التراكيز المعدنية التي تحويها وسيلة مهمة تعكس العلاقة بين هذه التراكيز والتراكيز المعدنية في التربة أو الصخور والتكوينات الصخرية تحت سطح الأرض.

العوامل الأخرى التي تستخدم في التحاليل البايوكيميائية هي توزيع ونمو أصناف معينة من النباتات في منطقة معينة وعدم قدرتها على النمو الطبيعي في مناطق أخرى، عمر النباتات، عمق تغلغل الجذور في التربة، كل هذه الخصائص والمميزات ممكن ان تعكس نوع وصفات التربة من ناحية الحامضية (PH) و القاعدية (EH) درجة حرارة ورطوبة التربة تراكيز العناصر المعدنية فيها والتي تستخدم كدليل في تتبع ودراسة الشواهد المعدنية في المنطقة. بعض الأصناف المعدنية من أجناس النباتات تنمو فقط في تربة غنية بعنصر الزنك Zn–rich بعض الأجناس الأخرى تنمو في تربة غنية بعنصر السيلينيوم Se والتي تكون مضرة بالحيوانات التي تتغذى عليها. أصناف من النباتات تنمو فقط في تربة حاوية على عنصر النحاس بتركيز اكبر من 100 جزء بالمليون، الصفات الشائعة في جنوب أفريقيا وفي جنوب شرق اسيا زيادة تركيز بعض العناصر المعدنية في أوراق النباتات مثل تؤدي إلى حصول نقص في عنصر الحديد و بالتالي ظهور اصفرار على الأوراق الخضراء، وبذلك اصبح بالإمكان من خلال دراسة أشكال توزيع ونمو بعض الأصناف النباتية واستخدامها كدليل في استكشاف وتتبع مواقع الترسبات المعدنية.

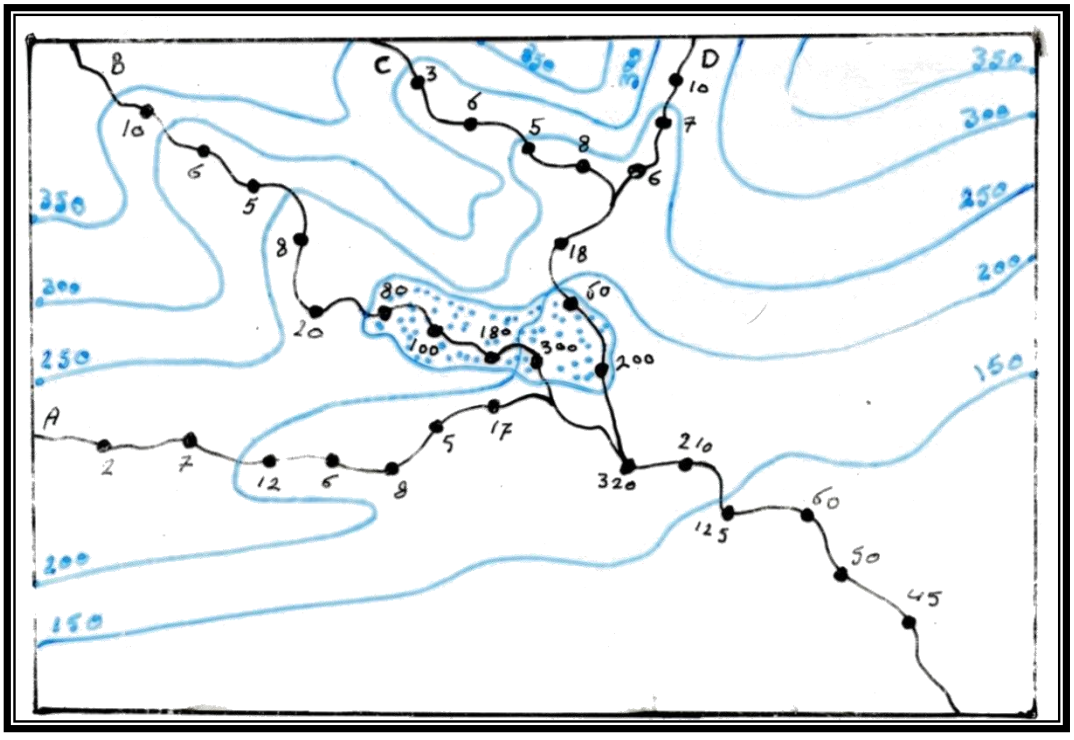
عمليات الاستكشاف المعدني باستخدام النباتات أصبحت وسيلة مهمة وفعالة لدى المختصين والباحثين الجيولوجيين والبيولوجيين على حد سواء عند دراسة انواع التربة السطحية وتوزيعها والظروف المناخية التي تؤثر عليها بالإضافة إلى دراسة العوامل الجيولوجية التي أدت إلى نشوءها وتطورها، تبدأ هذه الأعمال أولا بتهيئة خارطة تحتوي على توزيع أصناف النباتات الموجودة في منطقة التمعدن مع خرائط أخرى تحتوي على نفس النباتات في المناطق الطبيعية تؤشر عليهما كثافة توزيع الأجناس النباتية مع عدد

الأصناف ومواصفات النباتات الموجودة ثم يتم إجراء عمليات مقارنة بينهما ممكن ان نستدل منها على تراكيز المكونات المعدنية في التربة وبالتالي تعطي إمكانية دراسة تتبع أماكن تواجد الترسبات المعدنية تحت سطح الأرض.

الصورة الجوية والصورة الفضائية تعطي إمكانية كبيرة في تسهيل عمليات المسح الجيونباتي باستخدام الفرق في اللون، كثافة التوزيع للنباتات وتغيير تواجد بعض أصناف النباتات من منطقة إلى أخرى دراسة حجم النبات جميعها تعتمد على توزيع تراكيز المكونات المعدنية في التربة وبالتالي من الممكنة تحديد وعزل المناطق ذات الشواهد المشجعة التي ممكن ان تحتوي على تواجدات للترسبات معدنية.

مثال تطبيقي (1-3)

الشكل رقم (27-3) يوضح خارطة طبوغرافية اقليمية تحتوي على اربعة روافد D, C, B, A تصب في نهر رئيسي. يوجد عليا خطوط تساوي الارتفاع عن مستوى سطح البحر بفترة كنتورية تساوي (50)متر. تم إجراء مسح جيوكيميائي على نماذج ترسبات نهرية على طول مجرى الروافد والنهر كما مؤشر بنقاط سوداء موضح عليها تراكيز الحديد في (ppm). اين تتوقع وجود مكان ترسبات معنية حاملة لمعادن الحديد وثبتها على الخارطة.



شكل رقم (27-3) خارطة توضح تراكيز الحديد في الترسبات النهرية

الحل: من الممكن توقع وجود مكان لتواجد الترسبات المعدنية الحاملة للحديد في مجرى النهر وذلك لظهور زيادة سريعة في تراكيز الحديد في عدد من نماذج الترسبات النهرية الواقعة قرب ملتقى الروافد عند النهر الرئيسي وخاصة الرافد (B).

الخارطة توضح إن مجرى النهر يسير نحو المنخفض باتجاه أسفل المرتفعات، عند مرور احد الروافد ضمن جسم الترسبات يعمل على إذابة وغسل للمعادن وجرفها مع التيار لتترسب في أسفل النهر حيث تظهر التراكيز العالية، في الأماكن التي يقطع بها النهر الترسبات نلاحظ ان التراكيز تبقى ثابتة نوعا ما وأماكن الزيادة في التراكيز هي مكان ترسيب المعادن المحمولة مع تيار النهر، لذلك التوقع الصحيح هو ان الرافد B مع مكان تلاقي الرافدين C ,D هو مكان تواجد الترسبات المعدنية التي تقطعها الروافد نحتاج إلى إجراء مزيد من النماذج على جانبي الروافد للتحقق من امتدادات هذه الترسبات كما هو ملاحظ من المنطقة المظللة في نفس الشكل.

2- المسح الجيوفيزيائي الأرضي Geophysical Surface Survey

المقدمة :- يعرف علم الجيوفيزياء بأنه العلم الذي يطبق المفاهيم والقوانين الفيزيائية في دراسة الأرض. التكوينات الجيولوجية والترسبات المعدنية المختلفة تمتلك صفات وخصائص فيزيائية خاصة بها تميزها عن غيرها مثل (الحساسية المغناطيسية Magnetic Susceptibility، التوصيلية الكهربائية Electric Conductivity، الكثافة Density، ... الخ).

ان امتلاك الصخور والمعادن لهذا الصفات يعتمد بالدرجة الأساس على أصل نشوء وتكوين هذه المكونات الجيولوجية بالإضافة إلى الظروف الترسيبية والتكتونية التي أوجدتها.

إن اكتشاف وتسجيل التغيرات في الصفات الفيزيائية المختلفة تعكس وجود تغيرات في نوع وطبيعة المكونات الجيولوجية تحت سطح الأرض وبالتالي يمكن تمييزها عن الصخور المحيطة بها، هذه تتيح إمكانية اختزال وعزل المناطق ذات الشواهد الطبيعة عن المناطق التي تمتلك تغايرات في الصفات الفيزياوية التي من الممكن ان تحتوي على شواهد معدنية أو تراكيب جيولوجية. هذه المناطق تشجع على المزيد من الدراسات التفصيلية اللاحقة لغرض التحقق من أصل نشوء وتواجد هذه الشواهد.

إن الهدف من استخدام طرق الاستكشاف الجيوفيزيائية هي إمكانية الاستفادة من التغايرات الحاصلة في الصفات الفيزيائية للتكوين الصخرية وبين الصخور المحيطة بها ثم تحديد وعزل المناطق والأماكن التي تمتلك تغايرات فيزيائية، المناطق المحددة هذه هي التي تستحق إجراء مزيد من الدراسات التفصيلية بمختلف الوسائل لغرض التحقق من أصل ظهور هذه الشواذ.

إن طرق الاستكشاف الجيوفيزيائية تعتبر من الطرق غير المباشرة لا يمكن الاستدلال بواسطتها على ترسبات معدنية بصورة قاطعة ومباشرة لا يمكن أن تكشف عن الغموض الذي يرافق النتائج المستحصلة من القياسات الحقلية بمعرفة ما هو موجود تحت سطح الأرض، وإنما هدفها هو عزل المناطق المشجعة التي تعطي شواهد ومتغايرات فيزيائية وثم يتم إجراء وتوجيه أعمال المسح التفصيلي نحو هذه المناطق للتحقق من طبيعة هذه الشواهد الفيزيائية، الطريقة البديلة للاستكشاف الجيولوجي التحت سطحي المباشرة هي اللجوء إلى استخدام تقنية الحفر أللبابي الاستكشافي والحصول على نماذج لبابيه وبما إنها طريقة مكلفة جدا وتستغرق وقت طويل يجب ان يتم تعيين مواقع حفر الآبار بالضبط في الأماكن المرشحة لتواجد ترسبات معدنية أو تكوينات جيولوجية لضمان الحصول على معلومات دقيقة وواضحة وعدم هدر الأموال واختصار الوقت اللازم لانجاز مشروع الاستكشاف المعدني، يتم توجيه أسلوب وبرنامج الحفر أللبابي باستخدام المسح الجيوفيزيائي لكونه سريع الانجاز وإمكانية الحصول على نتائج واضحة ممكن ان تقود إلى الاستدلال وتعيين أماكن تواجد ترسبات معدنية أو تراكيب جيولوجية. المسح الجيوفيزيائي لا يمكن أن يكون بديلا عن برنامج الحفر الاستكشافي وإنما يستخدم لتوجيه برنامج الحفر واختزال الوقت والكلف المالية.

المسح الجيوفيزيائي الأرضي يعتبر احد أهم الوسائل الفعالة المستخدمة في أعمال التحري والاستكشاف المعدني والجيولوجي، تعتبر وسائل مساعدة تستخدم مع البيانات والظواهر الجيولوجية في الكشف عن الغموض للمكونات الجيولوجية تحت سطح الأرض. بعض طرق الاستكشاف الجيوفيزيائي لها تطبيقات واستخدامات عامة وشاملة في البحث والتنقيب عن التراكيب الجيولوجية والترسبات المعدنية، والبعض الآخر محدد الاستخدام تختص في تطبيقها في الكشف على نوع معين من الترسبات المعدنية. قسم منها يستخدم في استكشاف صخور ومعادن معينة بصورة مباشرة، والبعض الآخر تكون غير مباشرة. ان استخدام نوع الطريقة الجيوفيزيائية يتم بالأساس على الغرض والهدف من إجراء عمليات المسح الاستكشافي وكذلك نوع التكوينات الجيولوجية المستهدفة بأعمال المسح الجيوفيزيائي بالاضافة إلى طبيعة النتائج المراد الحصول عليها ضمن مرحلة الاستكشاف والعمل الحقلي الذي يتم اجراؤه في المنطقة.

هذه الخصائص والصفات الموجودة في طرق المسح الجيوفيزيائي أدت إلى تطوير أجهزة ومعدات متخصصة ومتطورة ساعدت على انجاز الأهداف المطلوبة من عمليات الاستكشاف بكل دقة وسهولة مع تحقيق نتائج ذات موثوقية عالية.

ان اختيار أسلوب المسح الاستكشافي الجيوفيزيائي يتم وفق الاعتبارات التالية:

أ- تحديد وعزل المناطق ذات الشواذ الفيزيائية المشجعة التي تدل على وجود تغايرات في الصفات الفيزيائية للصخور تحت سطح الأرض.

ب- طرق سريعة وسهلة الاستخدام تتميز بسرعة الانجاز مع إعطاء نتائج وتوصيات واضحة ودقيقة.

ج- قليلة التكاليف، ممكن لشخص واحد أن يقوم بإجراء عمليات تسجيل قراءات المسح الجيوفيزيائي.
د- التوصيات والاستنتاجات المستحصلة من نتائج المسح الجيوفيزيائي ممكن ان يعتمد عليها في توجيه اختصار برنامج الحفر اللبابي ليقتصر فقط على الأماكن ذات الشواذ الفيزيائية العالية.
هـ- تقليل الكلف المالية في رصد الأماكن المشجعة على إجراء المزيد من الدراسات التفصيلية عليها.

ان استخدام الطرق الجيوفيزيائية يعتبر من الطرق والوسائل المباشرة في التحري والتنقيب عن الترسبات المعدنية باستخدام الخصائص الفيزيائية لهذه الترسبات في حين ان التنقيب عن النفط يعتبر من الطرق غير المباشرة خلال عمليات الاستكشاف النفطي لا يمكن الاستدلال على وجود النفط باستخدام الخصائص والمميزات الفيزيائية للنفط ولكن يكون أسلوب الاستكشاف هي البحث عن التراكيب الجيولوجية المناسبة التي من الممكن ان تكون مكامن نفطية. نتائج المسح الجيوفيزيائي يجب أن تقارن مع الظواهر الجيولوجية والتركيبية للمنطقة المستهدفة بالاستكشاف مع أية معلومات أخرى متوفرة وبالتالي يمكن من خلال ذلك تحديد أماكن تواجد هذه الشواذ، عمقها، حجمها، وامتداداتها وعلى ضوء هذه الدراسات تكون التوصية بتوجيه وتصميم برنامج الحفر اللبابي الاستكشافي في الأماكن المحددة وحفر آبار لبابية في مواقع مختارة على ضوء هذه الدراسات لغرض استحصال نماذج لبابية لدراسة هذه الترسبات أو المكونات الجيولوجية مباشرة وبالتالي أمكن اختصار الوقت وتقليل تكاليف الحفر باستخدام وتطبيق المسح الجيوفيزيائي.

تقسم طرق المسح الجيوفيزيائي إلى قسمين:-

1- طرق المسح الجيوفيزيائي المؤثرة Passive method

وهي الطرق التي تستخدم المجال الأرضي الطبيعي (المجال ألجذبي، المجال المغناطيسي) مثل الطريقة الجذبية، الطريقة المغناطيسية، الطريقة الإشعاعية، الطريقة الكهربائية.

2- طرق المسح الجيوفيزيائي الفعالة Active method

وهي الطرق التي تستخدم الإشارات الاصطناعية التي ترسل في الهواء، هذه الإشارات تمر وتنفذ في الصخور تحت سطح الأرض حيث يحصل لها تشويه ممكن ان تسجيلها وتحسس هذه التشويه والاختلاف مثل طريقة AFMAG و VLF.

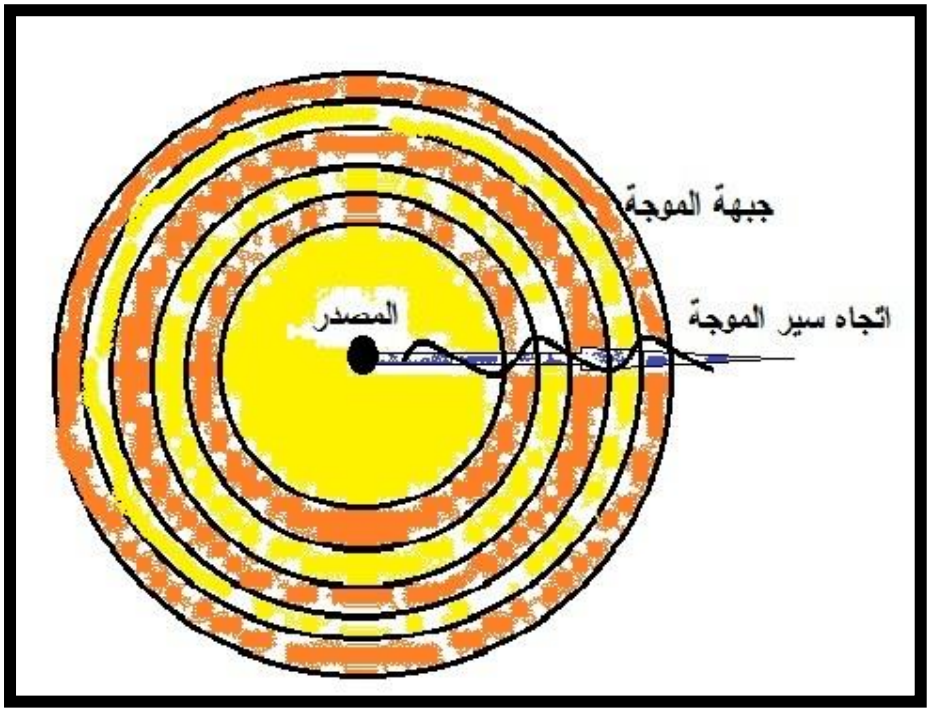
من الصفات الفيزياوية للصخور والتي استخدمت بصورة كبيرة في عمليات الاستكشاف الجيوفيزيائي هي خاصية المرونة elasticity، الكثافة Density، الحساسية المغناطيسية Magnetic Susceptibility، المقاومية الكهربائية Electric Resistivety أو احيانا التوصيلية الكهربائية Electric Conductivity، النشاط الإشعاعي Radioactivity هذه الخواص ساعدت في ابتكار وتطوير طرق الاستكشاف الجيوفيزيائي والتي استخدمت في الكشف وتعيين السطوح الفاصلة بين التكوينات الصخرية أو تعيين الحدود الفاصلة بين أي وسطين يختلفان في الصفات الفيزياوية. في هذا

الفصل سوف نتطرق إلى وصف وأسلوب عمل اهم طرق المسح الجيوفيزيائي المستخدمة في مجال الاستكشاف المعدني وهي:-

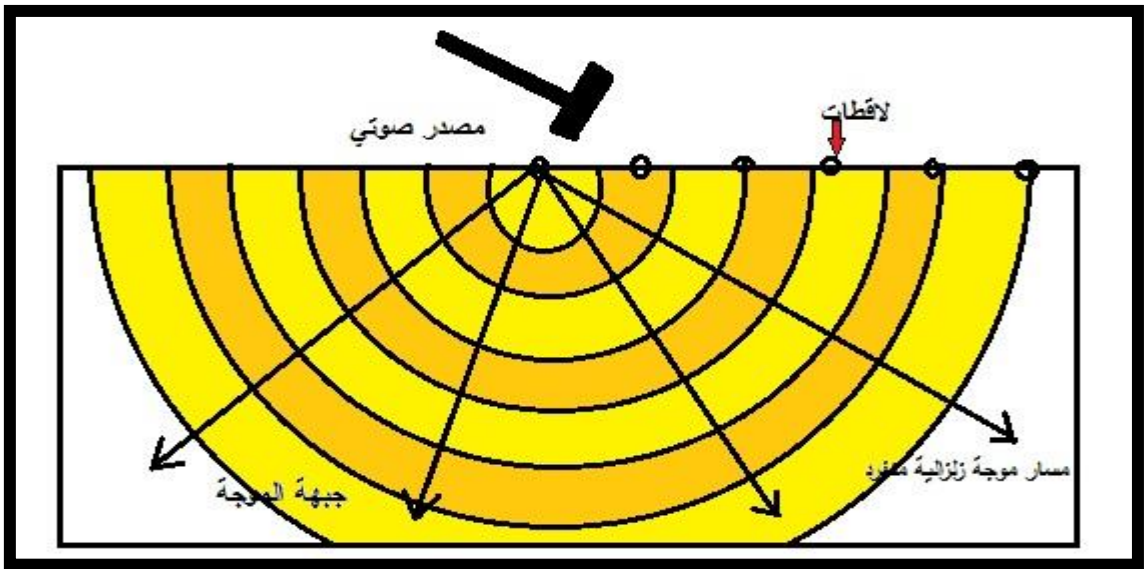
1- الطريقة الزلزالية Seismic Method
2 - الطريقة الجذبية Gravity method
3 - الطريقة الكهربائية Electrical method
4 - الطريقة المغناطيسية Magnetic method
5 - الطريقة الالكترومغناطيسية Electro magnetic method
6 - الطريقة الإشعاعية Radioactive method

الطريقة الزلزالية Seismic method

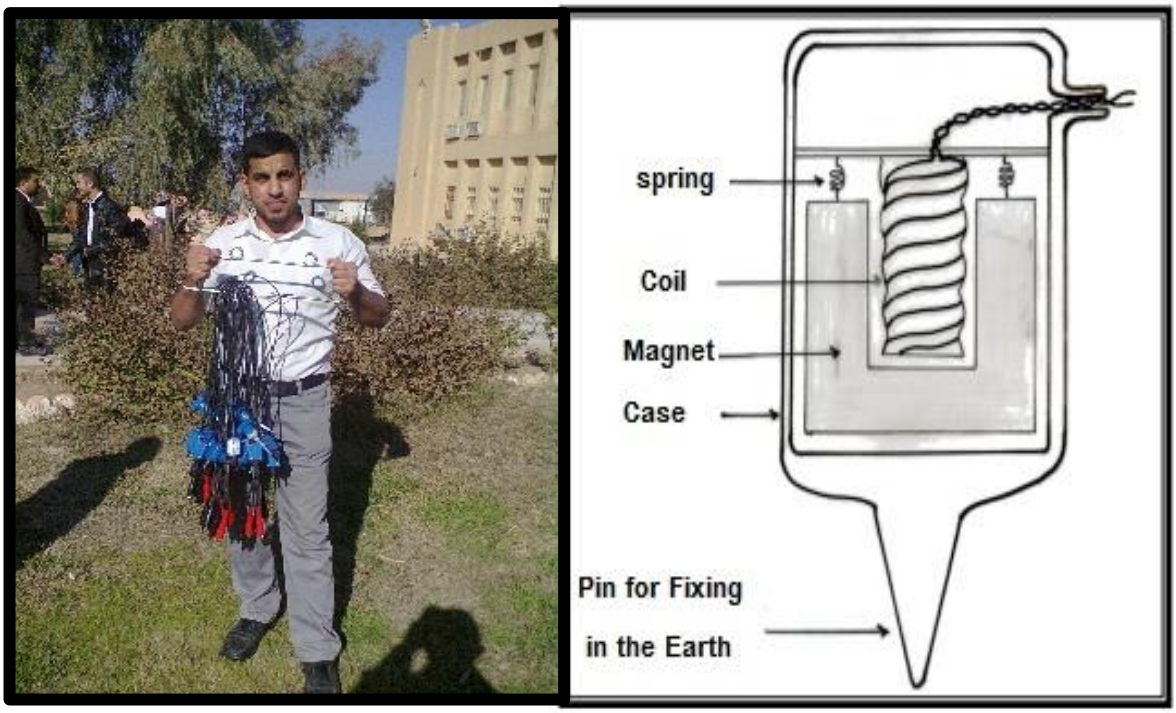
كشف الغموض عن المكونات والتراكيب الجيولوجية تحت سطح الأرض باستخدام الطاقة الصوتية (Acoustic energy) أصبح من المفاهيم المألوفة في الجيولوجي وذلك باستخدام وتطبيق الطريقة الزلزالية في عمليات الاستكشاف الجيوفيزيائي. تعتمد الطريقة الزلزالية على احداث امواج صوتية (زلزالية) اما بالتفجير أو باستخدام مطرقة ثقيلة Sledge hammer .تنتشر هذه الأمواج في جميع الاتجاهات على شكل دوائر مركزية (شكل رقم 28-3) وتتغلغل في الصخور التحت سطحية بسرع معينة (شكل رقم 29-3) تعتمد على الخصائص الفيزياوية لذلك الوسط ومدى تجانس الكثافات فيه وذلك بواسطة احداث اهتزازات في جزيئات الصخور ثم تنعكس هذه الأمواج أو تنكسر من على السطوح الفاصلة بين الطبقات الصخرية أو التكوينات الجيولوجية حيثما وجدت اختلافات في الكثافة التي تؤدي إلى حصول اختلاف في سرعة هذه الأمواج الصوتية وبالتالي فإنها تنعكس وتعود إلى سطح الأرض ويمكن تحسسها باستخدام لاقطات خاصة (Geophone) (شكل رقم 30-3) يتم بواسطتها تسجيل زمن وصول هذه الأمواج خلال سيرها في الصخور اعتبارا من مصدر الطاقة إلى نقطة التسجيل في اللاقطة. إن معرفة زمن وصول الموجة وكذلك سرعة هذه الأمواج في الطبقات الصخرية أصبح من الممكن حساب العمق وكذلك السمك بمختلف الطبقات الصخرية والتكوينات الجيولوجية تحت سطح الأرض.



شكل رقم (28-3)مرتسم يوضح العلاقة بين مسار الموجة، جبهة الموجة والطول الموجي للامواج الزلزالية



شكل رقم (29-3)مرتسم يوضح كيفية انتشار الامواج الصوتية في الأوساط المرنة



شكل رقم (30-3) شكل اللاقطة مع **مقطع توضيحي إلى اللاقطة Geophone**

تعتبر الطريقة الزلزالية من اكثر الطرق الجيوفيزيائية أهمية وفعالية واستخدام مع إن كلفتها المالية عالية جدا، وذلك لدقة النتائج المستحصلة وكفاءتها العالية وقدرتها على تحسس المتغيرات في الأعماق الكبيرة تحت سطح الأرض. ان الاستخدام الواسع للطريقة الزلزالية يعود إلى تطبيقاتها الواسعة في التنقيب عن النفط وكفاءتها في الكشف عن التراكيب الجيولوجية الواقعة تحت سطح الأرض مثل الصدوع والكسور والطيات المحدبة التي ممكن أن تكون مكامن نفطية، استخدمت هذه الطريقة كذلك في التحري والكشف عن مواقع تواجد المياه الجوفية، في الهندسة المدنية خاصة في تحديد عمق صخور القاعدة Bed Rock، في اختيار الموقع المناسب للسدود والخزانات المائية، في تحديد الأماكن المناسبة لإنشاء الطرق السريعة وسكك الحديد، في تحديد وتعيين مواقع السطوح الفاصلة بين التكوينات الجيولوجية والطبقات الصخرية تحت سطح الأرض، من جهة أخرى نادرا ما تستخدم الطريقة الزلزالية في التحري والتنقيب عن الترسبات المعدنية بسبب عدم وجود إمكانية تحديد مواقع هذه الترسبات عند عدم وجود حدود فأصلة مختلفة الكثافة تعمل كسطح عاكس للموجات الزلزالية، من الممكن استخدامها في الكشف وتعيين مواقع القنوات المدفونة (Burred channels) التي من الممكن ان تحتوي على ترسبات معدنية أو تواجد للمعادن الثقيلة.

اسس تقدم الموجات الصوتية في الأوساط الصخرية

Fundamental of the seismic Waves in Rocks.

تعتمد الطريقة الزلزالية على حقيقة إن سرعة الأمواج الصوتية (الزلزالية) والتي هي عبارة عن طاقة صوتية (acoustic energy) أثناء سيرها في الأوساط الصخرية الصلبة تختلف مع اختلافات الصخور في باطن الأرض أي في الحقيقة تختلف مع اختلاف كثافة التكوينات والطبقات الصخرية. الأمواج الصوتية أثناء مرورها عبر الصخور تعمل على إحداث اهتزازات في جزيئات الصخور وتؤدي إلى إحداث تشويه في جزيئات الصخور، حتى يمكن أن تستجيب هذه الصخور إلى ضغط أو الطاقة المسلطة عليها وبالتالي تكون لها القابلية على إمرار ونقل هذه الأمواج الصوتية، ان التباين في السرعة الزلزالية للصخور يعتمد بصورة أساسية على الاختلافات الفيزيائية الموجودة في الصخور. إذا كانت التكوينات الصخرية ذات خواص ثابتة ومتجانسة بهذه الحالة سوف تنتقل الأمواج الزلزالية بسعة ثابتة وبشكل خطوط مستقيمة وعند الحدود الفاصلة بين التكوينات الجيولوجية أو الطبقات الصخرية عند وجود اختلافات في الكثافات الصخرية يحصل لها تغاير في السرعة عندئذ ستنعكس أو تنكسر على السطوح الفاصلة بين الطبقات. لغرض فهم سلوك الموجات الزلزالية التي تسير في الأوساط الصخرية فمن الضروري تفهم الخصائص المرنة للأوساط الصخرية (تسمى الأوساط الصخرية بالأوساط المرنة بسبب قابليتها على إبداء التغييرات الذي تظهرها المادة عند مرور موجات لزلزالية خلالها) هذه التغيرات عبارة عن إعادة التوزيع للقوى الداخلية في جزيئات الصخور بالإضافة إلى حصول تشوه في الشكل الهندسي لها. عادة ما يعبر عن هذه التأثيرات بدلالة مفهومي قوى الجهد والإجهاد stress of strain.

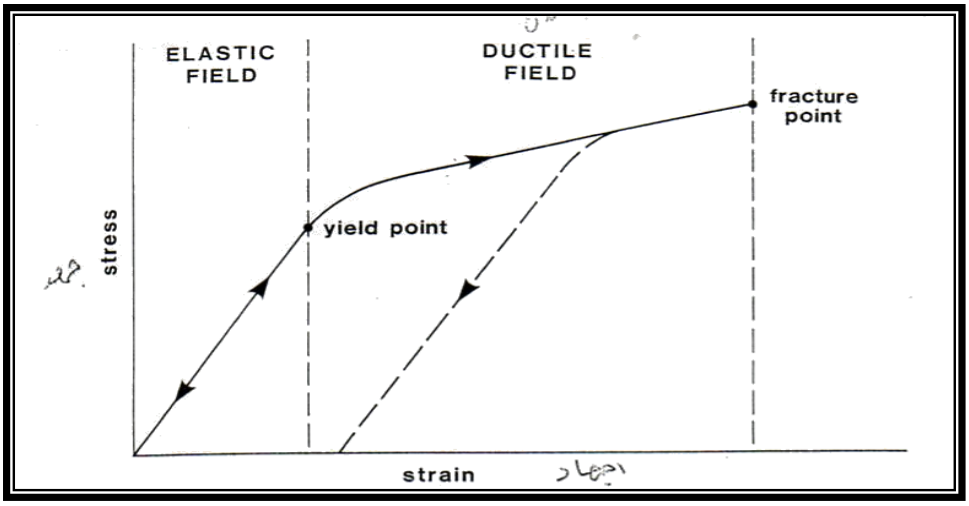
الجهد والإجهاد Stress and Strain

عندما يتم تسليط قوة خارجية على جسم معين، عندئذ يحصل له إعادة توزيع للقوة الداخلية للمادة لتكون في حالة موازنة جيدة استجابة للقوة المسلطة عليها. الجهد stress هو قياس لشدة القوة المسلطة على المادة، بمعنى اخر هو قياس القوة (F) المسلطة على وحدة المساحة (A) للجسم. هذه القوة ممكن ان تتحلل إلى عدة مركبات للقوى وهي الجهد العمودي على سطح الجسم. عندما تكون القوة (F) عمودية على وحدة المساحة فان الجهد يسمى (الجهد العمودي) Normal stress ويمكن أن يكون جهد تضاغطي Compressive stress أو يكون جهدا شدي Tensile stress اعتمادا على الاتجاه، وعندما تكون القوة (F) مماسا لوحدة المساحة Tangential فان الجهد يسمى بالجهد القصي Shearing stress.

الجسم الذي يتعرض إلى جهد stress ويحصل له تشويه في الشكل والحجم أو كلاهما معا عندئذ يسمى بالإجهاد strain اي إن الإجهاد هو قياس التشويه الذي يحصل للجسم عند تعرضه

للجهد. إن الإجهاد الذي يسبب تغيير في الشكل فقط من دون أي تغير في الحجم يسمى بالإجهاد القصي Shear strain أو التشويه Distortion بينما يطلق على التغيير في الحجم من دون حصول تغيير في الشكل بالإجهاد التمددي Distortion أو إجهاد التقلص، وتسمى الاجهادات المتعلقة النسبية في الطول بالاجتهادات العمودية Normal stress.

إن الأجسام التي تتعرض إلى جهد stress معين ويحصل لها تغيير في الشكل والحجم ممكن أن تتحمل قوى الإجهاد هذه إلى حد معين تعود إلى وضعها الأصلي عند رفع الجهد منها حيث يبري الجسم ذو المرونة التامة علاقة خطية بين الجهد والإجهاد يحكمها في ذلك قانون هوك Hook's Law إلى أن تصل إلى حد معين لقيمة الجهد تسمى حد التشويه للمادة Yield strength. حقل المرونة هذا يسمى Elastic field، وعند رفع الجهد عن الجسم يؤدي إلى إزالة التشوه الحاصل للجسم عندما يتعدى الجهد نقطة Yield strength عندئذ التشويه الذي يحصل للجسم لا يمكن أن يعود إلى وضعه الأصلي عند رفع الجهد عنه هذا الحقل يسمى strength Ductile. عند زيادة الجهد أكثر من قابليه الجسم على تحمل الجهد المسلط عليه عندئذ يحصل تكسر وتهشم للمادة. هذه العلاقة موضحة في الشكل (31-3)



شكل رقم (31-3) منحني جهد – اجهاد للاجسام الصلبة

معاملات المرونة Elastic Moduli

توصف الخواص المرنة للأجسام أو المواد بما يسمى بمعاملات المرونة وهي التي تحدد العلاقة الكمية بين الأنواع المختلفة من الجهد والإجهاد. إن العلاقة الخطية بين الجهد والإجهاد في حقل المرونة Elastic field شكل رقم (31-3) يعبر ع عنها بواسطة معامل يونك Young's Modulus (E).

1- معامل يونك (E) :-

يوضح العلاقة بين الجهد المسلط على الجسم وبين التشويه الناتج على الجسم من جراء هذا الجهد. لنفترض ان جهد معين سلط على اسطوانة طولها (L) طولها ومساحة المقطع لها (A)، ان الاستطالة الحاصلة لها ن جراء تسليط الجهد (F). عليها هو (Δl) كما في الشكل (3-32-a) حيث يعرف هذا التشوه بمعامل يونك ويعبر عنه بالصيغة التالية:-

$$\text{Young's Modulus (E)} = \frac{Longtudinal\ stress}{Longtudinal\ strain} = \frac{F/A}{\Delta l/l}$$

وممكن ان يحصل تشويه بالاتجاه المعاكس حيث يحصل للاسطوانة قصر في الطول اذا كان الجهد المسلط بالاتجاه المعاكس.

2-المعامل الحجمي(K) Bulk Modulus

عندما يتعرض جسم حجمه(v)إلى جهد انضغاطي منتظم (ضغط هيدروستاتيكيp) فان حجمه سوف يقل بمقدار (Δv) وذلك يعرف المعامل ألحجمي (k) بأنه النسبة بين الضغط إلى التغيير الحاصل في الحجم ،بتعبير آخر هو مقاومة الجسم أو المادة للقوى المبدلة للحجم شكل (3-32-b) ويمكن أن يعبر عنه بالقانون التالي:-

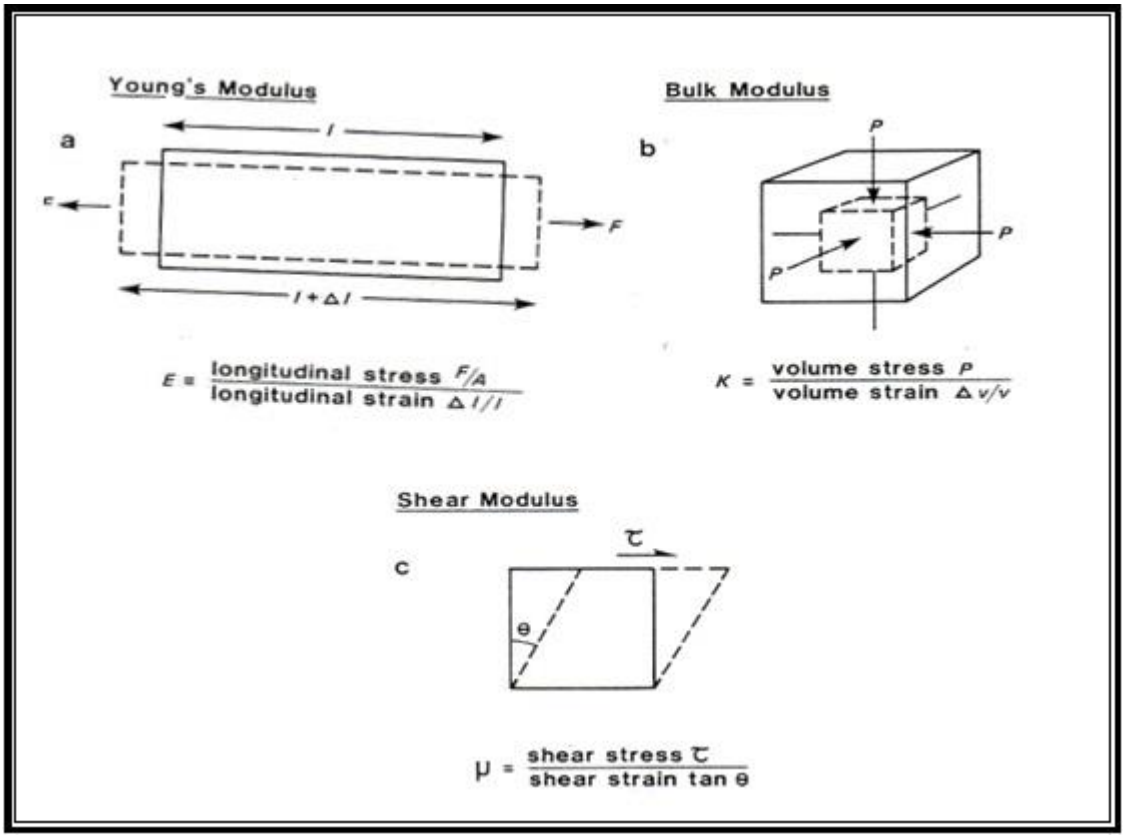
$$k = \frac{\text{volume stressp}}{volumestrain\ \Delta v/v} = \frac{F/A}{\Delta v/v}$$

3- معامل القص أو الصلابة (μ) Shear Modulus

يعرف معامل القص بأنه قياس نسبه الجهد إلى الإجهاد في حالة الجهد المماسي أو القصي ،أي ان الإجهاد القصي هو مقاومة الوسط للقوى المبدلة للشكل. وهو التشوه الناتج في الشكل بدون أي تغيير في الحجم ويعبر عن الإجهاد في هذه الحالة بزاوية التشوه θ الشكل رقم (3-32-c) . أي إن:-

$$\mu = \frac{Shear\ Shress}{Shear\ Stsain\ Tan\theta} = \frac{F/A}{\tan\theta}$$

إن حقيقة $\mu 0$ = للموائع تكون ذات فائدة في الدراسات الزلزالية إذ إن السرعة للأمواج الصوتية تتأثر كثيرا بالعامل μ.



شكل رقم (32-3) تأثير القوة السلطة على للأجسام الصلبة التي يعبر عنها بمعاملات المرونة

4- نسبة بوزون (σ) Poisson Ratio

هي قياس التغيير الهندسي في الشكل للجسم المرن، عندما يسلط جهد شدي على اسطوانة طولها (L) وقطرها (D) فانا تستطيل بمقدار (ΔL) ويقل قطرها بنفس الوقت بمقدار (ΔD)، وعلى العكس من ذلك في حالة تسلط جهد انضغاطي عليها ويمكن التعبير عن نسبة بوزون بالصيغة التالية:-

$$\sigma = \frac{\Delta D / D}{\Delta L / L}$$

نسبة بوزون لمعظم الأجسام الصلبة تساوي (0.25) تقريبا اما السوائل أو الموائع فان نسبة بوزون تصل إلى قيمتها العظمة وهي (0.5).

تتراوح قيمة E، K و μ لمعظم الصخور من (10^{10}-10^{11}) نيوتن/م^2 يمكن التعبير عن كل من الثوابت الأربعة بدلالة اثنين منهما وكما يلي :-

$$E = \frac{9\mu K}{(\mu + 3K)} \qquad \mu = \frac{E}{2(1+\sigma)}$$

$$K = \frac{E}{3(1-2\sigma)} \qquad \sigma = \frac{(3K - 2\mu)}{(6K + 2\mu)}$$

الموجات المرنة Elastic waves

الموجات الزلزالية هي عبارة عن موجات أو طاقة صوتية تنتشر خلال الأوساط الصلبة الصخرية بواسطة إحداث تذبذبات أو اهتزازات في جزيئات الصخور، الأوساط الصخرية هذه تستجيب لتأثيرات مرور الأمواج الصوتية خلالها بواسطة حصول أو إحداث تشوهات شكلية أو حجميه، ولذلك تسمى الأوساط الصخرية بالأوساط المرنة، والموجات الزلزالية تسمى بالموجات المرنة Elastic Waves كونها تنتقل أو تسير في الأوساط المرنة هذه.

انواع الموجات المرنة Types of Elastic waves

هناك نوعان رئيسيان من الأمواج المرنة هي الموجات الباطنية Body waves والموجات السطحية Surface waves.

الموجات الباطنية Body waves

عندما تسير الأمواج الصوتية في الهواء فان جزيئات الهواء سوف تتذبذب Oscillate إلى الإمام وإلى الخلف حيث تكون حركة الدقائق في الهواء باتجاه سير الموجة مسببة تمدد أو تقلص أو تضاغط وتخلخل (Compressions and rarefactions) للوسط الذي تسير فيه، عندما تسير هذه الأمواج الصوتية في الأوساط الصخرية المرنة فإنها سوف تمتلك أو تسير بسرعة اكبر ولذلك تسمى هذه الأمواج بالأمواج الأولية Primary waves أو P–waves وتدعى ايضا بالأمواج الطويلة حيث يتعرض الوسط الذي يسير فيه هذ النوع من الأمواج إلى تشوه انضغاطي شكل رقم (3–33) الذي يؤدي إلى حصول تغيير في الحجم، ونظرا لازدياد سرعة هذه الأمواج فإنها تصل أولا إلى سطح الأرض من مصدر الصوت وتسجل من قبل اللاقطات وسميت بالأمواج الأولية لهذه السبب، سرعة الأمواج الأولية (P–waves) تعطي بمعادلة التالية:–

$$Vp = [(k + 4/3\ \mu)/\ \rho]^{1/2} \qquad Vp = [(1-\sigma)E\ /\ (1+\sigma)(1-2\sigma)\rho]^{1/2}$$

حيث إن:

ρ = كثافة الوسط

σ = نسبة بوزون

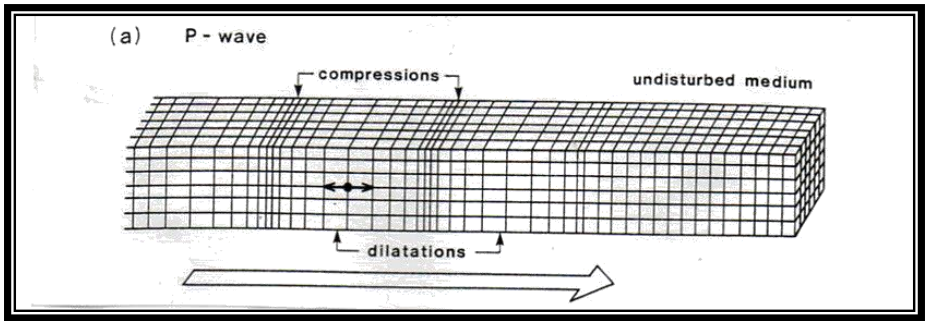
E = معامل يونك

K = المعامل ألحجمي

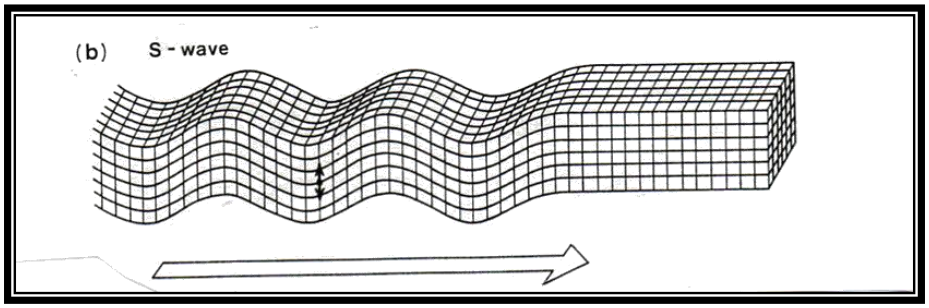
μ = معامل القص

النوع الثاني من الموجات الباطنية هي الموجات القصية Shear waves والتي تكون فيه حركة الجزيئات أو الدقائق عمودية على اتجاه سير الموجة شكل رقم (34-3)، هذا النوع من الامواج تسمح بمروره الأوساط الصخرية فقط حيث تؤدي إلى حصول تغيير في الشكل وتكون سرعتها بطيئة حيث تساوي $\frac{1}{2}$ سرعة الموجات الطولية تقريبا ولذلك تسمى بالموجات الثانوية Secondary waves أو S-waves تعطي سرعة هذه الأمواج بالمعادلة التالية:-

$$vs=\sqrt{\frac{\mu}{\rho}}=\sqrt{\frac{E}{2\rho}\times\frac{1}{(1+\sigma)}}$$



شكل رقم (33-3) مسار الموجة الأولية P-wave حركة الجزيئات باتجاه سير الموجة



شكل رقم (34-3) مسار الموجة الثانوية S-wave حركة الجزيئات عمودي باتجاه سير الموجة

وتظهر من المعادلتين السابقتين إن :-

$$\left(\frac{V\rho}{Vs}\right)^2=2(1-\sigma)(1-2\sigma)$$

$$(V\rho^2-\frac{4}{3}V_5^2)=\frac{K}{\sigma}$$

من العلاقة الأولى يمكن إيجاد σ وبالتالي يمكن معرفة $\frac{V\rho}{Vs}$ أما من العلاقة الثانية يمكن دراسة التغيير في الخواص الفيزيائية، للصخور وخاصة الكثافة. هذا النوع من الأمواج يؤدي إلى حصول صدوع وتخسف في الطبقات الصخرية التي تمر بها بسبب حركتها العمودية على اتجاه سير الموجه وتصل إلى أجهزة الرصد ويتم تسجيلها في اللاقطات بعد الموجات الأولية.

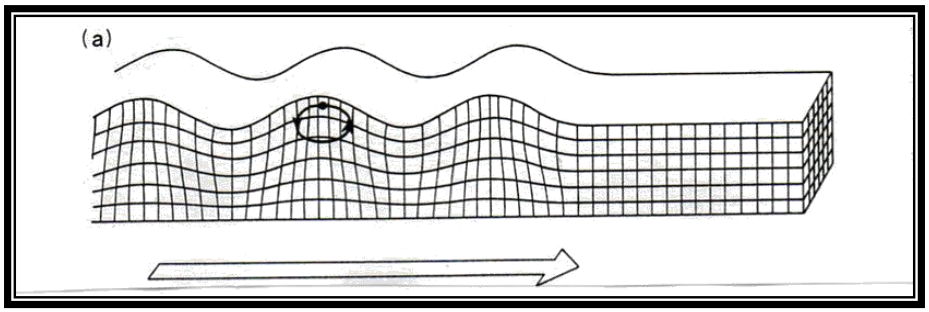
الموجات السطحية Surface Waves

هناك نوعين من الموجات السطحية تتكون من جراء وجود مصدر صوتي أو مصدر زلزالي من خواصها إنها تسير على السطح الحر للجسم المرن، هذه الموجات هي موجات رالي Ray Leigh شكل رقم (35-3) التي تكون حركة الدقائق أو الجزيئات فيها مركبة من نوعين من الاهتزازات هو الاهتزاز الطولي والمستعرض مؤدية إلى حركة تراجعية بيضوية في المستوى العمودي على طول اتجاه سير الموجة بشكل اهليليجي. ان سرعة موجات رالي تساوي 0.9 من سرعة S-waves تقريبا.

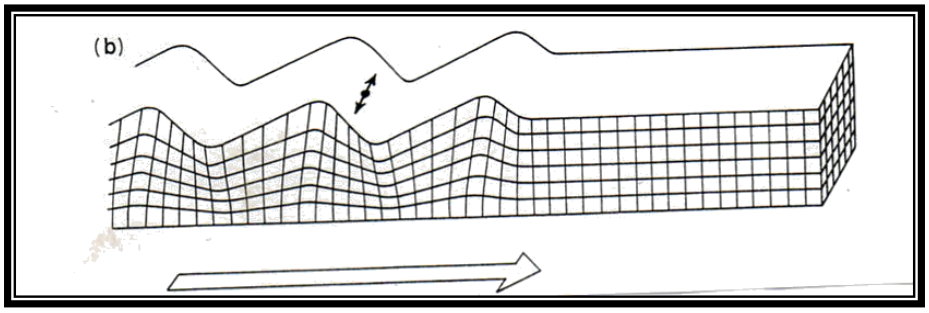
ان الضوضاء التي سببها الاهتزازات الأرضية البسيطة التي عادة تواجه أثناء العمل الحقلي الزلزالي مكونة من موجات رالي بصورة أساسية.

إن معظم الهزات التي نشعر بها من الزلازل تكون بفعل هذا النوع من الموجات حيث ان تأثيرها يكون من أقوى الأنواع وحركتها تكون في حالة شبه دائري مما تؤدي إلى تقلقل وتخلخل في الطبقات التحت السطحية، اذ تعمل هذه الموجة على تحريك الأشياء في المستويين الأفقي والرأسي في الاتجاه عمودي على سير الموجة وبذلك تتجلى القدرة التدميرية للموجات السطحية.

النوع الثاني من الموجات السطحية تسمى موجات لوڤ Love-waves والتي تحدث وتسير في الطبقة السطحية العليا من التربة إذا كانت مكونة من مواد غير متجانسة التي تمتلك سرعة قليلة والتي تقع فوق طبقة صخرية ذات سرعة عالية، شكل رقم (36-3) تسير موجات لوڤ Love بصورة أفقية بالطبقة السطحية كذلك تكون حركة الدقائق الوسط أفقية ومستعرضة باتجاه سير الموجة. هذا النوع من الموجات نادرا ما يسجل في عمليات الاستكشاف الزلزالي لأن اللاقطات تسجل فقط الحركة العمودية للأمواج الصوتية.



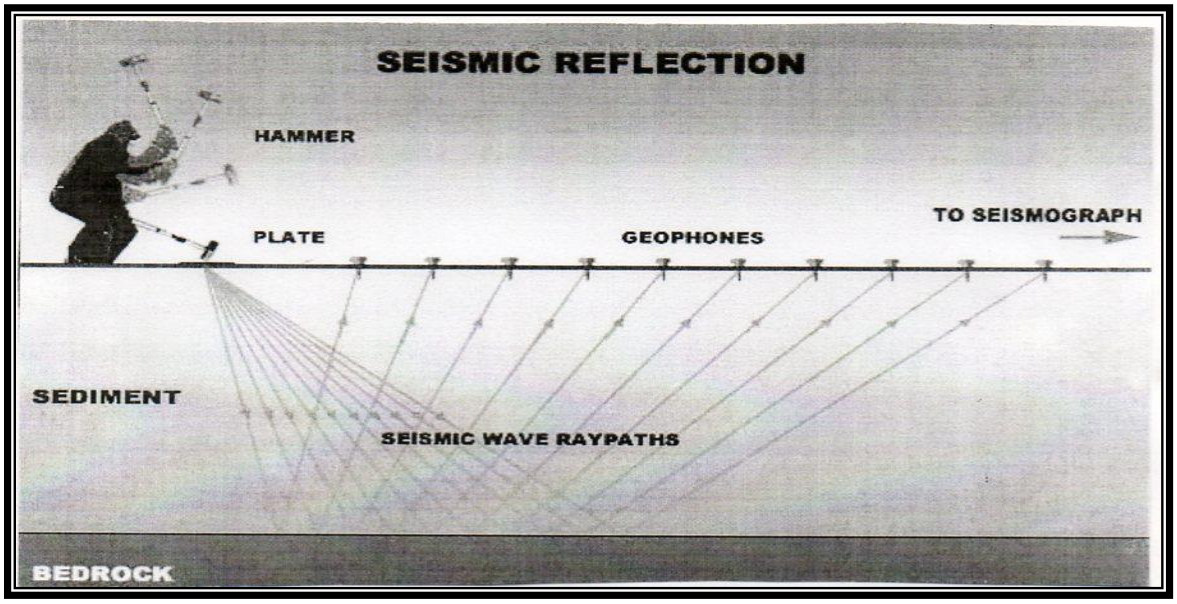
شكل رقم (35-3) موجات رالي حركة الجزيئات تكون بشكل إهليليجي باتجاه سير الموجة



شكل رقم (36-3) موجات لوقLoveحركة الجزيئات أفقية ومستعرضة باتجاه سير الموجة

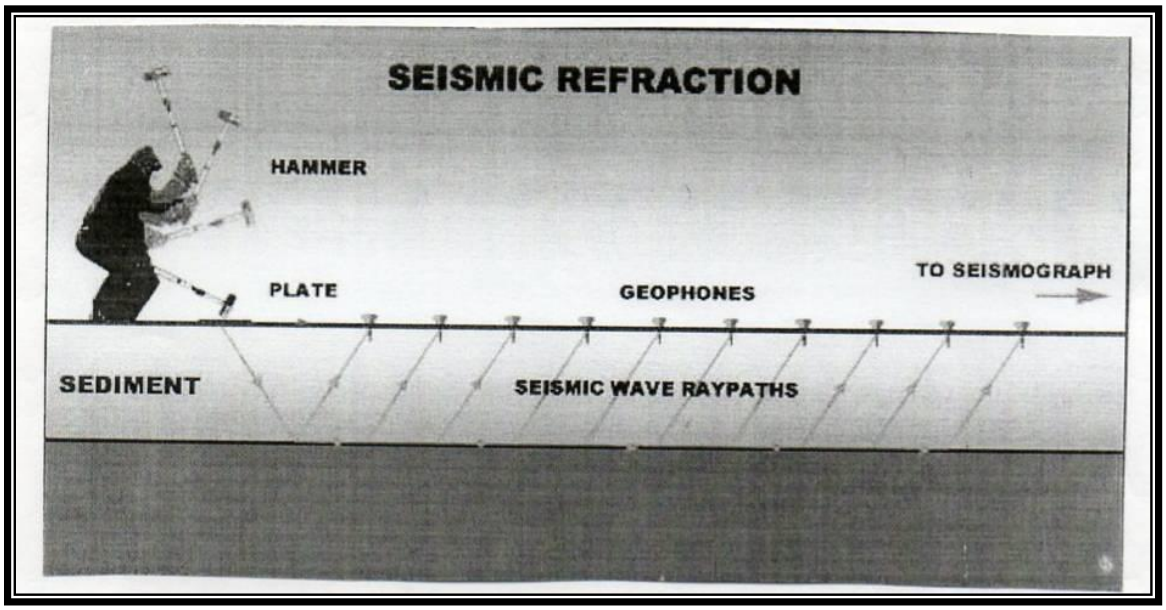
انعكاس وانكسار الموجات Reflection and Refraction of waves

تنتشر الأمواج الباطنية (P, S – Waves) في الأوساط الصخرية المتجانسة بصورة منتظمة في جميع الاتجاهات من مصدر الصوت شكل رقم حيث تكون جبهات الموجات عبارة عن سطوح كروية مركزها عند مصدر الصوت وعمودية على اتجاه سير تقدم الموجة. الأمواج الصوتية عندما تصطدم بسطح أو حاجز يفصل بين نوعين مختلفين في الكثافة الصخرية، لها سرعة مرنة مختلفة واحدة عن الأخرى فإن جزء من الموجات الصوتية سوف ينعكس شكل رقم (37-3)



شكل رقم (37-3) انعكاس الأمواج الصوتية

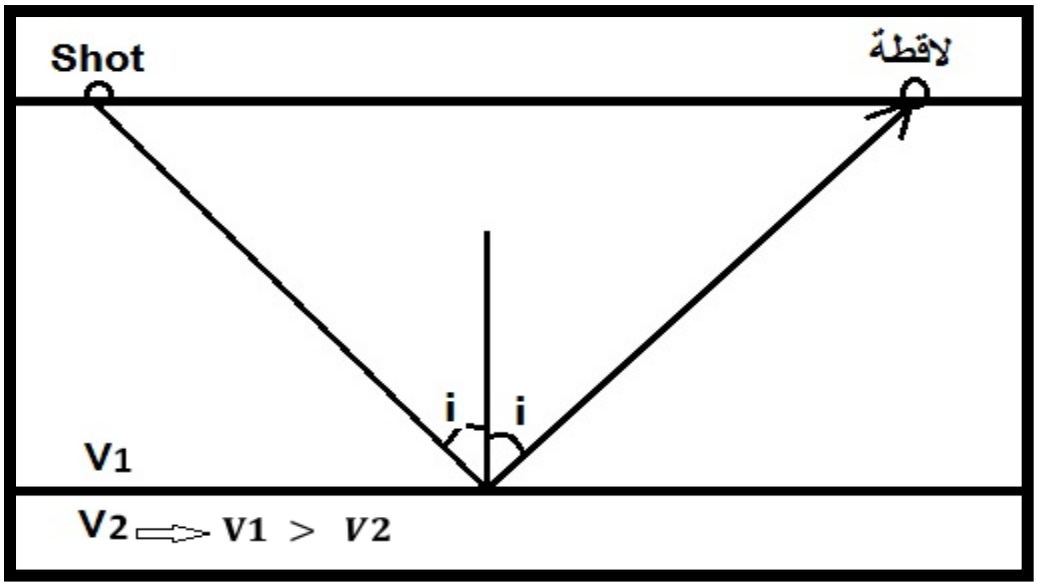
والجزء المتبقي ينكسر بزاوية معينة باتجاه الوسط الثاني شكل رقم (38-3)



شكل رقم (38-3) انكسار الأمواج الصوتية

قسم من الأمواج المنكسرة يسير بصورة موازية لسطح الطبقة الصخرية الثانية ثم ينعكس إلى السطح والقسم الآخر ينفذ إلى الأسفل باتجاه الطبقة الصخرية الأعمق لتتكرر نفس عمليات الانعكاس والانكسار لحين اضمحلال وتلاشي هذه الأمواج، حيث تكون المفاهيم الأساسية التي تتحكم في انعكاس وانكسار الموجات الزلزالية هي نفسها التي تتحكم في علم البصريات.

من الأمواج الزلزالية نحو السطح ينطبق عليها قانون الانعكاس حيث إن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس شكل رقم (39-3).

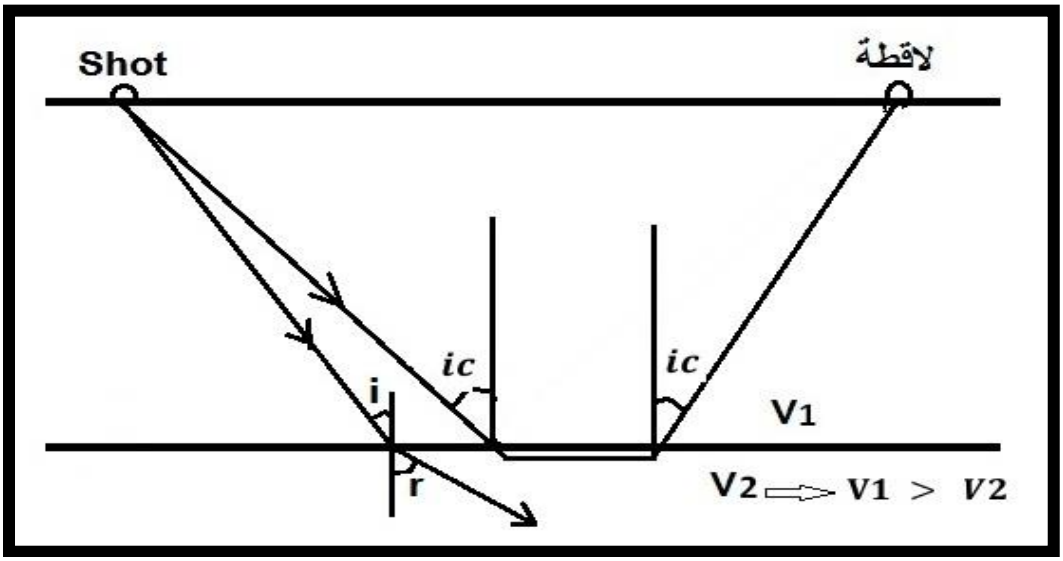


شكل رقم (39-3) مسار الموجة المنعكسة

أما الأمواج الزلزالية المنكسرة يحكمها في ذلك قانون سنيل Snell's Law التي تكون فيه زاوية سقوط الأمواج الزلزالية وزاوية الانكسار مرتبطة بالسرعة الزلزالية للأوساط الصخرية التي تمر بها، حيث أن :-

$$\frac{Sin\, i}{Sin\, r} = \frac{V_1}{V_2}$$

عندما تكون سرعة الأمواج الزلزالية في الوسط الثاني V_2 اكبر من سرعة الأمواج الزلزالية في الوسط الأول V_1 شكل رقم (40-3).



شكل رقم (40-3) مسار الموجة المنكسرة

عندئذ تنكسر الأمواج الزلزالية نحو الأسفل، إذا كانت Sin i تساوي $\frac{V_1}{V_2}$

إن الموجة المنكسرة سوف تسير بصورة موازية للسطح الفاصل بين الطبقتين وتنكسر نحو السطح العلوي ، زاوية السقوط هذه تسمى بالزاوية الحرجة وهي الزاوية التي تكون زاوية انكسارها (Sin r) تساوي 90 درجة ، لكي تنكسر الموجة الساقطة وتسير مع السطح الفاصل ثم تنكسر نحو الأعلى .الأمواج التي تسقط بصورة عمودية على السطح الفاصل بين الطبقات تنعكس كليا ولا يحصل أي انكسار بهذه الحالة.

$$\frac{sini}{sin90} = \frac{V1}{V2} \quad , \quad Sin90 = 1$$

$$\therefore sini = \frac{V1}{V2}$$

ألسرع الزلزالية في الصخور Seismic Velocities in Rocks

تعد معرفة وتعيين سرع الموجات الزلزالية في الصخور أساسية عند تطبيق الطريقة الزلزالية لمعرفة التراكيب الجيولوجية تحت سطح الأرض. تعتمد ألسرع الزلزالية للصخور على معاملات المرونة والكثافة كما في المعادلة التالية.

$$V\,p = \sqrt{\left(\frac{k + \frac{3}{4}\,\mu}{p}\right)} = \sqrt{\frac{(1-\sigma)\,E}{(1+\sigma\,)(1-2\sigma\,)\rho}}$$

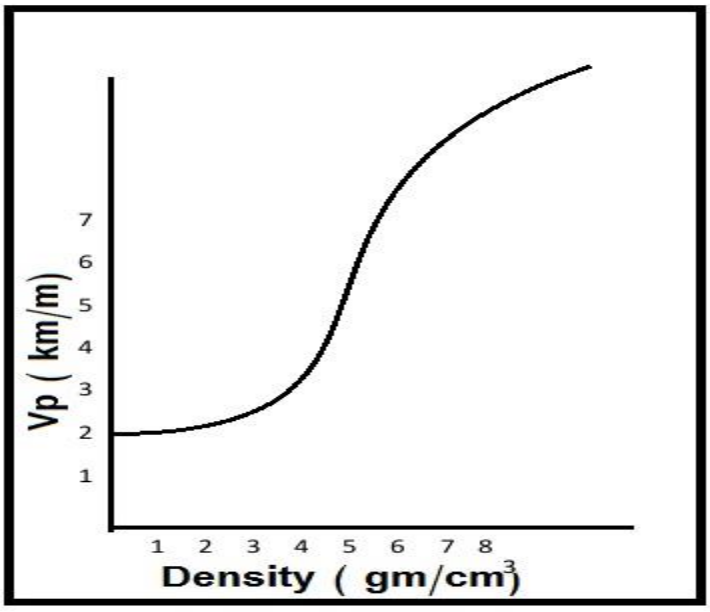
حيث إن :-

σ = نسبة بوزون

ρ = كثافة الصخور

E = ثابت المرونة

إن قيم ألسرع الزلزالية للصخور للموجات الطولية $V\rho$ كما مدرجة في الجدول (2 - 3) تعطي فكرة تقريبية عن مدى السرعة المتوقعة لنوع صخرة ما. ان من المهم الإشارة هنا إلى إن العوامل التي تؤثر على قيمة الكثافة للصخور تحدث تأثيرا كبيرا في السرع للموجات الزلزالية لتلك الصخور، هذه العوامل هي المسامية، عمق الصخور، وجود الكسور والتصدعات، المحتوى المائي والمحاليل، الخصائص الفيزيائية والكيميائية للصخور. الشكل رقم(41-3) يوضح العلاقة بين السرعة والكثافة التي من الممكن تقدير السرع الزلزالية للوسط بعد معرفة قيم الكثافة للصخور.



شكل رقم (41-3) علاقة السرعة للموجات الزلزالية مع الكثافة

المصدر (Nafe and Qrake, 1963)

مصادر الموجات الزلزالية Seismic Wave Source

إن الطريقة التقليدية الأكثر شيوعا في توليد الموجات الزلزالية، أيا كانت الطريقة (انعكاسية أو إنكسارية) هي بواسطة تفجير شحنة ديناميت ممكن أن تكون على السطح أو في حفرة ذات عمق معين، ويجب أن توضع شحنة التفجير تحت الطبقة السطحية المتأثرة بالتجوية (Weathered Zone) لان الطاقة الزلزالية ذات الترددات العالية تمتص من قبل الطبقة السطحية. كمية الشحنة المستخدمة تعتمد على عمق التركيب الجيولوجي المراد استكشافه.

الطريقة الأخرى المستخدمة في توليد الموجات الزلزالية هي طريقة الأثقال الساقطة (Weight Dropping)، كذلك أمكن استخدام المطرقة من (5–10) كغم (sledge hammer) تستخدم للمسوحات الزلزالية البسيطة، ويستخدم في المسح الزلزالي ألانكساري.الأثقال الساقطة التي يصل وزنها إلى نصف طن والتي ترفع بواسطة معدات خاصة لهذا الغرض تعطي موجات زلزالية ذات طاقة عالية نسبيا،أما في العمل الزلزال البحري، يتم إطلاق قدحه كهربائية أو غازية تحت الماء كمصدر للطاقة. إن بندقية الهواء air gun وهي الأكثر استعمالا كمصدر للطاقة وبندقية الغاز gas gun التي تعمل انفجارا لخليط من غازي البروبان والأوكسجين.

الطريقة الزلزالية الانعكاسية The Reflection Method

تعتبر الطريقة الزلزالية الانعكاسية من أكثر الطرق الجيوفيزيائية استخداما في رسم وتحديد التركيب الجيولوجية التحت السطحية خاصة في عمليات الاستكشافات النفطية، يوضح الشكل رقم (3–42) إحدى ابسط الحالات الجيولوجية حيث يفصل حاجز أفقي أحادي بين تكوينين صخريين لها سرعتان مختلفتان هي V_1, V_2 حيث ان $V_2>V_1$، مسار الموجة المنطلقة من نقطة التفجير S تنعكس عند النقطة R من اعلي السطح الفاصل بين الطبقتين نحو اللاقطة G على السطح، إذا كان h_1 يمثل سمك الطبقة العليا وان زمن وصول الموجة من نقطة التفجير إلى اللاقطة هو t عندئذ يمكن تمثيل ذلك بالعلاقة التالية –:

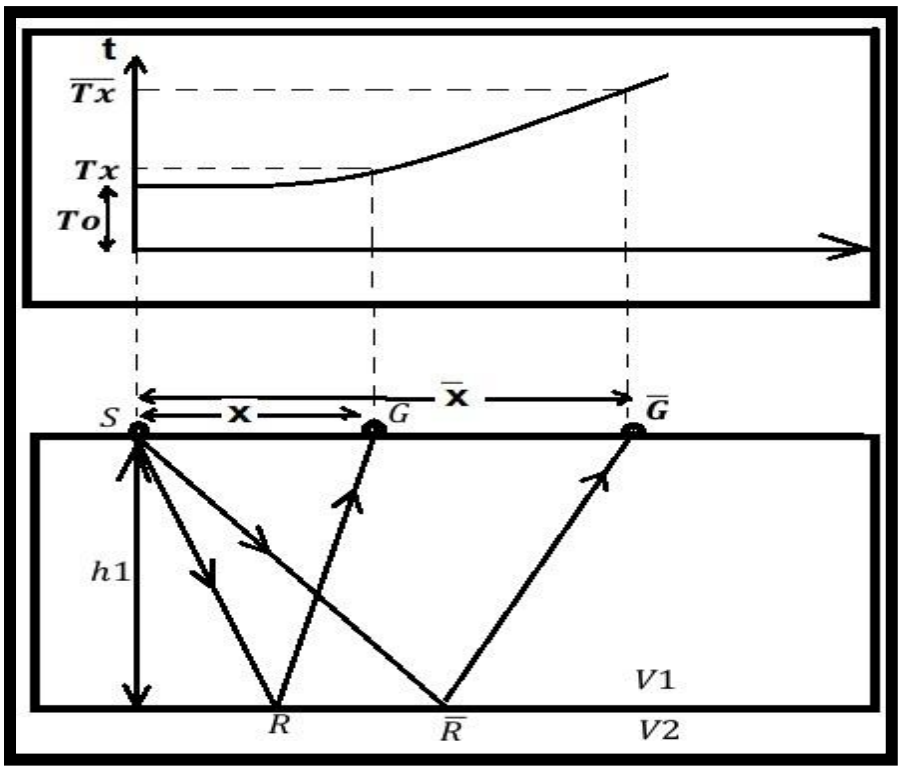
$$t = \frac{2SR}{V_1} = \frac{2h_1}{V_1} = \frac{2}{V_2}\sqrt{(h_1^2 + \frac{X^2}{4})}$$

حيث إن المسافة بين نقطة التفجير واللاقطة صغيرا جدا إذا ما قورنت مع عمق السطح العاكس ويمكن بذلك استبدال المسافة 2SR ويحل محلها $2h_1$.

إن رسم زمن الانعكاس t مقابل مسافة اللاقطة–نقطة التفجير X ينتج لنا منحني عبارة عن قطع زايد Hyperbola محدب باتجاه محور X ومتناظر حول محور الزمن t.

يمكن الحصول على السرعة للطبقة العليا V_1 والعمق h_1 بتسجيل أزمنة الوصول الانعكاسية عند مسافتين هي X و X^- وتطبيق المعادلة التالية :-

$$T^2x = T_0^2 + \frac{X^2}{V_1^2}$$



شكل رقم (42-3) مرتسم يوضح مبدأ الطريقة الزلزالية الانعكاسية

الجدول رقم (2-3) يوضح الكثافة لمعظم الصخور مع مقارنة لمعدل السرعة الطولية V_p والمستعرضة V_s لغرض الاستفادة منها في معرفة معدلات ألسرع للصخور وتسهيل مهمة احتساب العمق والسمك للتكوينات الصخرية.

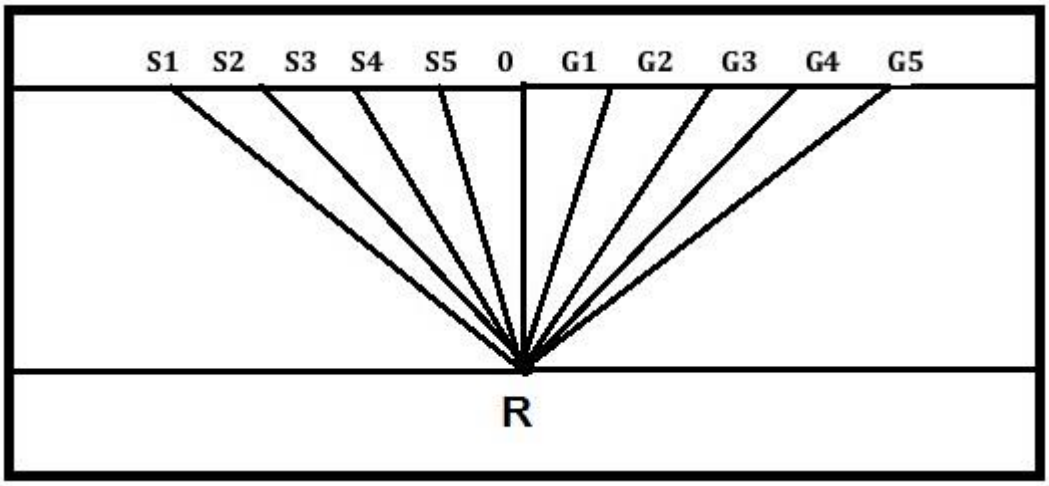
جدول رقم (2-3)

يوضح السرع الزلزالية والكثافة لمعظم أنواع الصخور الرئيسية.

نوع الصخور	الكثافة g/cm^3	V_p m/sec	V_s m/sec
Shale	2.67	2124	1470
Silt stone	2.50	2319	1524
Limes tone	2.71	3633	2319
Quartzite	2.66	4965	3274
Sand stone	2.28	2488	1702
Slate	2.67	4336	2860
Schist	2.70	4680	2921
Gneiss	2.64	3189	2053
Marble	2.87	5587	3136
Granite	2.66	3967	2722
Gabbro	3.05	5043	3203
Basalt	2.74	5124	3070
Tuff	1.45	996	659

المصدر : (Manual of applied field hydrogeology Curtis A. Link)

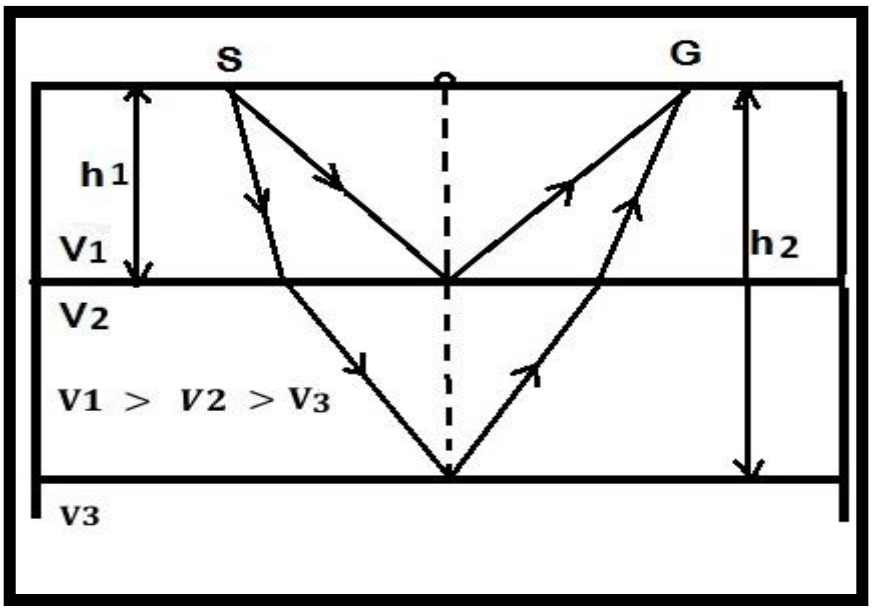
في المسوحات الزلزالية الانعكاسية عادة توضع مجموعة من اللاقطات G_1, G_2, G' ,... على مسافة محددة ومتساوية الأبعاد على جانبي نقطة التفجير للحصول على امتداد للسطح العاكس تحت السطح RR' كما مبين في الشكل (3-42) وبواسطة الانتقال التدريجي لترتيب نشر اللاقطة – نقطة التفجير يمكن رسم خارطة مستمرة للسطح العاكس. من المألوف في حالة التغطية المستمرة للسطح العاكس يمكن تسجيل عدد من نقاط التفجير. بحيث تكون نقطة الانعكاس R مشتركة مع جميع أنواع النشر المستخدم ويطلق على هذه الوضعية بالنقطة العميقة المشتركة (Common depth point) أو اختصارا (CDP) حيث يتم تجميع الاثار الانعكاسية للنقطة المشتركة CDP للغرض الحصول على انعكاس أولي محسن كما موضح في الشكل (3-43).



شكل رقم (43-3) مرتسم للانعكاسات المشتركة إلى CDP

في حالة وجود سطحان عاكسان أو أكثر تفضل بين طبقات أو تكوينات جيولوجية ذات سرعة مختلفة شكل (44-3) فان الأزمنة المقابلة للإنعكاسات القريبة من العمود تعطى بواسطة العلاقة الرياضية للسطح العاكس الأول: $t_1 = \frac{2h_1}{v_1}$

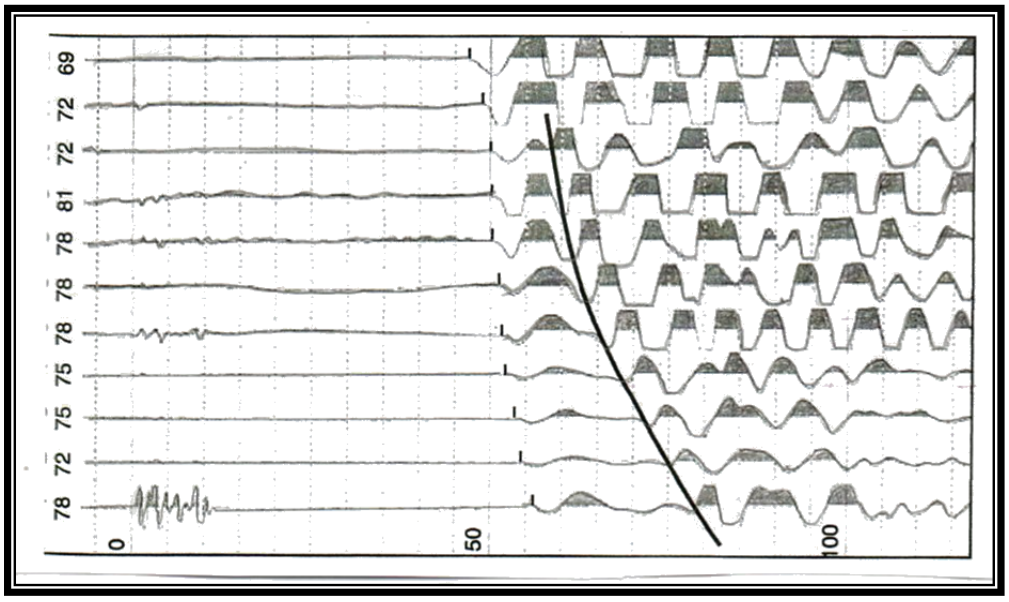
أما الزمن للسطح العاكس الثاني يعطى بالعلاقة التالية:- $t_2 = \frac{2h_1}{v_1} + \frac{2(h_2 - h_1)}{v_2}$



شكل رقم (44-3) مخطط لانعكاس زلزالي ثنائي العاكس

إذا تم معرفة السرعة V_1 و V_2 للطبقات المتعاقبة من خلال إجراء تجارب سابقة يمكن حساب سمك الطبقات $h_1, h_2 ..... h_n$.

إن أزمنة وصول الموجات الانعكاسية يمكن الحصول عليها من خلال قراءة المرتسم الزلزالي الانعكاسي (Seismogram) شكل رقم (45-3) ذي ألاثني عشر أثرا الذي يظهر فيه منحني الانعكاس بالخط السميك



شكل رقم (45-3) مرتسم زلزالي انعكاسي

المنحني الذي يرى فقط في التسجيل المتعدد الأثر، إما التعرجات أو الألتواءات (Wiggles) التي تظهر في بداية الأثر تمثل الموجات المنكسرة.

في حالة السطوح العاكسة التي تمتلك درجات ميل مختلفة، أذا استلمت الموجات المنعكسة عند عدد من اللاقطات على امتداد السطح من سطح مستوي مائل، يمكن تحديد زاوية الميل من الفرق الزمني بين الانعكاسات التي تكون باتجاه أسفل ميل الطبقة واعلى ميل الطبقة أو السطح العاكس. إذ أن الزمن الملتقط عند اللاقطة في اعلى الميل يكون اقل من الزمن الملتقط في لاقطة تقع أسفل الميل ولنفس مسافات نشر اللاقطات.

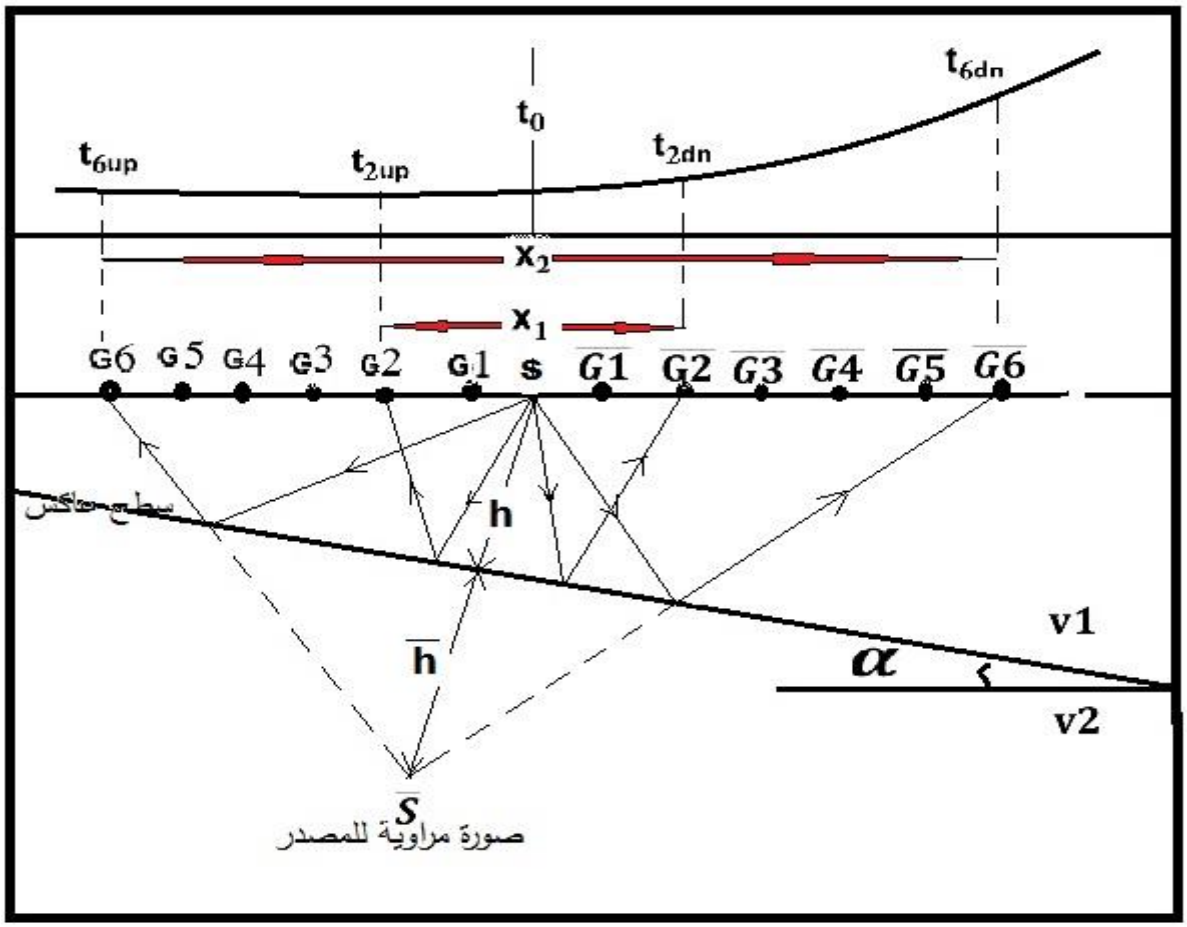
شكل رقم (46-3) يوضح مسارات الموجات المنعكسة والملتقطة على سطح الأرض، ان نقطة التفجير S على سطح الأرض يمكن رسم صورة مرآوية لها في الموقع $\overline{S}$ من المقارنة المرئية Mirror Image وتحويل مسارات الأشعة المنعكسة إلى شكل هندسي لكي يمكن تطبيق قانون زمن السير الانعكاسي إلى نقطة سطحية على مسافة X في اتجاهي اعلى وأسفل الميل والذي يكون:-

$$V_1^2 T_u^2 = 4h^2 + X^2 - 4h\ x\ Sin\ \alpha \quad V_1^2 T_d^2 = 4h^2 + X^2 - 4h\ x \sin\alpha$$

بواسطة التفجير اعلى واسفل الميل معا على مسافتين X_2 X_1, مع تحديد الزمن المستغرق المقابل لهما T_u T_d, من المرتسم الزلزالي Seismogram يمكن عندئذ تعين السرعة V_1 وزاوية الميل α من العلاقتين التاليتين:-

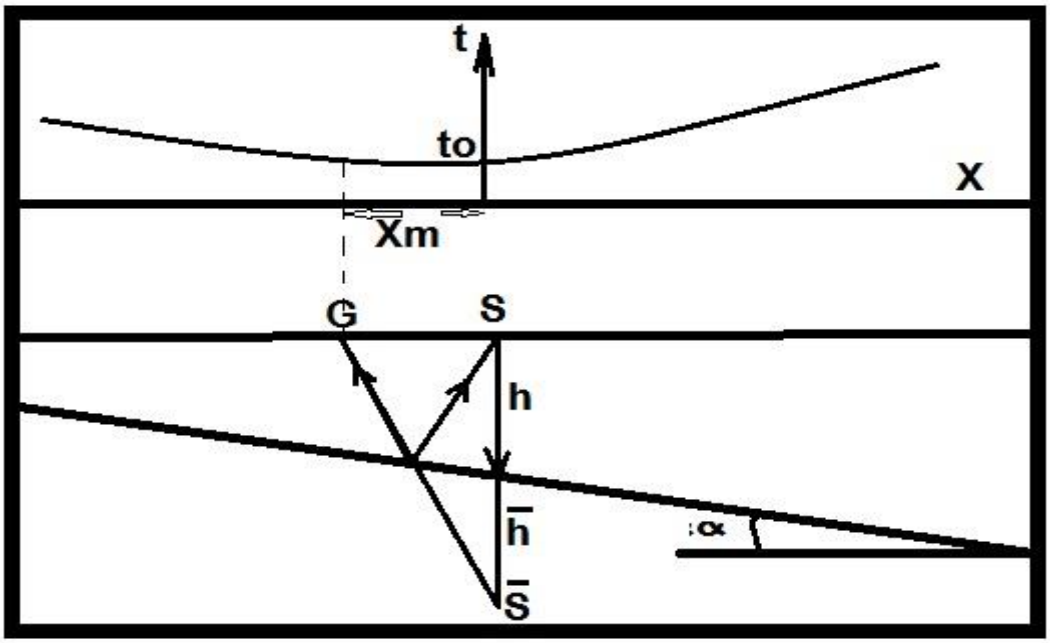
$$V=\frac{2(X_2^2-X_1^2)}{(T_d^2+T_u^2)_{atX2}-(T_d^2+T_u^2)_{atX1}}$$

$$\sin\alpha\frac{V_1(T_d-T_u)_{atX1}}{2X_1}=\frac{V(T_d-T_u)_{atX2}}{2X_2}$$



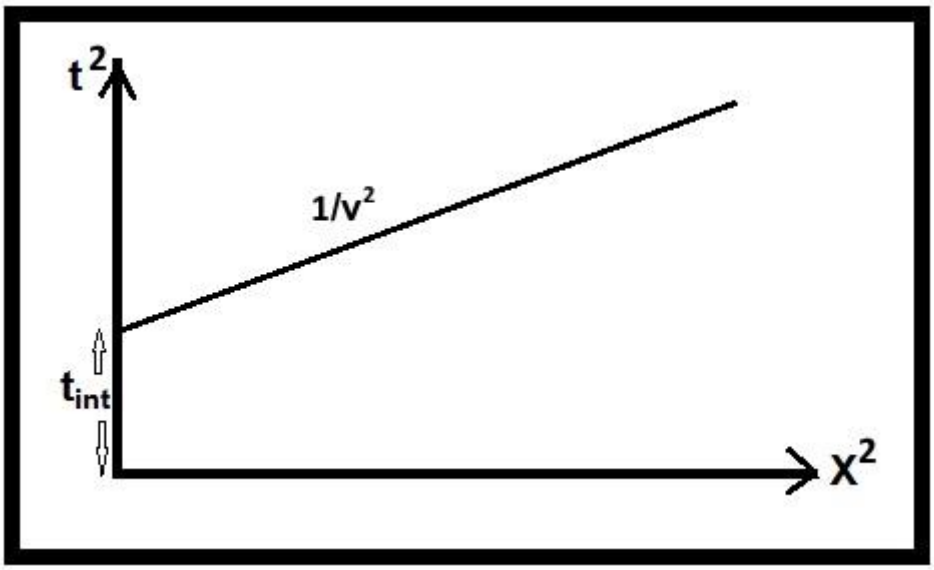
شكل رقم (46-3) مخطط للسطح العاكس المائل مع مسارات الموجات المنعكسة

هناك طريقة أخرى لحساب العمق إلى السطح العاكس وزاوية الميل وهي طريقة اقل الأزمنة Time Intercept .الشكل(47-3) مرتسم يوضح مسار الأشعة المنعكسة عند نقطة واحدة مع المنحني الانعكاسي.



شكل رقم (47–3)مخطط لمسار انعكاسي منفرد

بعد تحويل المنحني الانعكاسي Hyperbola إلى خط مستقيم بعد تربيع القيم على المحور الصادي t^2 والمحور السيني x^2 نحصل على قيمة T– intercept التي تمثل اقل الأزمنة شكل رقم (48–3)



شكل رقم (48–3) منحني $t^2 - x^2$

يمكن حساب العمق إلى السطح العاكس وزاوية الميل كما في العلاقة التالية

$$t^2 = \frac{4h^2 - x_m^2}{v^2} + \frac{(x - x_m)^2}{v^2}$$

t^2 = اقل الأزمنة يحسب من الشكل(48–3)

x_m = المسافة الحرجة تحسب من الشكل (47–3)

$$t_{intercept} = \sqrt{\frac{4h^2 - x_m^2}{v}}$$

الزمن الحرج يحسب من المنحني في الشكل (3-49) = $t_{intercept}$

$$\therefore \; h = \sqrt{\frac{t^2 v^2}{2} + x_m^2} \qquad \sin\alpha = \frac{x_m}{2h}$$

الطريقة الزلزالية الانكسارية The Refraction Method

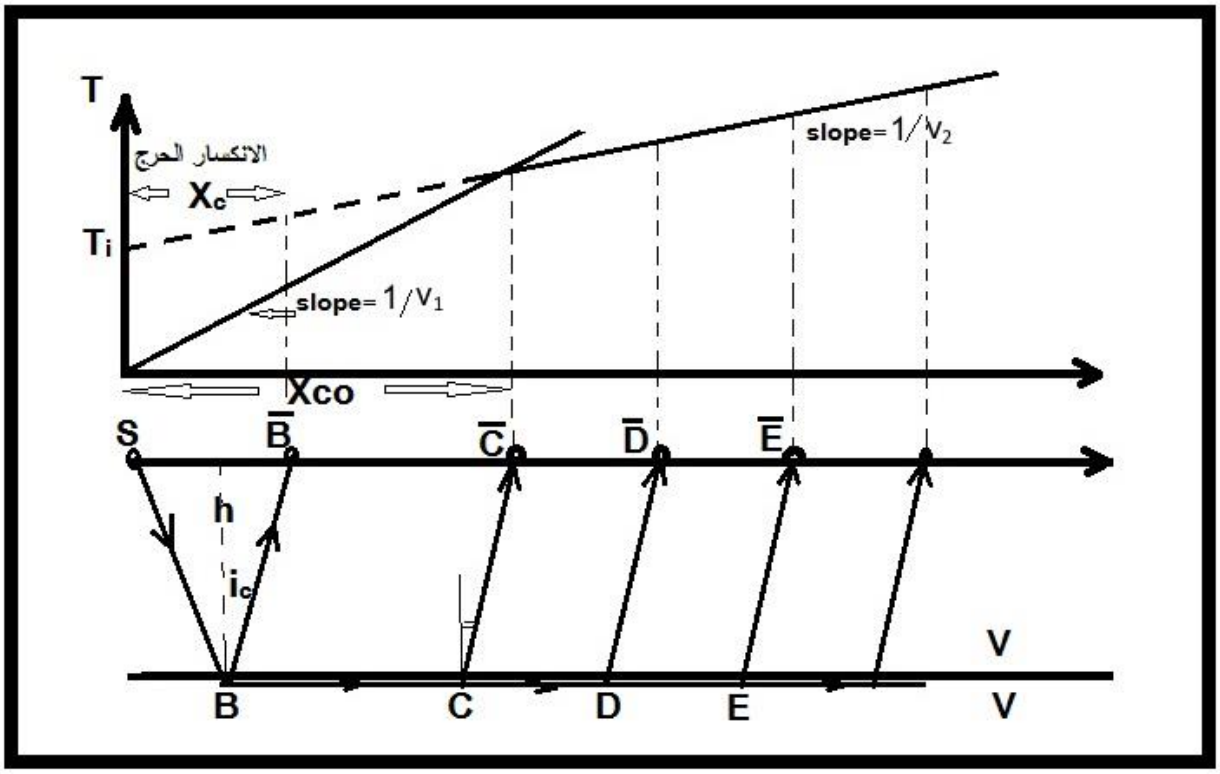
تعتبر هذه الطريقة ذات أهمية كبيرة جدا خاصة للأغراض الاستطلاعية في المناطق التي تكون فيها المناطق المستهدفة في الدراسة غير معروفة جيولوجياً مع عدم توفر أية معلومات جيولوجية سابقة عن التراكيب والتكوينات الجيولوجية تحت السطح، وقد أصبحت في الوقت الحاضر وسيلة فعالة في استكشاف تركيب القشرة الأرضية، كذلك استخدمت بنجاح في المسوحات الهندسية والجيوتقنية لتحديد عمق صخور القاعدة (Bedrock)، مستوى المياه الجوفية ولأغراض هندسية أخرى.

الزمن المستغرق للأمواج الزلزالية المنكسرة يبلغ بضع عشرات من أجزاء الثانية (Milliseconds) ويحسب الزمن من المرتسم الزلزالي باستخدام وتحديد أول زمن وأصل أو أول تعرج (First arrivals) الذي يمثل p–ware.

لنأخذ حالة بسيطة على تطبيق الطريقة الانكسارية، لنفرض ان هناك طبقتين لديها سرعة هي V_1 وV_2 حيث ان $V_2 > V_1$ يفصل بينهما حاجز أفقي على عمق h كما في الشكل (3-48).

عند إجراء التفجير في النقطة S فإن الموجة الساقطة على الحاجز الأفقي قسم من هذه الأمواج سوف تنعكس بصورة حرجة بزاوية i_c والقسم الآخر ينكسر على امتداد العاكس وتنتقل بسرعة V_2 في الطبقة السفلى ثم تنعكس إلى الطبقة العليا نحو السطح بحيث إن زاوية السقوط i_c. يمكن تطبيق قانون سنيل على هذه الحالة (Snell's Law) حيث إن:.

$$\text{Sin ic} = \frac{V_1}{V_2}$$



شكل رقم (49-3) مخطط الطريقة الزلزالية الانكسارية

الموجة الساقطة على السطح الفاصل بين الطبقتين التي تتبع المسار SB سوف تسقط على السطح الفاصل بزاوية حرجة i_c ثم تنكسر على امتداد السطح الفاصل بين الطبقتين وتنتقل بسرعة V_2 في الطبقة السفلى، بعض الأمواج تنعكس إلى السطح بزاوية ظهور أو انعكاس تساوي زاوية السقوط وهي i_c هذا الانكسار يمثل بالمسار BB' يسمى الانكسار الحرج (Critical Refraction) ويظهر بعد مسافة X_c تسمى بالمسافة الحرجة (Critical Distance) بعد هذا الانعكاس تبدأ بقية الأمواج الزلزالية بالانعكاس نحو السطح بزاوية i_c بعد ان تسير مسافة في الطبقة السفلى وهي CC'، DD' و FF' هذه المسافة تسمى مسافة العبور (Cross – over distance) وهي المسافة التي تلحق بها الموجات المباشرة المنعكسة مع الموجات المنكسرة والتي هي في الحقيقة موجات منعكسة بصورة حرجة.

إذا تم وضع عدد من اللاقطات على طول خط مستقيم وعلى مسافات معينة من نقطة التفجير S فان الموجات الزلزالية التي تصل إلى اقرب اللاقطات ستكون هي الموجات المباشرة والسائرة على امتداد سطح الأرض بسرعة V_1، تتميز الموجة الأولى في الوسط عند اللاقطات الأبعد بأنها موجات منكسرة بصورة حرجة وذلك لأنها تنتقل في جزء من مسارها بسرعة V_2 في الطبقة السفلى وبذلك فإنها تصل مع وصول الموجة المباشرة فإذا رسمنا مرتسم أزمة الوصول الأولى مقابل المسافات بين بين كل لاقطة ونقطة تفجير فان أزمنة الوصول القليلة الأولى ستقع على خط مستقيم وستقع بقية النقاط على خط مستقيم آخر كما

موضح في الشكل (3-49) وتمثل القيم $\frac{1}{V_2}$ و $\frac{1}{V_1}$ ميل الخطين. زمن الانكسار سوف يكون:-

$T = T_{SB} + T_{BD} + T_{DD'}$

$$T = \frac{2h_1}{V_1 \cos i_c} + \frac{x - 2h_1 \tan i_c}{V_2}$$

i_c = الزاوية الحرجة = $\sin i_c = \frac{V_1}{V_2}$

$x = D'$ المسافة بين نقطة التفجير واللاقطة

$$\therefore T = \frac{x}{V_2} + \frac{2h_1\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_2 V_1}$$

يتم رسم المنحني الزمن مقابل المسافة حيث نحصل على معادلة خط مستقيم ميله يساوي $\frac{1}{V_2}$ والذي يقطع محور الزمن بزمن قدره T_i والذي يعطي بمعادلة

$$T_i = \frac{2h_1\sqrt{(V_2^2 - V_1^2)}}{V_2 V_1}$$

يحدد العمق إلى السطح العاكس الذي يمثل سطح الطبقة السفلى أو سمك الطبقة العليا من خلال استخدام زمن القطع Time Intercept (T_i) باستخدام المعادلة أعلاه، وكذلك يمكن تعيينه من مسافة العبور x_{co} حيث يتقاطع المستقيمان اللذان ميلهما $\frac{1}{V_1}$ هو $\frac{1}{V_2}$ والعمود النازل على محور المسافة من نقطة التقاطع يحدد مسافة العبور وتعطى العلاقة بين x_{co} و h بالصيغة التالية:-

$$x_{co} = 2\ h_1 \frac{\sqrt{(V_2 + V_1)}}{\sqrt{(V_2 - V_1)}}$$

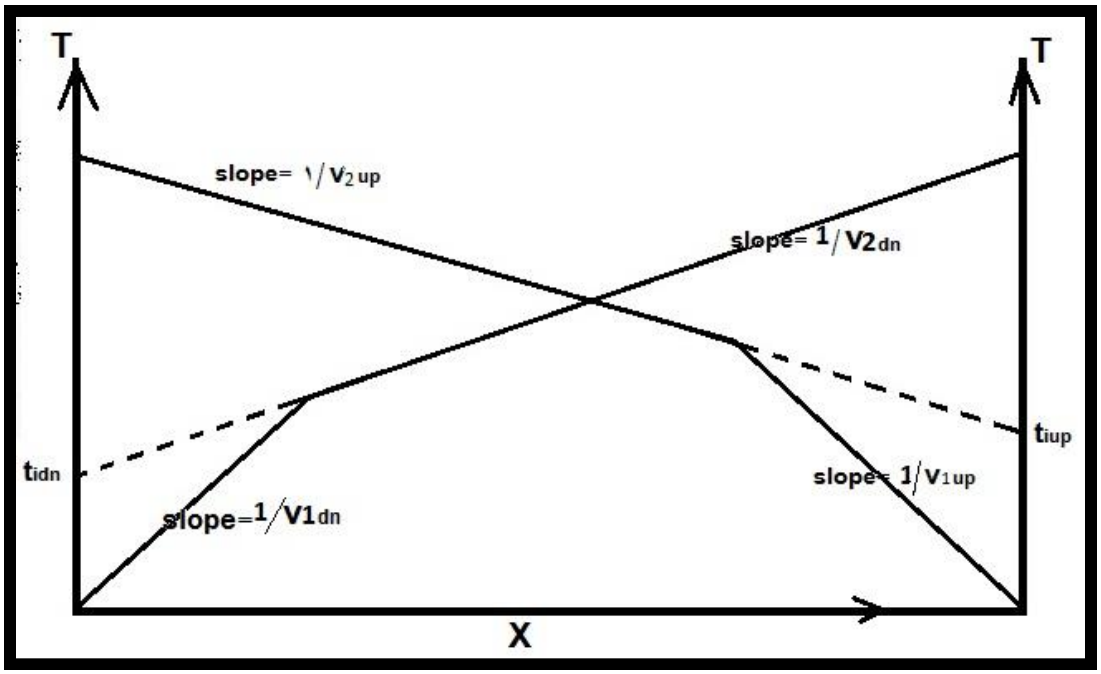
حيث نستنتج دائما إن المسافة x_{co} اكبر من $2\ h_1$، وما لم يتجاوز مسافة النشر خلف x_{co} فلا تظهر هناك موجات منكسرة كموجات وصول أولية تقابل قطعة المستقيم الثانية من منحني المسافة – زمن.

في حالة وجود ثلاث طبقات سيكون هناك ثلاث قطع على منحني المسافة – زمن والذي يمكن منه تحديد V_1 و V_2 و V_3 ويمكن إيجاد الأعماق h_1 و h_2 إلى الحواجز وذلك باستخدام أزمنة القطع باستخدام الصيغة الرياضية التالية:-

$$T_{i2} = 2\ h_2 \frac{\sqrt{(V_3^2 - V_2^2)}}{V_3 V_2}$$

في حالة السطح الكاسر للطبقات السفلية يمتلك ميل بدرجة معينة يمكن تحديد درجة ميل السطح الكاسر من إجراء تفجير عند نهايتي خط النشر باستخدام الطريقة الانكسارية. يبين

الشكل (50-3) حاجز يفصل بين طبقتين مائلا بزاوية قدرها Φ عن الأفق، حيث يعطي التفجير على طول خط نشر اللاقطات باتجاه أعلى وأسفل الميل قطع زمن مستقل لكل اتجاه.



شكل رقم (50-3) مخطط للانكسار الحرج على امتدادها حاجز مائل بدرجة Φ

يعد تحديد زاوية الانكسار الحرجة من المعادلة :-

$$i_c = \frac{1}{2}(\sin^{-1}\frac{V_1}{Vd} + \sin^{-1}\frac{V_1}{V_u})$$

يمكن الحصول على V_1 مباشرة من المنحني حيث ان ميل المنحني هو معكوس السرعة V_1 اما السرعة V_2 يتم تحديدها من المعادلة :-

$$\sin i_c = \frac{V_1}{V_2}$$

بعد تحديد زاوية الانكسار الحرجة i_c تحدد الأعماق العمودية إلى السطح الكاسر باتجاه اعلي وأسفل الميل h_u و h_d بعد قراءة أزمنة القطع المتعاقبة من منحني المسافة – زمن كما في الشكل (51 – 3) وتعطي بالعلاقة:-

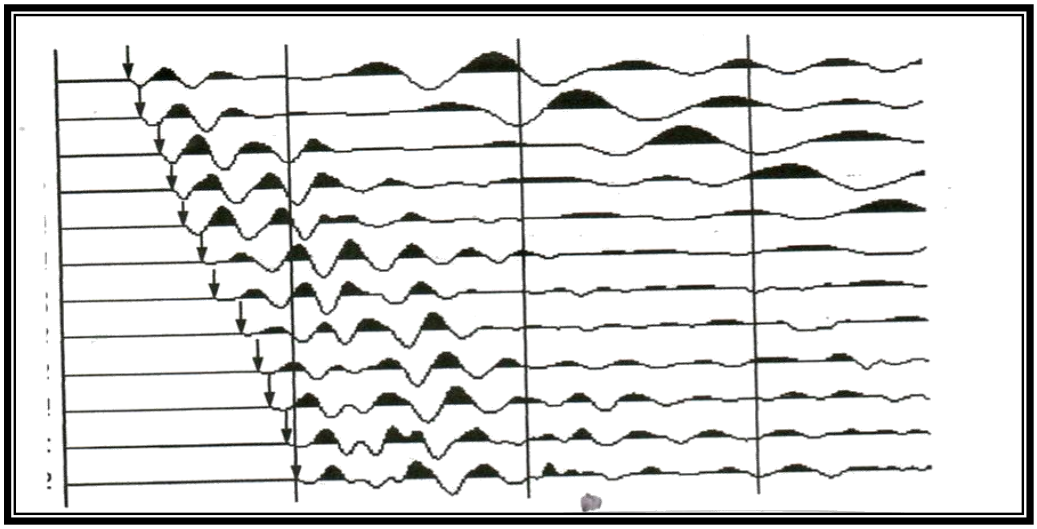
$$T_{iup} = \frac{2h_u \cos i_c}{V_1},\ h_u = \frac{V_1 T_{iup}}{2\cos i_c}$$

$$T_{idown} = \frac{2h_d \cos i_c}{V_1},\ h_{down} = \frac{V_1 T_{idown}}{2\cos i_c}$$

بعد معرفة العمق إلى السطح الكاسر في نقطتين على مسافة x يمكن منها تحديد زاوية الميل ϕ للسطح الكاسر مع الأفق. بالمعادلة التالية:-

$$\phi = \frac{1}{2}\{\sin^{-1}(\frac{V_1}{V_d}) - \sin^{-1}(\frac{V_1}{V_u})\}$$

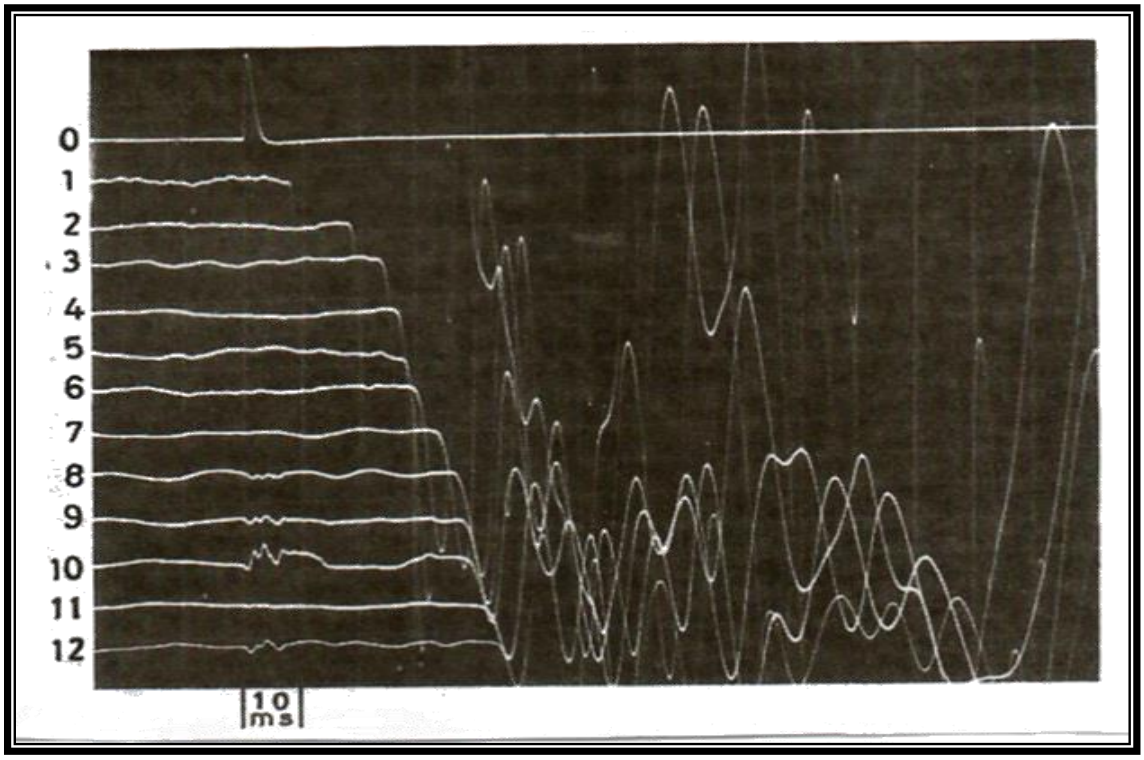
عادة يستخدم في العمل الحقلي المرتسم الزلزالي المتعدد القنوات Seismograph يمثل كل قناة لاقطة تسجيل لأزمنة وصول الموجات الزلزالية، شكل (51-3) والذي يعتمد على نشر لاقطات تسجيل على طول خط مستقيم من 12 إلى 24 لاقطة. يثبت عدد اللاقطات وموقع أول لاقطة والمسافات بين اللاقطات وأبعادها عن نقطة التفجير إما زمن الوصول يتم حساب من المرتسم الزلزالي بالنقاط أو تعيين أول تعرج wiggle في المرتسم الذي يمثل زمن وصول الموجة الانكسارية إلى سطح الأرض مؤشر عليه بسهم في الشكل (51-3) يعتمد تحديد نقطة التعرج هذه على دقة ومهارة الجيولوجي المشرف على البرنامج الزلزالي.



شكل رقم (51-3) مرتسم زلزالي انكساري

مثال تطبيقي رقم (2-3)

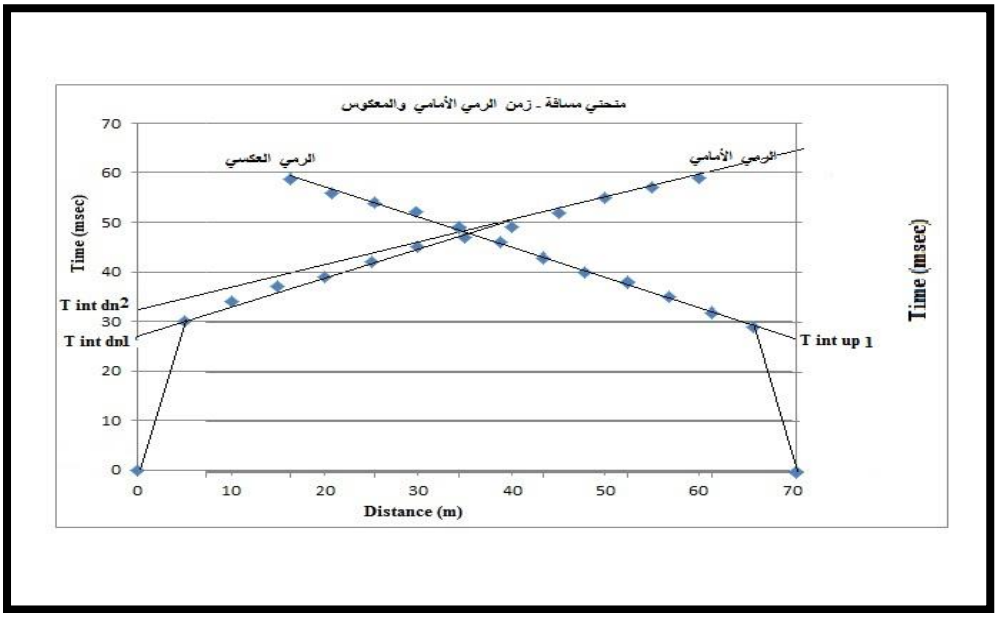
تم إجراء مسح زلزالي انكساري من جهتين متعاكستين وسجلت النتائج على مرتسم زلزالي كما في الشكل التالي، احسب العمق في السطح الفاصل مع درجة الميل.



مرتسم زلزالي انكساري (المصدر: parasnis, 1984, p294)

الحل:

1. يتم التقاط أزمنه وصول الموجات الزلزالية من المرتسم الزلزالي،ثم يرسم منحني مسافة-زمن لجهتين متعاكستين، وتحسب السرع V_1 و V_2 للطبقة العليا والسفلى من ميل المنحني .كما في الشكل أدناه:-



2. نطبق المعادلة التالية لمعرفة ميل السطح الكاسر وهو طبقة صخور القاعدة

$$\phi = \frac{1}{2}\{\sin^{-1}(\frac{V_1}{V_d}) - \sin^{-1}(\frac{V_1}{V_u})\}$$

$$= \frac{1}{2}\left\{\sin^{-1}\frac{1100}{3100} - \sin^{-1}\frac{1100}{8500}\right\} = 6.7^{O}$$

3. نستخرج الزاوية الحرجة i_c من المعادلة:-

$$i_c = \frac{1}{2}\left\{\sin^{-1}\frac{V_1}{V_d} + \sin^{-1}\frac{V_1}{V_u}\right\}$$

$$= \frac{1}{2}\left\{\sin^{-1}\frac{1100}{3100} + \sin^{-1}\frac{1100}{8500}\right\} = 14.1^{O}$$

4. نستخرج السرعة الحقيقية للطبقة الثانية وهي صخور القاعدة من المعادلة

$$\sin i_c = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\sin(14.1^{O}) = \frac{1100}{V_2},\ \therefore V_2 = 1100/\sin(14.1^{O})$$

$$V_2 = 4512\, m/sec$$

5. نستخرج العمق العمودي Vertical depth الواقع تحت نقطة التفجير اليسرى من المعادلة

$$h = \frac{V_1 T_i}{2\cos i_c} = \frac{1100\ \text{X}\ 14.5\,\text{X}10^{-3}}{2\cos(14.1^{O})} = \frac{15.95}{1.940} = 8.3\ \text{m}$$

نستخرج العمق العمودي الواقع تحت نقطة التفجير اليمنى بنفس الطريقة نستخرج h = 18.0 m.

2- الطريقة الجذبية Gravity Method

تعتمد الطريقة الجذبية بصورة رئيسية على تحسس وقياس المتغايرات النسبية في المجال ألجذبي للأرض الناتج من وجود اختلافات وتغايرات في الكثافة بين الصخور أو التكوينات الصخرية تحت سطح الأرض.

أساس نظرية الطريقة الجذبية هو قانون نيوتن ألجذبي الأول والذي ينص على إ قوة الجذب F التي تنشأ بين أي كتلتين m_1و m_2 الذي يبعدان عن بعضهما بمسافة r هي :-

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

والسبب في نشوء هذه القوة هي الكتلة فقط، التي تكون دائما باتجاه مركز الكتلتين، حيث أن G هو ثابت التعجيل الأرضي والذي يساوي (6.67×10^{-11} م^3/كغم.ثا^{2}في وحدات SI أما قيمة G في نظام سم.غم.ثا فهي (6.67×10^{-8}) سم^3/غم .ثا^2 والتي تساوي عدديا القوة المسلطة بين كتلتين كل منهما غرام واحد والبعد بين مركزيهما مسافة سنتمتر واحد، يعبر عن القوة في وحدات SI بالنيوتن (Systeme International)، حيث إن كل نيوتن واحد يساوي 10^5 داين .

إن القوة المسلطة على جسم كتلة m واقع على سطح الأرض هي بسبب قوة جذب الأرض له وإذا اعتبرنا إن كتلة الأرض هي M ونصف قطرها هو R^2، وفي حالة إهمال تأثير دورانية الأرض وعدم انتظامية شكل الأرض وتجانس كثافتها فان القوة المسلطة على الجسم ستكون:-

$$F = \frac{G M m}{R^2}$$

عند تطبيق قانون نيوتن الثاني للتعجيل الأرضي أو الحركة. والذي ينص على إن:-

$$F = m \cdot g$$

حيث إن g هو التعجيل الأرضي الذي يتسبب من خلال الجذب الأرضي على جسم اذا سمح له ان يسقط بصورة حرة أو طليقة. ويسمى كذلك بالتعجيل ألجذبي Gravitational Acceleration أو ما يسمى بالجاذبية Gravity حيث يعبر عنها بالقانون:-

$$g = \frac{G M}{R}$$

حيث إن التعجيل ألجذبي يمثل القوة المسلطة من قبل الأرض على وحدة الكتلة.

وعندما نعوض ذلك في قانون نيوتن الأول فان F تساوي:-

$$F = m \cdot g$$

ان وحدة التعجيل الأرضي أو الجاذبية g في نظام سم.غم.ثا (cgs) هي سم/ثا^2 وتعرف هذه الوحدة في الجيوفيزياء بالكَال تكريما للعام گاليلو، إن متوسط قيمة g حوالي 980 كَال أو تساوي 9.8 م/ثا^2 في وحدات SI على سطح الأرض. الاختلاف في وحدات g يصل إلى حوالي 5 كَال بين خط الاستواء وأي من القطبين، بسبب عدم انتظام كروية الأرض حيث إنها مفلطحة عند القطبين

Ellipsoid: تبلغ قراءة الجاذبية عند خط الاستواء 978 كَال ونصف قطر الأرض يساوي 6378.16 كم وتبلغ القراءة الجاذبية عند القطبين 983 كَال ونصف قطر الأرض يساوي 6356.78 كم، اختلاف المسافة بين سطح الأرض ومركزها يؤدي إلى ظهور هذه الاختلافات في القراءات الجاذبية على سطح الأرض، وعليه فان الجسم الذي يسقط سقوط حر يمتلك سرعة اكبر عند القطبين عما هو في خط الاستواء.

يمكن تخمين كتلة الأرض من قيمة الجاذبية عند السطح، بعد تصحيح الإضافات الصغيرة المسببة بسبب دوران الأرض، وقد اعتبرت الجهود خلال القرن الثامن عشر لقياس جاذبية الأرض هي تجارب لتعيين كتلة الأرض أو معدل كثافة الأرض حتى استطاع العالم Jeffreys عام 1970 تتعين كتلة الأرض M ومعدل كثافة الأرض P وكانت

$M = 5.977 \times 10^{24}$ kg.

$P = 5517\ kg/m^3 = 5.517\ gm/cm^3$

ووجد ان كثافة الجزء العلوي من صخور الجبة هو $3.3gm/cm^3$ وكلما دخلنا إلى العمق فان الكثافة سوف تزداد وقد تصل إلى $12\ gm/cm^3$

إن الوحدة العملية الشائعة في القياس للجاذبية هي الملي كَال Milligal. حيث ان:-

1 gal = 1000 milligal

وفي بعض الأحيان في القياسات الدقيقة جدا نستخدم وحدة قياس أخرى تسمى بالوحدة الجذبية (Gravity Unit, g.u.)

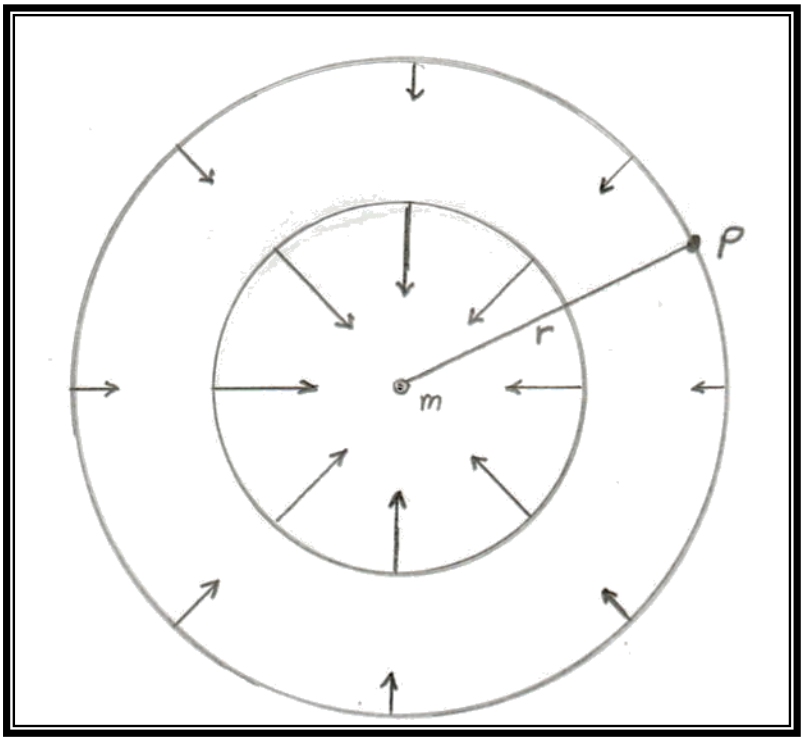
حيث إن:-

1 milligal = 10 g.u.

في وحدات .S.I. علما بان معظم التراكيب النفطية اكتشفت بوحدات .g.u وقيم الشذوذ ألجذبي ممكن أن تصل إلى mgal (0.1-0.01) أو ما يعادل (.g.u 10-.g.u 1).

الجهد ألجذبي والتجاذب Gravitational potential and Attraction

إن المجال ألجذبي حول نقطة نقطية point mass واتجاهه هذا يكون دائما باتجاه مركز الكتلة. شدة المجال ألجذبي عادة تؤخذ بأنها قوة التجاذب المسلطة على وحدة الكتلة ومتجهات المجال تكون متجهة باتجاه الكتلة الجاذبة لها . كما في الشكل (52-3).



شكل رقم (52-3) سطوح الجهد المتساوي حول كتلة نقطية m.

حيث يمثل رأس السهم باتجاه مركز الكتلة وتمثل الكتلة بنقطة.

يعرف الجهد ألجذبي بأنه الشغل المنجز أو الجهد المبذول للجاذبية لتحريك وحدة كتلة من مسافة لا محدودة (∞) إلى النقطة p. لو كان عندنا نقطة p على سطح جهد جذبي والمركز هو m نفصل بينهما المسافة r فان الجهد ألجذبي (V_p) لهذه النقطة سوف يعبر عنه بالعلاقة الرياضية التالية:-

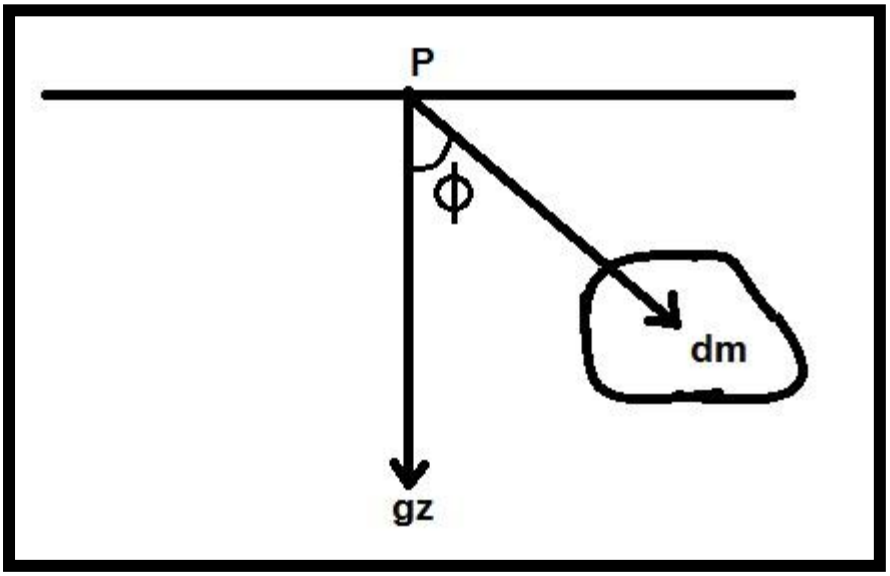
$$V_p = \int_{\infty}^{r} F dr = G\int_{\infty}^{r} \frac{m}{r^2} dr = -\frac{G m}{r}$$

والإشارة السالبة تدل على إن الجهد ألجذبي يقل كلما زادت المسافة r

$$V_r = \frac{G m}{r} \quad , \quad g_r = \frac{G m}{r^2}$$

يمكن تمثيل المجال ألجذبي بسطوح يكون الجهد فوقها ثابت وتسمى سطوح الجهد المتساوي (Surfaces Equipotential) حيث تكون متجهات القوة عمودية على هذه السطوح. هذا الجهد عبارة عن كمية لها أهمية كبيرة في دراسة شكل منسوب البحر بالنسبة للأرض.

نلاحظ من الشكل (53-3) عندما تكون الجاذبية ليست بالاتجاه العمودي أي تكون بين النقطة p والكتلة (dm) و gz يمثل قيمة الجاذبية العمودية باتجاه مركز الأرض.



شكل رقم (53-3) مركبة التجاذب ألجذبي العمودية gz في النقطة p بسبب الكتلة dm

وعليه فان قيمة الجاذبية الشاقولية باتجاه مركز الأرض تحسب من العلاقة التالية:-

$$gz = G \frac{dm}{r^2}\cos\phi = G \frac{\rho.v.\cos\phi}{r^2}$$

ρ = الكثافة , v = حجم الكتلة dm = الكتلة

المعادلة الجذبية العالمية Theoratical International Gravity Formula

تم وضع صيغة عالمية لتمثيل الجاذبية الأرضية نظريا على سطح الأرض من قبل الجمعية العالمية للجيوديسيا عام 1967 يمكن من خلالها التعرف على قيم الجاذبية الأرضية في أي مكان على سطح الأرض. إن تحليل معطيات الجاذبية الأرضية فوق سطح الأرض لعب دورا مهما في وصف شكل الأرض بدلالة سطح مرجعي مثالي وتفترض المعادلة ان ادق سطح مرجعي هو متكور Spheroid بدلا من ان يكون اهليليجيا Ellipsoid بسبب دوران الأرض، ولكن يبدو إن الشكل الاهليليجي هو الأكثر ملائمة لأنه يشتمل على ثوابت اقل. تفترض هذه المعادلة إن الأرض متجانسة الصخور مركزيا وإنها تحتوي على أغلفة شبه كروية تزداد كثافتها نحو المركز، وان الأرض مفلطحة وان الاختلافات في قيم الجاذبية ناتجة من اختلافات في خطوط العرض ϕ بسبب شكل الأرض شبه الكروي حيث يتم حساب قيمة الجاذبية عند مستوى سطح البحر. المعادلة الجذبية العالمية تعطى بالصيغة التالية:-

$$g_\phi = 9.780318\ (1 + 0.0053024\ \sin^2\phi - 0.0000059\ \sin^2 2\phi)$$

وحدتها هي m/sec^2

في العمل الحقلي الجيولوجي يجب على الجيوفيزيائي ان يربط سطح الجهد المتساوي إلى أي سطح مرجعي على الأرض، هذا السطح هو معدل منسوب البحر فوق المحيطات، أما

فوق اليابسة فيمكن ربط سطح الجهد المتساوي بالسطوح المائية لمنسوب القنوات البحرية عندما تكون ممتدة داخل اليابسة، هذا السطح يسمى بالسطح الجيوديسي (Geoid Surface) حيث يفترض إن يكون سطح الأرض أفقي في كل مكان واتجاه الجاذبية يكون عموديا على هذا السطح.

في الوضعية الحقيقية للأرض لن ينطبق سطح الجيود (Geoid) مع سطح التكور المرجعي Spheroid بسبب وجود تشوه محلي لسطح الأرض سببه عدم انتظام الكثافات داخل الأرض وعدم انتظام التضاريس الأرضية السطحية. حيث تؤدي إلى ظهور شذوذ جذبي محلي وبالتالي فإنها تعطي معلومات قيمة عن التراكيب والتكوينات الجيولوجية تحت سطح الأرض،

بما إن سطح الأرض غير مستوي والصخور والتكوينات الصخرية تحت سطح الأرض غير متجانسة، فعليه إن قيم الجاذبية في أي مكان على سطح الأرض التي يتم تسجيلها حقليا تختلف عن قيم الجاذبية المسجلة من المعادلة الجذبية العالمية، هذه الاختلافات تعود إلى أسباب عديدة هي :-

1- طبوغرافية سطح الأرض والتضاريس غير المستوية والتباين لنقاط القياس الحقلية الجذبية فوق أو تحت مستوى سطح البحر.
2- وجود كتل أو كثافات صخرية مختلفة تقع بين المستوى المرجعي وبين نقاط القياس.
3- تغير قيم الجاذبية بسبب تغير خطوط العرض لذلك ان الاختلافات في القيم الجذبية المستحصلة حقليا التي تنتج من وجود عدم تجانس في الكثافات الصخرية تحت سطح الأرض يسمى (الشذوذ ألجذبي) Gravity Anomaly. إن استخدام الطريقة الجذبية في عمليات الاستكشافات المعدني ناجم عن حقيقة كون الترسبات المعدنية تختلف في الكثافة عن الصخور المحيطة بها وهذا يعطي حيود أو انحراف في القراءات الجذبية الاعتيادية للمجال ألجذبي الأرضي بالإضافة إلى استخدامها في الكشف عن التراكيب الجيولوجية تحت سطحية مثل الكسور والفوالق والتكهفات التي تعطي تغايرات في القراءات الجذبية.

القياسات الجذبية Gravity Measurements

هناك نوعين من القياسات للتعرف على قيمة الجاذبية الأرضية في أي موقع على سطح الأرض وهي:-

1- القياسات المطلقة Absolute Measurements

إن التعرف على قيمة الجاذبية الأرضية g بصورة مطلقة هي تجربة تتطلب عناية فائقة جدا ويتم ذلك باستخدام البندول حيث يمكن جعل أي جسم حقيقي إن يتأرجح عل محور ليشكل بندول ويمكن تحديد g من المعادلة

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

T = فترة الذبذبة

L = طول الخيط المستعمل

هناك طريقة مباشرة أخرى لقياس قيمة g المطلقة وهي قياس زمن السقوط الحر لجسم معين ضمن مسافة معروفة، يتم إجراء التجربة في غرفة مفرغة من الهواء ويتم معرفة قيمة g من المعادلة:-

$$h = \frac{1}{2} g t^2$$

t = زمن الانتقال بين النقطتين

h = المسافة بين نقطتين

2- القياسات النسبية Relative measurements

هي الطريقة التي يمكن بها تحديد قيمة الجاذبية النسبية في موقعين محددين بدقة اكبر من قياس قيمة الجاذبية نفسها وثم معرفة الفروقات الجذبية بين هذه المواقع. يمكن لنفس البندول إذا تأرجح تحت ظروف مثالية في موقعين فان الجاذبية g_1 و g_2 اللتان تقابلان فترتي التذبذب T_1 و T_2 يمكن ربطهما بالعلاقة:-

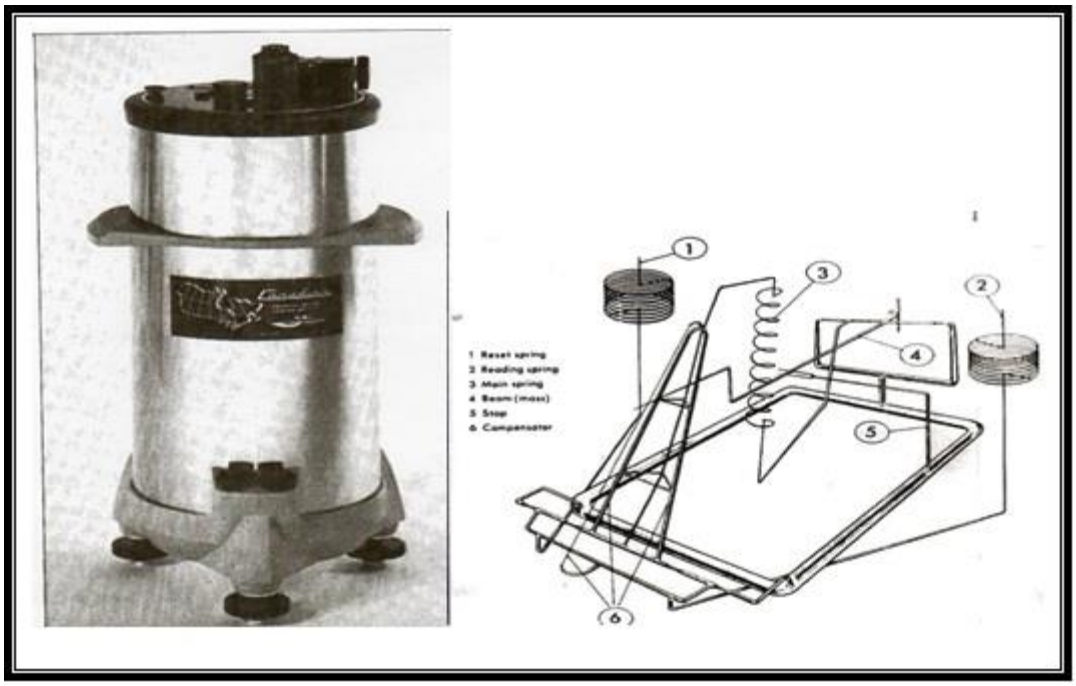
$$\frac{g_1}{g_2} = \frac{T_2^2}{T_1^2}$$

ويمكن حساب فرق الجاذبية من المعادلة:-

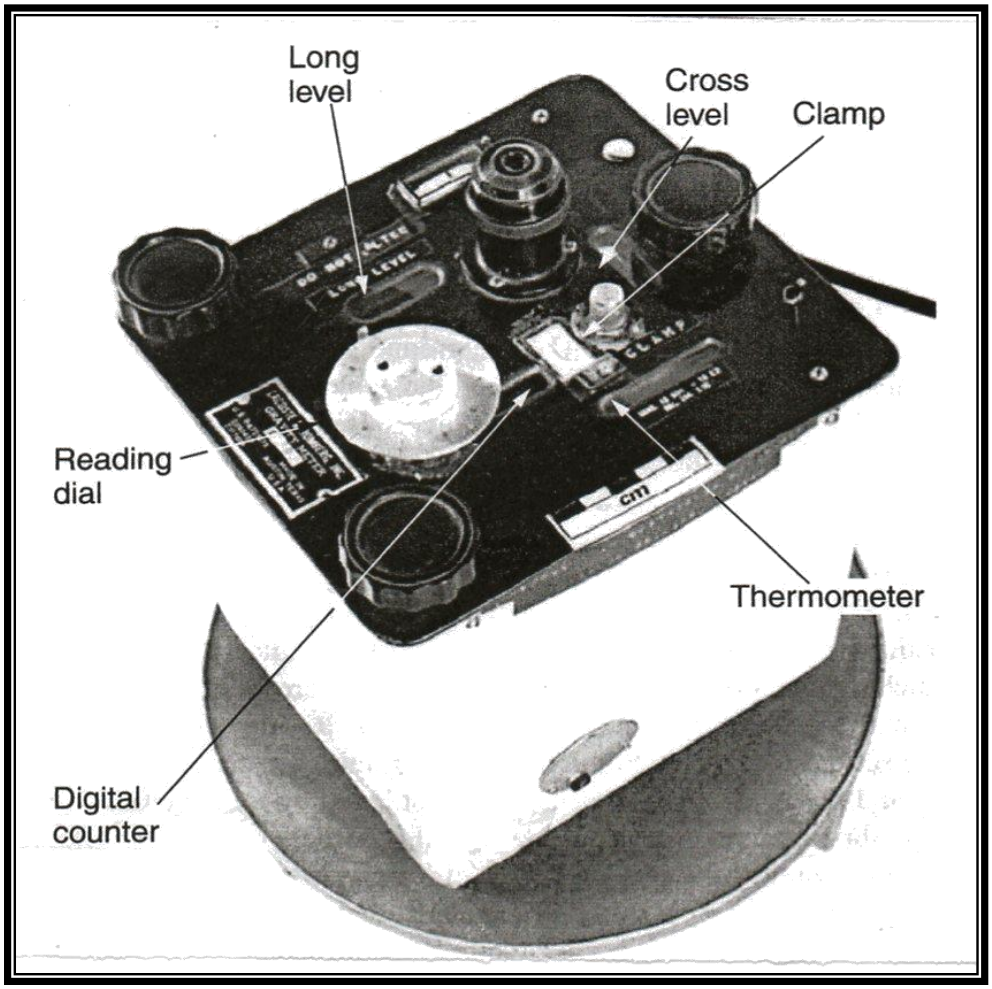
$$g_2 - g_1 = \Delta g = \frac{-2 g_1 (T_2 - T_1)}{T_1}$$

لقد اعتبر البندول في الوقت الحاضر وسيلة ثانوية لإعطاء القياسات الجذبية بعد تطوير الأجهزة الحديثة التي هي أسرع وأدق لعمل القياسات لنسبية، وحساسة جدا وسهل النقل، هذه الأجهزة يطلق عليها اسم المجذاب Gravimeter.

ألمجذاب عبارة عن جهاز وزن حساس، العنصر الذي يستجيب فيه لتغيرات الجاذبية عبارة عن نابض لولبي يحمل في نهايتيه كتلة ثابتة. إن أي تغيير في وزن الكتلة يؤدي إلى تغيير في الإزاحة أي سحب أو رفع النابض إلى الأعلى وهذا يعني ان السبب هو وجود تغيير في الجاذبية كما في الشكل (3-54 b) الذي يمثل المكونات الداخلية لجهاز المجذاب نوع CG2 والشكل (3-54 a) يمثل الجهاز من الخارج. هذه الأجهزة ممكن أن تقيس بدقة عالية تصل إلى (0.01) ملي كَال وذات حساسية عالية وتقيس القراءات النسبية بين المحطة المرجعية ونقاط القياس الاخرى، هناك جهاز آخر من الأجهزة الحديثة هو جهاز (لاكوست- رومبرك) كما في الشكل (3-55).



شكل رقم (3-54) المجذاب CG2 المظهر الخارجي ومكوناته الداخلية



شكل رقم (55-3) جهاز لاكوست- رومبرك لقياس الجاذبية

استخدام اجهزة المجذاب How to Use the Gravimeters

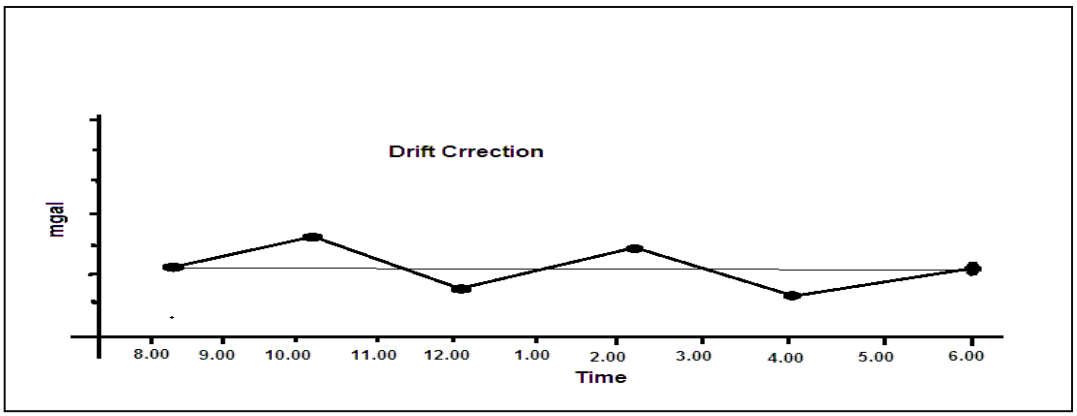
هناك مجموعة من المشاكل تواجه استخدام أجهزة المجذاب وهي ثلاثة أنواع وكما يلي:-

1- انحراف المجذاب Drift of Gravimeter

أثناء العمل الحقلي وحمل المجذاب والتجوال به لعدة ساعات أو حتى تركه في مكان ما، ثم البدء بتسجيل قراءته بعد فترة معينة في ذلك المكان فسيلحظ وجود تغيير في القراءة. وإذا اخذت قراءات إضافية لفترة ساعات في نفس النقطة ورسمت قيم الجاذبية المسجلة مقابل الزمن فسترى ان نقاط الجاذبية تميل إلى الوقوع على منحني مهذب (Smooth Curve) يعرف هذا التغيير المستمر للقراءات الجذبية مع الزمن عند نفس النقطة بالانحراف Drift. وسببه كون نوابض المجذاب ليست مرنة تماما ولكنها عرضه للتغيير التدريجي (Creep)، بسبب الإجهاد لفترة طويلة.

إن الطريقة المثالية لتصحيح الانحراف هي اخذ القراءات عند المحطة المرجعية (Base station) بفترة كل ساعة على مدار ساعات العمل اليومي حيث يبدأ العمل بقراءة قيمة الجاذبية في

المحطة المرجعية وينتهي كذلك في المحطة المرجعية ثم يتم رسم منحني الانحراف، بعد ذلك يتم تصحيح القراءات وذلك بطرح القراءات العالية فوق مستوى التصحيح واضافة القراءات التي تقع تحت مستوى التصحيح، والهدف من ذلك هو اختزال القراءات وكأنما قيست في نفس الوقت كما في الشكل رقم (56-3).



شكل (56-3) منحني انحراف المجذاب

2- معايرة الجهاز Instrument Calibration

إن جميع القراءات المسجلة في المجذاب هي تقسيمات تدريجية اعتباطية لذلك يجب تحويل هذه القراءات إلى قراءات جذبية يعبر عنها بالملي كَال أو بالوحدات الجذبية وذلك بضرب قراءات الجهاز بثابت المعايرة الخاص بالجهاز (Calibration Constant). لكل جهاز يتم تصنيعه له ثابت معايرة به يثبت من قبل المنشأ. ثابت المعايرة هذا ممكن أن يتغير بسبب التغيير Creep التدريجي في النوابض لهذا فمن الواجب فحصه ومعايرته بين فترة وأخرى. الطريقة السهلة الشائعة في معايير الجهاز هي اخذ قراءة الجهاز عند قمة وقاعدة بناية عالية، وهي مبنية على أساس التغاير ألجذبي الشاقولي ومقداره ثابت ويساوي 0.3086 h ملي كال حيث إن h هو فرق الارتفاع بالمتر.

3- تأثير المد والجزر Tidal Effect

ظهور انحرافات في قراءات المجذاب مع الزمن بسبب تغيرات المد والجزر Tidal change وهي التغيرات الدورية في قيم الجاذبية على سطح الأرض بسبب التجاذب بين الأرض والقمر. وقد ثبت علميا بأنها دورية ثابتة على مدار السنة ويمكن إزالة هذه التأثيرات مع إزالة انحرافات الجهاز باستخدام منحني الانحراف.

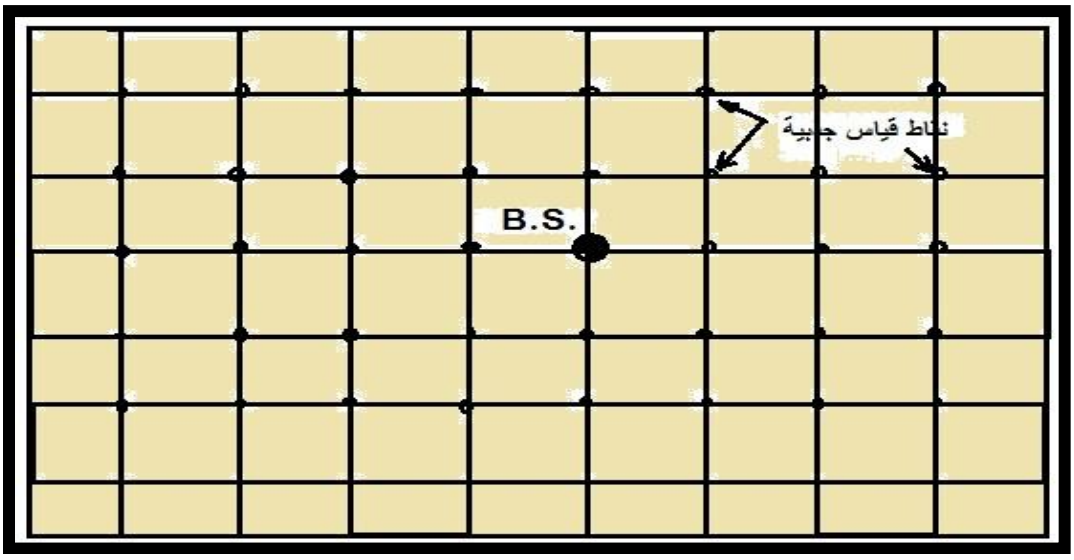
المسح الجذبي الحقلي Field Gravity Surveying

هناك مجموعة من الإجراءات والفعاليات يجب على الجيولوجي إعدادها وتحضيرها وتهيئتها لأغراض عمليات المسح ألجذبي في المنطقة المستهدفة بأعمال المسح والتي تتوفر

فيها دلائل أو شواهد على وجود تراكيب جيولوجية أو ترسبات معدنية تحت سطحية يراد منها معرفتها وتحديد أعماقها وامتداداتها، هذه الإجراءات يمكن تلخيصها بالنقاط التالية:-

1- تحضير وتهيئة خارطة وطبوغرافية لمنطقة الدراسة بمقياس رسم كبير مثلا 1:10000 للحصول على معالم وطبوغرافية واضحة، ارتفاعات منخفضات، خطوط الطول والعرض لغرض حساب ثابت خط العرض، توفر محطة قياسية Bench Mark لغرض قياس الارتفاع مع توفير جهاز مساحة ثيودولايت Theodolite.

2- أهم أعمال المسح الجذبي هو موقع ومسافة محطات القياس، يتم تثبيت شبكة مربعه (Grid) للمنطقة المدروسة وتوضع المحطات الجذبية في زوايا الشبكة ويعتمد طول الشبكة S على العمق h للظاهرة الجيولوجية المراد دراستها حيث يجب أن تكون S مساوية أو اقل إلى h تقريبا الشكل رقم (57-3). من المستحسن تجنب وضع محطات قرب الظواهر الجيولوجية التي تؤثر على القياسات الجذبية. يجب تثبيت محطة القياس المرجعية في وسط المنطقة المدروسة حيث يمكن الوصول اليها وإعادة القراءة بسهولة وسرعة وبعيداً عن حركة المرور، وبعيداً عن متناول الناس.



شكل رقم (57-3) شبكة نظامية لمواقع محطات قياس جذبية

3- يجب أن تكون المواقع الجغرافية وارتفاع المحطات الجذبية معلومة بدقة كي تختزل القراءات الجذبية إلى مستوى سطح البحر أو أي مستوى مرجعي يختاره الجيولوجي.

4- توفير معلومات جيولوجية من دراسات سابقة عن المنطقة مع عمل بعض المسوحات الجيولوجية لغرض تسهيل عمليات تفسير المعلومات المستحصلة من المسح ألجذبي.

5- جمع عينات صخرية للمنطقة المدروسة غير المتأثرة بالتجوية من المكاشف الصخرية أو من أبار لبابيه محفورة لغرض عمل التصحيحات الطبوغرافية والارتفاع.

6- يتم تسجيل قرارات الجهاز ضمن نموذج معد مسبقا لتسجيل القرارات لكل محطة قياس ضمن الشبكة ويتم العودة إلى المحطة المرجعية .B. S عدة مرات خلال العمل اليومي وبشكل دوري وتسجيل القرارات عندها لغرض إجراء تصحيح الجهاز Drift Correction، ثم بعد ذلك يتم تسجيل القيم الجذبية من خلال ضرب قراءة الجهاز المصححة في ثابت معايرة الجهاز لمعرفة قيمة g عند كل محطة ومعرفة Δg لشبكة المحطات نسبة إلى المحطة المرجعية.

إن المحصلة النهائية للأعمال الحقلية هي شبكة من النقاط التي يتم تعيين Δg عندها، يجب تصحيح هذه القيم لبعض التأثيرات المعروفة قبل تحويلها إلى خارطة ممكنة التفسير.

تصحيح القياسات الجذبية Correction of Gravity Data

يقصد بالتصحيح للقياسات الجذبية هي معالجة وإزالة كافة التأثيرات غير المرغوب بها من القياسات الجذبية المستحصلة في جهاز المجذاب من اجل الحصول على قيم جذبية حقيقية تمثل قراءاتها الواقع الكثافي للتكوينات الصخرية والتراكيب الجيولوجية تحت سطحية.

ان القراءات الحقلية المستحصلة التي تمثل الفروقات الجذبية بين نقطة أو المحطة المرجعية ومحطات القياس الأخرى ضمن شبكة المسح الجيوفيزيائي تكون معرضة إلى سلسلة من تأثيرات الجانبية التي ليس لها علاقة مع الجيولوجيا تحت السطح، مثل هذه التأثيرات هي تفلطح سطح الأرض، التغيرات في الارتفاع والطبوغرافية السطحية والتي يجب التخلص منها قبل المباشرة باي تفسير جيوفيزيائي. هذه التصحيحات هي:-

1- تصحيح الانحراف في قراءات المجذاب Drift Correction

وهي التصحيحات التي تجري على قرارات المجذاب إثناء العمل الحقلي وتمت الإشارة اليه في فقرة استخدام أجهزة المجذاب.

2- تصحيح المستوي المرجعي Datum plane

المستوى المرجعي هو المستوى الذي يجب اختزال كافة المعلومات والقياسات الجذبية اليه، وهو مستوى ثابت الارتفاع وأحيانا يمكن ان يمثل مستوى سطح البحر في حالة المسوحات الإقليمية الواسعة، وأحيانا يمثل مستوى المحطة الأساسية (المرجعية) المختارة في منطقة العمل واعتبارها هي المستوى المرجعي خاصة في المسوحات الجذبية التفصيلية وفي المناطق الصغيرة.

3- تصحيح خط العرض Latitude Correction

هذا التصحيح عبارة عن إزالة تأثير الازدياد في قيم الجاذبية عند الانتقال من خط الاستواء إلى قطبي الأرض، أو من خط العرض إلى خط عرض آخر. هذه الفروقات ناتجة من شكل الأرض البيضوي وان أساس التصحيح هو استخدام وتطبيق المعادلة الجذبية العالمية حيث تطبق هذه المعادلة

في المسوحات الإقليمية الواسعة، أما في اذا كان المسح الجذبي الجيوفيزيائي ذات طبيعة محدودة النطاق يتم استخدام عامل التصحيح التالي (LC):-

$$LC = \frac{C_1 g_O}{r} \sin 2\phi$$

حيث ان:- = LC ثابت خط العرض

$C_1 = 0.0053$ ثابت

$g_O = 978.013$ gal قيمة الجاذبية عند خط الاستواء

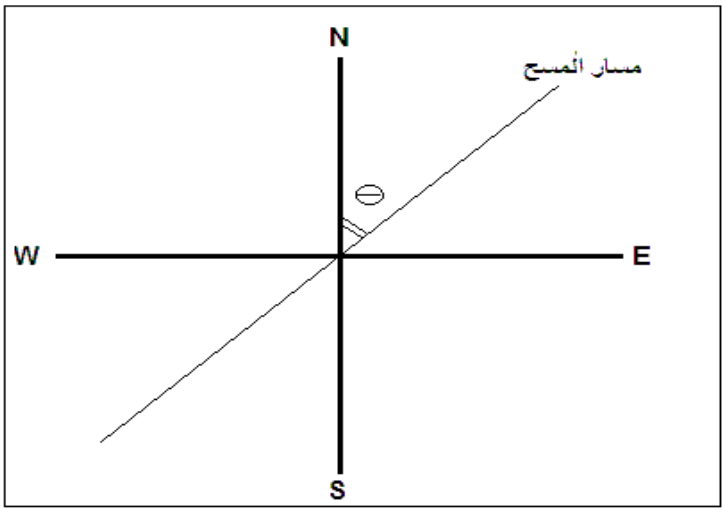
$r = 6378$ km نصف قطر الأرض عند خط الاستواء

ϕ = قيمة خط العرض

$$\therefore LC = \frac{0.0053 \times 978013}{6378} \times \sin 2\phi$$

$$= 0.812 \sin 2\phi \, mgal/km$$

هذا الثابت يكون باتجاه شمال- جنوب أما إذا كان خط المسح الجذبي (E – w) شرق – غرب لا يوجد تصحيح خط العرض لعدم وجود تغيرات جذبية في هذا الاتجاه، أما إذا كان خط المسح بزاوية مقدارها θ عن خط شمال – جنوب بهذه الحالة يجب ادخال المسافة بين محطة القياس والمحطة المرجعية مع الزاوية كما في الشكل (58-3).



شكل رقم (58-3)مخطط لمسار جذبي بزاوية θ

$$LC = \frac{C_1 g_O}{r} \times \sin 2\phi \times \Delta D \times \cos\theta$$

بهذه الحالة سوف يكون تصحيح خط العرض حسب العلاقة:-

$$CL = LC \times \Delta D \times \cos\theta$$

CL = تصحيح خط العرض

اذا كان اتجاه المسح N – s فان $\theta = 0$ وعليه فان Cos 0 = 1

يجب أن يطرح التصحيح أو يضاف إلى فرق الجاذبية المقاس اعتمادا على موقع محطة القياس الجذبية فيما اذا كان خط عرض المحطة أعلى أو أدنى من خط عرض المحطة المرجعية. يكون التصحيح لخطوط العرض الوسطية حوالي 0.08 ملي كَال لكل 100 م والذي يعطي فكرة عن الدقة المطلوبة في معرفة المواقع النسبية للمحطات.

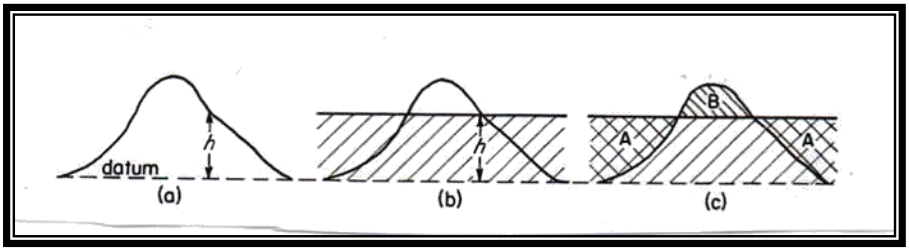
4- تصحيح الهواء الحر Free – Air Correction

يجري هذا التصحيح على أساس حصول نقصان في قيمة الجاذبية مع ازدياد الارتفاع، أي تقل قيمة الجاذبية مع زيادة البعد عن المركز الأرض. عندما تكون المحطة المرجعية .S .B ومحطات القياس الجذبية الأخرى ليست على نفس المستوى وهذا هو السائد في العمل الجيولوجي، فسوف تكون هناك فروقات في القيم الجذبية بين المحطة المرجعية والمحطات الأخرى سببه الاختلافات في الارتفاعات الطبوغرافية إذ يجب أن يكون هناك تصحيح يجري على الفروقات في الارتفاعات بحيث تكون القياسات الجذبية وكأنها اجريت على مستوى واحد، هذا التصحيح يسمى تصحيح الهواء الحر شكل (3- 59 a) تصحيح الهواء الحر يعطى بالعلاقة التالية:-

F. A. C. = 0.3086 h mgal

حيث إن h الارتفاع بالمتر.

يجب إضافة التصحيح إلى فرق الجاذبية إذا وقعت المحطة فوق المستوى المرجعي ويطرح في الحالة المعاكسة ، ولكي تكون ألفروقات الجذبية مضبوطة إلى حد 0.1 ملي كَال فيجب ان يكون فرق الارتفاعات بين المحطات معروفا إلى حد ثلث المتر.



شكل (59-3) (a) تصحيح الهواء الحر،(b) تصحيح بوجير،(c) تصحيح التضاريس

المصدر (keary, 1984, p151)

5- تصحيح بوجير Bouguer Correction

إن تأثير الصخور الواقعة بين مستوى المحطة المرجعية ومستوى موقع المحطات الجذبية (Rock Slab) يؤدي إلى حصول زيادة في قيم الجاذبية التي تقرأ في المحطات الجذبية ناتج من تأثير الكثافة لهذه الصخور. سمك هذه الصخور تساوي فرق الارتفاع h بين مستوى المحطة المرجعية ومحطات القياس الجذبية شكل (3-59 b) ولقد عرف التجاذب لهذا اللوح الصخري باسم تأثير بوجير تكريما له وكان أول من اكتشف هذا التأثير . تصحيح بوجير يعطى بالمعادلة :-

$$B.C = 2\Pi G \times \rho \times \Delta h$$

$2\Pi G$ = ثابت بوجير = 0.04191

p = كثافة اللوح الصخري

Δh = فرق الارتفاع

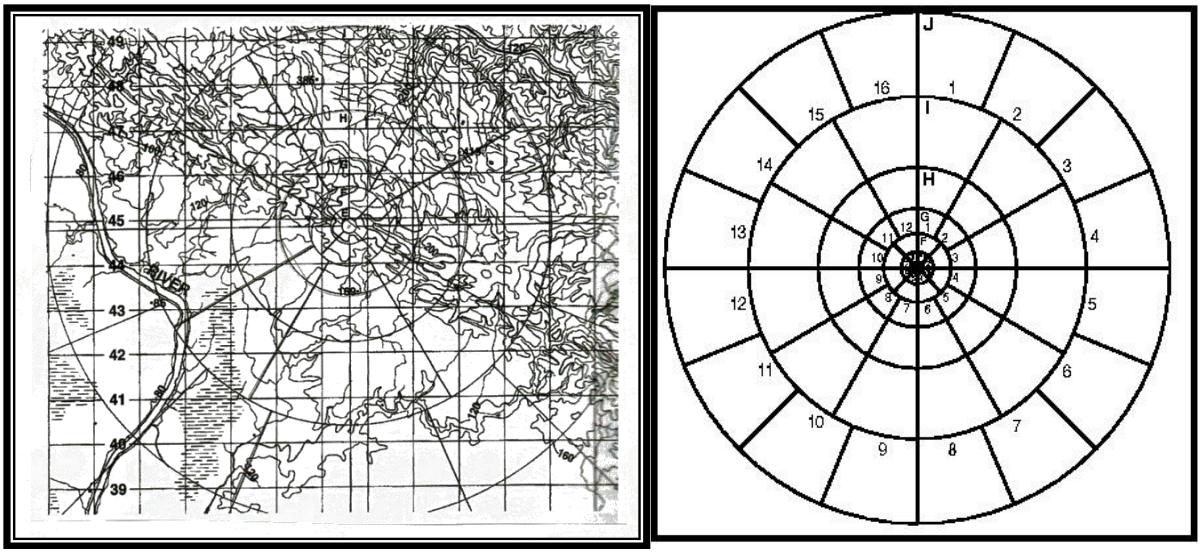
$\therefore B.C. = 0.0419 \rho\, h$ mgal حيث تقاس h بالأمتار.

تصحيح بوجير يجب أن يتم معالجته بواسطة طرح تأثير الزيادة في قيم الجاذبية الناتجة من اللوح الصخري إذا كانت محطات القياس الجذبية واقعة أعلى من مستوى المحطة المرجعية وبالعكس يضاف هذا التأثير إذا وقعت محطات القياس الجذبية في مستوى اقل من مستوى المحطة المرجعية. تجدر الإشارة إلى ان تصحيح الهواء الحر وتصحيح بوجير واحد عكس الآخر دائما.

6- تصحيح التضاريس Terrain Correction

يختص هذا التصحيح بإزالة تأثير الظواهر الطبوغرافية مثل التلال والوديان الواقعة جوار محطة القياس (شكل c 3-59) حيث تعطي التلال المرتفعة فوق مستوى محطة القياس مركبة تجاذب نحو الأعلى والتي تؤدي إلى تقليل القراءة الجذبية ، كذلك فان أي وادي يقع تحت مستوى محطة القياس يعمل عمل فجوات سالبة في لوح بوجير ويؤدي إلى تقليل القراءة الجذبية. لهذا فان تصحيح التضاريس هو موجب أي يضاف إلى القراءة الجذبية في كلتا الحالتين.

غالبا ما يتم تصحيح التضاريس باستخدام مخطط همر Hammer chart شكل رقم (3-60) الذي يسقُط على ورقة شفافة ويوضع على الخارطة الطبوغرافية لمنطقة الدراسة المثبت عليها مواقع محطات القياس حيث ينطبق مركز مخطط همر على موقع المحطة التي يراد حساب تصحيح التضاريس لها، ان ارتفاع محطة القياس معروف ويحسب معدل الارتفاع للمنطقة في كل قسم ويأخذ الفرق بين معدل الارتفاع في كل قسم وارتفاع المحطة ثم الرجوع إلى جداول همر يتم استخراج قيم التصحيح وهكذا لكل محطة.



شكل رقم (60-3)

مخطط همر مخطط همر مسقط على خارطة طبوغرافية

المصدر (John Milson , 2003, p40)

تعتبر الكثافة ρ من العوامل الرئيسية في حساب تصحيح التضاريس وحسب الصيغة التالية:-

$$k\,p = \frac{p}{p_o}$$

$k\,p =$ تصحيح التضاريس

$p =$ معدل الكثافة عند محطة القياس

$p_o =$ الكثافة القياسية في جداول همر

$$\therefore T.c. = k\ p \times \Sigma$$

حيث إن Σ تمثل الفرق بين معدل الارتفاع وارتفاع المحطة وتستخرج من مخطط همر.

شذوذ بوجير Bouguer Anomalies

في الدراسات والمسوحات الإقليمية يمثل شذوذ الجاذبية الفرق بين القيمة الملاحظة إلى الجاذبية g_{obs} عند نقطة ما والقيمة النظرية المتوقعة بواسطة معادلة الجاذبية العالمية لنفس النقطة. تحدد قيمة الجاذبية الملاحظة عن طريق القياسات الجاذبية النسبية التي تجرى بالمجذاب نسبة إلى المحطة المرجعية الأساسية التي تم عندها مسبقا عمل قياسات مطلقة . قيمة الجاذبية الملحوظة g_{obs} تمثيل قيمة الجاذبية على سطح اليابسة وعلى ارتفاع h. التي يجب تصحيحها إلى مستوى سطح البحر قبل مقارنتها مع g_ϕ التي تمثل القيمة النظرية عند نفس خط العرض.

في حالة القياسات الجذبية التفصيلية التي تجري في منطقة محدودة يتم اختزال القياسات الجذبية الملحوظة g_{obs} إلى مستوى المحطة المرجعية بواسطة تطبيق التصحيحات الجذبية المذكورة سابقا الفروقات الجذبية النسبية المتخلفة بين المحطات هي التي تسمى شذوذ بوجيز، هذه الاختلافات الجذبية تعكس التغاير في الكثافات للتكوينات الصخرية تحت سطح الأرض أو تعزى إلى وجود تراكيب جيولوجية تحت سطح.

قيم شذوذ بوجيز تمثل الأساس الذي يعتمد عليه في تفسير المعطيات الجذبية المستحصلة من على سطح الأرض.

شذوذ بوجيز يعطى بالمعادلة التالية:-

$$B.A. = g_{obs} \pm g\phi + (0.3086 - 0.04191\rho)\, h + T.C.$$

وحداتها هي الملي كَال، حيث ان:-

B. A. = شذوذ بوجيز

$g_{obs} = k\,(S_1 - S_o)$

k = ثابت معايرة الجهاز

S_1 = قراءة الجهاز عند المحطة الجذبية

S_0 = قراءة الجهاز عند المحطة المرجعية

$g\phi$ = تصحيح خط العرض = الاشارة الموجبة والسالبة تستخدم إذا كان اتجاه المسح نحو القطبين أو بالعكس

T. C. = تصحيح ألتضاريس(نفترض ان القياسات الحقلية مصححة إلى حيود الجهاز)

كثافة الصخور Rock Density

تعرف كثافة الصخور بأنها كتلة حجم معين من الصخور، والتي تعتمد على الخواص الفيزيائية التي تمتلكه كل صخرة أو تكوين صخري وتتغير من صخرة إلى أخرى مع تغيير الظروف الترسيبية التي أدت إلى نشوءها. ان دقة شذوذ بوجيز بالإضافة إلى الشذوذ الجذبي يعتمد بدرجة كبيرة جدا على الكثافة الصخرية وبدرجة أدق على الفرق في الكثافات بين الصخور لأنها تعتبر الأساس في تحديد جاذبية الصخور. بما إن فروقات الجاذبية النسبية قليلة جدا التي يجري الاهتمام بها في عمليات الاستكشاف الجيوفيزيائي لذلك يجب تحديد كثافة الصخور بكل دقة ضمن منطقة الدراسة.

أنواع الكثافات

1- **الكثافة الكتلية Bulk Density**:

وهي التي تمثل الكثافة الكلية لنموذج صخري يؤخذ من الحقل مباشرة، يتم عمل حفرة بحجم محدد ومحسوب بدقة ثم يوزن النموذج المستخرج من تلك الحفرة وتحسب الكثافة على انها:-

$$\text{الكثافة} = \frac{\text{الوزن}}{\text{الحجم}}$$

ويكون النموذج أما رطب أو جاف ويدخل في الحساب كَكل بما فيه المادة الصلبة والمسامات.

2- **الكثافة الحبيبية Grain Density**

وهي تمثل كثافة المواد الصلبة فقط الداخلة في تكوين الصخرة بعد إزالة تأثير المسامات بواسطة طحن النموذج، بعدها تحسب الكثافة كما يلي:-

$$\text{الكثافة تساوي} = \frac{\text{وزن النموذج في الهواء}}{\text{وزن النموذج في الماء}}$$

ليس من السهل دائما الحصول على القيم الحقيقية لكثافة الصخور بسبب صعوبة الحصول على نماذج بكر (Fresh Sample) التي لم تتأثر بعمليات التجوية. تعتمد الكثافة بشكل كبير على المسامية بالإضافة إلى التركيب الصخري Composition، تقل المسامية كل ما زاد العمق نتيجة لزيادة الضغط على التكوينات الصخرية بالإضافة إلى حصول عمليات ملأ للفراغات والمسامات خلال العمر الجيولوجي لهذه الصخور بمواد أخرى Cementation تؤدي إلى زيادة الكثافة.

الصخور النارية والمتحولة لا توجد فيها مسامية وتمتلك كثافات عالية ويبقى عامل الضغط هو الذي يؤدي إلى زيادة في كثافات هذه الصخور. الجدول (3-3) يوضح كثافة معظم الأنواع الشائعة من الصخور والمعادن.

جدول رقم (3 – 3)

معدل الكثافة للصخور الشائعة

نوع الصخرة	معدل الكثافة الرطبة g/cm^3	نوع الصخرة	معدل الكثافة g/cm^3
Clays	1.63 – 2.6	Quartzite	2.5 – 2.7
Gravels	1.7 – 2.4	Marble	2.6 – 2.9
Sand	1.7 – 2.3	Gypsum	2.2 – 2.35
Silt	1.8 – 2.2	Bauxite	2.3 – 2.45
Soils	1.2 – 2.4	Kaolinite	2.2 – 2.63
Sand Stone	1.61 – 2.76	Calcite	2.6 – 2.7
Shale	1.77 – 3.2	Zircon	4.0 – 4.9
Limestone	1.93 – 2.90	Graphite	1.9 – 2.3
Dolomite	2.28 – 2.90	Sulphur	1.9 – 2.1
Granite	2.50 – 2.81	Copper	8.7
Basalt	2.70 – 3.5	Silver	10.5
		Gold	15.6 – 19.4

المصدر (Telford, 1985, p.25)

طرق قياس الكثافة Density Measurement Methods

ثم استحداث ومعرفة عدة طرق حقلية لقياس الكثافة في الحقل وهذه الطرق هي:-

1- طريقة النمذجة Sampling Method

تعتمد على استحصال وجمع نماذج حقلية مباشرة من المناطق المستهدفة بالدراسة علما بان الفحص المباشر للعينات الصخرية المستحصلة من الحفر اللبابي في منطقة واسعة مهمة شاقة وصعبة وقد لا تكون الكثافة المقدرة بهذه الطريقة ممثلة للصخور الواقعة على اعماق متوسطة. النماذج المستحصلة توضع في الماء لمدة 24 ساعة ثم تحسب الكثافة المشبعة

حسب العلاقة التالية:-

$$\text{ألكثافة} = \frac{\text{وزن النموذج في الهواء}}{\text{وزن النموذج في الماء}}$$

2- طريقة نتلتن Nettleton

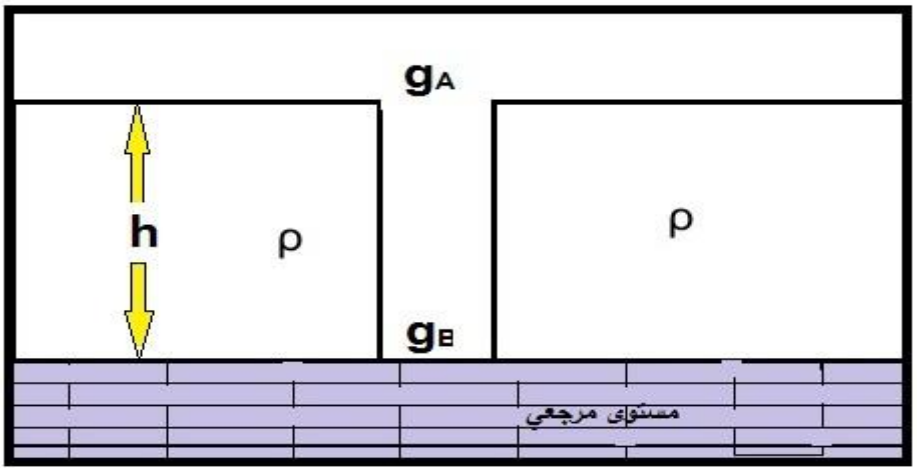
تعتمد هذه الطريقة على قياس الجاذبية على طول خط يقع عليه عدد من محطات القياس يمر عبر ظواهر طبوغرافية على سطح الأرض، تختزل بعد ذلك قيم الجاذبية الملحوظة باختيار قيم كثافات مختلفة إلى المستوى المرجعي، ثم يستدل على الكثافة الصحيحة بأنها تلك الكثافة التي تعطي منحني جذبي مصحح أملس ومهذب لشذوذ بوجيز من دون أية مضاهاة مع التضاريس.

3- **طريقة مجس الكثافة** $\gamma - \gamma\, Log$

هذه الطريقة تستخدم مبدأ تشتت أشعة كَاما - γ - حيث يتم إرسال أشعة كَاما من مصدر مشع يوجد في المجس وتحتوي نهاية المجس الأخرى على عداد كَايكَر Geiger Counter لقياس الأشعة المستلمة. إن الأشعة الصادرة من المصدر المشع تصل إلى العداد كحزمة منحرفة فقط بعد مرورها عبر التكوين الصخري حيث تعتمد سعة الحزمة على تركيز الاليكترونات في التكوين الصخري والتي بدورها تتناسب مع كثافة التكوين.

4- طريقة الكَرافيميتر البئري Bore Hole Gravimeter (BHGM)

في هذه الطريقة يمكن حفر بئر عبر كتلة من الصخور يراد معرفة كثافتها ويتم قياس القراءة الجذبية الملحوظة في أعلى البئر g_A وأسفل البئر g_B كما في الشكل رقم (3-61).



شكل رقم (3-61) قياس الكثافة بطريقة BHGM

بعدها تختزل القياسات الجذبية في البئر عند مستويين يبعدان عن بعضهما البعض بمسافة h وبعد إجراء التصحيحات المطلوبة على القرارات الجذبية فان الفرق ألجذبي المتبقي Δg

يمكن عزوه إلى تجاذب اللوح الأفقي الذي تم حفر البئر فيه والذي سمكه h حيث تعطى الكثافة كما يلي:-

$\Delta g = g_B - g_A$

$g_A = g_0 + F.A.C. - B.C.$

$g_B = g_0 + B.C.$

$$\therefore \Delta g = 0.3086 - 2(0.0419\rho \times \rho)$$

$$\therefore \rho = \frac{\Delta g}{4\pi G \times \Delta h} = \frac{\Delta g}{0.0419 \times \Delta h}$$

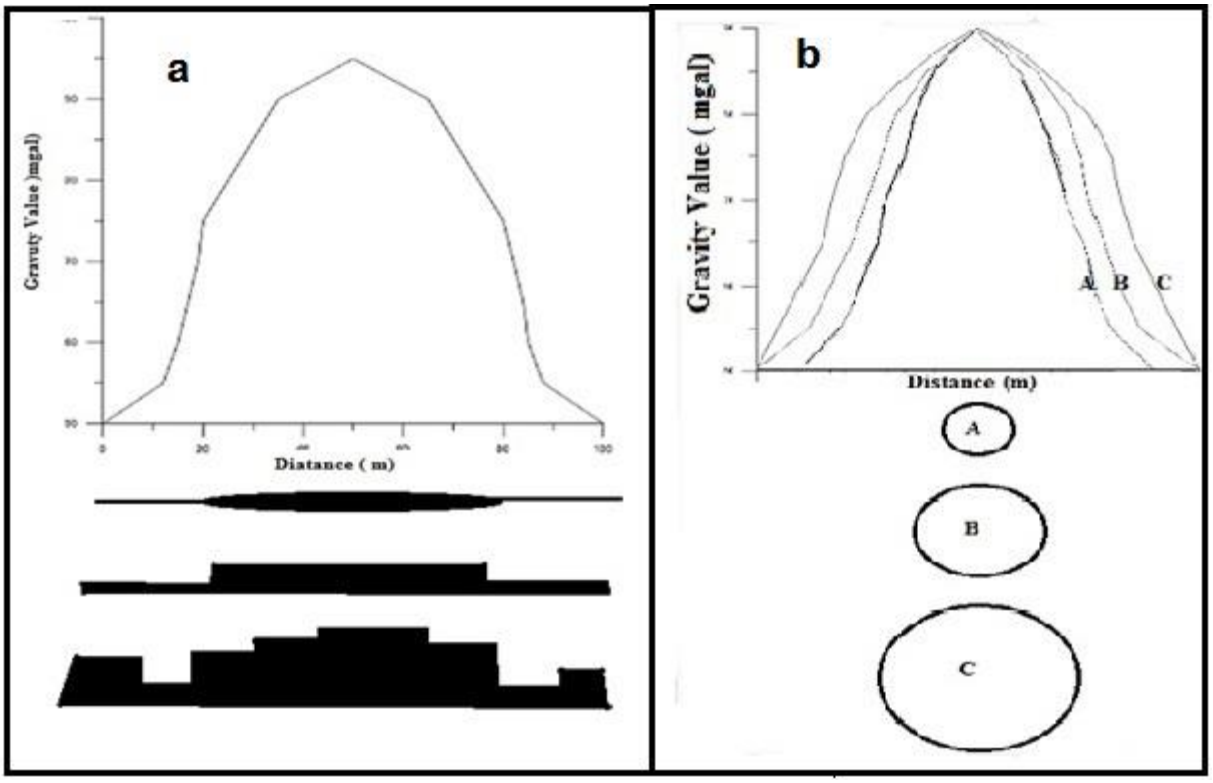
g_0 = الجاذبية من المستوى المرجعي إلى مركز الأرض

Δg = فرق الجاذبية بين اعلى واسفل البئر

Δh = فرق الارتفاع بين اعلى واسفل البئر

تفسير قيم الشذوذ الجذبي Gravity Anomaly Interpretation

يقصد بعملية تفسير الشواذ الجذبية هي مجمل المعالجات التي تؤدي إلى معرفة مسببات هذه الشواذ الجذبية، من المعروف ان شذوذ بوجيز سواء كان عبارة عن مسار مسح profile أو خارطة بوجير تعكس المتغايرات الكثافية تحت السطحية، المشكلة الكبيرة التي تواجه الجيولوجي أثناء تفسير هذه الشواذ هو الغموض الواسع الذي يكتنف هذه النتائج الجذبية مثل معرفة الشكل، الحجم والعمق من المتغيرات للتكوينات أو التراكيب الجيولوجية تحت سطح الأرض، ممكن لأشكال عديدة من التكوينات والتراكيب الجيولوجية أن تعطي نفس شكل الشذوذ الجذبي شكل رقم (3-62 a,b).



شكل (62-3)نماذج لتراكيب وتكوينات جيولوجية تعطي نفس الشواذ الجذبية

إن القياسات الجذبية لا تكفي لوحدها لمعرف وتحديد ما موجود تحت سطح الأرض وعليه من الضروري استحصال معلومات إضافية من مصادر أخرى تساعد على عملية تفسير المعلومات، منها المعلومات الجيولوجية عن منطقة الدراسة،نتائج حفر آبار لبابيه بالإضافة إلى إمكانية إجراء مسح جيوفيزيائي مصاحب بطرق أخرى تعتبر عامل مساعدة لحل الغموض في نتائج المسح الجذبي.

هناك نوعين من التفسيرات الجذبية التي تجرى على النتائج والشواذ الجذبية هي:-

1- التفسير الوصفي Qualitative Interpretation

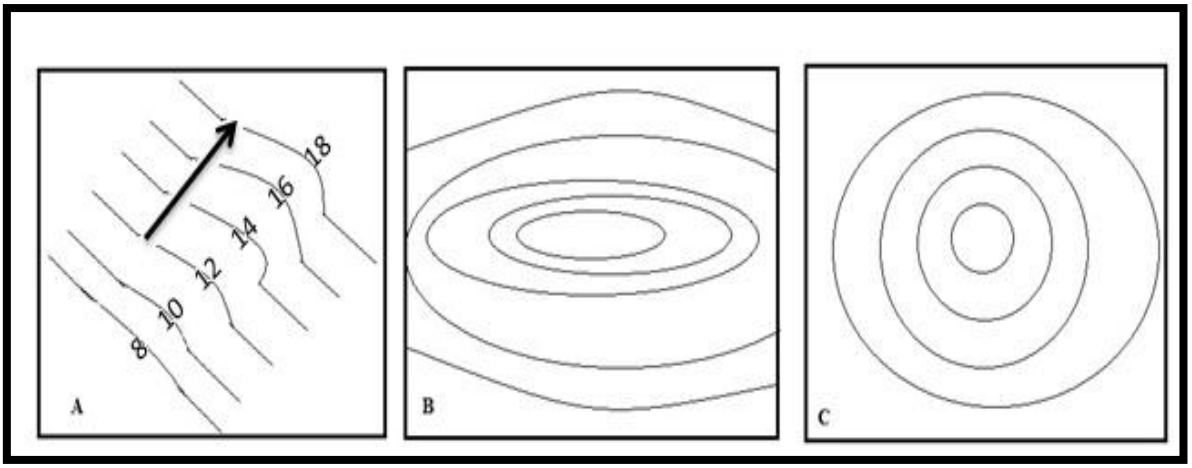
يتضمن إجراء وصف عام لشكل الشواذ الجذبية، مع وصف عام لمعدل انحدار هذه الشواذ هل يزداد أو يقل باتجاه معين km / mgal ترتيب هذه الشواذ وميلانها ... إلى غير ذلك، ويتضمن الوصف النقاط التالية:-

أ- موقع الشواذ بالنسبة إلى منطقة الدراسة وهل إن المسبب لها قريب ام بعيد عن سطح الأرض. شكل (63-3 a).

ب-شكل الشواذ هل هو ثنائي البعد أي طولي أم ثلاثي الأبعاد مع وصف طولها وعرضها وامتداداتها وما تدل عليه من عمق وموقع، هل يوجد فيها تغاير حاد يدل على وجود فالق أو تجذب..الخ.شكل رقم(63-3 b)

ج- وصف سعة الشذوذ وعرضه وطوله شكل رقم (c 63-3).

د- اتجاه الشذوذ وتناظره ومدى تطابقه مع جيولوجية المنطقة.



شكل (63-3) وصف الشواذ الجذبية (A-اتجاه الشذوذ، B- سعة الشذوذ،C- ثلاثي الأبعاد)

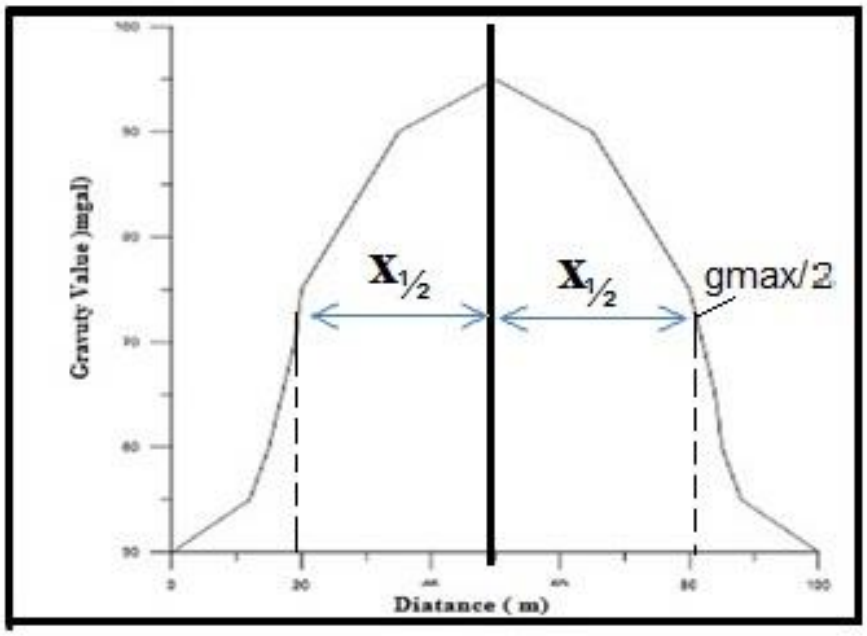
2- التفسير الكمي Quantitative Interpretation

من الطرق الشائعة الاستعمال في تفسير المعلومات الجذبية هي إجراء حسابات للتأثيرات الجذبية لبعض من النماذج والإشكال الهندسية المعروفة مسبقا والتي تعمل كدليل مفيد لتخمين مقدار وشكل الشواذ الجذبية التي يمكن توقعها من التكوينات الصخرية والتراكيب الجيولوجية، يشمل هذا التفسير على استخدام وتطبيق معادلات رياضية لمعرفة مواصفات الجسم المسبب لشواذ الجذبية وعادة ما تستخدم بعض الأشكال الهندسية القياسية لهذا الغرض وهي كما يلي:-

أ- الجسم ذات الشكل الكروي البسيط Sphere

غالبا ما يستخدم النموذج الكروي كتقدير أولي للأجسام المتماسكة وذات الأبعاد المتساوية والتي تكون شواذها على شكل دائري تقريبا، إن الجاذبية من منطقة خارجية للكرة نفسها كما لو كانت الكتلة الكلية مركّزه في مركزها، ويمكن إعطاء الشذوذ الجذبي من الشكل (3-64) المسبب من قبل الكرة كما في العلاقة التالية:-

$$g_z = \frac{4}{3}.\frac{\pi k R^3 \Delta\rho}{z^2}.\frac{1}{(1+\frac{x^2}{z^2})^{3/2}}$$



شكل رقم (64-3) شكل الشذوذ الجذبي المتسبب من الكرة

عندما تكون 0 = x فان قيمة الجاذبية تكون في أقصى قيمة g_{max}، حيث إن قيمة الجاذبية تقل عكسيا مع مربع المسافة من المصدر المسبب لهذا الشذوذ، لذلك فان الشذوذ الذي يتسبب من أعماق بعيدة يكون قليل السعة وذو امتداد واسع غير الذي يكون المصدر المسبب لها قريب من سطح الأرض حيث يكون الشذوذ ذات سعة عالية وانحدار الشذوذ العالي. تسمى المسافة الأفقية التي تنخفض عندها g_{max} إلى نصف قيمتها بنصف العرض Half width $x_{\frac{1}{2}}$ للشذوذ وهذا الثابت هو دليل جيد لتقدير العمق لذلك يمكن تقدي العمق إلى مركز الجسم الكروي تقريبا من المعادلة:-

$$Z = 1.305 \cdot X_{\frac{1}{2}}$$

ب- الجسم الاسطواني الأفقي Longitudinal Cylinder

يمكن تمثيل الطيات المحدبة الحادة أو الحدبات المطمورة ridges بأنها عبارة عن جسم اسطواني أفقي، التي لها استطالة باتجاه المضرب وباستخدام نفس رموز الشكل (3-63) فان الشذوذ الجذبي سيكون حسب المعادلة التالية:-

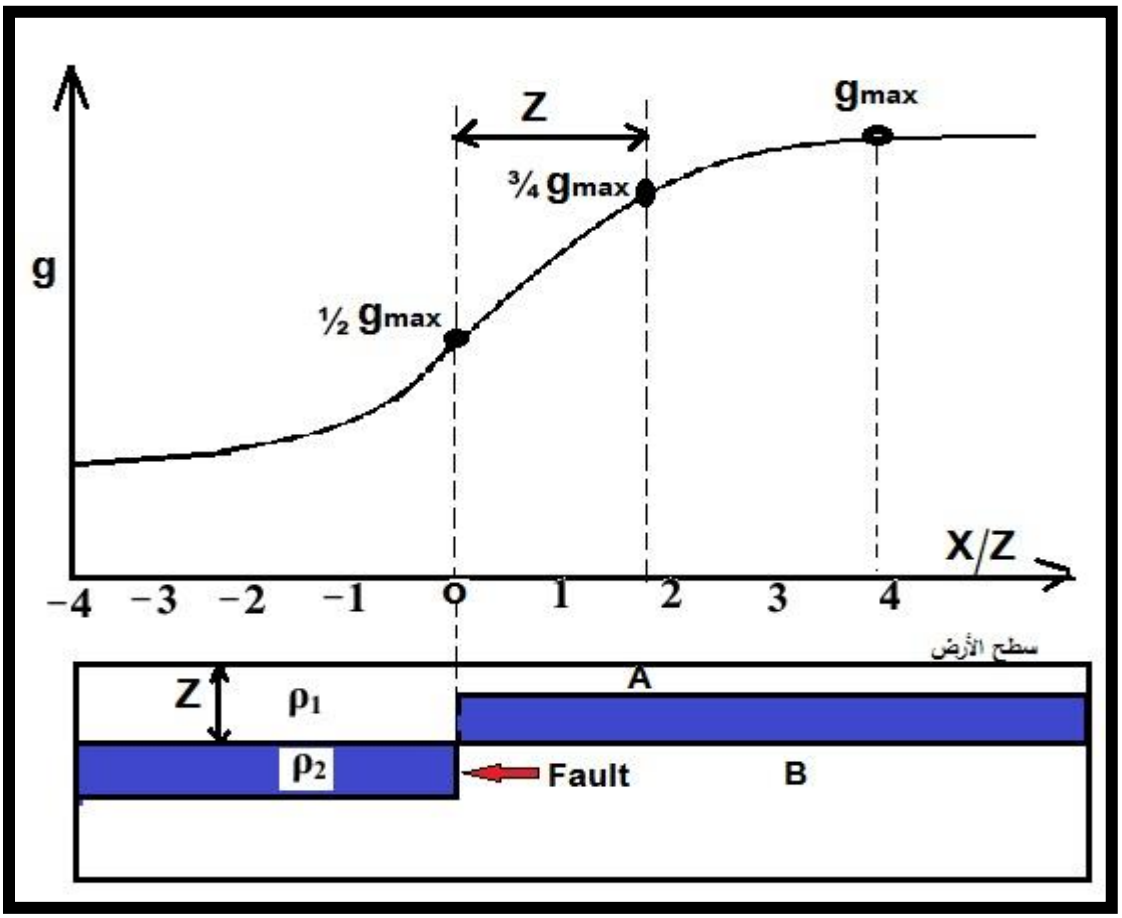
$$g = \frac{2\pi G R^2 \Delta\rho}{Z} \cdot \frac{1}{(1+\frac{x^2}{z^2})}$$

ج- اللوح الأفقي Thin sheet

يمثل هذا النموذج الشكل التقريبي إلى الفالق أو تركيب متدرج، إن الحاجز الفاصل بين الطبقة العليا التي كثافتها ρ_1 والطبقة السفلى التي كثافتها ρ_2 قد أُزيح عموديا بمسافة t

التـي هـي رميـة الفـالق وسـيكون الشـذوذ الجـذبي للفـالق مكافئـاً بـذلك لتـأثير لـوح شـبه لا محـدود لـه سـمك t وفـرق كثافـة $\Delta\rho=\rho_2-\rho_1$ والمنقطـع بوجـه الفـالق 0 = x شـكل رقـم (65-3) ويمكن حساب التأثير الجذبي حسب المعادلة:-

$$g = 2Gt\Delta\rho\ (\frac{\pi}{2}-\tan^{-1}\frac{x}{z})$$



شكل رقم (65-3)شكل الشذوذ الجذبي عبر الفالق الذي يشبه اللوح الأفقي

ان العمـق إلـى مركـز الفـالق يمثـل المسـافة بـين نصـف g_{max} وثـلاث اربـاع g_{max}، امـا موقع الفالق فيمثل العمود النازل من نصف g_{max}.

خارطة بوجير الجذبية Bouguer Anomaly Map

هي عبارة عن الخارطة الجذبية التي تسقّط عليها قيم الجاذبية المقاسة في جميع محطات القياس ضمن منطقة العملي الحقلي بعد اختزال القراءات الجذبية وإجراء كافة التصحيحات الجذبية المطلوبة (خلاصة قيم الجاذبية النسبية) والتي تسمى قيم شذوذ بوجير، هذه الخارطة تحتوي على كافة مسارات ونقاط مواقع محطات القياس الجذبية، بعد ذلك يتم رسم الخطوط الكنتورية بالوحدات mgal أو g. u. عندئذ تسمى هذه الخارطة بخارطة بوجير الجذبية والتي على أساسها يتم تفسير المعطيات الجذبية لاستنتاج التكوينات الصخرية والتراكيب الجيولوجية تحت سطحية. ان الهدف الأمثل لدى

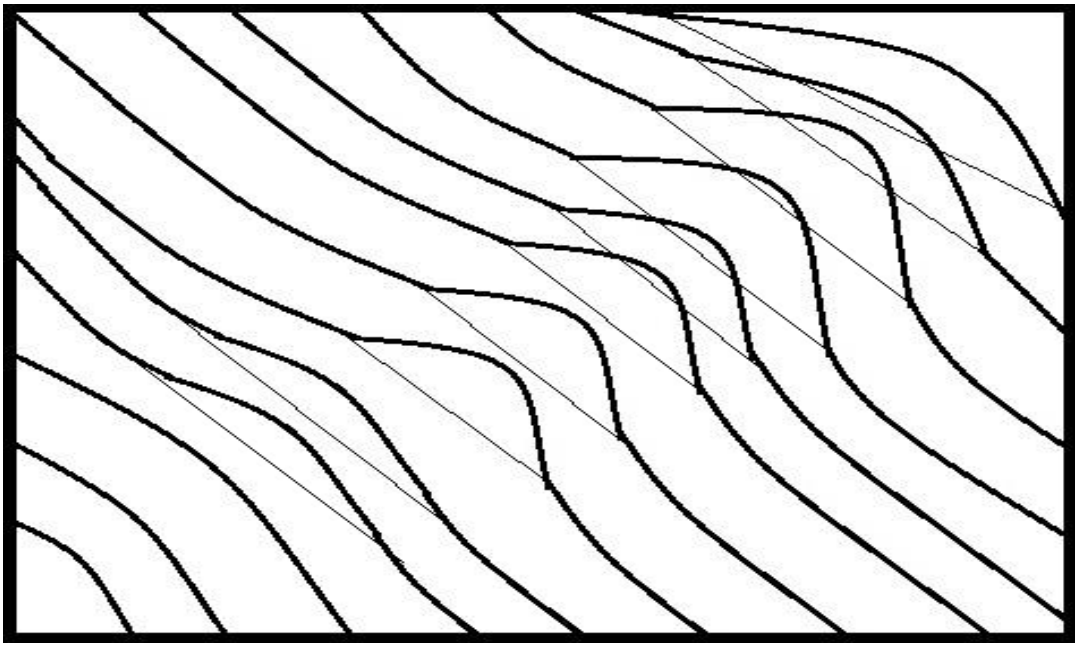
الجيوفيزيائيين خاصة هي استنتاج موقع وشكل التركيب من الصفات المختلفة المتوفرة في الخارطة مثل السعة وشكل الشذوذ الذي يسبب التشوهات الجذبية.

الشذوذ المحلي والشذوذ الاقليمي Regional and Residual Gravity Anomaly

تظهر الشواذ الجذبية للظواهر الإقليمية الكبيرة كشواذ جذبية كبيرة وواسعة وذات امتداد يعطي مساحة واسعة، تسمى بالشذوذ الإقليمي اما الشذوذ المحلي فتظهر على شكل ظواهر جيولوجية صغيرة نسبيا وكتشوهات ثانوية لمجال أو تأثير الشذوذ الاقليمي والتي تنتج من تأثير كتلي محلي أو من فروقات كتلية محلية أو تراكيب جيولوجية قريبة من سطح الأرض.

تعطي التكوينات أو التراكيب الجيولوجية القريبة من سطح الأرض والمحدودة الأبعاد شذوذ جذبي حاد Sharp Anomaly بينما تسبب المصادر العميقة والواسعة شذوذ جذبي مهذب Smooth Anomaly، في الطبيعة أو في العمل الحقلي الجيولوجي تكون دائما المناطق المدروسة يظهر فيها شذوذ جذبي يتكون من كلا المصدرين (الشذوذ المحلي مع الشذوذ الاقليمي).

إن عزل الشواذ المحلية هو موضع الاهتمام في المسوحات الجذبية الاستكشافية والتفصيلية بينما تكون الشواذ الإقليمية مهمة في دراسات القشرة الأرضية. يظهر الاتجاه الإقليمي في الخارطة الجذبية كاختلاف منتظم متمثلا بخطوط كنتورية متوازية ومتساوية البعد عن بعضها، ويمكن الدلالة على الشذوذ المحلي بخطوط كنتورية مغلقة أو ممكن ان يظهر مثل البروز فوق مجال الشذوذ الإقليمي (شكل 66-3).

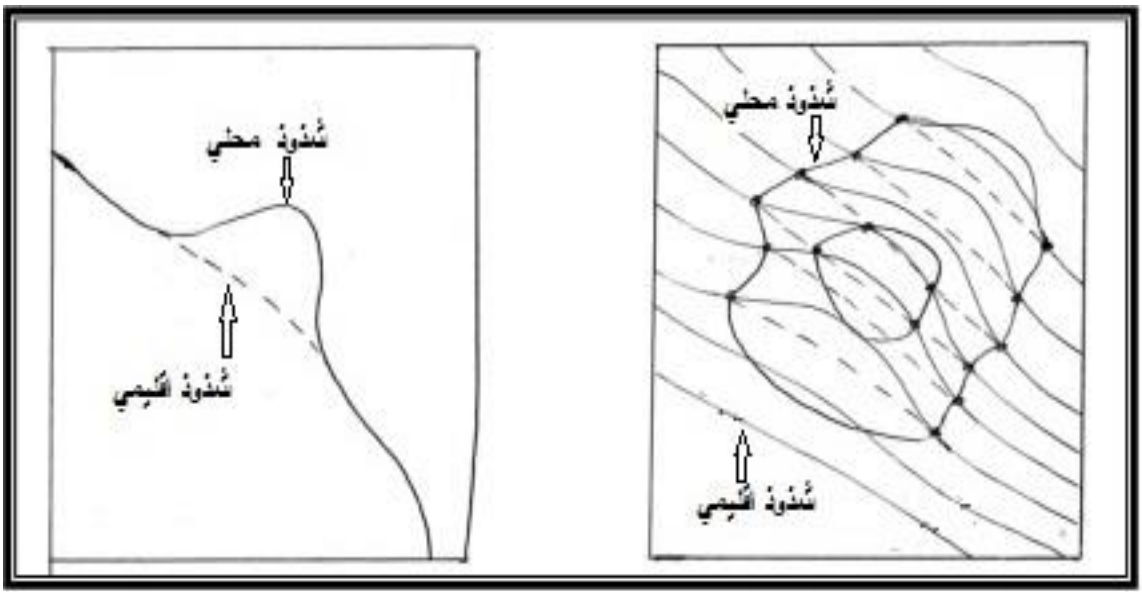


شكل رقم (66-3) الشذوذ المحلي والشذوذ الإقليمي

تتم عملية فصل الشذوذ المحلي عن الشذوذ الإقليمي بإحدى الطرق التالية:-

1- التهذيب البياني Graphical Smoothing

ويتم ذلك إما على خارطة بوجير أو على المنحني وهي الطريقة الأكثر استخداما بين الجيولوجيين حيث يتم طرح قيمة المجال المهذب المرئي من شذوذ بوجيز الأصلي في النقطة لنحصل على الشذوذ المتبقي Residual Anomaly. شكل (67-3).



شكل (67-3) فصل الشذوذ المحلي عن الإقليمي بيانيا

2- الطريقة التحليلية Analytical Method

تعتبر هذه الطريقة أكثر موضوعية من الطريقة البيانية، وهي طريقة رياضية تستعمل القيم الجذبية الموزعة على شكل شبكة منتظمة وتطبق فقط على الخرائط وهي على نوعين:-

أ- طريقة كَرفن Griffin Method

تعتمد هذه الطريقة على إزالة القيم الإقليمية المحيطة بقيم بقيمة الشذوذ الجذبي عند محطة قياس معينة وذلك باستخدام دائرة واحدة أو دائرتين، تؤخذ سلسلة من النقاط على شكل شبكة متكاملة للشذوذ كما في المعادلة التالية:-

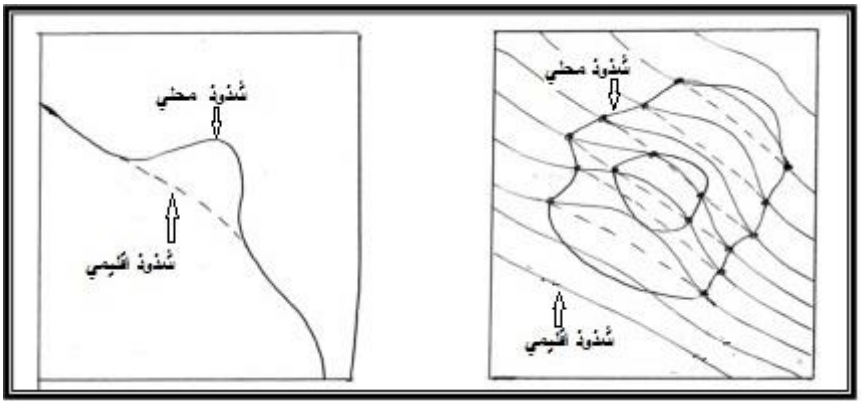
$$G_R = g_{obs} - \frac{g_1 + g_2 + ... + g_n}{n}$$

G_R = الشذوذ المتبقي خارج الدائرة

g_{obs} = شذوذ بوسيط وسط الدائرة

g_1 , g_2 = قيم الشذوذ الإقليمي على محيط الدائرة

وكما في الشكل (68-3).



شكل رقم (68-3)فصل الشذوذ المحلي عن الإقليمي بطريقة كَرفن

ب-طريقة المشتقة العمودية الثانية

تعتمد هذه الطريقة على اشتقاق الشذوذ ألجذبي بدلالة العمق ($\frac{dg^2}{dz}$) تؤخذ مجموعة من الدوائر في شبكة ذات أنصاف أقطار مختلفة تتم حساب هذه الطريقة باستخدام برمجيات حاسوبية جاهزة.

ج- الطريقة المغناطيسية Magnetic Method

ان دراسة مغناطيسية الأرض تعتبر من أقدم فروع علم الجيوفيزياء وكما هي الحال بالنسبة لدراسة المجال الجذبي الأرضي. فقد بدئت الدراسات عن مغناطيسية الصخور مع اكتشاف حجر المغناطيس (Lodestone) وهي صخور الماكنيتايت. أمكن اعتبار ان الكرة الأرضية تتصرف وكأنها مغناطيس كبير، كان أول تطبيق للخاصية المغناطيسية هي استخدام البوصلة والإبرة المغناطيسية للأغراض ألملاحية.

إن الهدف من عمليات المسح المغناطيسي هو اكتشاف المكونات الجيولوجية الموجودة تحت سطح الأرض بالاعتماد على التشوهات أو الشذوذ الذي يظهر في المجال المغناطيسي الأرضي الذي يحصل من تأثير الخصائص المغناطيسية للصخور تحت سطحية. بعض انواع الصخور مثل الماكنيتايت (Magnetite)، إلمنايت (Ilmenite) وبايروتايت (pyrrhotite) تسبب تشوهات في المجال المغناطيسي الأرضي بسبب خاصيتها المغناطيسية التي تساعد في الكشف عن هذه الصخور.

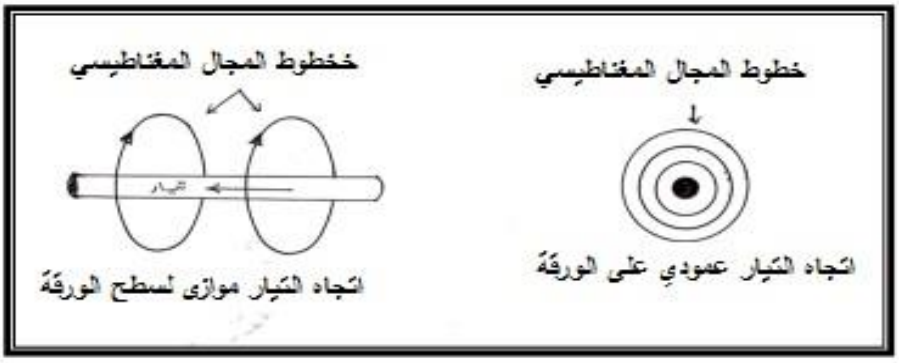
تعتبر الطريقة المغناطيسية من الطرق الواسعة الاستخدام كونها سريعة وسهلة وغير مكلفة وتعطي نتائج جيدة وتستخدم في المسح الإقليمي، الجوي والبحري والمسح التفصيلي وتستخدم كذلك في الكشف عن الترسبات المعدنية ذات العمق القليل والأعماق البعيدة، صخور القاعدة، التي قد تصل إلى عمق 1 كم.

المبادئ والمفاهيم الأساسية Main Fundamental Concept

هناك مجموعة من المفاهيم الأسس التي يجب التعرف عليها ودراستها لغرض فهم المبادئ الأساسية للتمغنط.

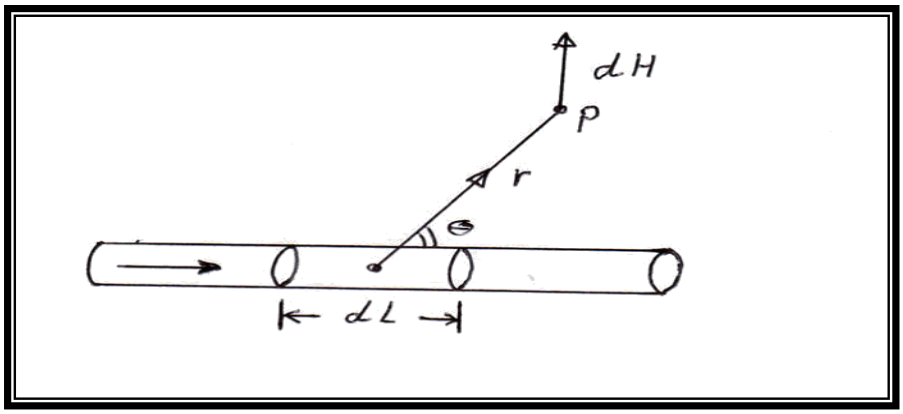
المجال المغناطيسي المصاحب للتيار

إن أي تيار كهربائي يسير في جسم موصل ينتج عنه مجال مغناطيسي ينتشر نحو الخارج مبتعدا عن الموصل على شكل دوائر مغناطيسية مغلقة، يكون اتجاه المجال المغناطيسي حسب قاعدة اليد اليمنى شكل (69-3).



شكل رقم (69-3) خطوط المجال المغناطيسي

يمكن الحصول على مقدار قوة المجال المغناطيسي الذي يحيط جسم موصل حامل للتيار من خلال تطبيق قانون أمبير الذي يصف المجال المغناطيسي الناتج من أي جسم موصل ذي طول (dL) عند نقطة خارجية (p) حيث يكون شدة المجال المغناطيسي (dH) شكل رقم (70-3).



شكل رقم (70-3) عناصر قوة المجال المغناطيسي

يمكن ان يعطى بالعلاقة التالية :-

$$dH = \frac{I\,dL\sin\Theta}{r^2}\ \text{A/m}$$ امبير/متر

حيث ان :-

r = المسافة بين dL والنقطة p

Θ = الزاوية بين dL والمسافة r

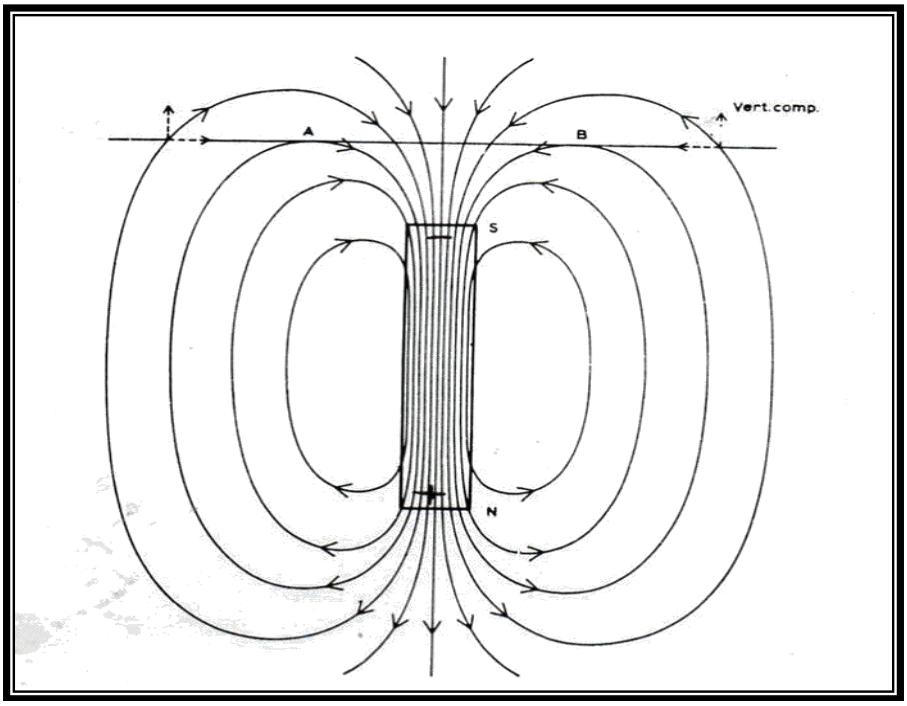
I = شدة التيار الكهربائي

dL = طول الجزء الحامل للتيار

يكون المجال المغناطيسي في مستوى عموديا على المستوى المكون من r و dL.

1- الأقطاب المغناطيسية، قوة القطب Magnetic Poles, Pole Strength

إذا كان لدينا قطعة قضيب مغناطيسي ذو قطبين، فان خطوط المجال المغناطيسي سوف تسري بين هذه النهايتين والتي تسمى أقطاب المغناطيس. القطب الباحث عن الشمال يسمى بالقطب الموجب والقطب الباحث عن الجنوب يسمى بالقطب السالب وتتجه خطوط المجال المغناطيسي خارجة من القطب الموجب باتجاه القطب السالب. كما موضحة في الشكل (71-3) وتكون دائرة مغلقة ضمن القضيب المغناطيسي، هذه الخطوط تسمى بشدة الفيض المغناطيسي (Flux density).



شكل رقم (71-3) خطوط قوى المجال المغناطيسي

المصدر (parasnis, 1984, p20)

إن القوة (F) بين كلا قطبي المغناطيس التي لها شدة مغناطيسية (m_2 و m_1) وتفصل بينهما مسافة هي (r) يمكن ان نعبر عنها بالصيغة التالية:-

$$F = \frac{\mu_O m_1 m_2}{4\pi \mu_R r^2}$$ متر/امبير

حيث ان:-

μ_O = ثابت يعبر عنها بقابلية نفاذ المغناطيسية في الفراغ = $4\ \pi \times 10^{-7}$ in SI unit

μ_R = ثابت يعبر عنها بقابلية نفاذ المغناطيسية في الوسط الذي يفصل بين القطبين

توجد الأقطاب المغناطيسية دائما كالأزواج، ولكن في المغناطيس الطويل جدا لا تتأثر خطوط القوى حول قطب واحد بتأثير القطب الآخر حيث يمكن اعتبار القطبين معزولين.

2- شدة المجال المغناطيسي Magnetic Field strength

هي القوة المغناطيسية أو شدة الفيض المغناطيسي (Flux density) الذي تسلطه احد الأقطاب ذي الشدة (m) على النقطة (p) التي تبعد مسافة (r) عن القطب ويعبر عنها بالعلاقة التالية:-

$$B = \frac{\mu_O\, m}{4\pi\, \mu_R\, r^2} = \frac{volt/\sec}{m^2} = \frac{\text{فولت / ثانية}}{\text{متر}^2} = \frac{\text{ويبر}}{\text{متر}^2}$$

حيث ان B هي شدة المجال المغناطيسي للقطب ويقاس بوحدات والتي أُعطيت اسم تسلا (tesla) بوحدات SI $\frac{\text{ويبر}}{\text{متر}^2}$ اما في نظام سم.غم.ثا (CGS) فتكون وحدات شدة المجال مغناطيسي هي الكاوس (Gauss) والتي تساوي (10^{-4} تسلا). هناك وحدة اخرى عادة تستخدم في العمل الحقلي الجيوفيزيائي تسمى كَاما(γ) والتي تسأوي (10^{-9} تسلا) أو (نانوتسلا). ان شدة المجال المغناطيسي الأرضي الكلية في المناطق القطبية تساوي 60000 كَاما أو 60000 نانوتسلا.

3- الجهد المغناطيسي Magnetic potential (V)

ممكن أن يعرف المجال المغناطيسي بمصطلح الجهد المغناطيسي (Magnetic potential). إذا كان لدينا قطب واحد شدته المغناطيسية (m) والجهد المغناطيسي (v) وعلى مسافة (r) من القطب وبذلك سوف يعطى بالعلاقة التالية:-

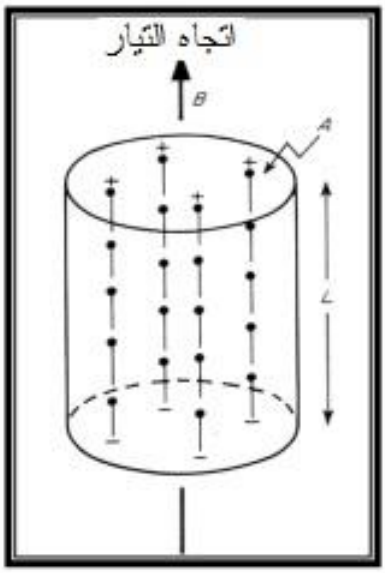
$$V = \frac{\mu_\circ\ m}{4\pi\mu_R\ r^2} = \frac{\mu_\circ}{4\pi} \times \frac{m}{r^2} \quad \frac{webber}{m^2} = G\,\frac{m}{r^2}$$

حيث ان G هو ثابت.

4- شدة التمغنط والعزم المغناطيسي

Intensity of magnetization and Magnetic Moment

لنفرض إن لدينا قضيب مغناطيسي ثنائي القطب Dipole شدة كل منهما (m-) و (m+) تفصل بينهما مسافة (L) ومساحة المقطع له هي (A) شكل رقم (72-3)، يمكن اعتبار هذا القضيب المغناطيسي سلسلة من المغناطيسيات الأولية الصغيرة ثنائية القطب ومتجه على طول محوره.



شكل (72-3) شكل تخطيطي لقضيب متمغنط بانتظام

إن الشدة المغناطيسية للأقطاب الشمالية والجنوبية المنفردة للمغناطيسيات الأولية تلغي إحداهما الأخرى ماعدا تلك التي توجد عند الأوجه النهائية لهذا سيكون للقضيب المغناطيسي تركيز على النهايات الحرة (m−) و (m+) وكلما كانت قوة التمغنط اكبر. كان التركيز السطحي للأقطاب الحرة اكبر ويمكن أن نعبر عنها الصيغة التالية:−

$J = \frac{m}{A}$ Amper/meter بوحدات SI

حيث ان:− J = شدة التمغنط

m = قوة القطب المغناطيسي

A = مساحة المقطع

الطريقة الأخرى لتعريف أو وصف شدة التمغنط J هي بدلالة العزم المغناطيسي (M)، والذي يعرف على انه (لو وضع قضيب مغناطيسي ثنائي القطب في مجال مغناطيسي فانه يميل إلى الدوران ويتجه مع اتجاه المجال مغناطيسي ويقال عنه انه يمتلك عزم مغناطيسي) وعليه يمكن تعريف العزم المغناطيسي بالصيغة التالية:−

$M = m \cdot L$ Amper/meter^2

حيث يكون اتجاه العزم باتجاه خطوط القوة المغناطيسية، وبما ان (M) هو متجه فانه يتجه من القطب السالب نحو القطب الموجب.

إن العزم المغناطيسي في ملف يسري فيه تيار كهربائي يكون متناسب مع عدد لفات الملف، مساحة مقطع الملف وكذلك شدة التيار الكهربائي ويمكن التعبير عن العزم المغناطيسي بهذه الحالة $M = A \cdot m^2$ Amper/meter^2

إذ إن شدة ألتمغنط (J) في أي نقطة ضمن جسم ممغنط بانتظام يمكن تعريفها بأنها العزم المغنطيسي لكل وحدة مساحة أو حجم ان العزم المغناطيسي (M) هو الثابت الاكثر أهمية للجسم الممغنط وذلك لإمكانية قياسها مباشرة، وحدات العزم المغناطيسي هي (امبير. متر^2) في نظام SIوهذا يتوافق مع عزم ثنائي القطب لدورة كهربائية لها تيار كهربائي والذي يعرف بأنه حاصل ضرب شدة التيار في مساحة الدائرة الكهربائية (امبير. متر^2).

وحدات شدة المجال المغناطيسي Magnetic Intensity Units

شدة المجال المغناطيسي (B) تقاس بوحدات Volt . second / meter^2

Volt . sec / m^2 = Webber / m^2 =T (Tesla)

Nano Tesla (N.T) = 10^{-9} T

N.T. = γ (gamma)

Gauss = 10^{-4} T

O rested = $10^5 \gamma$

إن الوحدة الرئيسية المستخدمة في قياس شدة المجال المغناطيسي هي النانوتسلا

N.T. = 1γ = 10^{-5} gauss = 10^{-9} wb/m^2

شدة المجال المغناطيسي الأرضي الكلي يساوي حوالي

0.6 gauss or 60000 γ

قوة المجال المغناطيسي الأرضي يساوي

$$\frac{60000\times10^{-9}}{4\pi\times10^{-7}}=\frac{60000\times10^{-9}}{\mu_O}=47.8\,A/m$$

حيث ان نفاذية الهواء اعتبرت على إنها تساوي نفاذية الفراغ = μ_O في حين إن الترسبات المعدنية أو الصخور الحاملة للمعادن المغناطيسية ممكن ان تنتج مجال مغناطيسي يساوي مئات من الكَاما إلى عدة آلاف من الكَاما والذي يؤدي إلى إحداث تشوهات في المجال المغناطيسي الأرضي.

الحساسية المغناطيسية Magnetic Susceptibility

عندما يتم وضع جسم قابل للتمغنط في مجال مغناطيسي خارجي (H) فانه يكتسب مغناطيسية بنفس اتجاه المجال المغناطيسي الذي وضع فيه ذلك الجسم، ثم يفقدها عند رفع الجسم أو إزالة المجال لمغناطيسي المسلط، هذه الظاهرة تسمى المغناطيسية المحتثة (J_i) (Induced Magnetization) حيث يحصل للجسم استقطاب في نهاياته سالب وموجب، يمكن تعريف الحساسية المغناطيسية بانها درجة أو قابلية الجسم على التمغنط وتعطى

بالصيغة التالية:-

$$k \times J_i = \text{Ampere/meter in SI} \qquad \text{Unit} \quad H$$

حيث ان k هي الحساسية المغناطيسية .

ويمكن تعريف المغناطيسية المحتثة J_i في حالة وضع جسم عبارة عن قضيب طوله (L) ومساحة المقطع له هو (A) من خلال الصيغة التالية:-

$$J_i = \frac{M}{L \times A}$$

حيث ان (M) هو العزم المغناطيسي.

يسمى العامل (k) بالحساسية المغناطيسية وهو ثابت مميز للمواد القابلة للتمغنط، وهو بلا وحدات في نظام SI، لان كل من J_i و H يقاسان بنفس الوحدات (1 مب/م). تعتمد الحساسية المغناطيسية على قوة المجال المغناطيسي المسلط (H) وكذلك على التاريخ المغناطيسي للمعادن. في الفراغ شدة المجال المغناطيسي (B) وقوة التمغنط (H) ممكن ان تعرف بالعلاقة التالية:-

$$B = \mu_O H$$

حيث إن:-

$$\mu_O = 4\ \pi\ 10^{-7} \qquad H / m$$

هذه الصيغة الرياضية تعتمد لتمثيل المجال المغناطيسي الأرضي عندما يتعرض هذا المجال لتشوهات من قبل مواد مغناطيسية. عندما توجد مواد مغناطيسية في القشرة الأرضية، عندئذ تزداد قيمة المغناطيسية الأرضية أو شدة المجال المغناطيسي إلى درجة أعلى بمقدار ($J_i \mu_O$) وعليه تكون شدة المجال المغناطيسي.

$$B = \mu_O H + \mu_O J_i$$

$$B = \mu_O H + \mu_O k H = (1 + k) H \mu_O$$

$$= \mu_R \mu_O H$$

حيث ان μ_R ثابت ويعرف بأنه النفاذية المغناطيسية.

تقسم المواد بصورة عامة إلى ثلاثة أقسام اعتمادا على الحساسية المغناطيسية وكما يلي:-

1- المواد الدايامغناطيسية Diamagnetic Materials

هي المواد التي لها حساسية مغناطيسية (k) سالبة وضعيفة مثل الكوارتز (Quartz) المرمر (Marble) والملح (Salt). جبسم Gypsum.

2- المواد البارامغناطيسية Paramagnetic Materials

وهي المواد التي لها حساسية مغناطيسية (k) ضعيفة وموجبة مثل الكرانيت (Granite)، دولومايت (Dolomite)، كرافايت (Grafite)، حجر رملي (Sand stone)، كابرو (Gabbro) هذه الحساسية المغناطيسية تقل عكسيا مع ارتفاع درجة الحرارة.

3- المواد الفيرومغناطيسية Ferromagnetic Materials

وهي المواد التي لها حساسية مغناطيسية (k) عالية وموجبة، لها قابلية على اكتساب المغناطيسية بشكل كبير مثل الماكنيتايت Magnetite (Fe_3O_4)، تعتمد الحساسية المغناطيسية لهذه المواد على قوة المجال المغناطيسي المسلط وعلى درجة الحرارة إذ يقل التمغنط التلقائي مع ازدياد درجة الحرارة.

إن معظم المعادن المغناطيسية الموجودة في الطبيعة هي إما فيرومغناطيسية أو لافيرو مغناطيسية، إن ظاهرة الفيرومغناطيسية الحقيقية تكون شائعة في صخور غير أرضية مثل النيازك والنماذج القمرية الحاوية على كميات كبيرة من الحديد والنيكل. ان ظاهرة الفيرومغناطيسية الكلية للصخور في القشرة الأرضية مصدر المجال المغناطيسي الأرضي The main field of the earth.

مصادر القوة المغناطيسية هي:-

1- المجال المغناطيسي الرئيسي Main Magnetic Field

وهو مجال غير ثابت إذ يتغير مع الوقت وبصورة بطيئة، مصدره من داخل الأرض الذي تفسره نظرية الداينمو حيث تفترض ظهور تيار كهربائي من جراء دوران الأرض حول نفسها الذي يؤدي إلى حصول احتكاك بين لب الأرض الصلب والمواد السائلة والصهير في مركز الأرض وبالتالي يؤدي إلى ظهور المجال المغناطيسي، التغيرات في المجال المغناطيسي الرئيسي الداخلي للأرض تسمى بالتغيرات الطويلة الأمد (Secular variations)

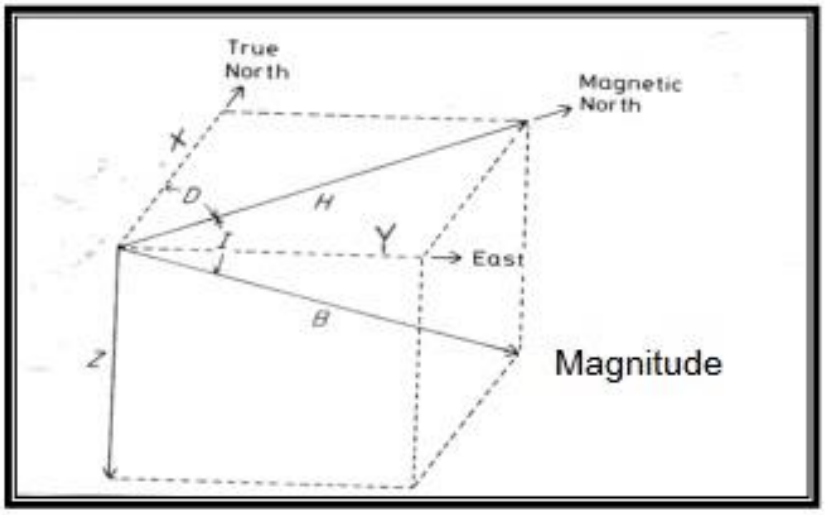
2- **المجال المغناطيسي الخارجي Outer Magnetic Field** يمثل جزء بسيط من المجال المغناطيسي الأرضي الرئيسي حيث يتغير سريعا بصورة عشوائية وأحيانا بصورة دورية وهو ناتج من خارج الكرة الأرضية، سببه حركة أو سريان الجزيئات المشحونة في طبقة الايونسفير نحو الأقطاب المغناطيسية هذه التغيرات تسمى بالاختلافات اليومية Diurnal Variation . إن التغيرات المغناطيسية قصيرة الأمد في شدة المجال المغناطيسي تبلغ بضعة عشرات من الكاما(γ) خلال اليوم الهادئ الاعتيادي، وقد تكون غير منتظمة في مقاديرها حيث تبلغ عدة مئات من الكاما خلال ساعة واحدة وهي عادة مرتبطة بالعواصف المغناطيسية Magnetic Storms حيث تتوقف عمليات المسح المغناطيسي أثناء الأيام المضطربة إذ لا توجد طريقة مقنعة لتصحيح تأثيراتها التي لا يمكن التنبؤ بها على نتائج المجال المغناطيسي.

المجال المغناطيسي الرئيسي The Main Magnetic Field

إن الطريقة المغناطيسية في التنقيب والاستكشاف المعدني تعتمد بصورة كبيرة على كشف وتحسس الحيود في المجال المغناطيسي الأرضي الطبيعي، الذي يتسبب أو ينتج من جراء وجود

مكونات جيولوجية (ترسبات معدنية، معادن مغناطيسية) أو تراكيب جيولوجية (كسور، صدوع) تحت سطح الأرض هذا الحيود الناتج أو الذي تسببه هذة المكونات الجيولوجية يكون متداخل أو متراكب بشكل إضافي فوق المجال المغناطيسي الطبيعي الأرضي.

من الضروري ان تكون لدينا فكرة عن الخصائص الطبيعية لهذا المجال وسلوكياته لكي نتمكن من وصف القوى المتجهه للمجال المغناطيسي والتي تسمى عناصر المجال الجيومغناطيسي، والتي ممكن أن توضح في الشكل رقم (73-3).



شكل رقم(73-3)عناصر المجال الجيومغناطيسي

المصدر (kearey, 1984, p178)

حيث ان :-

متجه المجال المغناطيسي الكلي = B

Z = المركبة العمودية للمجال المغناطيسي (موجبة نحو الأسفل وسالبة إذا كانت نحو الأعلى)

H = المركبة الأفقية للمجال المغناطيسي وتكون دائما موجبة.

I = زاوية الانحدار للمجال المغناطيسي الكلي عن اتجاه المجال المغناطيسي

D = زاوية الانحراف بين الشمال المغناطيسي والشمال الجغرافي

X, Y = مركبات أو مشتقات المركبة الأفقية (H) نحو الشمال والشرق وهي موجبة

ان قيمة المجال المغناطيسي الكلي (B) تتراوح من حوالي (25000 N.T) عند خط الاستواء إلى حوالي (70000 N.T.) عند الاقطاب .إن حجم أو سعة (كبر) المجال المغناطيسي الكلي (B) يمكن ان نعبر عنه بالصيغة الرياضية التالية (حسب نظرية فيثاغورس)

$$B=\sqrt{\left(H^2+Z^2\right)}=\sqrt{\left(X^2+Y^2\right)+Z^2}$$

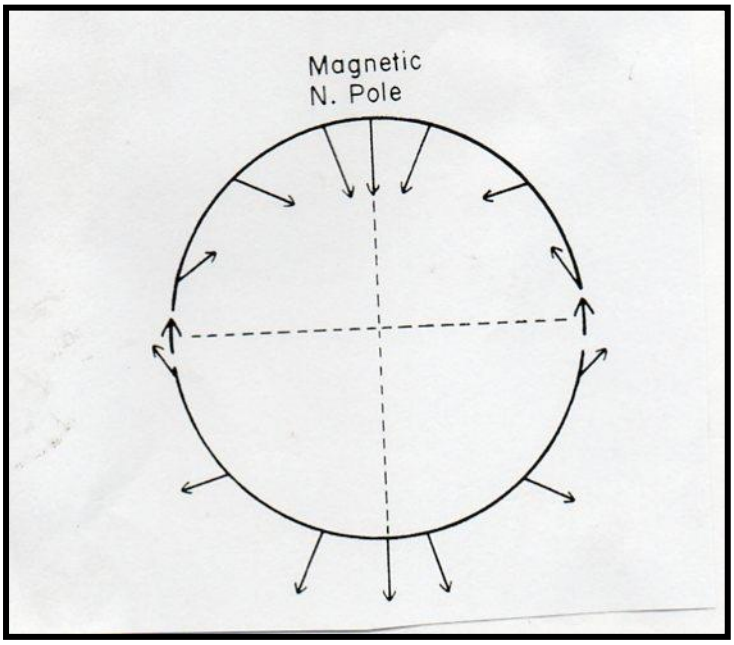
أما الاتجاه للمجال المغناطيسي في المستوي العمودي ممكن ان يعرف من خلال زاوية الانحدار أو الميلان (I) مع الأفق

$$H = B \cos I$$

$$I = \tan^{-1}(Z/H)$$

$$X = H \cos D \text{ ، } Y = H \sin D \text{ ، } Z = B \sin I$$

وبما ان (H) المركبة الأفقية للمجال المغناطيسي على سطح الأرض دائما تتجه من الجنوب إلى الشمال (اتجاه الفيض المغناطيسي) لذلك فان (I) زاوية الانحدار أو الميل دائما يتم احتسابها بأنها تكون موجبة إذا كان المجال المغناطيسي الكلي يتجه نحو الأسفل باتجاه الشمال، وهذا يحصل في نصف الكرة الشمالي ويكون المجال المغناطيسي الكلي عمودي في القطب المغناطيسي الشمالي وتكون (I) زاوية ميل المجال المغناطيسي الكلي سالبة عندما يكون الميل للمجال المغناطيسي الكلي إلى الأعلى باتجاه الشمال في نصف الكرة الأرضية الجنوبي شكل (74-3) الخط الذي يربط بين زاويتي الانحدار أو الميل للمجال المغناطيسي العمودي التي تكون صفر أو تساوي صفر تسمى خط الاستواء المغناطيسي على سطح الأرض، ويكون قريب من خط الاستواء الجغرافي ولكنه غير متوازي معه ويختلف بحدود (11.5^{o}) عن محور دوران الأرض. النقاط على سطح الأرض التي يكون فيها المجال المغناطيسي الكلي عمودي نحو الأسفل ($+ \quad = \quad I 90^{o}$) أو عمودية نحو الأعلى ($- = I 90^{o}$)



شكل (74-3) توزيع المجال المغناطيسي الأرضي

المصدر: (Kearey, 1984, p179)

تسمى هذه النقاط (أقطاب الميل المغناطيسي) Magnetic Dip poles. على سطح الأرض يوجد قطبين واحد في نصف الكرة الأرضية الشمالي عند جزيرة بافين (Baffin Island) والآخر في نصف الكرة الجنوبي عند الجزيرة القطبية الجنوبية.

عندما نسير من خط الاستواء المغناطيسي نحو الأقطاب المغناطيسية فان شدة المجال للمركبة الأفقية سوف تقل والمركبة العمودية سوف تزداد وعند الأقطاب المغناطيسية لا توجد شدة مغناطيسية للمركبة الأفقية حيث تصبح صفر. عندما يوجد لدينا أي جسم معدني داخل أو متأثر بالمجال المغناطيسي الأرضي الذي يتجه نحو الأسفل عند ذلك سوف يكتسب ذلك الجسم مغناطيسية يكون فيها القطب الشمال في السطح السفلي للجسم المعدني والقطب الجنوبي يكون أو يظهر في السطح العلوي له، على شرط ان يكون الجسم المعدني له قابلية اكتساب جيدة أو موجبة للمغناطيسية، هذه الحالة توجد في نصف الكرة الشمالي أما في نصف الكرة الجنوبي فالحالة تكون بالعكس. هذه الحالة تتسبب أو توجد بسبب المركبة الأفقية للمجال المغناطيسي الأرضي الذي يؤدي إلى ظهور أو استقطاب مغناطيسي شمالي و جنوبي في الجسم المعدني والتي تتجه أو تؤثر دائما من الجنوب إلى الشمال.

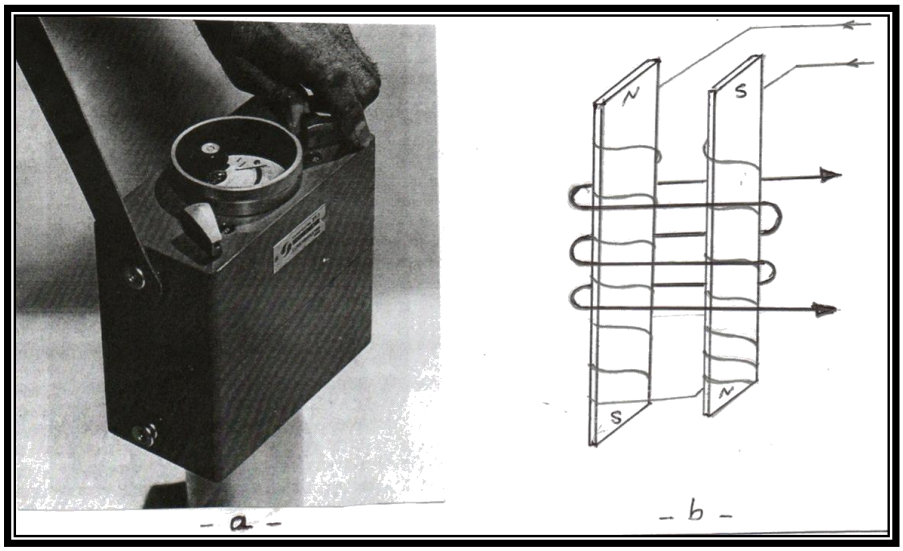
أجهزة قياس المغناطيسية Magnetic Instrument

إن قياس المجال المغناطيسي الأرضي (Magnetic field) خلال عمليات المسح الجيوفيزيائي المغناطيسي تجري دائما باستخدام أجهزة تسمى جهاز قياس المغناطيسية (Magneto meter). إن القيمة المستحصلة أو القراءة المسجلة من الجهاز لأحد عناصر أو مركبات المجال المغناطيسي في أي نقطة تمثل الفرق بين القراءة المسجلة في نقطة القياس وبين القراءات المسجلة في نقطة القياس المرجعية، أي هي عبارة عن قياسات نسبية. المركبة أو العنصر للمجال المغناطيسي التي تستخدم في القياس هي المركبة العمودية (Vertical Intensity)، المركبات أو عناصر المجال المغناطيسي الأخرى التي هي (ΔH) و (ΔZ)، المجال المغناطيسي الكلي (ΔB) من الممكن قياسها في المسح المغناطيسي الحقلي. عادة تستخدم العنصر أو المركبة العمودية (ΔZ) في المسح الحقلي المغناطيسي بسبب سهولة تفسير النتائج وسرعة استنتاج ابعاد وعمق الجسم المعدني الموجود تحت سطح الأرض.

معظم أجهزة القياس المغناطيسية تعتمد على حقيقة وهي استقرارية الإبرة المغناطيسية في المحطة المرجعية (Base station) ثم حصول حيود أو تغيير في استقراريتها في محطات القياس الأخرى اذ يحصل لها انحراف عن الاتجاه الأولى في المحطة المرجعية ، زاوية الحيود أو الانحراف هذه تستخدم لقياس التغايرات في المجال المغناطيسي الأرضي . ثابت المعايرة للجهاز يدخل في

حسابات القراءات المغناطيسية يتم ضرب ثابت المعايرة في القراءة المسجلة لنحصل منه على القراءات المغناطيسية بوحدات الكَاما(γ).

عادة ما تنجز المسوحات المغناطيسية فوق اليابسة سواء كانت اقليمية أو تفصيلية باستخدام اجهزة قياس مغناطيسية محمولة ومن اهم هذة الأجهزة هو الجهاز المسمى (Flux–gate) أو جهاز الذبذبة النووية والتي يعتمد على تقنية الذبذبة النووية للذرات التي ترسم شكلا مخروطيا حول محور دوران النواة (Nuclear precession) شكل رقم (75–3)

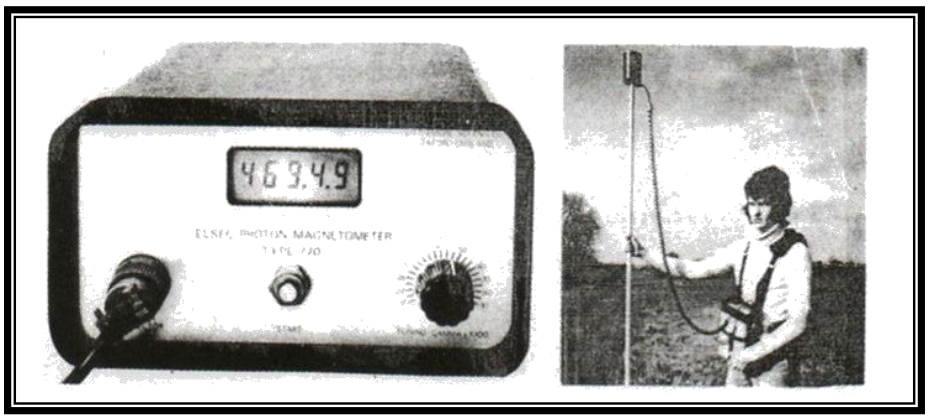


شكل (75–3)

(a) الشكل الخارجي لجهاز الذبذبة النوويةFlux–gate (b) المخطط الداخلي لجهاز Fiux – gate

يحتوي جهاز Flux–gate على لوحين متماثلين من مادة لها نفاذية مغناطيسية عالية وضعت بشكل متوازي ، ربطت على التوالي بملفات لولبية ولكن بشكل معكوس واستخدام ربط ثانوي ليحيط بالربطين الأوليين . يتم ربط الملفات الأولية إلى مصدر للتيار المتناوب (AC) ويتمغنط اللبان إلى حد الإشباع في اتجاهات متعاكسة ، مرتين لكل دورة ،أما الفولتية المحتثة في الملف الثانوي فتتناسب مع المعدل الصافي للتغيير في الفيض المغناطيسي (Magnetic flux) بسبب اللبيِّن والتي تساوي صفر في العادة .ان وجود مجال خارجي على طول محور اللبين سيعكر أو يغير من توازن الفيض وذلك بإعادة تقوية المجال المثير في احد اللباب وعكسه في اللب الآخر للمجال الخارجي كالمجال الذي للأرض، تتناسب الفولتية الثانوية مع قوة المجال المغناطيسي. يمكن استعمال هذا النوع من الأجهزة لتسجيل أي مركبة أو عنصر من عناصر المجال المغناطيسي الأرضي. تتميز هذه الأنواع من الأجهزة بأنها خفيفة الوزن ولا تحتاج إلى معايرة دقيقة وهي سريعة في العمل الحقلي وتكون الدقة في القياس تصل إلى حد قليل من النانوتسلا.

من اجهزة القياس المغناطيسية الشائعة الاستخدام هو الجهاز المسمى بروتون (Proton Magneto meter) والذي يتكون بصورة رئيسية من وعاء يحتوي على سائل هيدروكاربوني يحتوي على عدد كبير من نويات الهيدروجين محاطة بملف نحاسي، وعند سريان تيار مباشر في الملف فانه يؤدي إلى توليد مجال مغناطيسي الذي يؤدي إلى تراصف البروتونات في ذرات السائل التي تسبب العزوم الدورانية باتجاه هذا المجال المغناطيسي، عند إزالة هذا المجال بشكل مفاجئ تبقى عزوم البروتونات الدائرة في ذبذبة نووية لفترة قصيرة حول المجال الأرضي المحيط تؤدي إلى حدوث فولتية صغيرة في الملف، التردد (F) لهذه الفولتية هو مقياس للمجال الكلي للأرض (F) ويمكن قياسه بدقة تصل إلى جزء من المليون. الفائدة المهمة من استخدام هذا النوع من الأجهزة هو ان التوجيه ليس مهم، فقط يجب المحافظة على إن المجال المستقطب يجب ان يعمل زاوية كبيرة مع اتجاه المجال المغناطيسي الكلي للارض. شكل رقم (76-3).



شكل رقم (76 – 3)

جهاز قياس المغناطيسية نوع proton حيث يلاحظ جزء الوعاء الحاوي على السائل.

نوع أخر من أجهزه قياس المغناطيسية هو جهاز البخار القلوي (Alkali Vapor) ذات الحساسية العالية وتسمى أيضا أجهزة قياس المغناطيسية ذات الامتصاص البصري (optical absorption) وفكرته مبنية على تعريض ذرات معدن قلوي مثل السيزيوم (Cesium). بما ان الغلاف الخارجي لهذه الذرات تحتوي على إلكترون منفرد فيمكن تحرير هذا الإلكترون باستخدام بخار المعادن القلوية ، لهذه الحالة يمكن ملاحظة حصول تحول في حالة الطاقة ،هذة الاختلافات في الطاقة تعطي ترددات عالية جدا يمكن ان تقاس باستخدام تقنية معقدة نسبيا واستخدام حزمة ليزرية يمكن تحويلها إلى قياس المجال المغناطيسي الأرضي. وبما ان حساسية هذا النوع من الأجهزة عالية جدا فان استخدامها محدود في مجال المسح الجيولوجي الحقلي بالإضافة إلى كلفتها العالية جدا.

العمل الحقلي الجيومغناطيسي Geomagnetic Survey

أول خطوة يقوم بها الجيوفيزيائي عند البدء بالعمل الحقلي الاستكشافي باستخدام المسح الجيومغناطيسي هو فحص ومعايرة الجهاز المستخدم في المسح الجيوفيزيائي. انتباه وحذر شديد يجب ان يؤخذ من قبل الشخص القائم بالعمل الحقلي، يجب ان يجرد نفسه وملابسه من أي مواد حديدية مثل الساعة، الحزام، سحابة الملابس لتأثيرها الواضح على القرارات المغناطيسية، كون جهاز – Flux gate يحمل ملاصقا لجسم الشخص، السيارة المستخدمة يجب ان توضح بعيدا بمسافة 20 متر على الأقل عن أجهزة القياس، لأنها جميعا تؤثر على القراءات المغناطيسية.

كما هي الحالة في المسح الجذبي يتم استخدام خارطة طبوغرافية وتثبت عليها شبكة مسح متسامتة نظامية عليها مسارات المسح ونقاط القياس المغناطيسية. المسافة بين نقاط ومواقع القياس المغناطيسية تعتمد على عمق الاستكشاف المطلوب مع ذلك فهي دائما تكون ذات مسافات اقل مما هي عليه في المسح الجذبي بالإضافة في حالة وجود تشويش على القرارات يحصل من مواد مغناطيسية سطحية.

بما إن المجال الجيومغناطيسي متغير مع الزمن لذلك يتوجب إعادة القراءات المغناطيسية في المحطة المرجعية بصورة دورية لتسجيل التذبذب في القراءات المغناطيسية مع الزمن كونها غير منتظمة ومتغيرة لذلك فان الأسلوب الأفضل المتبع بهذه الحالة هي وضع جهاز ثاني لقياس المغناطيسية في المحطة المرجعية يسجل بصورة منتظمة القراءات المغناطيسية مع الزمن طيلة فترة العمل الحقلي.

بما إن أجهزة قياس المغناطيسية حساسة جدا وذات دقة عالية لذلك يجب ترك أو إبعاد نقاط القياس لمسافة كافية وتجنب التأثيرات على القراءات المغناطيسية التي تصدر من الحواجز الحديدية سكك الحديد، أبراج الأسلاك الكهربائية، السيارات مواد البناء المسلحة بالحديد، اقلام الجاف....الخ وينصح بالابتعاد على طابوق البناء والفخار الذي ممكن ان يكون ذات مغناطيسية عالية أو الطرق التي ترصف بالحصى الذي من الممكن ان يمتلك مواد مغناطيسية.

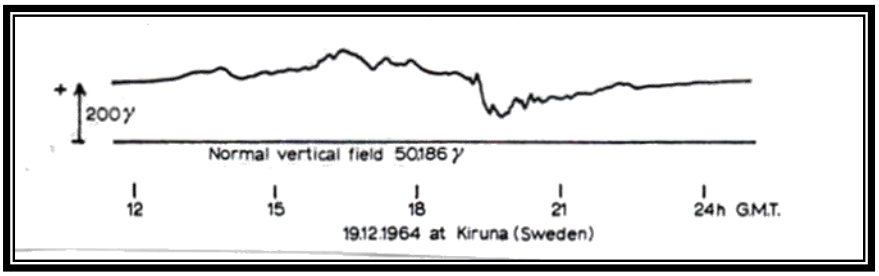
بصورة عامة إن تطبيق واستخدام الطريقة المغناطيسية في المسح الجيوفيزيائي يتسم بالسرعة وسهولة التطبيق في التضاريس الأرضية الصعبة، ممكن لشخص واحد انجاز قراءة مئات من القياسات المغناطيسية في اليوم الواحد. في كل محطة قياس يجب تسجيل زمن القياس مع القراءة المسجلة مع أية ملاحظات أخرى عن طبوغرافية وجيولوجية المنطقة المدروسة مع أية تفاصيل عن المصادر المغناطيسية المتوقعة، أية دراسات سابقة مع تفسير للصور الجوية إن وجد. في نهاية العمل الحقلي اليومي يجب أن تكون آخر قراءة مسجلة هي التي في المحطة المرجعية والتي يجب ان تتطابق مع وقت القراءة اليومية لنفس المحطة.

تصحيح القراءات المغناطيسية Correction to Magnetometer Observation

أياً كان الجهاز المستخدم في العمل الحقلي الجيوفيزيائي، هناك بعض التصحيحات. يجب إجراؤها على نتائج القياسات المغناطيسية ومن أهمها هي:

1- التصحيح اليومي Diurnal Correction

تشبه عملية التصحيح اليومي عملية تصحيح المجذاب في الطريقة الجذبية عادة ما يتم وضع جهاز ثاني لقياس المغناطيسية في المحطة المرجعية الغرض منه الاستمرار بتسجيل القراءات المغناطيسية بصور دورية ومنتظمة على مدار ساعات العمل اليومي، لغرض معرفة التغيرات المغناطيسية Diurnal Variation، يتم رسم منحني القراءة المسجلة مع الزمن يتم من خلاله تصحيح القراءات في محطات القياس شكل رقم(77-3).



شكل رقم (77-3) التذبذب اليومي في المجال المغناطيسي الأرضي

المصدر (parasnis, 1984, p.36)

الطريقة الأخرى المعتمدة في تصحيح الانحراف اليومي هي إعادة تسجيل القراءات المغناطيسية في المحطة المرجعية بصورة منتظمة كل (2-1) ساعة خلال ساعات العمل اليومي ، اذا كانت هناك زيادة في القراءات المغناطيسية المعادة ، فان كل قراءة يتم تسجيلها يتم إنقاصها بمقدار $d*t/T$

حيث ان: d = مقدار الزيادة في القراءة المسجلة

t = وقت القراءة المسجلة في المحطة بعد قراءة المحطة المرجعية الأولى

T = الفترة الزمنية لإعادة القراءة في المحطة المرجعية .هذه القيمة في الزيادة تشمل كذلك الانحراف في جهاز قياس المغناطيسية وكذلك التغايرات التي تحصل في الجهاز من جراء فروقات درجة الحرارة.

2-تصحيح العواصف المغناطيسية Magnetic Storm Correction

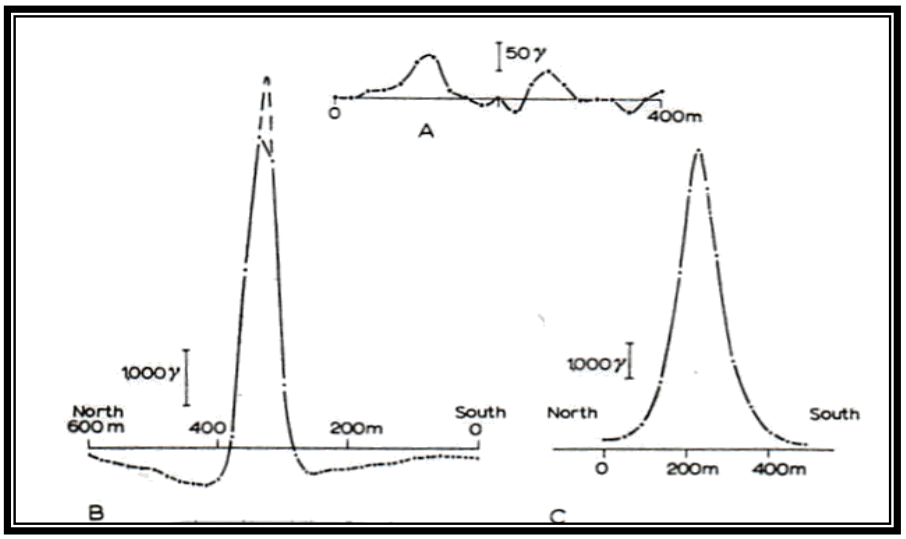
العواصف المغناطيسية التي تحصل بصورة مفاجئة وشديدة التي تسبب تغايرات في المجال المغناطيسي الأرضي تؤثر على القراءات المسجلة في أجهزة القياس المغناطيسية خلال عمليات المسح الجيوفيزيائي ، ونظرا لعدم وجود طريقة مقنعة للتصحيح لهذه الحالة ، والتي يمكن التعرف عليها عند حصول تغايرات أو تذبذب كبيرة في قراءات الجهاز لذلك يجب إيقاف عمليات المسح خلال

فترة حصول هذه العواصف ، تجربة وخبرة الجيوفيزيائي تسهل كثيرا في التعرف على هذه العواصف المغناطيسية.

مستوى الصفر The Zero Level

أهم نقطة تؤخذ بنظر الاعتبار دائما في المسوحات الجيومغناطيسية الاستكشافية لغرض معرفة الشواهد والشواذ المغناطيسية في منطقة ما هي تحديد وتعيين ما يسمى بمستوى الصفر Zero Level والتي يعنى بها إن القراءة المسجلة من قبل الجهاز في أي نقطة قياس معينة عند عدم وجود أي تشويه أو حيود في القراءات المغناطيسية من مكونات جيولوجية تحت سطح الأرض فهذا يعني وجود المجال المغناطيسي الطبيعي للأرض فقط .لذلك يستعمل مستوى الصفر كمستوى مرجعي لبداية القراءات المغناطيسية ان كافة القراءات المغناطيسية المسجلة والمستحصلة من عمليات المسح الجيومغناطيسي تصحيح إما بالإضافة أو بالطرح من هذا المستوى عند نهاية عمليات المسح المغناطيسي والفروقات في القراءات المغناطيسية عن هذا المستوى هي التي تمثل الشذوذ أو الحيود المغناطيسي الذي نهتم به في عمليات المسح الجيوفيزيائي والتي تقوم على أساسها عمليات تفسير هذه الشواذ.

القراءات المغناطيسية المسجلة طيلة فترة المسح الجيومغناطيسي إذا كانت ثابتة أو هناك متغيرات بسيطة، هذا يدل على ان الخلفية المغناطيسية هي التي تؤثر فقط، أي المجال المغناطيسي الأرضي (شكل رقم a 78–3) حيث تعتبر معدل القراءات للجهاز في هذا الجزء من المسح المغناطيسي يساوي صفر. ان حصول أي زيادة أو نقصان في محطات القياس الأخرى عن هذه القيمة تعتبر حيود أو شذوذ مغناطيسي ناتج من وجود مكونات أو خامات جيولوجية تحت سطح الأرض.



شكل رقم (78–3) تعيين مستوى الصفر المغناطيسي

المصدر: (parasnis, 1984, p.38)

يمكن أن نستدل على مستوى الصفر من جوانب شكل المنحني المستحصل عندما يحصل فيه تغيير حاد نحو الجوانب من الاتجاهين ويكون بهذه الحالة مقارب إلى مستوى الصفر (شكل 3-78 c).

إن تفسير الشواذ المغناطيسية يعتمد بالدرجة الأساس وبصورة كبيرة على اختيار مستوى الصفر. إن اختيار مستوى الصفر يؤثر بصورة كبيرة على حسابات العمق والامتداد والحجم للجسم المعدني الموجود تحت سطح الأرض في منطقة الدراسة.

في حالة وجود شواذ سالبة، ان حجم وسعة المنحني الواقع في الاتجاه السالب (شكل 3- 78 b) يعتمد على اختيار مستوى الصفر إن الحد الأدنى من المنحني هو الذي يحدد منه أو يشخّص من خلاله السطح أو العمق إلى الجسم المعدني المسبب لهذا الحيود المغناطيسي السالب.

تفسير الشواذ المغناطيسية Interpretation of Magnetic Data

إن الغرض الأساسي من تفسير الشواذ المغناطيسية المستحصلة من مرحلة المسح الجيومغناطيسي هي استنتاج ومعرفة شكل، حجم وعمق الجسم المعدني أو التركيب الجيولوجي المسبب لهذه الشواذ المغناطيسية. مع ذلك يمكن ملاحظة ان هناك عدد كبير من الإشكال والأحجام لأجسام معدنية وتراكيب جيولوجية التي تعطي عدد كبير من المشاهدات والشواذ المغناطيسية المتشابهة وغير المتشابهة، لذلك تعتبر الطريقة المغناطيسية لوحدها غير كافية لتفسير أو توضيح الغموض في القراءات والنتائج المستحصلة أو الاستدلال من خلالها على التراكيب الجيولوجية الموجودة تحت سطح الأرض.

هناك عاملان رئيسيان يجعلان من تفسير النتائج المغناطيسية اكثر صعوبة وتعقيد وهي:-

1- الطبيعة القطبية الثنائية للمجال المغناطيسي.

2- اتجاه المغناطيسية في الصخور المسببة للشذوذ المغناطيسي. لذلك في بعض الأحيان يتم اللجوء إلى استخدام طريقة التجربة والخطأ (Try and Error) في تخمين مقدار وشكل الشواذ المغناطيسية فوق الأجسام المعدنية، يمكن وضع أو تصميم موديل أو نموذج للشذوذ ويحسب من خلاله عمق، شكل وحجم الجسم المعدني الموجود تحت سطح الأرض ثم بعد ذلك يتم مطابقة النتائج الحسابية مع النتائج المستحصلة من الحقل إلى ان نحصل على تطابق جيد مع الشذوذ عندها يمكن معرفة وحساب العمق ومميزات الجسم المعدني أو التركيب الجيولوجي تحت سطح الأرض.

أبعاد وقياسات الجسم المعدني التي يمكن التعرف عليها من خلال نظرية الأقطاب المغناطيسية هي :-

1- العمق إلى سطح الجسم المعدني العلوي.

2- طول وامتداد الجسم المعدني أو التركيب الجيولوجي.

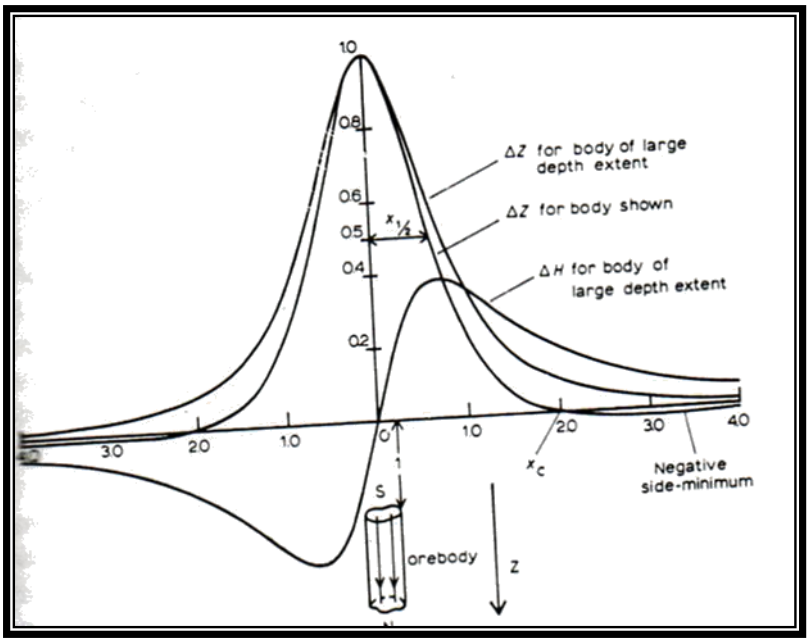
3- شكل الجسم المعدني Attitude.

4- العمق إلى السطح السفلي للجسم المعدني.

5- الشدة المغناطيسية (يفترض ان تكون ثابتة في كافة أنحاء الجسم المعدني).

هذه العوامل جميعا يمكن استنتاجها ومعرفتها من خلال التعرف على سعة وكبر منحني الشذوذ المغناطيسي بينما طول الجسم المعدني، الميل والامتداد يمكن استنتاجها والتعرف عليها من شكل أو نمط المنحني الشذوذ المغناطيسي.

لنفترض ان لدينا جسم معدني تحت سطح الأرض على شكل اسطوانة طولية عمودية على سطح الأرض شكل (79-3).



شكل رقم (79-3) جسم معدني على شكل مغناطيسي اسطواني عمودي

(المصدر: parasnis, 1984, p39)

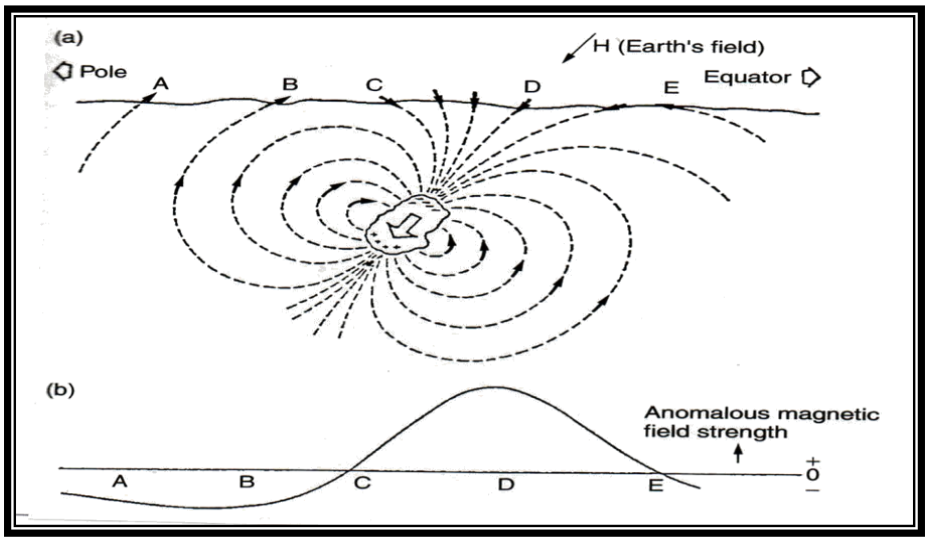
إن المركبة للمجال المغناطيسي Z / μ_o التي تمثل قوة المجال الأرضي المغناطيسي العمودية تؤثر على هذا الجسم المعدني في الاتجاه العمودي لذلك فان المركبة Z / μ_o تتجه نحو الأسفل وبذلك تكون قابلة التمغنط موجبة (positive susceptibility) كما هي الحال في جميع الترسبات المعدنية، القطب الشمالي الموجب سوف يتكون في السطح السفلي والقطب الجنوبي السالب

يتكون على سطح العلوي، وبذلك يصبح الجسم المعدني عبارة عن مغناطيس كبير وتكون خطوط القوى المغناطيسية كما هي الحال في الشكل (71-3).

إذا كان الخط الأفقي الواقع فوق الجسم المعدني يمثل سطح الأرض، سوف نجد في المكان الواقع مباشرة فوق مركز الجسم المعدني ان الشذوذ المغناطيسي المستحصل سوف يكون عموديا نحو الأسفل ويكون موجب وان المجال المغناطيسي للجسم المعدني في هذا المكان ليس له مركبة أفقية. المكان الواقع بين مركز الجسم المعدني والنقطتين A و B في الشكل (71-3) لا يزال المجال المغناطيسي له مركبة تتجه عموديا نحو الأسفل بالإضافة إلى امتلاكه مركبة أفقية تتجه نحو مركز الجسم المعدني. أما في النقطتين A و B نلاحظ عدم وجود مركبة عمودية أما في مكان ما بعد هذين النقطتين A و B في الاتجاهين الآخرين نلاحظ إن قوة المجال أو مركبة المجال المغناطيسي تتجه نحو الأعلى وبذلك في هذه الأماكن يكون الشذوذ المغناطيسي سالب، بالإضافة إلى ان القوة الأفقية لا تزال تتجه نحو مركز الجسم المعدني.

الشكل (79-3) نلاحظ فيه منحني الشذوذ المغناطيسي النموذجي الذي يمثل المركبة العمودية $Z\Delta$ والمركبة الأفقية $H\Delta$ المسجلة على طول مسار مسح جيوفيزيائي يمر بمركز الجسم المعدني،المنحني الثالث يمثل المركبة العمودية $Z\Delta$ عند زيادة العمق للجسم اكثر يلاحظ فيه ان شكل منحني شذوذ يأخذ بالاتساع نحو الجهتين في حين ان شكل الشذوذ يكون حاد إذا كان الجسم المعدني قريب من سطح الأرض.

الحالة الأخرى النموذجية إذا كان الجسم المعدني مائل بدرجة ميل معينة في احد اتجاهات سوف نحصل على شكل منحني للشذوذ والمغناطيسي يكون فيه المنحني سالب في اتجاه ميل الجسم المعدني أكثر مما هو عليه في الجانب الآخر شكل (80-3)، أي نحصل على عدم تجانس أو عدم تناظر في شكل المنحني.



شكل (80-3) المصدر: (John Milson, 2003, p.68)

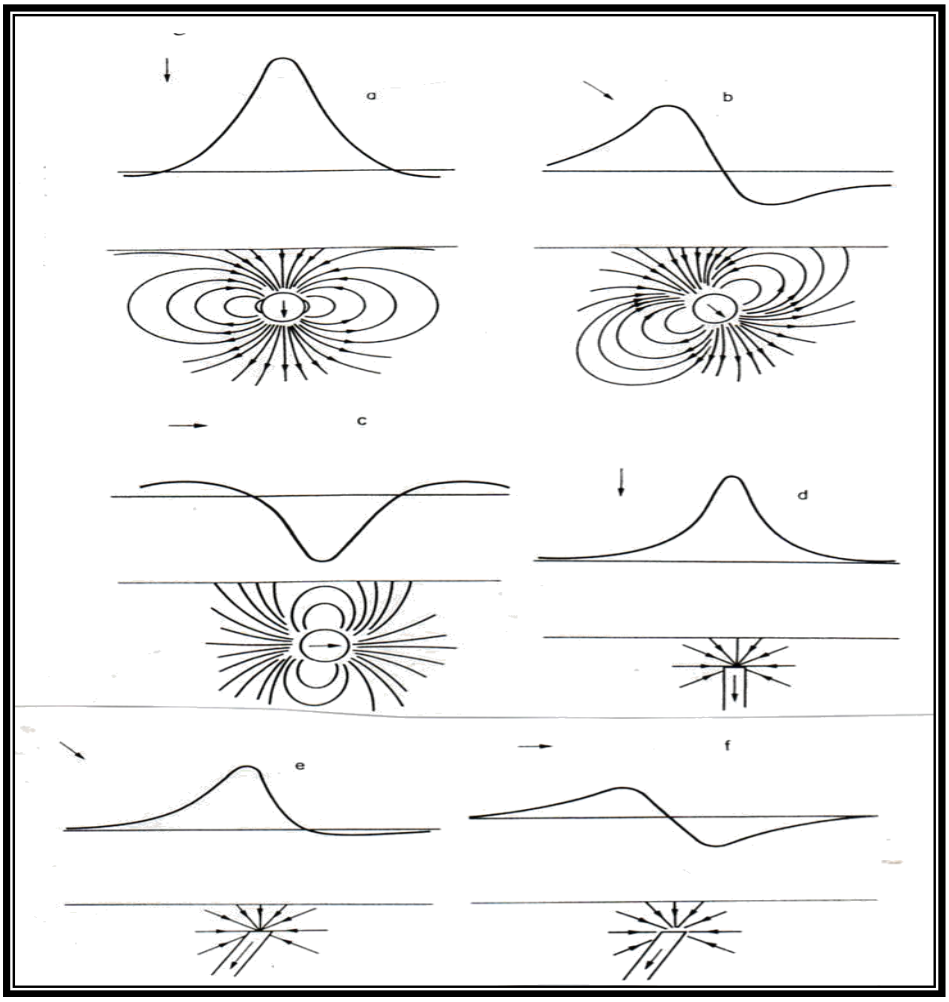
في هذه الحالة نحصل على شذوذ موجب في المكان الواقع بين النقاط D و C فوق الجسم المعدني أما في النقاط الواقعة بعيدا سوف نحصل على شذوذ سالب خاصة في النقاط E و A.

لغرض القيام تفسير الشذوذ والشواهد المغناطيسية يجب أن تعرف حقيقة إن هناك علاقة بين الشذوذ المغناطيسية وزاوية الميل المغناطيسي التي تعتمد على خط العرض، أي ان أي جسم معدني يمتلك حساسية مغناطيسية أو مغناطيسية محتثة أو طبيعية يمكن ان تتأثر الشواذ المغناطيسية الناتجة منه بموقعه على الأرض، حيث نلاحظ ان نفس الجسم المعدني عند وجوده قرب خط الاستواء يمتلك شواذ مغناطيسية تختلف عن تلك في حالة وجوده قرب القطبين أو ما بينهما، بالإضافة عن اختلاف شكل الشواذ المغناطيسية في حالة تمثيله بشكل شدة مغناطيسية أو المركبة العمودية أو الأفقية، يقسم تفسير الشواذ المغناطيسية إلى قسمين:-

1- التفسير النوعي Qualitative Interpretation

يبدأ هذا التفسير بوصف كامل لخارطة الشذوذ المغناطيسي (Magnetic Isoanomaly map) بالفحص البصري لشكل واتجاه توزيع الشذوذ مثل مواقع الشواذ على الخارطة، سعة وامتداد الشواذ الموجبة والسالبة، استطالة وانتشار خطوط تساوي الشدة المغناطيسية Contours مطابقة هذا الوصف مع المعلومات والخارطة الجيولوجية للمنطقة ومعرفة مسببات هذه الشواذ مثل وجود صخور مغناطيسية، وجود حوض رسوبي ذات سمك تربة معين، وجود تراكيب جيولوجية تؤثر على التضاريس السطحية في منطقة الدراسة مثل وجود فالق أو كسور ممكن ان تؤدي إلى حصول انقطاع مفاجئ في امتداد خطوط تساوي الشدة المغناطيسية إلى غير ذلك من المعلومات المستحصلة من الدراسات السابقة التي ممكن ان تساعد على تسهيل مهمة التعرف على مسببات الشواذ المغناطيسية التي تظهر على الخارطة المغناطيسية.

الشكل رقم (81-3) يوضح مختلف أنواع الشواذ المغناطيسية التس تستحصل من مجال مغناطيسي باتجاهات مختلفة ($0^{O},45^{O},90^{O}$) من أجسام معدنية على شكل عمود أو قضيب مغناطيسي طويل يعمل كأحادي القطب موضوع في مجال مغناطيسي باتجاهات مختلفة.



شكل (81-3) نماذج من شواذ المجال المغناطيسي الكلي

المصدر: (Griffiths, 1986, p.178)

حساب العمق إلى الجسم المعدني Depth Calculation

هناك مجموعة من الطرق المستخدمة لحساب العمق إلى الجسم المعدني اما باستخدام نماذج للمنحنيات المغناطيسية والتي تشتمل على مقارنة نمط الشذوذ الملحوظ مع مجاميع شواذ قياسية لغرض تقدير حجم وعمق المصدر المسبب للشذوذ المغناطيسي أو يستخدم شكل منحني الشذوذ المغناطيسي لاستنباط العمق إلى المصدر المغناطيسي بدلالة نصف العرض والشكل أو تستخدم عادة قوانين رياضية للاستدلال من خلالها عن عمق وحجم وامتداد الجسم المعدني وسوف نستعرض هنا بعض الطرق الشائعة لحساب هذه المتغيرات و كما يلي :-

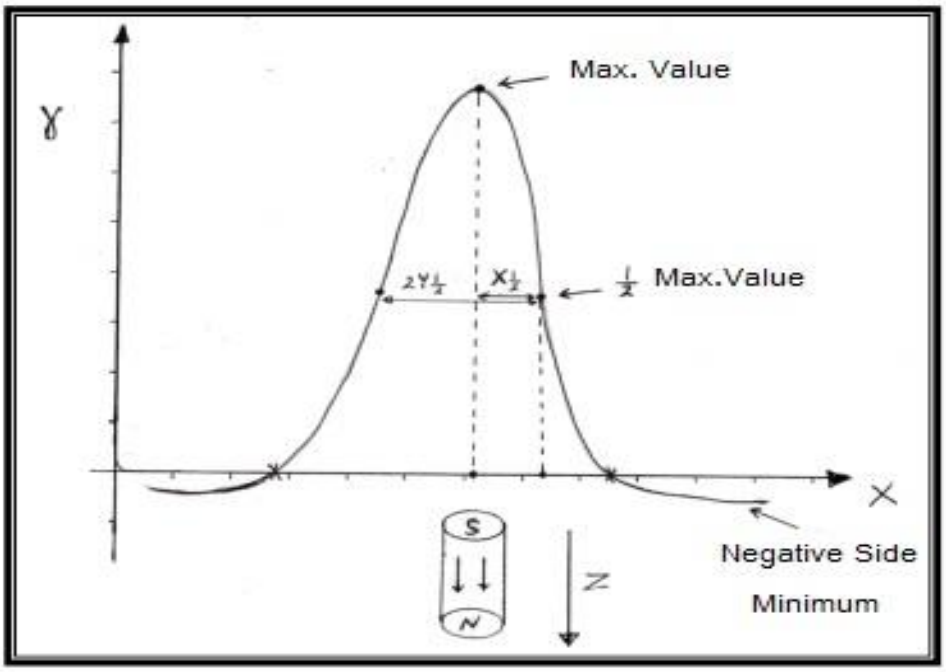
1- حساب العمق بدلالة نصف العرض Half width

يمكن حساب العمق إلى السطح العلوي للجسم المعدني باستخدام منحني الشذوذ المغناطيسي بدلالة نصف العرض لهذا المنحني. المسافة على المحور السيني الممتدة من اعلى نقطة في منحني الشذوذ fzmax إلى النقطة على المنحني التي تمثل نصف قيمة

الشذوذ الكلي $\frac{1}{2}$fzmax هذه المسافة تسمى بنصف العرض x $\frac{1}{2}$ (شكل رقم 82-3). في الحالات الاعتيادية كما هي في حالات الكشف عن الترسبات المعدنية ان نصف العرض $x\frac{1}{2}$ يساوي العمق إلى السطح العلوي لهذه الترسبات. من خلال التجربة على أشكال ونماذج متعددة ثم التوصل إلى ان نصف العرض يجب أن يضرب بقيمة أو عامل قدره (1 أو 2) اعتمادا على طول امتداد وعمق الجسم المعدني حتى يمكن استنتاج العمق التقريبي إلى السطح العلوي للجسم المعدني وكما في الجدول رقم (4-3).

جدول رقم (4-3) حساب العمق إلى الجسم المعدني

طول الجسم المعدني	امتداد العمق	
	كبير	صغير
طول الجسم الكبير	$(1.0-1.1)\times\frac{1}{2}$	$(1.4-1.7)\times\frac{1}{2}$
طول الجسم الصغير	$(1.2-1.3)\times\frac{1}{2}$	



شكل رقم (82-3) حساب العمق بدلالة نصف العرض

2- حساب طول أو امتداد الجسم المعدني Strike Length

من الممكن استنتاج طول أو امتداد الجسم المعدني المسبب للشواذ المغناطيسية باستخدام منحني الشذوذ المغناطيسي بدلالة المسافة بين نقطتين تقعان على جانبي المنحني عند نقطتي نصف القيمة العالية للقراءة المغناطيسية (شكل 81-3) هذه المسافة تسمى $2Y\frac{1}{2}$ حيث ان طول الجسم المعدني يساوي المسافة على المحور السيني المقابل للقيمة $2Y\frac{1}{2}$.

3- درجة ميل أو انحدار الجسم المعدني Dip of Ore body

إن اتجاه ميل الجسم المعدني ممكن ان تتعرف عليه من ملاحظة وجود عدم تماثل (Asymmetry) في شكل منحني الشذوذ المغناطيسي عندما يكون مسار المسح المغناطيسي بصورة عمودية على مضرب الجسم المعدني. إن شكل منحني الشذوذ المغناطيسي ينحدر من احد جوانبه بصورة بطيئة باتجاه الميلان للطبقة (شكل رقم 81-3 e,f).

4- امتداد العمق للجسم المعدني Depth Extend

يمكن التعرف على امتداد عمق الجسم المعدني من خلال تفسير وتحليل شكل منحني الشذوذ المغناطيسي. نلاحظ اذا كان الجسم المعدني قريب من سطح الأرض فان شكل المنحني المغناطيسي المستحصل منه يمتلك انحدار قوي أو حاد Sharp في حين اذا كان الجسم المعدني بعيد عن سطح الأرض فان شكل المنحني يكون متسع وواسع.

في حالة زيادة عمق السطح السفلي للجسم المعدني (زيادة في سمك الجسم المعدني) Depth Extend بهذه الحالة يكون تأثير القطب المغناطيسي السفلي للجسم المعدني قليل التأثير وعليه فان الشذوذ المغناطيسي للمركبة العمودية ΔZ سوف ينحدر بصور حادة وسريعة من القيمة العليا له.

في حالة إذا كان الجسم المعدني عبارة عن مغناطيس مائل بدرجة معينة في احد الاتجاهات، فان ذلك يظهر على شكل المنحني (الجزء السالب) من الجهة التي يظهر بها ميل حيث ان المنحني يمتلك سعة اكبر عما هو عليه في الجزء المقابل له.

5- حساب العمق للاجسام المعدنية باستخدام قوانين رياضية

من الممكن استنتاج العمق إلى الأجسام المعدنية المختلفة بدلالة قوانين رياضية بسيطة تعطي نتائج جيدة حول مواصفات هذه المصادر وكما يلي:-

أ- جسم معدني عبارة عن قطب منفرد Single pole كما هي الحالة في جسم بركاني مدفون تحت سطح الأرض على مسافة قريبة ونهايته الأخرى بعيدة جدا عن سطح الأرض، الجزء العلوي منه له قوة قطب مغناطيسي مقدارها (m) يمكن ان نتعرف على العمق (h) كما في العلاقة التالية:-

$$f_{Z\,max} = \frac{m}{h^2}$$

حيث ان $f_{Z\ max}$ تمثل قيمة شدة المجال المغناطيسي العمودي بوحدات النانوتسلا.

ب- جسم معدني على شكل خط قطب Line of pole مثل الأجسام والحواجز البركانية المخترقة والعروق المعدنية Dyke بهذه الحالة يمكن حساب العلاقة التالية:-

$$f_{Z\ max} = \frac{2m}{h}$$

في الاستكشافات الجيوفيزيائية للتراكيب تحت السطحية يكون العمق هو المتغير الأكثر أهمية المراد تقديره وحسابه إلى المصدر المسبب للشذوذ المغناطيسي، تم حديثا ابتكار واستحداث العديد من البرامج الحاسوبية التي تتضمن المعالجات الرياضية لمعطيات الشذوذ والتي تتمكن من انجاز سلسلة من العمليات تلقائيا مثل عمل الخرائط الكنتورية للشواذ المغناطيسية وعمل خرائط الشذوذ المتبقي والمشتقة الثانية ورسم مقاطع الشذوذ الرئيسية مع تقدير معامل الحجم والعمق لسلسلة من النماذج المفترضة وكذلك رسم الكنتورات لعمق القاع، على شرط ان تتوفر معلومات جيولوجية عن المنطقة ممكن ان توجه عمليات التفسير هذه.

استخدمت طرق المسح الجيوفيزيائي المغناطيسي في دراسة أنواع كبيرة من التراكيب الجيولوجية التي يتراوح عمقها من كتل القاع العميقة إلى أجسام الترسبات المعدنية القريبة من أسطح الأرض. لقد استخدمت الطريقة المغناطيسية بصورة واسعة في الاستكشافات النفطية، التحري عن خام الحديد وكذلك في رسم طبوغرافية صخور القاعدة.

4- الطريقة الكهربائية والكهرومغناطيسية

Electric and Electromagnetic Method

معظم المسوحات الجيوفيزيائية المستخدمة في عمليات الاستكشاف المعدني تستند على قياس فرق الجهد الكهربائي Potential والمجال المغناطيسي المستحدث من جراء سريان تيار كهربائي في التكوينات الصخرية تحت سطح الأرض، هذا الفرق في الجهد الكهربائي يعتمد على الاختلاف في قابلية التكوينات الصخرية على مقاومة سريان التيار الكهربائي خلالها. بعض هذه التيارات الكهربائية موجودة بصورة طبيعية في الصخور ناتجة من عوامل عديدة أهمها عمليات الأكسدة – الاختزال والعمليات الكهربائية أو من جراء عمليات الحث المغناطيسي الناتج بتأثير المجال المغناطيسي الخارجي Atmospheric Magnetic field.

التيارات الكهربائية المستخدمة في عمليات المسح الكهربائي نوعان، اما تيارات تستحدث صناعيا بواسطة معدات وأجهزة متخصصة لهذا الغرض ثم يمرر هذا التيار عبر التكوينات الصخرية في باطن الأرض، ويسمى المسح الكهربائي بهذه الحالة بالمسح الكهربائي المباشر أو – DC Survey إما المسح الجيوفيزيائي الذي يستخدم تيار كهربائي مستحدث بعمليات الحث المغناطيسي

فيسمى بالمسح الجيوفيزيائي أو EM – Survey وبذلك يمكن تصنيف الطرق الكهربائية إلى نوعين بالاعتماد على مصدر التيار الكهربائي.

1- الطرق التي تستخدم التيار الكهربائي الصناعي Artificial Current

ويتم ذلك بإمرار تيار كهربائي باستخدام أقطاب التيار الكهربائي توضح على سطح الأرض، ثم تسجيل الاختلافات في انتشار الجهد الكهربائي عبر استخدام أقطاب الجهد، وتقسم هذه إلى عدة طرق هي:-

أ- طريقة المقاومية الكهربائية Resistively Method

ب-طريقة الحث القطبية Induced Polarization Method (IP)

ج- طريقة الجهد المتساوي Equipotential Method

د- الطريقة الكهرومغناطيسية Electro magnetic Method (EM)

أهم هذه الطرق وأفضلها هي طريقة المقاومية وذلك لسهولة وكثرة استخدامها ودقة النتائج المستحصلة من القراءات.

2- الطرق التي تستخدم التيار الأرضي الطبيعي Telluric Current

الذي ينتج من الحث في المجال المغناطيسي للأرض وكذلك من الجزيئات المشحونة في الايونسفير أو من تأثيرات كهروكيميائية في الأرض وتقسم إلى عدة طرق وأهمها هي:-

أ – طريقة الجهد الذاتي Self – Potential Method (SP)

ب- طريقة التيار الأرضي – المغناطيسي Magnetic – Telluric Method

ج- طريقة التردد السمعي AFMAG (Audio Frequency Magnetic)

د- طريقة التردد الواطئ جدا VLF (Very Low Frequency)

الطريقة الكهربائية لها تطبيقات واسعة في الاستكشافات الهيدروجيولوجية خاصة في تحديد أعماق مكامن المياه الجوفية والتمييز بين نوعية المياه الجوفية العذبة والمالحة، والكشف والتمييز بين الصخور الرملية الحاملة للمياه والتكوينات الطينية. الطريقة الكهربائية أصبحت وسيلة فعالة في الكشف والتحري عن خامات الكبريتيدات Sulphide Ores والخامات المعدنية الفلزية بالإضافة إلى تعيين الحدود الفاصلة بين الطبقات الصخرية التي تمتلك مقاومة مختلفة فيما بينهما.

أ- طريقة المقاومية الكهربائية (مفهوم المقاومية والتوصيلية)

Resistivity and Conductivity

الطبقات الصخرية والتكوينات الجيولوجية تحت سطح الأرض تختلف في صفاتها وخصائصها الفيزيائية والمعدنية اعتمادا على ظروف نشأتها وتكوينها، مما أوجد اختلافات وتباين في قابلية هذه الصخور على إيصال التيار الكهربائي. إن خاصية المقاومية الكهربائية للمادة عادة ما يعبر عنها بدلالة مقاومتها على إمرار التيار الكهربائي. المعادن الفلزية والخامات الكبريتيدية Sulphides لها قابلية على إيصال التيار الكهربائي عن طريق الالكترونات وبذلك يكون الطريقة الكهربائية ملائمة في حالة استخدامها في الكشف عن هذه الخامات، معظم الصخور الحاملة للمعادن تكون رديئة التوصيل التيار الكهربائي، التيارات الكهربائية التي تسري في الصخور في هذه الحالة يتم عن طريق الايونات المتكونة في المسامات الحاملة للمياه (توصيل الالكتروليتي) قابلية هذه الصخور على إيصال التيار الكهربائي تعتمد على نسبة وجود الأملاح الذائبة في هذه المياه وبالأخص وجود كلوريد الصوديوم، المعادن الطينية عادة تكون نشطة أيونياً ولها قابلية عالية على نقل التيار الكهربائي بواسطة الايونات خاصة مع وجود كميات قليلة من المياه. الصخور الصلبة موصلات رديئة للكهربائية ولكن مع وجود شقوق أو كسور خلالها تعطيها صفة الإيصال الجيد الكهربائية، جدول رقم (5-3) يوضح المقاومية القياسية لمعظم انواع الشائعة من الصخور والخامات المعدنية.

جدول رقم (5–3)

المقاومية للأنواع الشائعة من الصخور والخامات

نوع الصخور أو الخام	المقاومية Ωm
Top soil	50 – 100
Loose sand	500 – 5000
Gravel	100 – 600
Clay	1 – 100
Weathered bedrock	100 – 1000
Sand stone	200 – 8000
Limestone	500 – 10000
Gabbro	100 – 500000
Granite	200 – 100000
Basalt	200 – 100000
Quartizite	500 – 800000
Pyrite ore	0.01 – 100
Pyrrhotite	0.001 – 0.01
Chalcopyrite	0.005 – 0.1
Galena	0.001 – 100
Sphalerite	1000 – 1000000
Magnetite	0.01 – 1000
Cassiterite	0.001 – 10000
Hematite	0.01 – 1000000

المقاومية وقانون أوم Ohm's Law and Resistivity

يعرف قانون أوم بأنه مقاومة موصل لو وضع على طرفيه فرق جهد مقداره واحد فولت يمر فيه تيار مقداره واحد أمبير، وبذلك فان فرق الجهد الكهربائي في نقطة تتناسب مع شدة التيار الكهربائي الذي يسير في نفس النقطة. أي إن:- $R = \frac{\Delta v}{I}$

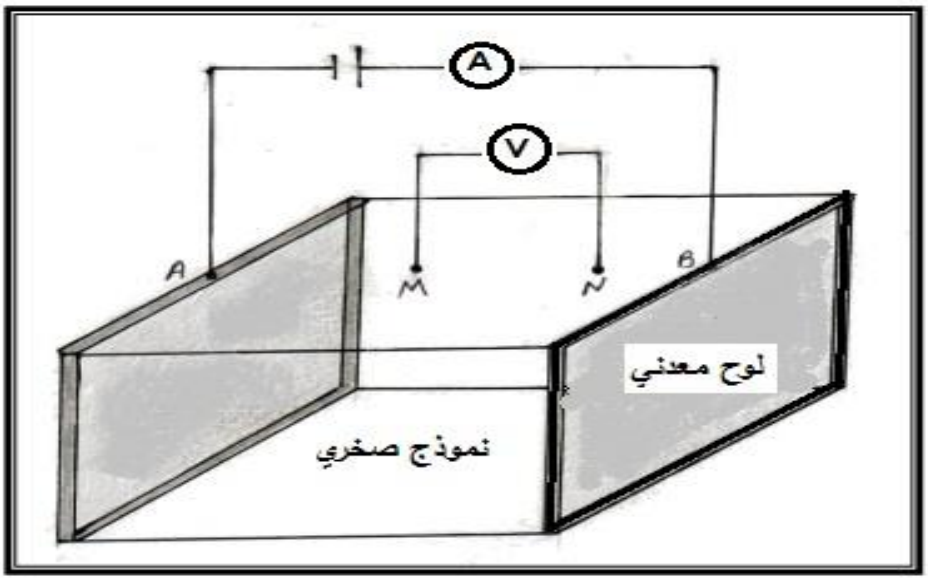
حيث أن:- Δv = فرق الجهد الكهربائي , I = شدة التيار , R = المقاومة

أما المقاومية للصخور Resistivity فتعرف بأنها المقاومة بالأوم Ohm بين طرفي أو سطحي وحدة مكعبة من المادة تفصل بينهما مسافة واحد متر، وحداتها هي أوم – متر

($\Omega.m.$)، في بعض الأحيان يستخدم مفهوم التوصيلية Conductivity وهي معكوس المقاومية وتقاس بوحدات موه (Mohs) ويرمز لها ($S.m^{-1}$).

حساب المقاومية الحقيقية والمقاومية الظاهرية

إحدى طرق قياس مقاومية الصخور مختبريا هي استخدام نموذج مادة مكعبة توضح على جانبية ألواح معدنية ملاصقة بجوانبه المتقابلة شكل (83–3).



شكل رقم (83–3) نموذج صخري لحساب المقاومية مختبريا

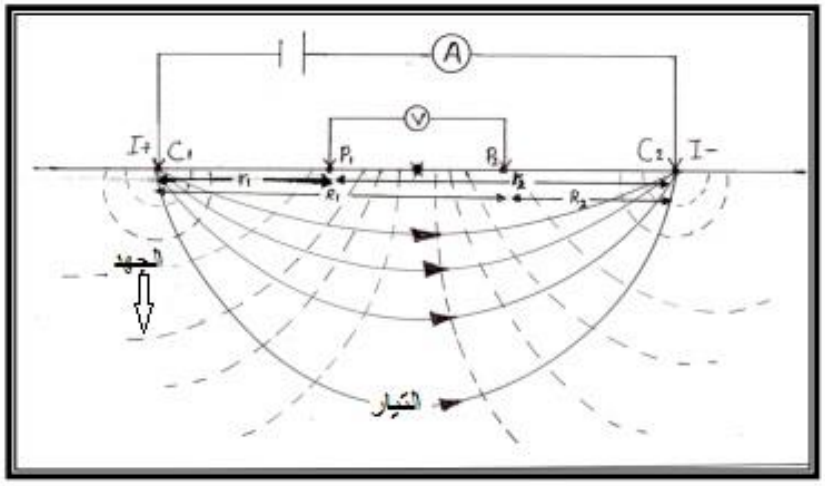
يتم إمرار تيار كهربائي من خلال هذه الألواح المعدنية، يقرأ فرق الجهد بين النقطتين M، N وعليه فان قانون المقاومية يصبح كما في العلاقة:–

$$\rho = \frac{\Delta v}{I} . \frac{A}{L} \quad \Omega m$$

حيث ان:– A = مساحة اللوح بالمتر المربع , L وM و N =المسافة بين النقطتين

في حالة إمرار تيار كهربائي داخل سطح الأرض عن طريق قطبين للتيار إحداهما سالب والآخر موجب ويقاس فرق الجهد بواسطة قطبين آخرين تربط إلى مقياس للفولتية على سطح الأرض. مخطط سريان خطوط التيار الكهربائي ومسارات الجهد كما موضح في الشكل (84–3) الذي يمثل مقطع عرضي في الأرض، هذه المسارات تكون على شكل سطوح نصف كروية تمتد داخل الأرض وتنتهي عند سطح الأرض، في هذه الحالة يوجد لدينا مسارات للتيار والجهد نصف كروية. لنأخذ فقط نقطتين واحدة للتيار C_1 واخرى للجهد P_1 تفصل بينهما مسافة (نصف قطر) قدرها r_1 فان فرق الجهد بهذه الحالة يكون كما في المعادلة:–

$$V = \frac{I \rho}{2 \pi r_1}$$



شكل رقم (84-3) رسم تخطيط يمثل مسارات التيار والجهد داخل سطح الأرض

أما في حالة وجود قطبين للتيار (C_1 ،C_2) وقطبين للجهد (P_1, P_2) فان فرق الجهد عند كل نقطة بين أقطاب التيار سوف تكون كما يلي:-

Potential at $P_1 = (VP_1) = (Vr_1 - Vr_2)$

عند التعويض في المعادلة السابقة يصبح لدينا

$$VP_1 = \frac{I\rho}{2\Pi}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

Potential at $P_2 = (VP_2) = (VR_1 - VR_2)$

$$VP_2 = \frac{I\rho}{2\Pi}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

$$\therefore \Delta V = VP_1 - VP_2$$

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\Pi}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

$$\therefore \rho = 2\Pi\frac{\Delta V}{I}\left(\frac{1}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}\right) \qquad \therefore \rho = K * \frac{\Delta V}{I}(\Omega.m)$$

حيث إن k تسمى بالعامل الهندسي أو ثابت النشر الذي تعتمد قيمته على المسافات بين أقطاب التيار وأقطاب الجهد وتحسب قيمة ثابت النشر كما في العلاقة التالية:-

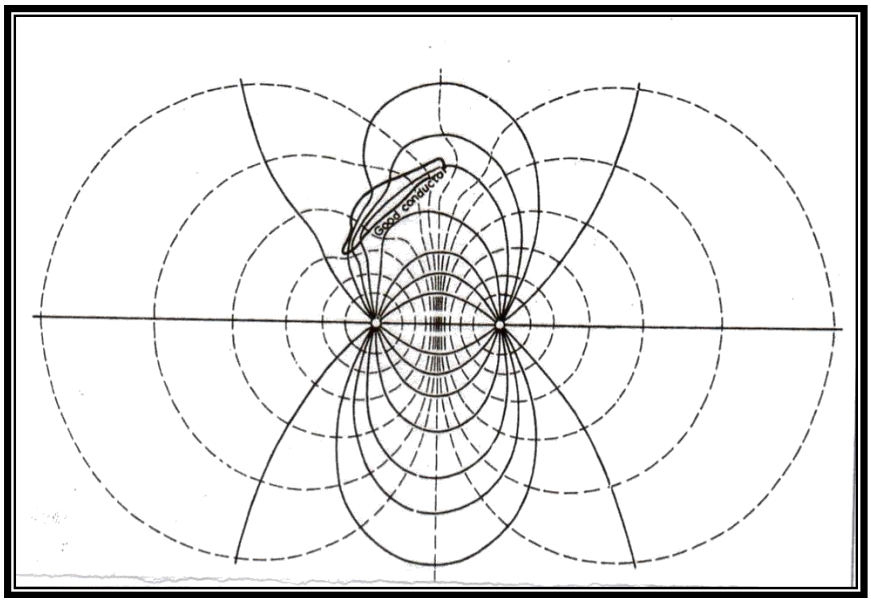
$$K = \frac{1}{2\Pi} * \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)\right]$$

إذا كانت الأرض متجانسة في الكثافات Homogeneous نحصل بذلك على المقاومة الحقيقية وذلك إن القرارات المستحصلة تبقى ثابتة مهما تغيرت المواقع والمسافات بين الأقطاب إذ إن تبديل ثابت النشر (K) تؤدي إلى تغيير في قيمة (ΔV) فقط تبقى قيمة المقاومية (ρ) ثابتة وهي القيمة الحقيقية. أما إذا كانت الأرض غير متجانسة فان قيمة المقاومية تتبدل وتتغير مع تبديل ثابت النشر

(K) أي مع تغيير مواقع الأقطاب وبذلك فان القيمة المستحصلة تمثل المقاومية الظاهرية (ρa) وهذه عادة هي التي نحصل عليها أثناء عمليات المسح الجيوفيزيائي الكهربائي. ان مفهوم المقاومية الظاهرية هو مفهوم شكلي يعتمد بصورة كبيرة على طبيعة الصخور وعدم تجانسها بالإضافة إلى ثابت النشر، إن قيمة ρa إذا كانت قليلة أو واطئة هذا يعني وجود جسم موصل جيد لكهربائية والعكس بالعكس.

مسار التيار الكهربائي داخل الأرض Electric Current inside the Earth

عرفنا في الفقرة السابقة عند إمرار تيار كهربائي إلى داخل سطح الأرض عبر التكوينات الصخرية بواسطة غرز قطبين للتيار الكهربائي ويتم قياس فرق الجهد المتكون من جراء سريان هذا التيار بواسطة قطبين آخرين تربط إلى مقياس الفولتية. نلاحظ من الشكل رقم (85-3) إن الخطوط السميكة تمثل خطوط مسار التيار الكهربائي داخل سطح الأرض تسير باتجاه القطب السالب من القطب الموجب، أما الخطوط المتقطعة فهي تمثل مسارات الجهد المتساوي، هذه المسارات يمكن تحسسها عند ربط قطبين إلى جهاز قياس الفولتية. دائما تكون خطوط الجهد المتساوي عمودية على مسارات خطوط التيار الكهربائي، إذ إن خطوط مسار التيار تكون عبارة عن مسارات نصف كروية تسير في الأرض وتقف عند سطح الأرض لعدم إمكانية عبور التيار الكهربائي إلى الهواء. ان خطوط الجهد المتساوي يكون فرق الجهد على طول هذه المسارات يساوي صفر دائما ولكنها تختلف عندما تتحول من مسار إلى اخر.



شكل رقم (85-3)

مخطط يوضح مسار خطوط التيار والجهد داخل سطح الأرض

المصدر (parasnis, 1984, p.162)

عندما تكون الصخور تحت سطح الأرض متجانسة ولا يوجد تغير في الكثافة أو المقاومية عندئذ تكون خطوط سريان التيار الكهربائي ومسارات الجهد المتساوي متجانسة وذات شكل هندسي متماثل، أما في حالة وجود عدم تجانس مثلا وجود جسم معدني سواء كان موصل جيد أو رديء التوصيل الكهربائية فعندها يحصل تشويه وانحراف في اتجاه مسار خطوط التيار الكهربائي وكذلك في مسارات خطوط الجهد إما بالزيادة أو النقصان. اذا كان الجسم المعدني الموجود رديء التوصيل للكهربائية (ذو مقاوميه عالية) فان مسارات التيار الكهربائي تميل إلى الانحراف بعيدا عن الجسم المعدني، وكذلك مسارات الجهد يحصل بها تقارب عند الجسم المعدني، وتكون ذات قيمة عالية، أما اذا كان الجسم المعدني جيد التوصيل للكهربائية (ذو مقاوميه قليلة) فان مسارات التيار الكهربائي تميل إلى الانحراف والسير نحو وخلال الجسم المعدني، أما مسارات الجهد فيحصل لها تباعد عند الجسم المعدني وتكون ذات قيمة عالية كما في الشكل (85-3). من هذه الاختلافات في قراءات الجهد الكهربائي ممكن ان يستدل من خلالها على وجود أجسام معدنية أو تراكيب جيولوجية وبالتالي يمكن تحديد مواقعها وأعماقها والتعرف على نوعية هذه التراكيب أو الأجسام المعدني.

طرق قياس المقاومية Resistivity Method Measurements

هناك طرق عديدة من طرق المسح الكهربائي تعتمد على ترتيب مختلف للأقطاب لكل طريقة ثابت نشر محدد للأقطاب ،هذه الطرق استخدمت جميعا في المسح الجيوفيزيائي الكهربائي الحقلي وأهمها هي:-

1- تشكيل فنر Wenner Configuration

في هذا التشكيل تتباعد الأقطاب الأربعة بمسافات ثابتة عن بعضها البعض وتكون على استقامة واحدة شكل رقم (86a-3) ، ويرمز للمسافة بين الأقطاب بالرمز (a) وتعطى قيمة المقاومية الظاهرية حسب المعادلة التالية :-

$$Pa = 2\pi a \frac{\Delta V}{I}$$

هذه الطريقة تستخدم لنوعين من المسح الكهربائي الأرضي هو المسح الكهربائي الجانبي أو الأفقي والمسح الكهربائي العمودي .

أ- المسح الكهربائي الجانبي Lateral Survey

تكون المسافات بين الأقطاب الأربعة ثابتة (a) ويتم تحريكها جميعا على طول مسار المسح مع ثبات مركز التشكيل على نفس المسار . تستخدم في حالة الكشف عن الصدوع والكسور، التكهفات ، وكذلك التراكيب الجيولوجية القريبة من سطح الأرض .

ب- المسح الكهربائي العمودي Vertical electrical Sounding

في هذا النوع من المسح يكون مركز التشكيل ثابت في نقطة القياس على مسار المسح ثم يتم تحريك الأقطاب جميعا بعيدا عن مركز التشكيل بمسافات متساوية تبدأ بالزيادة المتساوية مع ابتعادها عن مركز التشكيل ، حيث ان مواقع الأقطابP_1،P_2 تحل محل أقطاب التيار في القراءة اللاحقة إذ إن المسافات تكبر بمقدار مكعب المسافة (a) أي إن :

a =2, 6, 18, 54, ….etc.

إلى ان نحصل على اقل قراءة ، بعدها يتم تحريك مركز التشكيل إلى نقطة القياس اللاحقة ، وهكذا تستخدم هذه الطريقة في حالة الكشف عن الحدود الفاصلة بين الطبقات وتحديد عمق صخور القاعدة والخامات الفلزية.

2- تشكيل شلمبرجر .Schlumberger Config

في هذا التشكيل توجد طريقتين لترتيب أقطاب الجهد نسبة إلى أقطاب التيار، الأولى تكون المسافة بين أقطاب الجهد(2ℓ) صغيرة بالمقارنة مع المسافة بين أقطاب التيار ($2L$) حيث تقع أقطاب الجهد خارج مركز التشكيل وتسمى بالطريقة العامة كما في الشكل (3-86 b).

تكون معادلة المقاومية بهذه الحالة هي

$$\rho_a = \frac{\pi}{2\ell} \cdot \frac{(L^2 - X^2)}{L^2 + X^2} \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

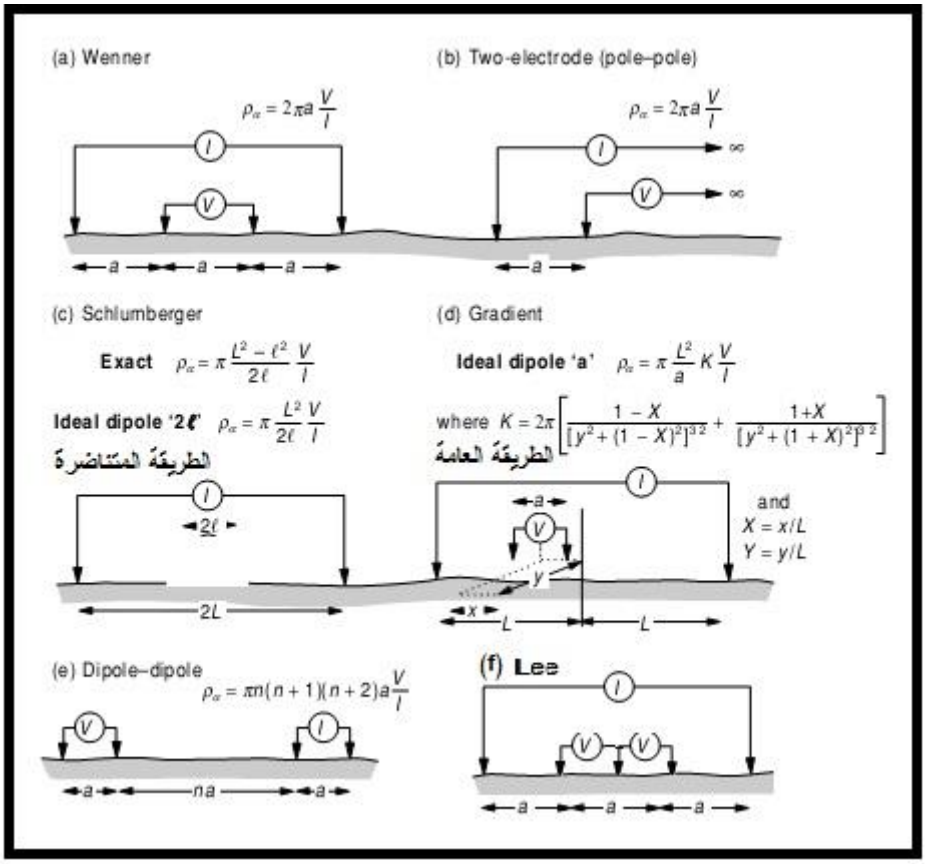
حيث ان:-

-:

تمثل المسافة بين مركز التشكيل والنقطة بين منتصف قطبي الجهد = X

المسافة بين احد أقطاب التيار ومركز التشكيل = L

المسافة بين احد أقطاب الجهد والنقطة الواقعة في منتصف المسافة بينهما= ℓ



شكل رقم (86-3) طرق ترتيب الأقطاب في المسح الكهربائي

الترتيب الثنائي والذي يسمى بالطريقة المتناظرة والتي تكون فيها المسافة بين أقطاب الجهد كذلك صغيرة (L 2) ولكنها تقع على طرفي مركز التشكيل وفي الوسط بحيث ان: - X = 0 والمسافة بين أقطاب التيار 2L كبيرة، معادلة المقاومية بهذه الحالة هي:-

$$\rho_a = \frac{\pi L^2}{2\ell} \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

تستخدم طريقة شلمبرجر للمسح الكهربائي في اسلوبين للعمل هي طريقة المسح الجانبي أو الأفقي Lateral Survey والمسح العمودي Vertical Sounding Survey. في المسح الأفقي يستخدم ترتيب الطريقة العامة التي تكون فيه أقطاب الجهد خارج مركز التشكيل وهي مناسبة في التحري والاستكشاف عن الطبقات الصخرية القريبة من سطح الأرض والتراكيب الجيولوجية مثل الكسور والصدوع. في هذه الطريقة تبقى أقطاب التيار (C_1, C_2) ثابتة على مسافات بعيدة عن مركز التشكيل وبمقدار حوالي عشر مرات اكبر من مسافة أقطاب الجهد، ويتم تحريك أقطاب الجهد (P_1, P_2) على طول مسار المسح بين C_1, C_2 ويبدأ المسح من مكان قريب من C_1 باتجاه C_2 بالإضافة إلى ذلك يستخدم ترتيب الأقطاب الثاني كما في الطريقة المتناظرة حيث تبقى أقطاب الجهد ثابتة حول مركز التشكيل ويبقى ترتيب التشكيل ثابت ويتم نقل مركز التشكيل مع كامل ترتيب الأقطاب من نقطة إلى أخرى. في المسح العمودي تكون فيه أقطاب الجهد ثابتة حول مركز

التشكيل اذ تكون قيمة (X = 0) ويتم تحريك أقطاب التيار (C_2 ,C_1) بعيدا عن مركز التشكيل وعلى مراحل حيث يتم زيادة المسافة (2L) وتؤخذ لقراءة في كل زيادة للمسافة.

طريقة شلمبرجر مناسبة للعمل الحقلي الجيوفيزيائي كونها سهلة العمل ولا تحتاج إلى جهد كبير ويتم تحريك قطبين فقط، بما إن أقطاب الجهد ثابتة المسافة فيما بينها فان تأثير عدم التجانس في الأرض القريبة soil يبقى ثابت وليس له تأثير على القرارات، مثلا عند البدا بعمليات المسح ونشر الأقطاب يتم بمسافة 2m تفصل بين أقطاب الجهد وتكون المسافة الفاصل بين أقطاب التيار 2L هي :-

10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100

وفي أي مرحلة من مراحل اخذ القرارات عندما تصل قيمة الجهد المسجلة إلى قراءة واطئة جدا، عندها تتم زيادة المسافة بين أقطاب الجهد إلى عشرة متر ثم تتم زيادة المسافة بين

أقطاب التيار ونبدأ من مسافة عشرون متر... وهكذا.

3- ترتيب ثنائي القطب- ثنائي القطب Dipole –Dipole system

في هذا الترتيب تكون أقطاب الجهد (P_2 ,P_1) تقعان خارج قطبي التيار. وكل زوج منهما له مسافة تباعد ثابتة مقدارها (a) شكل (3-86C)، إذا كانت المسافة بين الزوجين (na) كبيرة نسبيا، فان مصدر التيار يمكن معاملته كثنائي قطب كهربائي (مشابه لثنائي قطب المغناطيس) معادلة المقاومية بهذه الحالة هي:-

$$\rho_a = \pi n(n+1)(n+2)a.\frac{\Delta v}{I}$$

المسافة بين قطب التيار وقطب الجهد (P_1 – C_2) تكون متغيرة يتم زيادتها في حالة المسح العمودي.

تستخدم هذه الطريقة لغرض المسح الكهربائي العميق وكذلك استخدمت لرسم حدود المقاومية الافقية والعمودية في الأرض غير المتجانسة.

4- ترتيب القطب – ثنائي القطب Pole – Dipole System

في هذه الطريقة من ترتيب الأقطاب هناك أسلوبين من الترتيب للأقطاب الأول أن يكون احد أقطاب التيار C_1 ثابت ويقع على مسافة بعيدة (na) عن الأقطاب الثلاثة الأخرى والتي تكون المسافة بينهما متساوية (a)، المقاومية تعطى بالعلاقة التالية:-

$$\rho_a = 4\pi a.\frac{\Delta v}{I}$$

غالبا ما تستخدم هذه الطريقة لاستكشاف الأعماق (شكل d 85 – 4) اما الأسلوب الثاني في ترتيب الأقطاب هو أن يوضع قطب التيار C_2 على مسافة بعيدة جدا عن الأقطاب الثلاثة الأخرى بحيث يهمل تأثير هذا القطب (شكل d 86 – 4)، القراءة تسجل في منتصف المسافة بين أقطاب الجهد بدلا من مركز التشكيل غالبا ما تعطي نتائج مضللة عن أعماق الطبقات التي تتغير مع تغيير المسافة (a). حساب المقاومية يعطى بالمعادلة التالية:-

$$\rho_a = 2\pi n(n+1)a.\frac{\Delta v}{I}$$

5-ترتيب لي Lee Configuration

هذا التشكيل يشبه تشكيل فنر من حيث ترتيب الأقطاب ماعدا ذلك يتم فيه وضع قطب جهد إضافي (ρ_O) في مركز التشكيل يتم قياس قيمة الجهد الكهربائي بين الأقطاب ($\rho_O - \rho_1$) وكذلك ($\rho_O - \rho_2$) حيث نحصل على قراءتين للمقاومية (شكل 85e-3) قيمة المقاومية تعطى بالمعادلات التالية:-

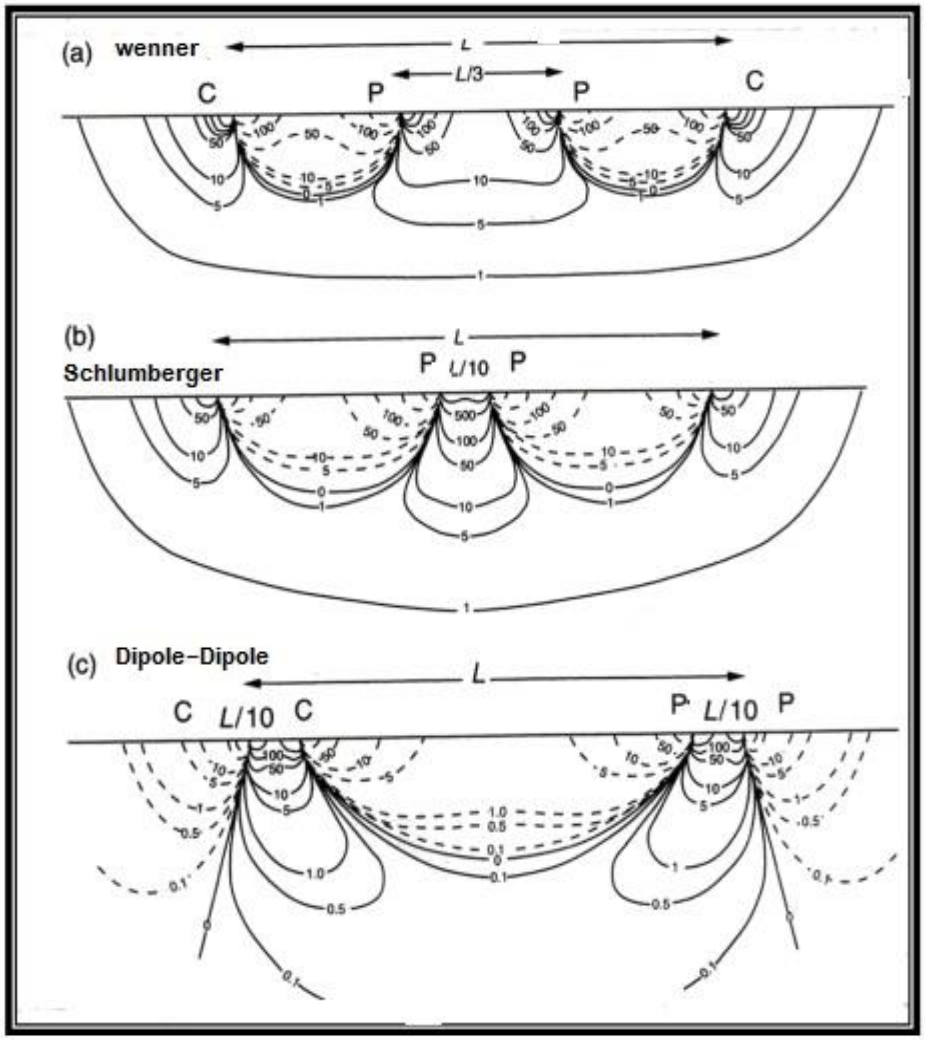
$$\rho_{a1} = 4\pi a.\frac{\Delta v_1}{I}$$

$$\rho_{a2} = 4\pi a.\frac{\Delta v_2}{I}$$

تجمع قيمتي المقاومية هذه لنحصل على قراءة واحدة للمقاومية كما هي الحالة في ترتيب فنر، تستخدم هذه الطريقة لاستكشاف عدم التجانس في الطبقات الأرضية.

عمق الاختراق Depth Penetration

عادة في المسح الجيوفيزيائي الكهربائي يتم اختيار نوع التشكيل وطريقة ترتيب الأقطاب على ضوء العمق المراد استكشافه أو اختراقه من قبل التيار الكهربائي، يعتمد عمق الاختراق على موصفات التيار الكهربائي المستخدم بالإضافة إلى المسافة الفاصلة بين أقطاب التيار الكهربائي (C_1, C_2) بشكل عام تقريبا يكون عمق الاختراق يساوي ربع المسافة بين أقطاب التيار الكهربائي (C_1, C_2 $\frac{1}{4}$)، الصفة الأخرى لتحديد عمق الاختراق هو تردد التيار المرسل ،إذ إن الأرض (Soil) لها قابلية كبيرة على امتصاص الترددات العالية بسرعة اكبر من امتصاصها للترددات الواطئة، لذلك كلما كان تردد التيار المرسل قليل كلما كان عمق الاختراق اكبر. نوع التشكيل المستخدم يعطي مرونة لاختيار عمق الاختراق على ضوء المسافات الفاصلة بين الأقطاب كما نلاحظ في الشكل رقم (87-3).

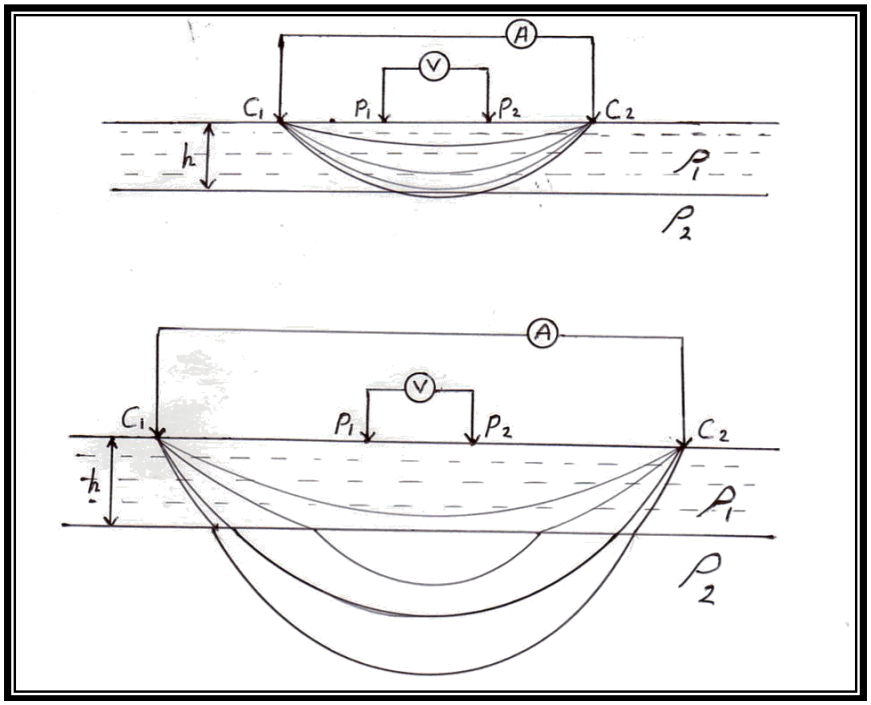


شكل رقم (3-87) مخطط يوضح عمق الاختراق مع خطوط التيار الكهربائي

المصدر: (John Milson, 2003, p: 103)

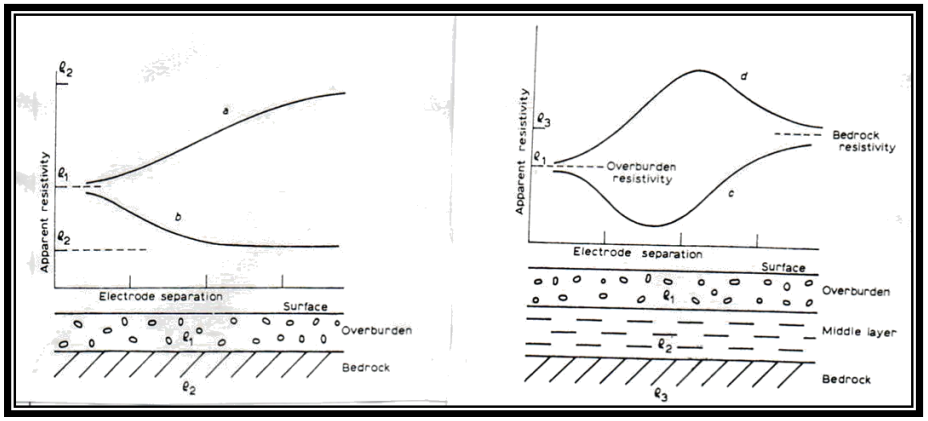
تفسر نتائج المسح الكهربائي Electrical Survey Interpretation

في حالة إجراء أعمال المسح الكهربائي في منطقة معينة متكونة من عدة طبقات صخرية أفقية، فان ذلك يتطلب معرفة واستكشاف الاختلافات العمودي في مقاومية هذه الطبقات، ان الهدف من إجراء المسح الكهربائي هو معرفة واستنتاج الاختلافات في المقاومية مع العمق تحت مسار مسح مثبت على سطح الأرض، ثم يتم مضاهاة هذه النتائج مع المعلومات الجيولوجية المتوفرة من مصادر أخرى لغرض استخلاص أعماق ومقاوميات هذه الطبقات الصخرية، طريقة العمل هذه تستند على أساس إن التيار يخترق مسافات أعمق كلما زاد التباعد بين أقطاب التيار الكهربائي في التشكيل المستخدم . يوضح لنا الشكل رقم (3-88) في حالة وجود طبقتين تختلفان في المقاومية، عندما تكون مسافة القطبين C_1, C_2 صغيرة



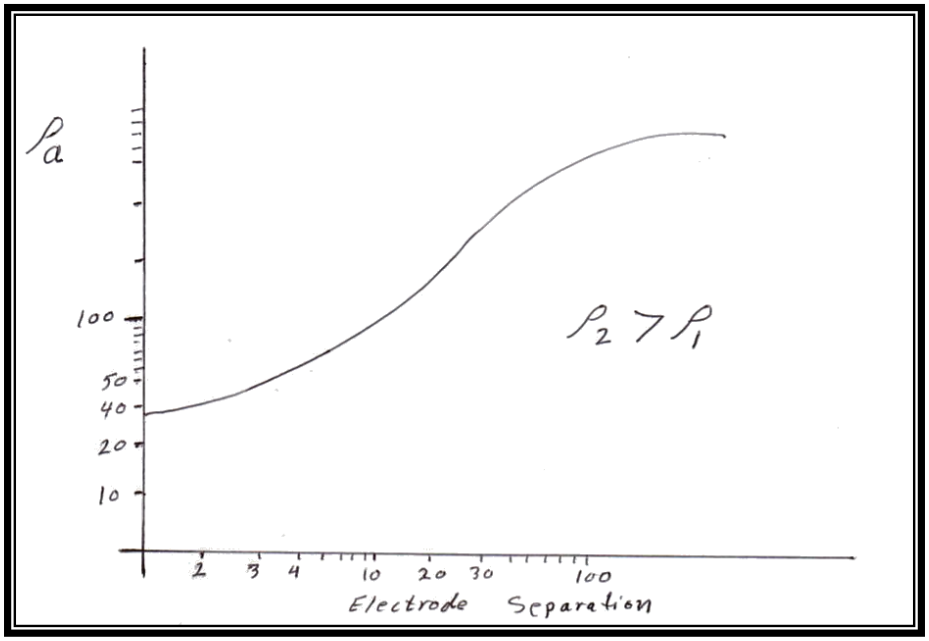
شكل رقم (88-3) قياس المقاومية مع زيادة المسافة بين الأقطاب

مقارنة مع السمك h للطبقة العليا بهذه الحالة فان المقاومية الظاهرية المقاسة ستكون للطبقة العليا وذلك لان جزءا صغيرا من التيار ربما سينفذ إلى الطبقة السفلى تحت الحد الفاصل بينهما، كلما زيدت المسافة الفاصلة بين الأقطاب، ذلك يؤدي إلى نفوذ وتغلغل جزء اكبر من التيار إلى عمق أكثر وبنفس الوقت يؤدي ذلك إلى تشوه خطوط انسياب التيار عند الحاجز، وعند مسافات اكبر فان المقاومية الظاهرية المقاسة تقترب أو تمثل المقاومية للطبقة السفلى الثانية ρ_2 لان جزء التيار المحصور في الطبقة السطحية سيصبح مهملا. في الشكل رقم (89-3) يظهر لنا المنحنيات النموذجية لطبقتين وثلاث طبقات حيث تتغير المقاومية الظاهرية كدالة لتباعد الأقطاب التيار في استكشاف الكهربائي المتناظر في لترتيب شلمبرجر.



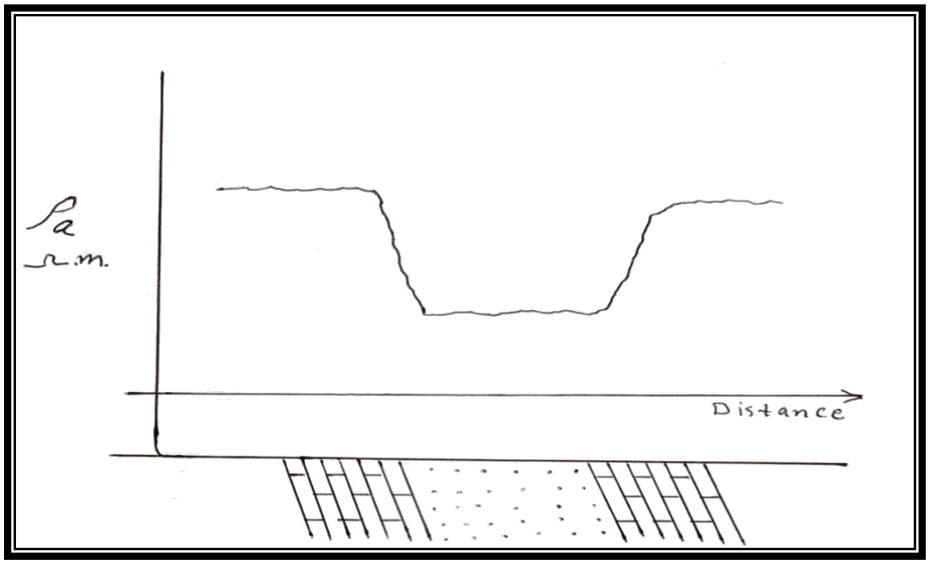
شكل رقم (89-3) منحنيات قياسية للمسح الكهربائي لطبقات افقية

في هذا الترتيب يثبت قطبا الجهد ويتحرك قطب التيار نحو الخارج بانتظام اما في ترتيب فنر للمسح الكهربائي العمودي يتم زيادة المسافة الفاصلة بين الأقطاب (a) بانتظام وعلى مراحل مع الاحتفاظ بنقطة الوسطية للترتيب (مركز التشكيل)، يظهر لنا الشكل رقم (90-3) في ترتيب فنر منحني قياسي لطبقتين اذا رسمت على ورق بياني لوغاريتمي يمكن قراءة a***P*** التقريبية من المنحني، حيث ان شكل المنحني يعتمد فقط على فارق المقاومية بين الطبقات والموقع وهذا يساعد كثير في تفسير الناتج.



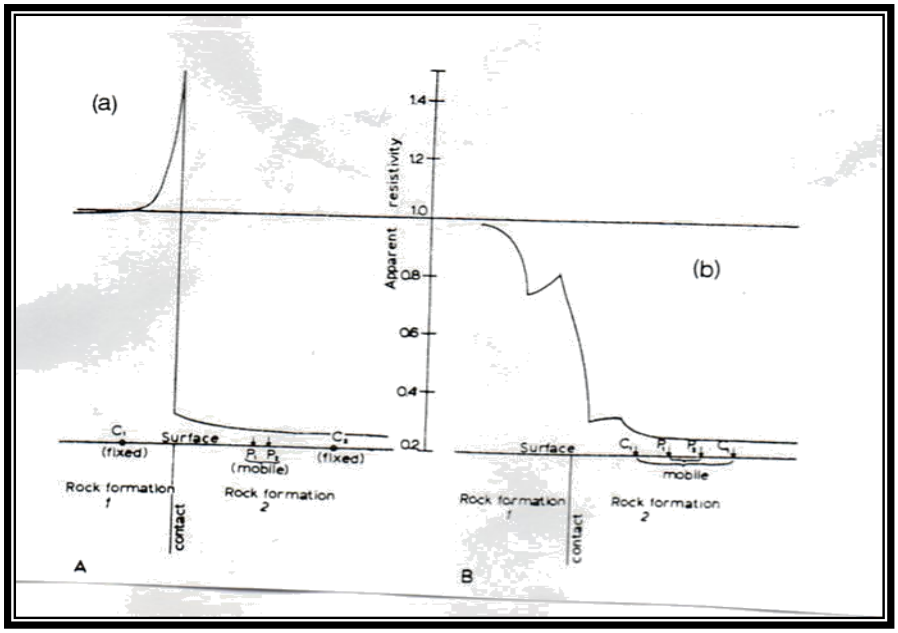
شكل رقم (90-3) منحني قياسي لطبقتين في ترتيب فنر

في حالة التحري والمسح الكهربائي الأفقي إذا كانت الطبقات أو الحواجز ذات مستويات عمودية بدلا من أفقية فيتم استخدام هذا الأسلوب من المسح لغرض اكتشاف الاختلافات الجانبية في مقاومية الأرض إلى عمق محدد. في طريقة شلمبرجر يبقى قطبي التيار ثابتين على مسافة كبيرة نسبيا (مئات قليلة من الأمتار) بينما يتم تحريك قطبا الجهد بمسافات ثابتة ومحددة على طول مسار المسح بين قطبي التيار C_2 ,C_1 وتحسب المقاومية الظاهرية من المعادلة لكل موقع من مواقع الجهد ثم في نهاية مسار المسح ينقل ترتيب شلمبرجر إلى الخط المجاور وهكذا، حتى يتم تغطية المنطقة كاملا المستهدفة بعمليات المسح، في حالة وجود تغايرات أفقية في المقاومية نحصل على شكل المنحني كما في الشكل رقم (91-3).



شكل رقم (91-3) منحني المسح الافقي في ترتيب شلمبرجر

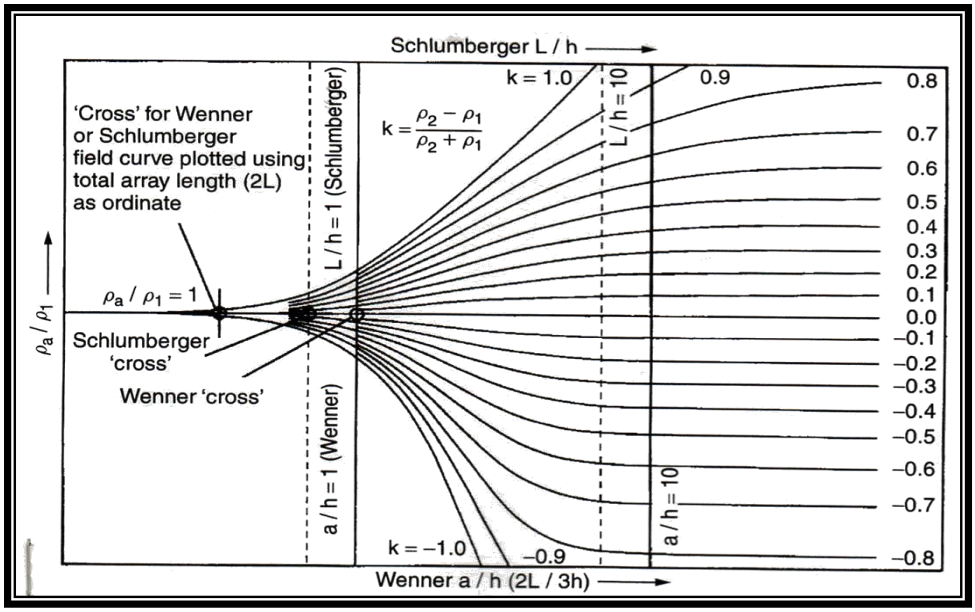
في حالة استخدام طريقة فنر للمسح الكهربائي الأفقي بهذه الحالة يتم تحريك الأقطاب الأربعة بمسافات محددة (a)تتحرك ككل بخطوات مناسبة على طول خط مسار المسح. ان اختيار المسافة (a) يعتمد على عمق الظاهرة أو التراكيب الجيولوجية المسببة للمقاومية الشاذة المراد استكشافها حيث يوضح لنا الشكل (92-3) منحنيات المقاومية الظاهرية التي تم الحصول عليها باستخدام طريقة شلمبرجر إلى اليسار وطريقة فنر إلى اليمين، تعتبر الانحدارات الحادة في منحني المقاومية دلائل مميزة على وجود تراكيب لها حواجز شبه عمودية مثل الفوالق، السدود القاطعة العروق المعدنية.



شكل رقم (92-3) منحني المقاومية الظاهرية عبر حد تماس عمودي

المصدر:(Parasnis, 1984, P, 175)

التفسير الكمي لنتائج المسح الكهربائي تعتبر صعبة جدا بالمقارنة مع بقية الطرق الجيوفيزيائية الأخرى، حيث تحتاج إلى تحليلات رياضية معقدة. ولغرض إجراء حسابات لمعرفة سمك الطبقات يجب اللجوء في هذه الحالة إلى إجراء التفسير الكمي لها، الطريقة السريعة والسهلة المتبعة هي بواسطة استخدام منحنيات معيارية قياسية شكل رقم (93-3)

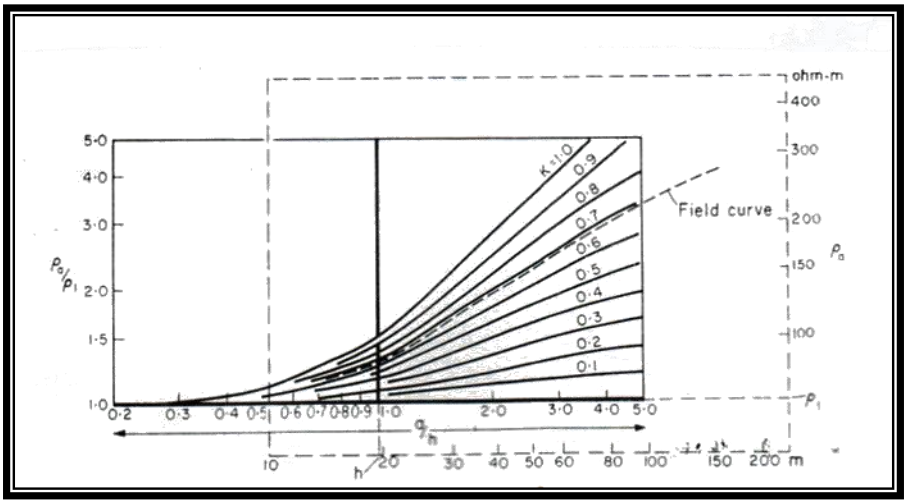


شكل رقم (93-3) المنحنيات القياسية للمقاومية إلى طبقتين لترتيب فنر وشلمبرجر

يكون تفسير النتائج لحالة طبقتين بنوعين في حالة إذا كانت $\rho_2 > \rho_1$ مثل الرواسب غير المتصلبة فوق صخور القاعدة أو في حالة $\rho_1 > \rho_2$ مثل الترسبات الرديئة التوصيل فوق طبقات الطين أو الرمال الأحسن توصيلا وفي أي من الحالتين يمكن إتباع الخطوات التالية لتفسير منحني فنر:-

1- نرسم منحني المقاومية الظاهرية المستحصل من العمل الحقلي على ورق شفاف ذو مقياس لوغاريتمي ثنائي حيث تكون ρ_a في المحور الصادي والمسافة a على المحور السيني.

2- نجري مطابقة أو مظاهات للمنحني الحقلي على مجاميع المنحنيات القياسية شكل (3-93) وتكون المجموعة العليا لحالة $\rho_1 > \rho_2$ والمجموعة السفلى لحالة $\rho_2 > \rho_1$، نحرك المنحني يمينا ويسارا مع المحافظة على جعل المحورين السيني والصادي يتوازيان مع محوري المنحنيات القياسية حتى يمكن الحصول على تطابق جيد (شكل 94-3).



شكل رقم (94–3) مضاهات المنحني الحقلي مع المنحنيات القياسية

المصدر: (Griffiths, 1981, p: 94)

وفي حالة وجود المنحني الحقلي بين المنحنيات القياسية يتم حساب قيمته التقريبية من قيم المنحنيات المجاورة له بطريقة الاستيفاء Interpolation

3- تحديد نقطة التقاطع أو نقطة الأصل للمنحنيات القياسية النظري التي تكون عندها $\rho_a / \rho_1 = a/h = 1$ وهذه النقطة تقابل نقطة على المنحني الحقلي التي نستطيع منها قراءة القيمة الحقيقية إلى مقاومية الطبقة العليا ρ_1 والعمق للطبقة الأولى h_1.

وحسب الشكل رقم (94–3) فان $h = 19.5m$ وقيمة $\rho_1 = 68\Omega m.$

4-تحسب قيمة k للمنحني الحقلي من خلال عملية المضاهات مع المنحنيات القياسية والتي تساوي تقريبا (0.7) .

5-باستخدام العلاقة التالية يمكن حساب المقاومية ρ_2 للطبقة الثانية :-

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} = 385\Omega m.$$

أو كما في العلاقة التالية

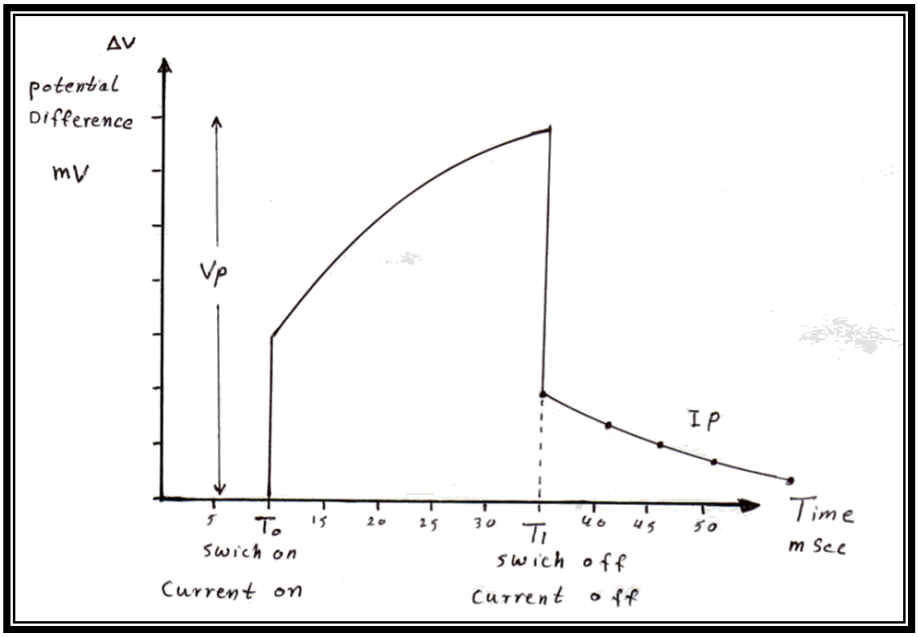
$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{(1+k)}{(1-k)} = 385\Omega m.$$

عند الحصول على منحني للمقاومة الظاهرية ρ_a باستخدام طريقة شلمبرجر فان عملية التفسير ستكون نفسها على الرغم من ان تطابق المنحني ينبغي عمله بمجموعة من منحنيات شلمبرجر القياسية. إن مسألة تفسير المنحنيات الثلاثية الطبقة هي اعقد من ثنائية الطبقة بسبب ازدياد عدد المتغيرات (ρ_3 , ρ_1 ρ_2 , h_1 و h_2)، مع تباعد أقطاب التيار كثيرا فان التيار الكهربائي سيدخل الطبقة الثالثة وبذلك تكون ρ_a تقترب من مقاومية الطبقة الثالثة ρ_3.

على العكس من التأثيرات التي تظهر في منحنيات الطبقات الأفقية فان تأثيرات التراكيب العمودية مثل الشقوق، الفوالق والعروق تكون جانبية وان تأثير هذه التراكيب يظهر في منحنيات المقاومية على شكل انقطاعات مفاجئة في ميل هذه المنحنيات شكل (3-92)، ان الفالق يمثل حد تماس بين وسطين مختلفين في المقاومية وان الانقطاع يكون واضحا في المسح الحقلي كانحدار حاد في منحني المقاومية بالإضافة إلى عدم التجانسات في التربة العليا تظهر على شكل انحناءات حادة في منحني المقاومية.

ب-طريقة الحث القطبية Induced polarization (IP)

كما لاحظنا سابقا في طرق قياس المقاومية، عند استخدام أي تشكيل يتم بواسطة إرسال تيار كهربائي عبر أقطاب التيار إلى الأرض وذلك يؤدي إلى ظهور جهد فولتائي بين أقطاب الجهد، ثم ملاحظة انه عندما يتم قطع التيار الكهربائي فان الجهد الفولتائي لا تصبح قيمته صفر مباشرة ولكنها تبقى لبعض الوقت تتحلل وتتناقص تدريجيا إلى ان تصل إلى درجة الصفر. وبالعكس فان قراءة الجهد الفولتائي بين أقطاب الجهد لا تصل إلى الحد الأعلى مباشرة بعد فتح التيار ولكنه يبدأ بالزيادة سريعا نحو القراءة الأعلى للجهد ثم يستمر بالزيادة التدريجية نحو اعلى قراءة (قمة القراءة) يمكن الحصول عليها (شكل 95-3).

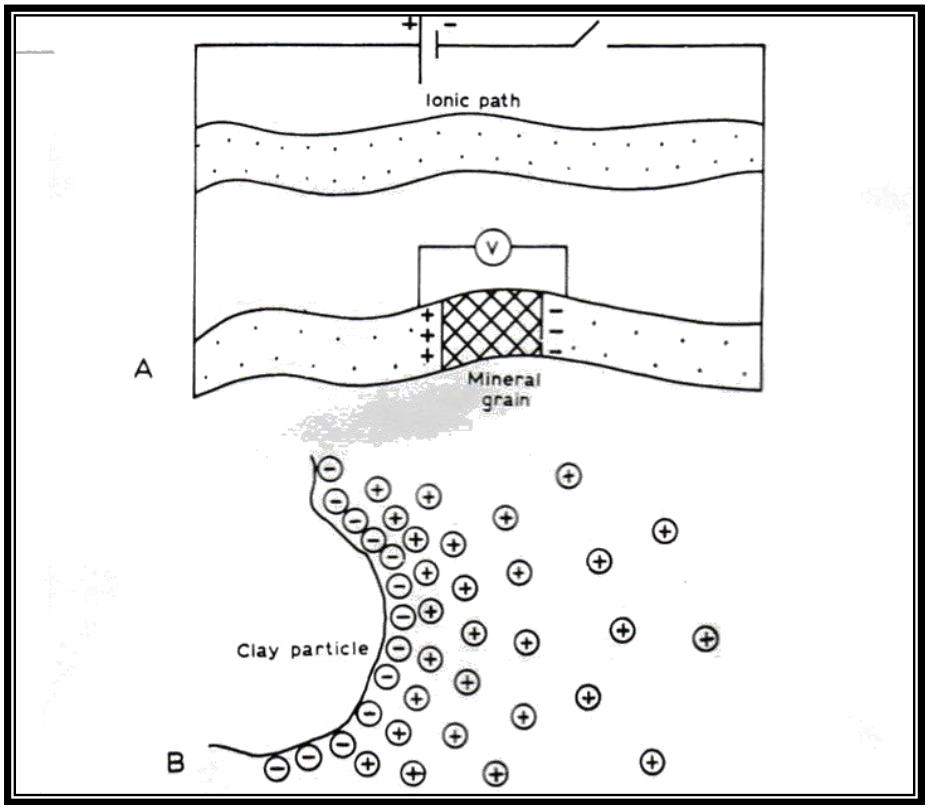


شكل رقم (95-3) منحني التحلل الفولتائي

إن ظاهرة حصول الحث القطبية IP (ميكانيكية ظهورها) تعود إلى وجود تأثيرين هما:-

1- ظاهرة الاستقطاب القطبي Electrode polarization over voltage

إن سريان التيار الكهربائي في الأرض يتم عادة بواسطة الايونات في حالة وجود محاليل الكتروليتية في مسامات الصخور أو بواسطة الكترونات في حالة وجود الصخور الصلبة. ان اكثر الصخور الحاملة للمعادن يتم استقطابها عند مرور التيار الكهربائي خلالها حيث تميل الايونات الموجبة إلى التجمع على سطح جزيئات المعادن من المحاليل الالكتروليتية من جهة دخول التيار الكهربائي والشحنات أو الايونات السالبة تميل إلى التجمع على السطح المقابل لها من جهة خروج التيار الكهربائي، هذا الترتيب يؤدي إلى ظهور فرق جهد فولتائي على سطح الجزيئات الملامس للمحاليل وتقاوم سريان التيار الكهربائي حيث يقال عنها عندئذ انها مستقطبة كما نلاحظه في الشكل (96a -3)



الشكل رقم (96-3) (a) ظاهرة الاستقطاب القطبي (b) الاستقطاب السطحي

المصدر: (Parasnis, 1984, p: 205)

عندما يتم قطع التيار الكهربائي فان فرق الجهد الفولتائي يستمر بالوجود عبر هذه الجزيئات بسبب من وجود هذه الأواصر الأيونية والتي تبدأ بالتناقص تدريجيا إلى أن تتلاشى (وهذا هو تأثير القطبية المحتثة). هذه الحالة تحصل في حالة وجود معدن البايرايت، جالكوبايرايت، كرافايت، كالينا وماكنيتايت.

2- الاستقطاب السطحي

Membranes Polarization or Electrolytic Polarization

يعود سبب وجود هذه الظاهرة إلى تواجد لجزيئات الطين خاصة عندما تكون الصخور الطينية ذات المسامات الصغيرة. ان سطح جزيئات الطين تمتلك شحنات سالبة ولهذا فهي تجذب الشحنات الموجبة نحوها المتكونة في المحاليل الالكتروليتية الموجودة في مسامات الطين شكل (3-96b). هذه الظاهرة تؤدي إلى حصول سطح مستقطب تتجمع على طرفيه الشحنات الموجبة والطرف الآخر الشحنات السالبة، هذه الشحنات تعيق حركة الشحنات الأخرى المشابهة لها وتتأثر بعيدا، عندما نمرر تيار كهربائي خلال هذه الجزيئات فان الشحنات الموجبة تعيد ترتيب نفسها مع الايونات الموجبة التي تحل محلها وتسبب إعاقة واضطراب لمرور التيار الكهربائي، عندما يتم قطع لتيار الكهربائي فان الايونات تعيد ترتيب نفسها إلى الحالة السابقة وتتحلل تدريجيا مسببة وجود فرق جهد فولتائي يظهر بعد قطع التيار ويتلاشى شيئا فشيئا نحو الصفر.

إن ظاهرة الاستقطاب القطبي بالإضافة إلى ظاهرة الاستقطاب السطحي أو الغشائي هي ظاهرة سطحية لذلك فان تأثير القطبية المحتثة سيكون كبيرا فيما لو كان الخام الفلزي أو الطين مبعثرا بدلا من كونه متماسكا.

يتم إجراء قياسات القطبية المحتثة بطريقتين هما:-

أ- طريقة مجال الزمن Time Domain – في هذه الطريقة يتم إرسال تيار كهربائي مباشر (مستمر) إلى الأرض ومن ثم يتم ملاحظة تحلل الفولتية بين أقطاب الجهد بعد قطع التيار الكهربائي مباشرة. يعبر عن مقدار IP بالعلاقة V_o / V_t حيث ان V_t هي الفولتية المتبقية عند الزمن t بعد توقف التيار و V_oهي الفولتية التي كانت موجودة عند انسياب التيار ويعبر عن هذه النسبة V_o / V_t بالملي فولت / فولت أو كنسبة مئوية

$$IP\% = 100\ (V_t / V_o)$$

ب-طريقة مجال التردد Frequency Domain في هذه الطريقة يتم قياس أو تعيين التغايرات أو الاختلافات في المقاومية الظاهرية للأرض مع ترددات التيار الكهربائي المرسل. عند إمرار تيار كهربائي متناوب إلى الأرض، فان النسبة المقاسة للفولتية إلى التيار تصبح ممانعة بدلا من مقاومة، وستعتمد الممانعة الفعالة ومقاوميه الأرض على تردد (تذبذب) التيار المتناوب (AC). اذا كانت ρ_{dc} و ρ_{ac} هما المقاوميتين الظاهريتين المقاستين بالتيار المباشر والمتناوب على التوالي فان تأثير التردد النسبي والمسمى مختصرا [Preventage Frequency Effect (PEE)] إلى القطبية المحتثة IP يمكن التعبير عنه بالعلاقة:-

$$PFE = \frac{100(\rho_{dc} - \rho_{ac})}{\rho_{ac}}$$

حيث ان يتم قياس ρ_{ac} مرة مع تيار ذو ترددات واطئة (0.1 c/sec) ومرة اخرى مع ترددات قدرها (10 c/sec).

ان الاستجابة الفريدة لطريقة القطبية المحتثة فوق الترسبات المبعثرة للمعادن الموصلة تجعلها ذات قيمة كبيرة جدا في برنامج الاستكشاف المعدني وذلك لعدم وجود طريقة جيوفيزيائية أخرى يمكنها تحديد مثل هذه الخامات، لا تستخدم هذه الطريقة لحل المشاكل التركيبية تحت السطحية . تشبه التقنيات المستخدمة في القياسات الحقلية لطريقة القطبية المحتثة تلك المستخدمة في قياسات المقاومية ويمكن استخدام أي نوع من ترتيب الأقطاب المستخدمة في مسوحات المقاومية .

ج-طريقة الجهد المتساوي Equipotential Method

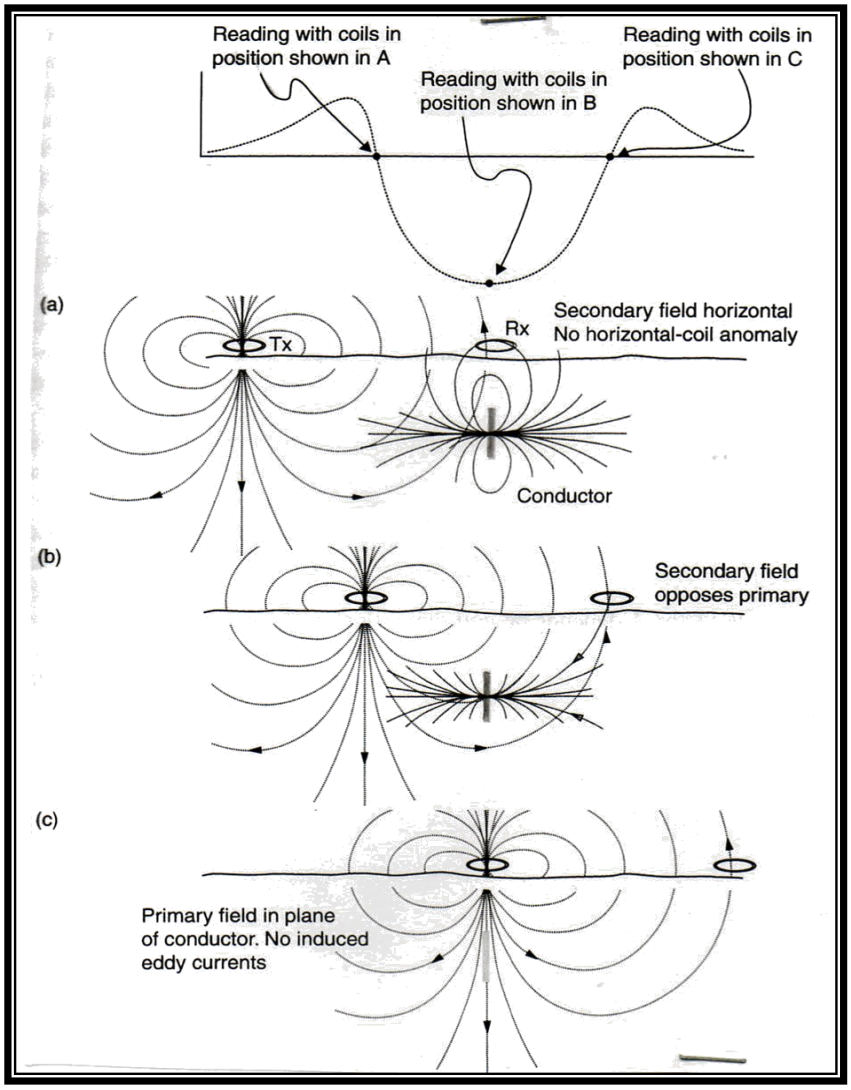
تتلخص نظرية هذه الطريقة بإرسال تيار كهربائي إلى الأرض عن طريق قطبين للتيار C_1, C_2 حيث يحصل سريان للتيار الكهربائي من القطب الموجب إلى القطب السالب، ويحصل بينهما فرق الجهد فولتائي اذ تكون مستويات أو مجالات الجهد الفولتائي المتساوي عمودية على شكل مستويات سريان التيار شكل رقم (94-3). يمكن تتبع خطوط الجهد المتساوي (فرق الجهد على نفس مستويات الجهد يساوي صفر) بواسطة استخدام قطبين غير مستقطبة (Non-Polarized Electrode) تتصل بجهاز مضخم للفولتية وتربط إلى سماعة أُذن أو جهاز فولتميتر، يتم تثبيت احد هذه الأقطاب في الأرض بينما يتم تحريك القطب الثاني على سطح الأرض إلى ان نحصل أو نستقبل أدنى درجة للصوت في السماعة أو أدنى قراءة للفولتية والتي تساوي تقريبا صفر، بهذه الحالة تكون الأقطاب على نفس خط أو مستوي الجهد المتساوي وهكذا. بنفس الطريقة يتم تتبع الخطوط الأخرى للجهد المتساوي ويتم تثبيت نقاطها على الخارطة أو على الأرض ، ثم ترسم خارطة كنتورية تمثل خطوط الجهد المتساوي.

إن خطوط الجهد المتساوي إما تنتج من التيار المرسل إلى الأرض صناعيا أو من التيار الناتج من سريان الجهد الذاتي (SP). هذه الطريقة تعتبر بطيئة وصعبة التفسير بالمقارنة مع الطرق الأخرى إذا كانت الترسبات تحت سطح الأرض متجانسة فان خطوط الجهد المتساوي تكون متماثلة في التوزيع حول القطبين أما في حالة وجود جسم معدني تحت سطح الأرض (شكل 95-3) عندئذ يحدث انحراف في مسارات خطوط الجهد المتساوي وتشويه وحيود نتيجة لعدم التجانس في المقاوميات تحت سطح الأرض. اذا كان الجسم المعدني جيد التوصيل للكهربائية يحدث تنافر لخطوط الجهد المتساوي ... وبالعكس.

هـ- الطريقة الكهرومغناطيسية Electromagnetic Method (EM)

تعتمد الطريقة الكهرومغناطيسية على أساس قياس المجال المغناطيسي الذي يرتبط أو ينشأ من التيار المتناوب والتيار المحتث الذي يحدث في الأجسام المعنية تحت سطح الأرض من جراء إرسال مجال مغناطيسي أولي. في أكثر طرق القياس المستعملة يتم توليد مجال مغناطيسي أولي بواسطة إمرار تيار كهربائي متناوب في ملف كهربائي (Coil) أو على طول سلك الطويل (قابلو) (Cable) موضوع على سطح الأرض. ينتشر المجال المغناطيسي الأولي نحو الخارج في جميع الاتجاهات فوق وتحت الأرض ويتغلغل في الطبقات الصخرية تحت سطح الأرض، عندما يصادف هذا المجال الكهرومغناطيسي الأولي أي جسم معدني تحت سطح الأرض موصل جيد للكهربائية يؤدي إلى توليد تيار كهربائي (Eddy Current) يسري في هذه الأجسام المعدنية وبموجب قوانين الحث الكهرومغناطيسي فان هذه التيارات الكهربائية تؤدي إلى توليد مجال مغناطيسي ثانوي يتعارض مع المجال الكهرومغناطيسي الأولي وتؤدي إلى تشويه هذا المجال ويظهر هذا التأثير على سطح الأرض، يمكن التقاطه وتحسسه بواسطة ملف مستلم ملائم لهذا الغرض. المجال الكهرومغناطيسي الثانوي الناتج عن المجال الكهرومغناطيسي الأولي يختلف في الطور، الشدة والاتجاه يحصل بينهما تداخل إتلافي يستدل منه على وجود جسم معدني تحت سطح الأرض.

إن الهدف الرئيسي للطرق الكهرومغناطيسية ذات المجال الاصطناعي هو اكتشاف الأجسام المعدنية التي لها توصيلية كهربائية عالية، معظم هذه الأجسام المعدنية تكون عبارة عن خامات فلزية مثل الكبريتيدات.



شكل رقم (97-3)مرتسم تخطيطي لنظرية الطريقة الكهرومغناطيسية

المصدر: (John Milson, 2003, P: 134)

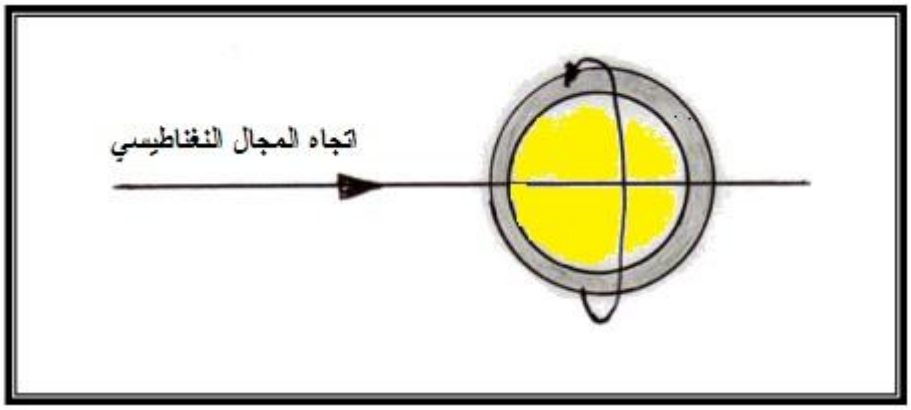
واستخدمت كذلك في تعيين أماكن الفوالق والعروق المعدنية الموصلة بالإضافة إلى تحديد وتتبع الأنابيب والقابلوات تحت السطح وخطوط نقل الماء أو النفط وهي سهلة التمييز كون خصائص الشذوذ تكون ذات مسارات ضيقة وطويلة وقيم عالية.

المفهوم الأساسي للنظرية الكهرومغناطيسية تقوم على أساس وجود ملفين (Two – Coil) احدهما ملف مرسل للمجال المغناطيسي الأولي يمر فيه تيار مستمر ذات تردد يتراوح بين (1000 – 100) هيرتز كما موضح في الشكل (97-3). المجال المغناطيسي الأولى يستلم من قبل ملف الاستلام الذي يقع على بعد مسافة محددة عن الملف المرسل، في حالة اذا كانت الصخور التحت سطحية متجانسة عندئذ لا يوجد أي اختلاف في المجال المغناطيسي الذي يمر تحت سطح الأرض والموجود فوق سطح الأرض الواصل إلى ملف الاستلام، في حالة وجود جسم معدني موصل جيد للكهربائية تحت سطح الأرض، سوف يطلق مجال كهرومغناطيسي ثانوي يتداخل مع المجال المغناطيسي الأولى وتصل المحصلة

النهائية إلى ملف الاستلام، محصلة المجال المغناطيسي الواصلة تختلف في الطور والسعة عن المجال المغناطيسي الأولي هذا الاختلاف يستدل منه على وجود جسم معدني موصل جيد للكهربائية تحت سطح الأرض.

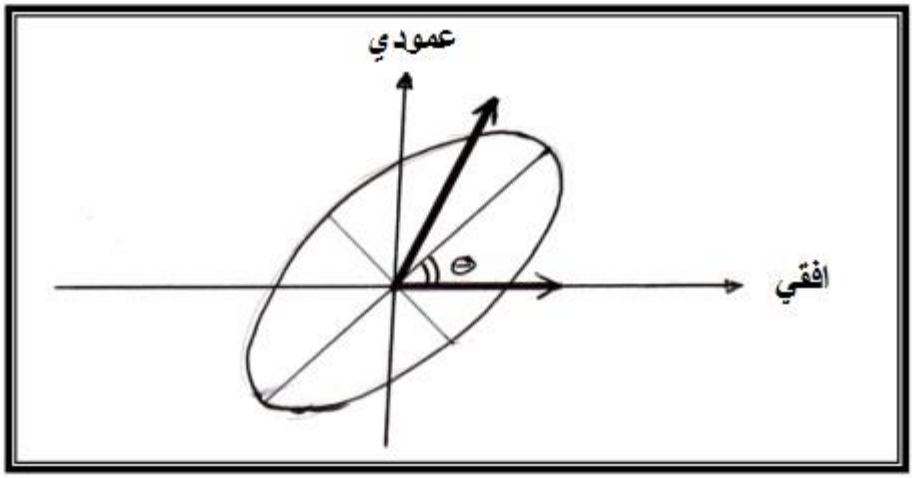
في حالة وجود ملف الاستلام مباشرة فوق الجسم المعدني لا يمكن تحسس أي شذوذ في المجال المغناطيسي بسبب عدم حصول تداخل بين المجال المغناطيسي الأولي والثانوي ونفس الحالة تنطبق في حالة وجود ملف الإرسال فوق الجسم المعدني مباشرة، بسبب عدم حصول تيار كهربائي محتث داخل الجسم المعدني، الحالة المثالية لتحسس الشذوذ في المجال المغناطيسي هو وجود الجسم المعدني في منتصف المسافة بين ملف الاستلام وملف الإرسال.

ان المجال الكهرومغناطيسي يتم تسجيله بطرق عديدة اما على شكل خرائط أو على شكل قراءات، الطريقة الاسهل المستخدمة في عمليات المسح الكهرومغناطيسي هي ان يكون ملف الاستلام على شكل دائرة أو مربع بقطر نصف إلى متر واحد تربط نهاياته إلى سماعة اذن لتحسس رنين أو صوت شدة المجال المغناطيسي، أعلى شدة للصوت تستحصل عندما يكون مستوى ملف الاستلام عمودي على اتجاه سريان المجال المغناطيسي، عند الحصول على أدنى مستوى للصوت يعني ان مستوى ملف الاستلام يقع بصورة موازية لاتجاه المجال المغناطيسي شكل رقم (98-3).



شكل رقم (98-3) اتجاه دوران ملف الاستلام مع اتجاه المجال المغناطيسي

في حالة وجود مجال كهرومغناطيسي ثانوي يتداخل مع المجال الكهرومغناطيسي الأولي فان محصلة المجال الكهرومغناطيسي يكون في مستوي على شكل بيضوي ويقال عنه انه مستقطب بيضويا كما في الشكل (99-3).



شكل (99-3) محصل المجال الكهرومغناطيسي المستقطب بيضويا مع زاوية الميل θ

في هذه الحالة يوجد فقط موقع واحد لمستوي ملف البحث أو الاستلام تكون فيه القراءة تساوي صفر أو ادني مستوى للصوت وهي عندما يتطابق مستوى حركة الملف مع مستوى المجال المستقطب. إن زاوية ميلان مستوى المجال الكهرومغناطيسي المستقطب عن المحور الأفقي تسمى زاوية الميل (Angle= Tilt θ –). ان موقع الجسم المعدني عند استخدام هذه الطريقة تقع تحت نقطة القياس التي تكون فيها زاوية الميل θ تساوي صفر أو اقل ما يمكن. تستخدم هذه الطريقة للتحري والكشف عن المعادن الفلزية والمعادن الكبريتيدية.

3- **الطرق التي تستخدم التيار الأرضي الطبيعي Telluric – Current** أهمها هي:-

أ- **طريقة الجهد الذاتي (SP) (Self – Potential)**

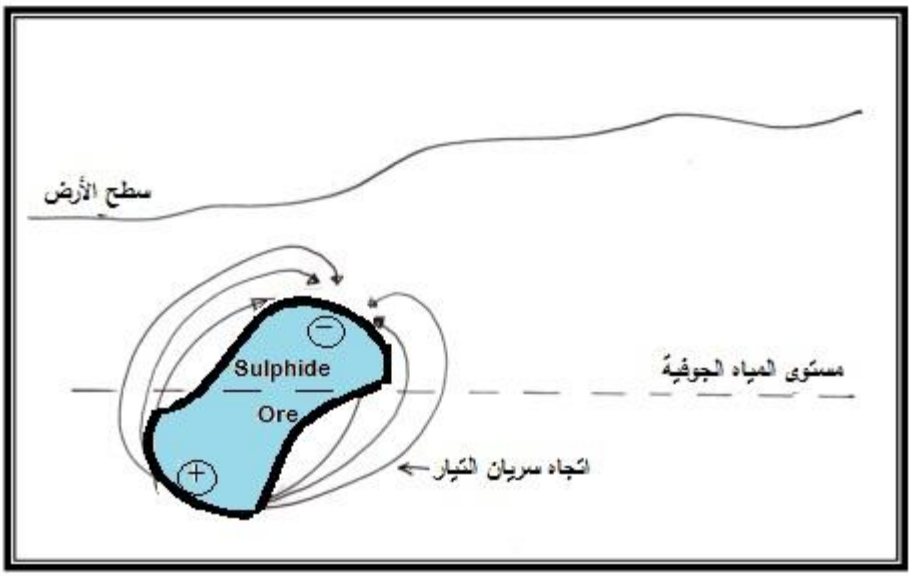
وتسمى هذه الطريقة بطريقة الاستقطاب الذاتي (Spontaneous Polarization) وتقوم هذه الطريقة على مبدأ غرز قطبين لقياس الجهد في الأرض وتربط بمقياس للفولتية حساس عندها يتم ملاحظة وجود فرق جهد كهربائي طبيعي بين هذين القطبين يتراوح بين (0.1 – 20 mv) تقريبا، هذه في حالة وجود محاليل الكتروليتية، أما في حالة وجود ترسبات معدنية مثل الكبريتيدات Sulphide أو خام الحديد فان فرق الجهد الطبيعي قد يصل أحيانا إلى مئات من الملي فولت (100 mv). الطريقة التي تستكشف فرق الجهد الطبيعي في الأرض تسمى طريقة الجهد الذاتي (SP) هذه الطريقة تعتمد بصورة كبيرة على وجود اختلافات في الفعاليات في الأنشطة الكيميائية للأرض. الجهد الذاتي المسجل في الأرض ينقسم إلى قسمين:-

أ- الجهد المتخلف Background Potential

والذي ينتج من وجود محاليل تختلف في درجة تركيزها عندما تتصل احدهما مع الأخرى أو مع الأرض التي تسير فيها، أو مع محاليل تسري بواسطة الخاصية الشعرية حيث يكون طرفها مختلف في فرق الجهد الفولتائي. يتراوح فرق الجهد تقريبا بين (0.1 mv – 10 mv)، وتكون شحناته دائما موجبة.

ب-الجهد من المعادن (Mineralization Potential)

يعتقد بان هذا الجهد الفولتائي ناتج من حصول أكسدة في السطح العلوي للجسم المعدني القريب من سطح الأرض، حيث يحصل فرق جهد بين السطح العلوي والسطح السفلي للجسم المعدني سببه الفرق في الأكسدة بين السطحين، يحصل في الجسم المعدني مما يشبه بطارية كبيرة في الأرض شكل (100-2) يصل الجهد الفولتائي لهذه الحالة إلى حدود مئات من الملي فولت وتكون شحناته سالبه قرب النهاية العليا للجسم المعدني .الحالة المثالية لهذه الصفة كما يحصل لترسبات الكبريتيدات Sulphide التي تقع ضمن مستوى المياه الجوفية.



شكل رقم (100-3) مصدر الجهد الذاتي

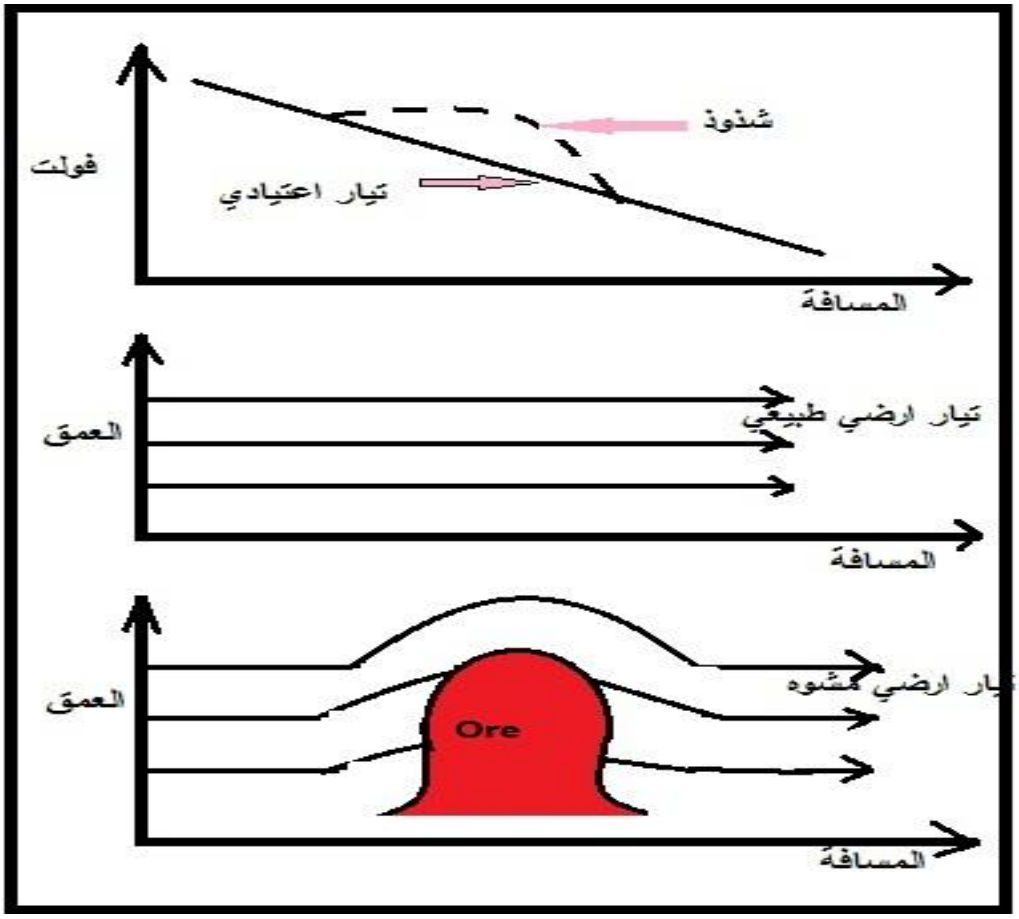
في عمليات الاستكشاف المعدني باستخدام هذه الطريقة يتم استخدام زوج من الأقطاب غير المستقطبة والمرتبطة بسلك معزول إلى مقياس الفولتيه. إما يتحرك القطبان اللذان يبعدان عشرة متر أو عشرون متر عن بعضها سويا على طول خطوط مسارات المسح، أو يثبت احد الأقطاب في محطة مرجعية بينما يتحرك القطب الآخر مع بكرة السلك ومقياس الفولتية إلى محطات قياس متتابعة على امتداد خط المسح .

ان النتيجة النهائية لعمليات المسح بطريقة الجهد الذاتي هو الحصول على خارطة كنتورية للجهد المتساوي، وغالبا ما يكون تفسير هذه المعطيات هو تفسير نوعي يعطي وصف لشكل الشذوذ وعرضه ومنه نستدل على عمق الجسم وامتداده الأفقي .

ب-طريقة التيارات المغناطيسية الأرضية Magneto telluric Method

هذه الطريقة تستخدم التيارات الكهربائية الأرضية والتي يعتقد بأنها ناتجة من تقلب Fluctuation التيارات الايونوسفيرية المنسابة إلى الأرض، والتي يمكن ان تتغلغل وتمتد بشكل عميق في داخل الأرض ولمسافة عدة كيلومترات بترددات واطئة جدا. التيارات الأرضية تؤدي إلى ظهور فرق جهد فولتائي على سطح الأرض بحدود mv/km 10 لكل كيلومتر واحد، تستخدم التيارات الأرضية هذه في عمليات الاستكشاف وذلك بقياس الاختلافات في فرق الجهد بين نقطتين على سطح الأرض. لا تستخدم في هذه الطريقة أقطاب كهربائية ولكن فقط تستخدم أقطاب جهد غير مستقطبة، المسافة الفاصلة بين هذه الأقطاب تتراوح بين (600-300) متر في حالة الاستكشافات النفطية وفي حالة الاستكشاف المعدني تكون المسافة الفاصلة بين الأقطاب هي (30) متر، يتم التقاط الفولتيات المحتثة في ملفات حساسة جدا وتسجل على شريط مغناطيسي أو اجهزة قياس مغناطيسية متخصصة معدة لهذا الغرض.

إذا كانت التوصيلية الكهربائية للتكوينات تحت سطح الأرض متجانسة فان انحدار أو ميل الجهد يبقى ثابت على سطح الأرض، في حالة وجود مناطق ذات توصيلية مختلفة مثل وجود قبة ملحية أو تراكيب محدبة تؤدي إلى حصول انحراف في مسار التيارات الكهربائية الأرضية مما يؤدي إلى حصول تشويه في قراءات الجهد الكهربائي على سطح الأرض. نستدل من هذا الشذوذ في انحدار الجهد الكهربائي على سطح الأرض عن وجود تراكيب جيولوجية أو تحديد عمق القشرة الأرضية وتخمين سمك الأحواض الرسوبية بالإضافة إلى تحديد المصادر الجيوحرارية العميقة المسببة باختلافات التوصيلية الكهربائية. شكل رقم (3-101) يوضح نظرية التيارات الأرضية واستخدامها في استكشاف التراكيب الجيولوجية تحت السطحية.



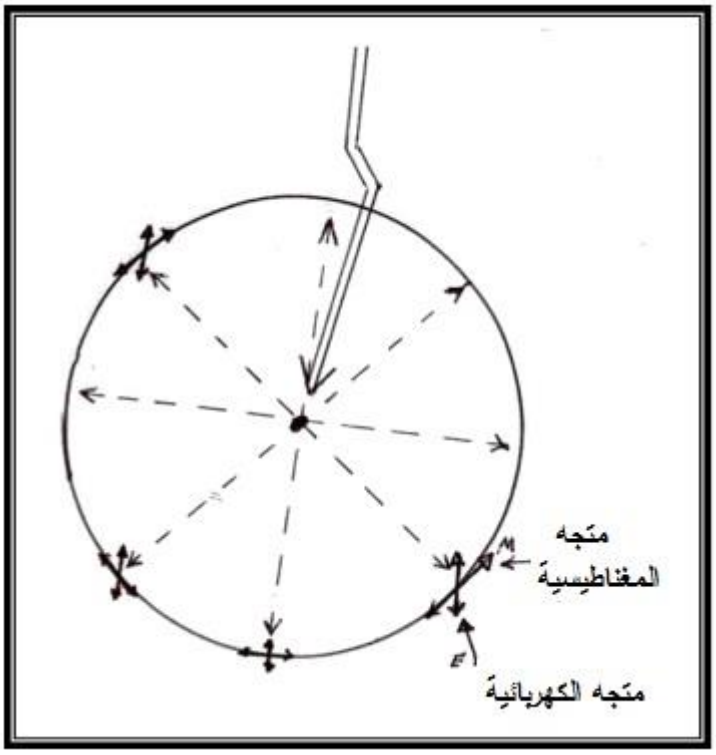
شكل (101-3) تشويه الجهد المرتبط مع التيارات الأرضية

المصدر: (مقتبس من Kearey, 1984, P: 242)

ج- طريقة المجال المغناطيسي الترددي السمعي

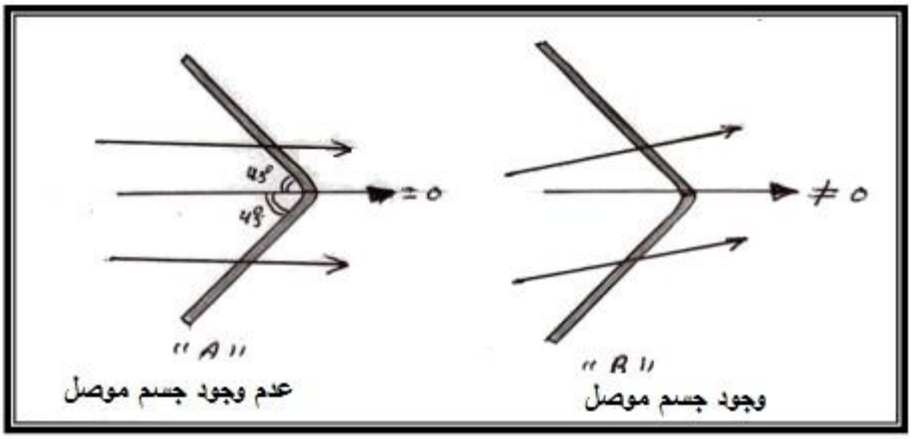
AFMAG (Audio Frequency Magnetic field)

طريقة الاستكشاف هذه ممكن استخدامها على الأرض ومن الجو لعدم وجود تماس مباشر مع سطح الأرض. المصدر المستخدم للقياس عبارة عن مجال كهرومغناطيسي طبيعي يتولد بواسطة ومضات ضوئية بعيدة ويربط مع النشاط العاصفي الرعدي وتسمى (Sferics). هذه الطاقة الكهرومغناطيسية تتقدم بين سطح الأرض وأسفل طبقة الايونسفير ويعمل الغلاف الجوي كدليل للموجة (wave Guide) هذه الطاقة عشوائية غير منتظمة ذات ترددات تتراوح بين (1000 - 1) هرتز. شكل رقم (102-3) يوضح سلوك المجال الكهرومغناطيسي على مسافة بعيدة.



شكل رقم (102-3) المجال الكهرومغناطيسي في طريقة AFMAG

في حالة عدم وجود جسم معدني تحت سطح الأرض فان المجال الكهرومغناطيسي يكون أفقي (شكل رقم 102a-3) ،أما في حالة وجود جسم معدني فان المجال الثانوي يودي إلى حصول حيود وانحراف في اتجاه المجال الالكترومغناطيسي عن المستوى الأفقي (شكل رقم 102b-3)، هذه الخاصية هي التي تستخدم في استكشاف الأجسام المعدنية الموجودة تحت سطح الأرض.



شكل رقم (103-3) ملف الاستلام في طريقة AFMAG

ملف الاستلام المستخدم في طريقة **AFMAG** مكون من ملفين متعامدين كما في الشكل (103-3) كل منهما يميل بزاوية قدرها $^{\circ}(45)$ عن الأفق ما في حالة غياب مجال كهرومغناطيسي ثانوي بهذه الحالة فان المجال الكهرومغناطيسي الأولي يكون عمودي على

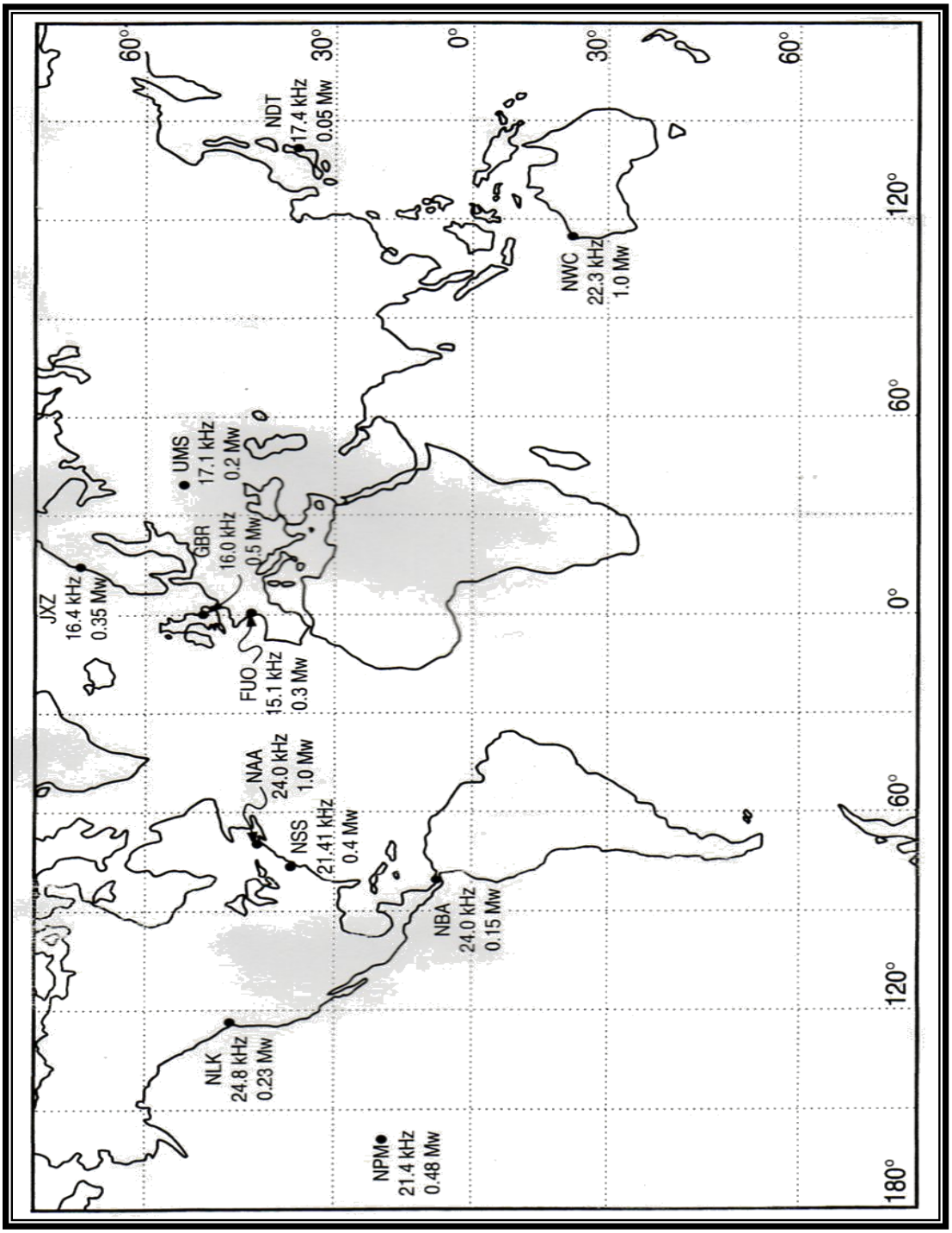
هـذين الملفـين وتكـون المحصـلة تسـاوي صـفر، أمـا فـي حالـة وجـود مجـال الكهرومغناطيسـي ثـانوي عندئـذ يحصـل حيـود فـي اتجـاه المجـال الكهرومغناطيسـي الأولـي وتكـون المحصـلة لا تسـاوي صـفر. تقـاس زاويـة ميـل هـذا المجـال للتعـرف علـى وجـود جسـم معـدني تحـت سـطح الأرض.

إن طريقـة AFMAG لهـا بعـض المميـزات الجيـدة علـى طـرق المصـدر الصـناعي حيـث إنهـا لا تحتـاج إلـى اسـتخدام مرسـلة للمجـال الكهرومغناطيسـي بالإضـافة إلـى ان التـرددات المسـتعملة منخفضـة جـدا تعطـي نفـوذ وتغلغـل عميـق لهـذا المجـال، لـذلك فإنهـا تعتبـر طريقـة ملائمة لاستكشاف الظواهر التركيبية العميقة مثل الفوالق، الشقوق المملوءة بالمياه.

د-طريقة الترددات الواطئة جدا Very Low Frequency(VLF)

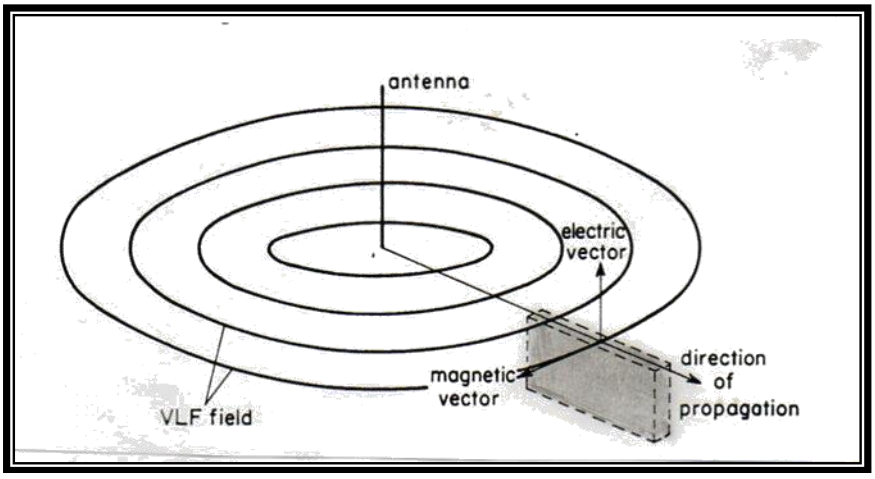
تسـتخدم طريقـة VLF طاقـة الكترومغناطيسـية بتـرددات واطئـة جـدا تتـراوح بـين (15-25) كيلـوهرتز التـي يـتم توليـدها مـن مرسـلات الراديـو الفعالـة البعيـدة والتـي تسـتخدم فـي الاتصـالات الراديويـة طويلـة المـدى وكـذلك فـي الملاحـة، حيـث يكـون مصـدر الإرسـال ثابـت وعلـى بعـد آلاف الكيلـومترات عـن أجهـزة الاسـتلام. محطـات الإرسـال هـذه ثابتـة وتعمـل فـي أقطار مختلفة منتشرة في أماكن محددة حول العالم شكل (3-104).

إن الهـوائي لمرسـلات VLF عبـارة عـن بـرج عمـودي طويـل يحمـل سـلك فيـه تيـار متنـاوب، وتكـون مركبـة المجـال المغناطيسـي الرئيسـية أفقيـة، وتكـون خطـوط المجـال المغناطيسـي علـى شـكل دوائـر ممتـدة حـول مركـز الهـوائي ، شـكل (3-105) .عنـد مسـافات بعيدة جدا من المرسلة يمكن اعتبار المجال الأولي قائم الزاوية مع اتجاه المرسلة.



شكل رقم (104-3) مواقع محطات الإرسال العالمية VLF

نلاحظ وجود متجهين في المجال الكهرومغناطيسي هو متجه التيار الكهربائي في مستوى



شكل رقم (105-3) طريقة انتشار الموجه الكهرومغناطيسية من مرسلات VLF

المصدر:(Kearey, 1984, P: 231)

عمودي مع مستوى المجال الكهرومغناطيسي، ومتجه المجال المغناطيسي الذي يكون عمودي على اتجاه نفاذ المجال الكهرومغناطيسي في المستوى الأفقي. في حالة وجود جسم معني موصل للكهربائية تحت سطح الأرض في اتجاه نفاذ المجال الكهرومغناطيسي ويقع بمجال مركبة المجال المغناطيسي فانه يؤدي إلى توليد تيار كهربائي بالحث وبدوره يؤدي إلى توليد مجال الكترومغناطيسي ثانوي يمكن تحسسه وتسجيله مما يدل على وجود سم معدني تحت سطح الأرض.

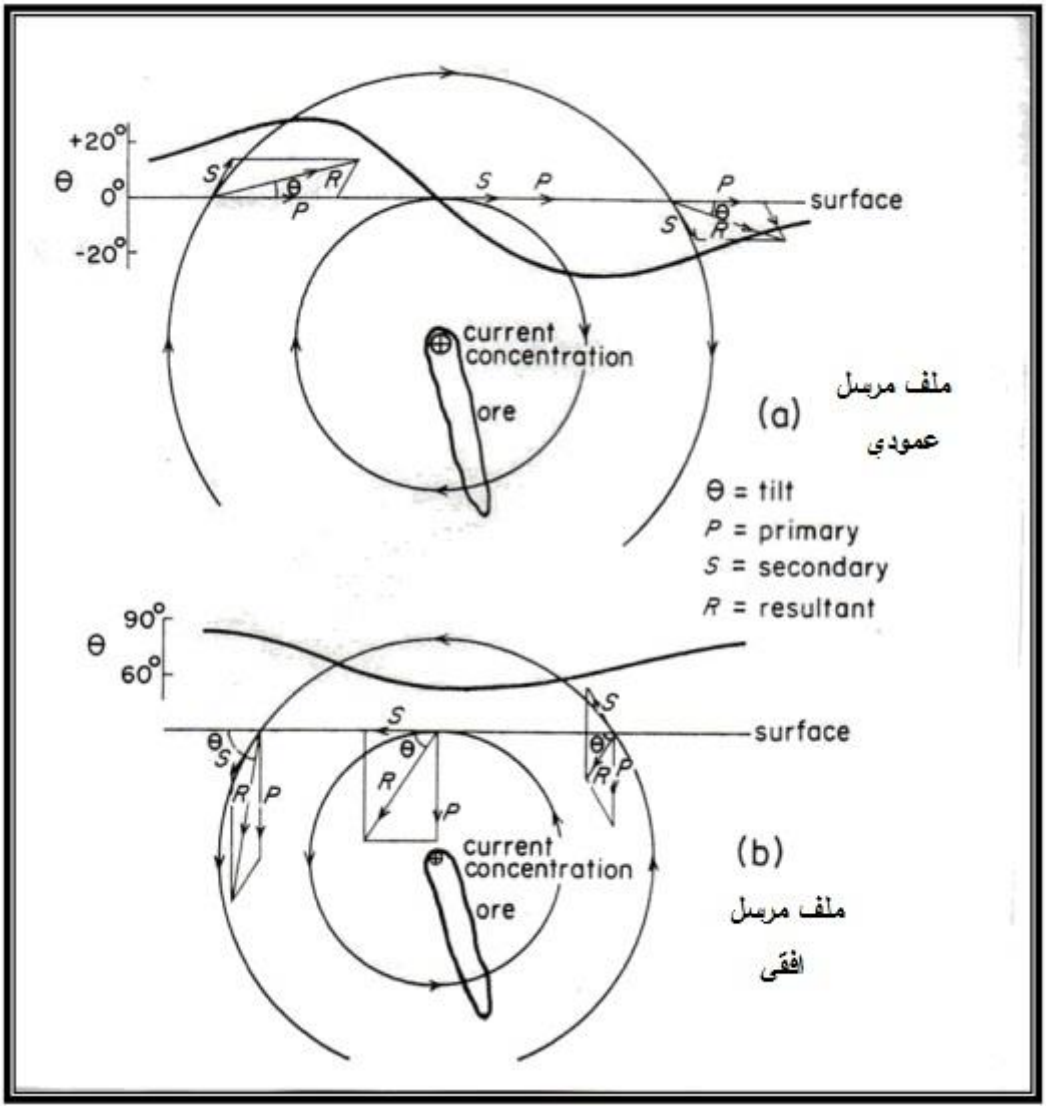
تنفذ الطريقة الحقلية للقياسات وذلك باستخدام ملف مستقبل للإشارة ويضبط النغمة مع تردد المحطة المنتخبة ويربط الملف مع لاقط الإشارة ويحمل الملف مع محوره أفقيا ويدور في يمينا ويسارا لإيجاد ادنى إشارة شكل رقم (106-3) التي يستدل منها في هذا الموقع على اتجاه محطة VLF بعدها يدور الملف بزاوية قدرها (90^{o}) مع بقاء المحور أفقيا، ثم بعد ذلك يميل إلى قطره الأفقي حتى يمكن الحصول على ادنى إشارة ويسجل ميل الملف، ان ميلان الملف يعطي زاوية ميل قطع مكافئ للاستقطاب.

جهاز VLF اثناء وضع اخذ القراءة

جهاز VLF اثناء وضع البحث عن محطة ارسال

شكل رقم (106-3) جهاز VLF اثناء عمليات القياس الحقلية

إن ظل زاوية الميلان يعطي قياس تقريبي لنسبة المركبة الحقيقية للمجال الثانوي العمودي إلى المجال الأولي الأفقي شكل (107-3).



(شكل 107-3)

زاوية الميلان Ti Lt – Angle مع الملف المرسل العمودي (a) والافقي (b)

تعتبر هذه الطريقة ملائمة لرسم خرائط التراكيب الجيولوجية الضحلة، مثل سطوح النحاس بين التكوينات ذات المقاوميات المختلفة. ان تفسير نتائج طريقة VLF هي وصفية لحد الآن ولا تعطي نتائج وقياسات إلى عمق وامتداد التراكيب الجيولوجية.

هـ-الطريقة الاشعاعية Radiometric Method

أن أهمية دراسة النشاط ألإشعاعي Radioactivity للصخور والمعادن كبيرة جدا في علم الجيولوجيا والجيوفيزياء وفي مجالات عديدة أهمها:-

1- البحث والتنقيب عن مصادر المواد المشعة الموجودة في الطبيعة أو الترسبات التي ترتبط معها مثل الفوسفات.

2- الحرارة المتولدة من خاصية الانحلال الإشعاعي Radioactive decay يعتقد بأنها العامل الأكثر أهمية في تثبيت الظروف الحرارية داخل الأرض.

3- تحديد أزمنة تكون الصخور في القشرة الأرضية اعتمادا على قياس كمية النظير الوليد من نظير ألام المشع بمعدل معروف منذ تبلور المعادن.

4- تحديد أعمار حوادث جيولوجية مهمة مثل عمليات تكون الجبال وعمليات التعرية وترسيب الصخور الرسوبية.

5- مساهمة الطرق الإشعاعية في تثبيت أسس مقياس الزمن الجيولوجي بكل دقة وبأعماره المطلقة.

6- حساب عمر الأرض بكل دقة مؤكد أن عمر الأرض هو أقرب ما يكون إلى 4600 مليون سنة وهو مساوي كذلك لعمر النيازك.

يوجد في الطبيعة تقريبا (20)عنصر مشع طبيعي ومن أهمها اليورانيوم (U) والثوريوم (Th) وبعض نظائر البوتاسيوم (K) أن ذرات هذه العناصر تمتلك خاصية التحلل التلقائي من خلال إشعاعها طاقة اما على شكل جسيمات أو على شكل أشعة الكترومغناطيسية، وهي بهذه العملية تتحول إلى ذرات لعناصر أخرى جديدة. الذرات الجديدة المتولدة من هذه العملية بدورها تطلق أشعة متحولة إلى عناصر أخرى ، هذه العملية تسمى سلسلة التحلل الإشعاعي والتي تبدأ بأحد النظائر المشعة مثل U^{234} ، U^{235}أو U^{238} وتنتهي بعنصر الرصاص المستقر Pb^{206}أو Pb^{207}أو الهليوم .

أنواع الأشعة المنبعثة

1-أشعة ألفا (α) Alpha Particles

وهي عبارة عن ذرات الهليوم تمتلك شحنات موجبة ،يمكن إيقاف هذه الأشعة بواسطة لوح ألمنيوم رقيق جدا سمكة بضع مايكرونات. ذره الهليوم تمتلك بروتونين فقط ويسمى عدد البروتونات بالعدد الذري. جزيئات ألفا تمتلك طاقة حركية عالية ولكنها سرعان ما يحصل لها تباطؤ سريع عند اصطدامها بنواة ذرات أخرى.

2-أشعة بيتا (β) Beta Particles

وهي عبارة عن الكترونات تقذف خارجا من نواة الذرة ، تختلف عن بقية الالكترونات كونها تمتلك طاقة حركية عالية ويمكن إيقافها بعد حصولها على عدة تصادمات مع الكترونات أخرى (في بعض الحالات توجد مواد تطلق أشعة بيتا على شكل شحنات موجبة وهي عبارة عن بوزترون) . يمكن إيقاف هذه ألأشعة بواسطة لوح ألمنيوم رقيق سمكة حوالي (50μ) وفي الصخور ممكن أن تنفذ لمسافة بضع سنتمترات .

3-أشعة كاما (γ) Gamma Radiation

وهي عبارة عن أشعة كهرومغناطيسية Electromagnetic wave تؤيّن الوسط الذي تسير فيه حيث يصبح الوسط موصل كهربائيا. هذه ألأشعة تمتاز بان لها طول موجي قصير وترددات عالية جدا (0.25×10^{20}) هرتز وتمتلك طاقة عالية تبدأ من حوالي (0.1) ملي فولت. وتعرف هذه ألأشعة كذلك بالفوتونات . وبما أنها متعادلة كهربائية بذلك فان لها قابلية نفوذ كبيرة في الصخور عما هي عليه أشعة بيتا أو كَاما ،هذه الخاصية تجعل منها الصفة المهمة في تتبع هذه الأشعة ومصادرها وإمكانية تحسسها وتحديد مواقع انبعاثها . وبالتالي استخدامها في التحري والكشف عن مصادر المواد المشعة . يمكن إيقاف هذه الأشعة من خلال سمك صخري قدره (50) سم أو سمك متر واحد من المياه أو طبقة من الرصاص بسمك واحد أنج.

النيوترونات Neoutrons

تمثل النيوترونات احد مكونات نواة الذرة متعادلة الشحنة لها كتلة تساوي كتلة البروتون تقريبا. يطلق على مجموع عدد البروتونات والنيوترونات في نواة الذرة بالعدد الكتلي

عدد النيوترونات =عدد الكتلة – العدد الذري

إن عدد النيوترونات قد يختلف في ذرات العنصر الواحد وهذا يؤدي إلى الاختلاف في العدد الكتلي وتدعى ذرات العنصر الواحد المختلفة في العدد الكتلي بالنظائر Isotopes . إن العلاقة بين عدد النيوترونات إلى عدد البروتونات يزداد من واحد إلى حوالي واحد ونصف، ففي ذرة الهيليوم لها [2 نيوترون +2 بروتون] بينما في اليورانيوم تحتوي على [146نيوترون و92 بروتون]. اليورانيوم الطبيعي يتواجد في الطبيعة على شكل ثلاث نظائر هي :-U^{234}، U^{235} و U^{238} وهذه تعتبر العناصر ألام لسلسلتين من عناصر التحلل الإشعاعي في الطبيعة التي تتحلل إلى عناصر أخرى وتؤدي إلى انبعاث أشعة الفا، بيتا وكَاما .من أهم خصائص نظائر اليورانيوم هي قابلية ذرة اليورانيوم على الانقسام إلى

جزئين تحت تأثير الاصطدام بالنيوترون بسرعة معينة ، ألأجزاء الجديدة المتكونة عبارة عن كتلة لعناصر أخرى اخف وزنا مع ارتباطها بتحرير كمية هائلة من الطاقة .

التحلل الإشعاعي Radiometric Decay

تعرف عملية التحلل الإشعاعي هي تحول أو انحلال نواة ذرة عنصر مشع إلي عنصر أخر جديد مع انبعاث طاقة وجسيمات ذات كتلة ، تعتمد بصورة أساسية على هروب جسيم أساسي من داخل النواة، هذه العملية لا تتأثر بالظروف الفيزيائية مثل الضغط والحرارة أو التركيب الكيميائي بل تعتمد أساسا على عدد الذرات الموجودة والاختلاف الوحيد هو اختلاف معدل التحلل الإشعاعي من نظير مشع إلى أخر. عادة ما يعبر عن معدل سرعة التحلل الإشعاعي بكمية مرتبطة بها وهي ما تسمى (نصف العمر Life – Half، التي تمثل الفترة الزمنية اللازمة لتحلل أو تحول نصف عدد ذرات المادة ألام Parent atoms إلى عنصر اخر جديد، جدول رقم (6–3) يمثل سلسلة الحلل الإشعاعي للنظائر المشعة الرئيسية مع نصف العمر لكل عنصر في السلسلة. تجدر الإشارة هنا إلى أن كل نواتج سلسلة التحلل الإشعاعي تعطي انبعاثات لأشعة كَاما ولكن تم تأشير النواتج التي تعطي طاقة عالية من أشعة كَاما كونها مهمة ويمكن تحسسها بسهولة وعليها تقوم عمليات الاستكشاف الإشعاعي الحقلي.

نصف العمر للذرات المشعة يتراوح من (10^{-6}) من الثانية لبعض الذرات إلى حوالي (10^{11}) سنة، إن نصف العمر إلى U^{238} هو (4.5×10^{9}) سنة حتى تتحول نصف الكمية من ذرات U^{238} إلى رصاص. ان معدل سرعة انحلال نوية أي عنصر (N) يتناسب طرديا مع عدد الذرات لذلك العنصر ويرمز لها بالرمز (N). لكل عنصر مشع له ثابت انحلال (λ) خاص به. لنفرض إن انحلال النظير الأم يولد نظيرا وليدا بالإشعاع وبحاله استقرار وبعدد صفر من الذرات عند زمن t = 0 وعليه فان عدد ذرات العنصر الوليد (D) المتكونة بانحلال النظير الأم (N) عند زمن (t) ممكن ان يعبر عنها بالعلاقة:–

$$D = N e^{\lambda t} - N = N(e^{\lambda t} - 1)$$

يـ

تضمن الجدول (7–3) ميكانيكية الانحلال وكذلك ثوابت الانحلال لنظائر العناصر المهمة والتي تم حسابها تجريبيا، وعند معرفة قيمة ثابت الانحلال (λ) وحساب الوجود النسبي للنظير الأم والناتج النهائي أو الوليد يمكن عندئذ تقدير أو حساب العمر (t) من المعالة اعلاه وهذا هو الأساس الذي تعتمد عليه الطريقة الإشعاعية في تقدير الأعمار.

جدول رقم (6–3) سلسلة التحلل الإشعاعي للعناصر المهمة

Parent	Mode	Daughter	Half – lift	γ energy (MeV) and % yield
^{238}U	α	^{234Th}	4.5×10^9 yr	0.09(15) 0.6(7) 0.3(7)
^{234}Th	α	^{234}Pa	24.1 day	1.01(2) 0.77(1) 0.04(3)
^{234}Pa	β	^{234}U	1.18 min	0.05(28)
^{234}U	α	^{230Th}	2.6×10^5 yr	
^{230}Th	α	^{226}Ra	8×10^4 yr	
^{226}Ra	α	^{222}Rn	1600 yr	0.19(4)
^{222}Rn	α	^{218}Po	3.82 day	
^{218}Po	α	^{214}Pb	3.05 min	
^{214}Pb	β	^{214}Bi	26.8 min	0.35(44) 0.24(11) 0.29(24) 0.05(2)
^{214}Bi	β	^{214}Po	17.9 min	2.43(2) 2.20(6) 1.76(19) 1.38(7)*
^{214}Po	α	^{210}Pb	1.6×10^{-4} sec	
^{210}Pb	β	^{210}Bi	19.4 yr	
^{210}Bi	β	^{210}Po	5.0 day	0.04(4)
^{210}Po	α	^{206}Pb	138.4 day	
^{232}Th	α	^{228}Ra	1.4×10^{10} yr	0.06(24)
^{228}Ra	β	^{228}Ac	6.7 yr	
^{228}Ac	β	^{228Th}	6.1 hr	1.64(13) 1.59(12) 0.99(25) 0.97(18)*
^{228}Th	α	^{224}Ra	17.9 yr	
^{224}Ra	α	^{220}Rn	3.64 day	
^{220}Rn	α	^{216}Po	54.5 sec	
^{216}Po	α	^{212}Pb	0.16 sec	
^{212}Pb	β	^{212}Bi	10.6 hr	0.30(5) 0.24(82) 0.18(1) 0.12(2)*
^{212}Bi	β (66 %)	^{212}Po	40 min	1.18(1) 0.83(8) 0.73(10)
^{212}Po	α	^{208}Pb	0.3×10^{-6} sec	
^{212}Bi	α (34 %)	^{208}Tl	97.3 min	
^{208}Tl	β	^{208}Pb	3.1 min	2.62(100) 0.86(14) 0.58(83) 0.51(25)*
^{40}K	β (89 %)	^{40}Ca	1.45×10^9 yr	
	K (11 %)	^{40}Ar	1.17×10^{10} yr	1.46(11)

جدول رقم (7-3) ثوابت الانحلال لنظائر العناصر الرئيسية

Element العنصر	النظير الام	نسبة النظير الطبيعية	Decay Mechanism ميكانيكية التحلل	الابناء الستقرة Stable Daughter	Decay Constant ثابت التحلل	نصف العمر Half – Life (السنة)
اليورانيوم Uranium	U^{238}	99.274	$(8\alpha + 6\beta)$ series Decay Spontaneous fission	Pb^{206} Various	1.55125×10^{-10}	4.468×10^{9}
	U^{235}	0.720	$(7\alpha + 6\beta)$ series Decay Neutron – induced fission	Pb^{207} Various	9.8485×10^{-10}	7.038×10^{8}
ثوريوم Thorium	Th^{232}	100	$(6\alpha + 4\beta)$ series Decay	Pb^{208}	4.9475×10^{-11}	1.401×10^{10}
ربيديوم Rubidium	Pb^{87}	27.85	β – emission	Sr^{87}	1.420×10^{-11}	4.88×10^{10}
بوتاسيوم Potassium	K^{40}	0.1167	11% k – electron capture 89% β – emission	Ar^{40} Ca^{40}	0.581×10^{-10} 4.962×10^{-10}	1.25×10^{9}
كاربون Carbon	C^{14}	1.6×10^{-10}	β – emission	N^{14}	1.209×10^{-10}	5.73×10^{3}

التوازن الإشعاعي Radioactive Equilibrium

عرفنا من الفقرات السابقة ان عملية التحلل الإشعاعي هي عملية إنتاج عناصر جديدة بعد إطلاقها للإشعاع وممكن ان تكون هذه الأبناء الوليدة هي نفسها تطلق إشعاع لكي تتحلل إلى نواتج أو أبناء وليدة أخرى جديدة وهكذا، عندما يتم ترك العنصر إلام في نفس المكان مع الأبناء من نواتج التحلل فإنها بعد فترة زمنية مناسبة تصبح هذه السلسلة من نواتج التحلل في حالة توازن (In Equilibrium) أي ان عدد الذرات المتكونة في الثانية الواحدة يساوي عدد الذرات المتحللة.

عندما يتم معرفة نصف العمر لكل عنصر من نواتج التحلل الإشعاعي في السلسلة فان تحلل أي عنصر يعطي معرفة عن كمية العناصر الأخرى المتكونة عند حصول حالة توازن. من الجدير بالإشارة هنا انه لا يمكن تقدير محتوى اليورانيوم بصورة دقيقة من ملاحظة شدة الإشعاع الملتقط ما لم نتحقق من درجة التوازن الإشعاعي داخل جسم الترسبات المعدنية الحاضنة لليورانيوم. سلسلة التوازن الإشعاعي ممكن أن يحصل لها انقطاع أو حالة عدم التوازن في حالة حصول هروب للعناصر الوليدة من الغازات أو في حالة حصول إذابة لبعض نواتج سلسلة التحلل ذات نصف العمر الطويل مما يؤدي إلى حصول تمويه عند العثور على نشاط إشعاعي قوي ولكنه لا يدل على وجود ترسبات لليورانيوم في حالة صدورها من الابناء الوليدة في نهاية سلسلة التحلل الإشعاعي.

قياس الشدة الإشعاعية Radiometric Intensity Measurements

تقاس الشدة الإشعاعية بوحدات الرونتكن (r) في الساعة Rontgens / hour، وتعرف وحدة الرونتكن بأنها كمية الإشعاع الذي ينتج كمية قدرها (2.083×10^{9}) زوج من الايونات في السنتمتر المكعب الواحد من الهواء تحت ظروف قياسية من الضغط والحرارة، في القياسات الدقيقة يتم استخدام مايكرو رونتكن (μr) اذ ان:-

$$1\ \mu r = 10^{-6}$$

في عمليات المسح الحقلي الاستكشافي تستخدم وحدة قياس أخرى هي عدة / ثانية أو Count / sec والتي تعبر عن شدة النشاط الإشعاعي المنبعث من سلسلة التحلل الإشعاعي. هذه الشدة الإشعاعية المقاسة يتم مقارنتها مع الشدة الإشعاعية الصادرة من مصدر مشع قياسي معروف مسبقا نسبة اليورانيوم فيه، من عملية المقارنة هذه يمكن التعرف على كمية اليورانيوم في الترسبات.

تواجد اليورانيوم في الطبيعة Natural Occurrences of Uranium

توجد معادن اليورانيوم في الطبيعة على شكل اكاسيد (Oxides) الناتجة من أصل محاليل حرمائية (Hydrothermal) وهي معادن اليورانينايت Uraninite والبجبلند Pitchblende التجوية والتعرية التي تجري على ترسبات اليورانيوم الام تعطي معادن يورانيوم ثانوية وتعتمد على الظروف الترسيبية التأكسدية التي تؤثر عليها.

من النادر في الطبيعة وجود ترسبات كبيرة غنية بخامات اليورانيوم إذ إن اليورانيوم يعتبر عنصر نشط وغير مستقر كيميائيا ولا يمكن ان يوجد في الطبيعة بصيغة حرة (Native form) ولكن يمكن أن يتواجد على شكل مركبات حاوية على ايون اليورانيل الرباعي التكافؤ U^{4+} أو ايون اليورانيل السداسي التكافؤ. يحصل ترشيح أو اختزال Leaching لليورانيوم من الصخور الأم بواسطة عمليات التجوية اذ يتحول إلى ايون اليورانيل الرباعي التكافؤ ويتحول عند وصوله إلى الطبقات الصخرية العليا قرب السطح عند دخوله في النطاق التأكسدي Oxidation Zone يتحول إلى معادن ثانوية جديدة يكون فيها اليورانيوم بشكل السداسي التكافؤ. اليورانيوم سداسي التكافؤ من صفاته يكون سريع الذوبان في المياه وممكن ان ينتقل بواسطة مجاري المياه والأنهار والمياه الجوفية إلى البحيرات والبحار، لذلك نلاحظ ان اليورانيوم لا يتواجد في الأجزاء العلوية من التكوينات الصخرية المعرضة للعمليات الغسل ومرور المياه خلالها بسبب سهولة إذابته ونقله إلى أماكن أخرى. النباتات المتحللة، الحيوانات المتفسخة التي تترك مواد عضوية خلفها تكون عامل مساعد على امتصاص اليورانيوم من المياه التي تساعد على تكوين ظروف اختزالية التي فيها تجري عمليات الترسيب بغياب الأوكسجين وتعتبر هذه الظروف الترسيبية من البيئات المناسبة لتواجد ترسبات غنية باليورانيوم.

من الظواهر الترسيبية الشائعة لتواجدات ترسبات اليورانيوم هي تواجده كترسبات ثانوية (Paragenesis) يتكون بعد ترسيب الصخور الام ويرتبط مع ترسبات الفناديوم، الفوسفات،الموليبدينوم، الرصاص والزنك.

اجهزة القياس وطريقة العمل الحقلي

هناك نوعين من أجهزة القياس تستخدم لأغراض المسح ألإشعاعي الحقلي وهي:-

1- عداد كايكر Geiger Counter

هو عبارة عن أنبوبة زجاجية مختومة تحتوي في المركز على سلك مركزي رقيق يمثل القطب الموجب محاطة باسطوانة القطب السالب، تملأ الأنبوبة بغاز الاركون حيث تتولد فولتية عالية بين الأقطاب، إن غاز الاركون هو عبارة عن غاز خامل غير موصل للكهربائية ولكن عندما تسلط أشعة كاما على أنبوبة يحصل تأيين للغاز داخل الأنبوبة ويؤدي إلى حصول سريان تيار كهربائي بين الأقطاب. يجري تكبير لنبضات التيار الناتج وتسجيله أو قراءته على عداد أو سماعة كإشارة في سماعة أُذن ،القراءة المسجلة عبارة عن قراءة معدل سرعة الذبذبات في الدقيقة الواحدة ، على نقيض جسيمات ألفا وبيتا ، حيث تكون القراءة في الجهاز عبارة عن نبضة/دقيقة Count/min.

2- العداد الوميضي Scintillation Counter

يعتبر العداد الوميضي أكثر انواع الأجهزة كفاءة وفعالية وحل محل عداد كايكر بشكل واسع في الاستخدامات الحقلية . فكرة عمل الجهاز تقوم على احتواءه على بلورة خاصة مثل بلورة الثاليوم المنشطة بأيوديد الصوديوم التي لها خاصية إبعاث ضوء مرئي عند سقوط أشعة كَاما عليها، يحصل تضخيم ومضاعفة للضوء في انبوب تضخيم Photomultiplier tubes لكي يمكن قراءة عداد الذبذبات باستخدام مقياس خاص لقراءة نبضة/دقيقة .

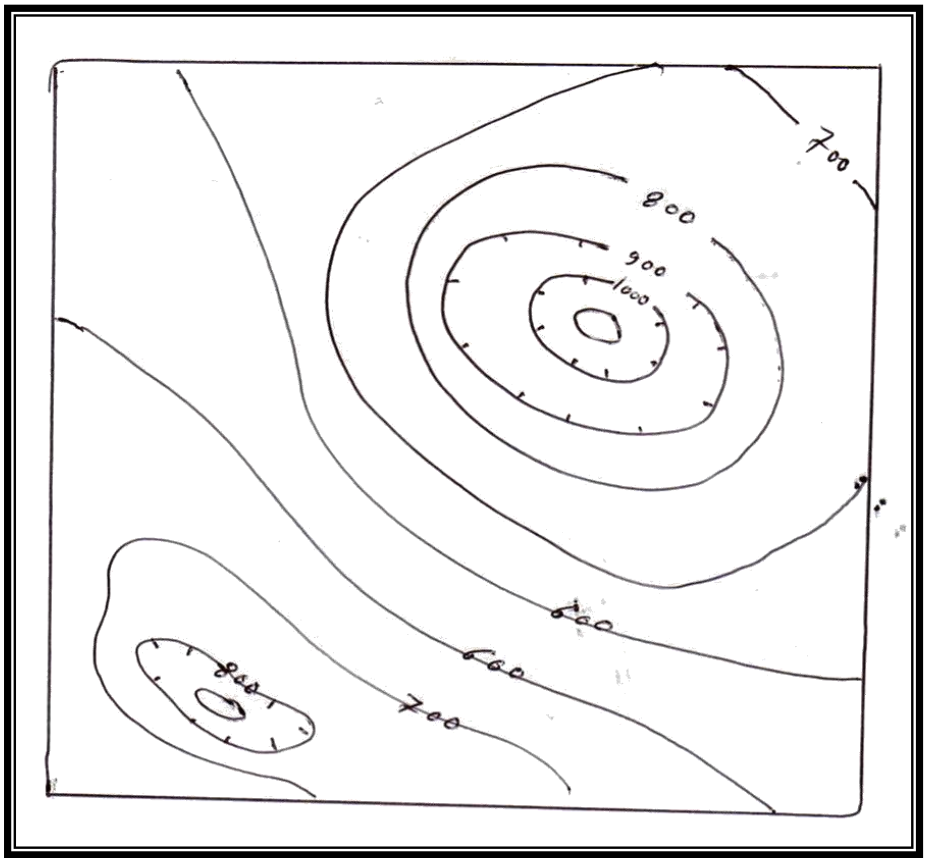
لقد جرى تطوير العداد الوميضي حديثا بحيث صممت لكي تعزل الذبذبات الناتجة من إشعاعات كاما ذات الطاقات المختلفة مما تسهل مهمة التمييز بين ترسبات اليورانيوم والثوريوم

يجري المسح الإشعاعي الأرضي من قبل شخص واحد يحمل الجهاز والمشي باتجاه خطوط مسارات المسح المحددة مسبقا وتؤخذ القراءة بمسافات محددة كأن تكون كل متر أو كل خمسة أمتار اعتمادا على سرعة ومستوى المسح الإشعاعي المستخدمة.

يستدل على وجود ترسبات لمواد مشعة اذا تم تسجيل معدل سرعة ذبذبات اكبر من الخلفية الإشعاعية Background بثلاث مرات تقريبا . إن تأثير الخلفية الإشعاعية يعود بالدرجة الرئيسية إلى الإشعاع الشمسي وكذلك إلى وجود البوتاسيوم المنتشر في معظم صخور القشرة الأرضية

نواتج أعمال المسح الحقلي الإشعاعي هو رسم خارطة كنتورية تمثل توزيع القراءات والشواذ الإشعاعية المستحصلة من الحقل ومن خلالها يستدل على المناطق ذات التراكيز

الإشعاعية العالية. عند تفسير هذه الخرائط يجب مقارنتها مع الخرائط الجيولوجية للمنطقة لانها ممكن ان يكون مصدر هذه الشواذ من صخور حاوية على مواد إشعاعية ظاهرة على السطح أو ربما تكون من صخور ذات شدة إشعاعية عالية ولكنها مدفونة تحت سطح الأرض على عمق معين تعطي نفس الشواذ والشدة الإشعاعية مما تسبب صعوبة في تفسير المعلومات. شكل رقم (108–3) يمثل خارطة إشعاعية (Isorad map) والشذوذ بمقياس عدة/ثانية.



شكل رقم (108–3) خارطة شذوذ أشعاعي Isorad map

3- حفر الآبار الاستكشافية Scout Drilling

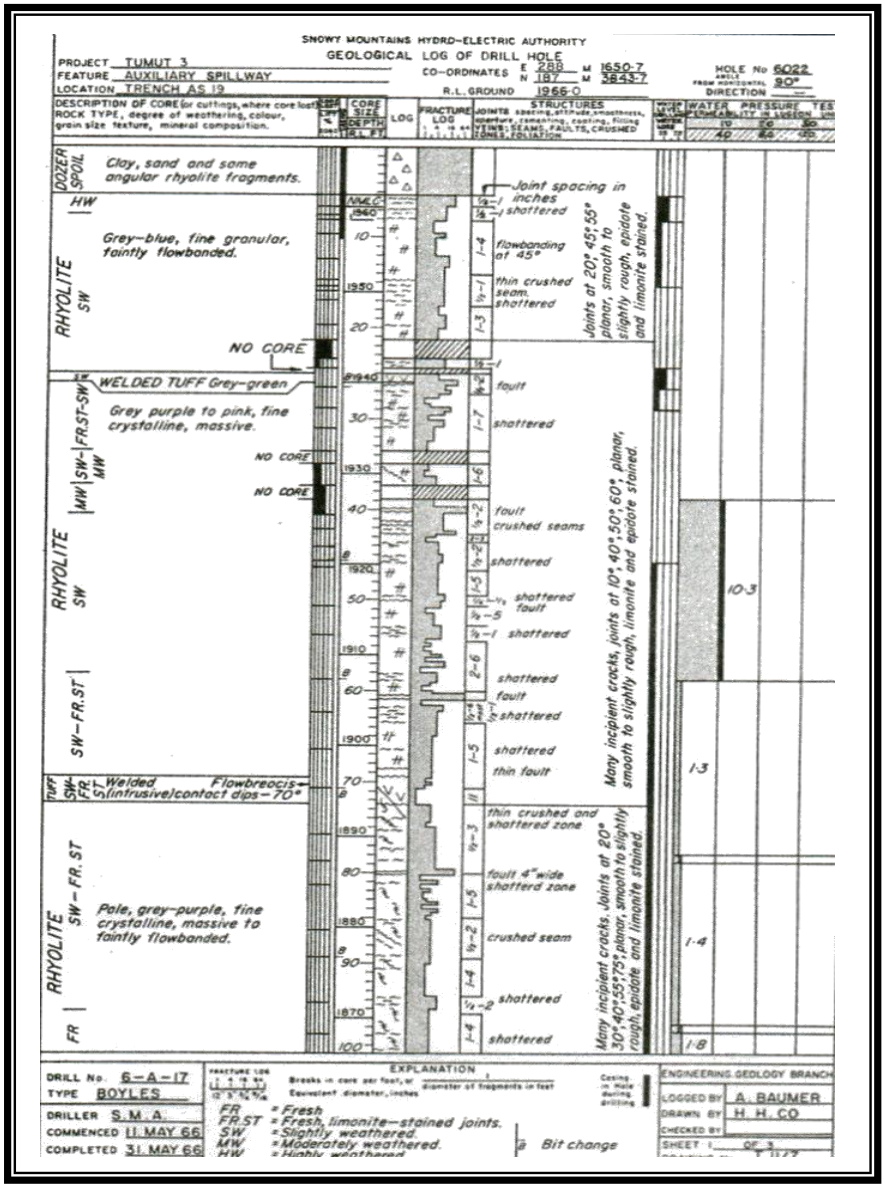
تعتبر مرحلة حفر الآبار الاستكشافية هي الحد الفاصل والمرحلة المهمة في سلسلة عمليات الاستكشاف المعدني التحت سطحي، التي يتم من خلالها الحصول على نماذج لبابيه من الأماكن المنتخبة التي يتم تحديدها مسبقا على ضوء الاستنتاجات والتوصيات من الدراسة في المراحل السابقة في اختيار أماكن حفر آبار استكشافية.

إن الحصول على نماذج لبابيه لأي مقطع طبقي أو ترسبات لتكوينات جيولوجية تحت سطح الأرض توفر إمكانية دراسة هذه الترسبات عن قرب، مع دراسة طبيعة المكونات الجيولوجية والمعدنية بالإضافة إلى تفسير الظروف الجيولوجية والترسيبية لها مع معرفة أصل نشوء وظهور هذه الترسبات. نتائج الحفر الاستكشافي تعطي إمكانية تصحيح أو مطابقة مع نتائج الدراسات السابقة من مسح الجيوفيزيائي والجيوكيميائي ومعرفة مدى فعالية هذه الطرق في تحقيق الأهداف الجيولوجية والغرض من استخدامها.

ان عمق الترسبات المعدنية، سمكها، العمود الطبقي وخصائصه الذي يعلو الترسبات مع الامتدادات الجانبية لها مهمة جدا في توفير معلومات جيولوجية مفيدة وتعطي صورة واضحة على شكل وحجم هذه الترسبات تمهيدا لإجراء دراسة تقدير حساب الاحتياطي لها كما تمت الإشارة له بصورة تفصيلية في الفصل السادس من هذا الكتاب. لكي يتم الحصول على اكبر قدر من المعلومات والنتائج من عمليات حفر الآبار الاستكشافية يجب أن تتم التوصية بضرورة الحفر أللبابي لكامل المقطع الطبقي لبعض الآبار في المنطقة لإعطاء صورة واضحة عن التكوينات الطباقية وإجراء دراسة جيوهندسية للعمود الطبقي لتوفير معلومات هندسية واضحة تستخدم عند إجراء دراسة تصميم المنجم وتصميم الأنفاق المنجمية واتجاهاتها وأسلوب الإسناد والتدعيم ان وجد.

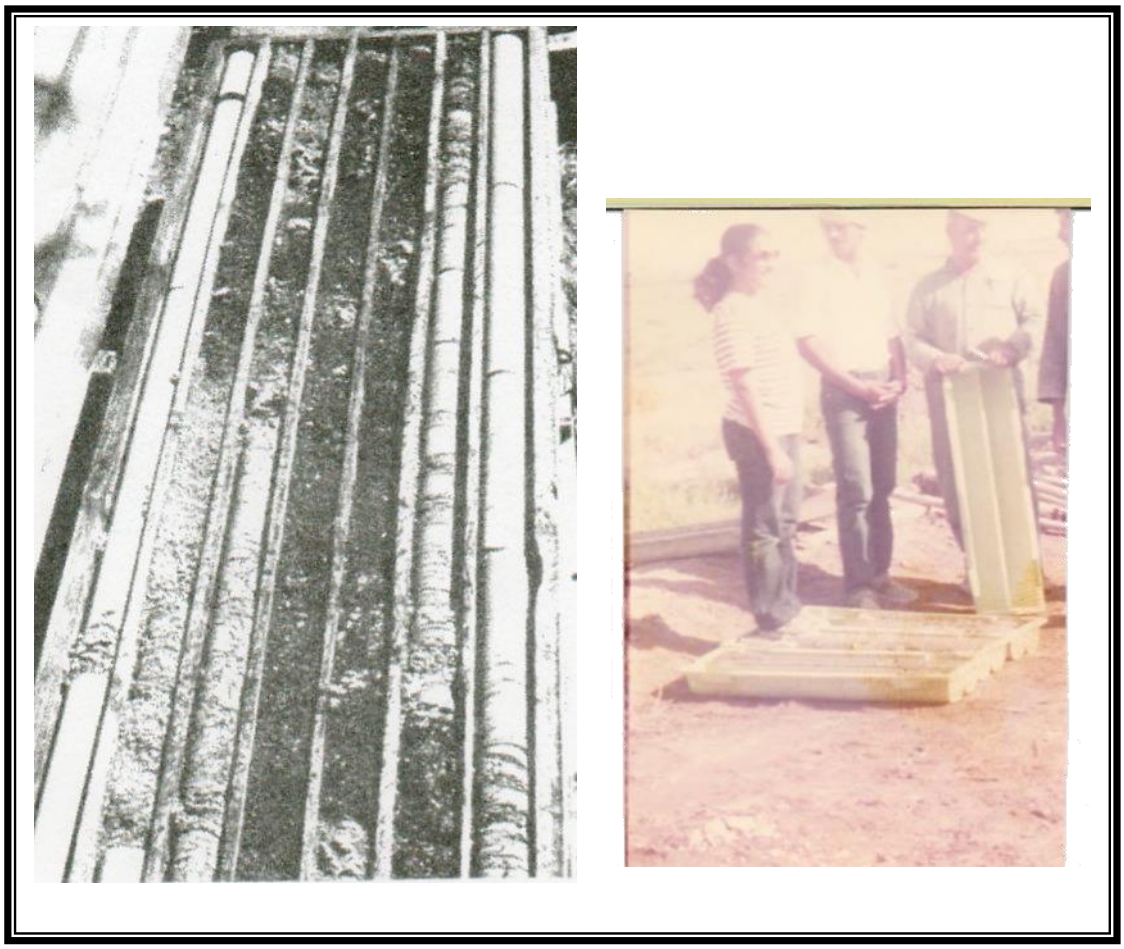
يجب أن يكون هنالك نظام نمذجة دقيق وتفصيلي لغرض الحصول على أعلى درجات الموثوقية العالية في النتائج تستخدم دائما عند إجراء دراسات تقييم الترسبات المعدنية والدراسات الجيوهندسية مع دراسات نشوء وتكوين هذه الترسبات في الحفر أللبابي الاستكشافي يجب المحافظة على ان تكون نسبة استخراج اللباب الصخري بنسبة (95 – 100%) لتكون الدراسات متكاملة وواضحة، كون الحفر أللبابي ذات كلف مالية كبيرة ويستغرق وقت طويل وأي خطأ أو فقدان النماذج قد يؤدي إلى قصور في النتائج المستحصلة وربما يؤدي إلى إعادة عمليات حفر البئر مما يؤدي إلى تأجيل الحصول على قرار صائب واحتمال حصول نقص أو قصور في جانب من جوانب التقييم المعدني. من الضروري جدا المحافظة على توثيق كافة النتائج والمعلومات المستحصلة من الحفر أللبابي وبصورة دقيقة وواضحة تستخدم لهذه الغرض نماذج معدة مسبقا (الشكل رقم 109-3) يمثل نموذج قياسي تدون فيه كافة معلومات الحفر أللبابي ليكون مرجع يمكن العودة إلى النتائج

عند الحاجة،أما النماذج اللبابية المستخرجة من الآبار يجب الاعتناء بها وترتيبها بصورة متسلسلة حسب العمق وتوضع في صناديق حفظ خاصة تستعمل في الحقل شكل رقم (3-110) مع ترقيمها ووضع علامات دلالة على بداية ونهاية كل متر في الحفر أللبابي لمنع حصول أي تداخل أو التباس قد يؤدي إلى حصول خطأ في الوصف الصخري.



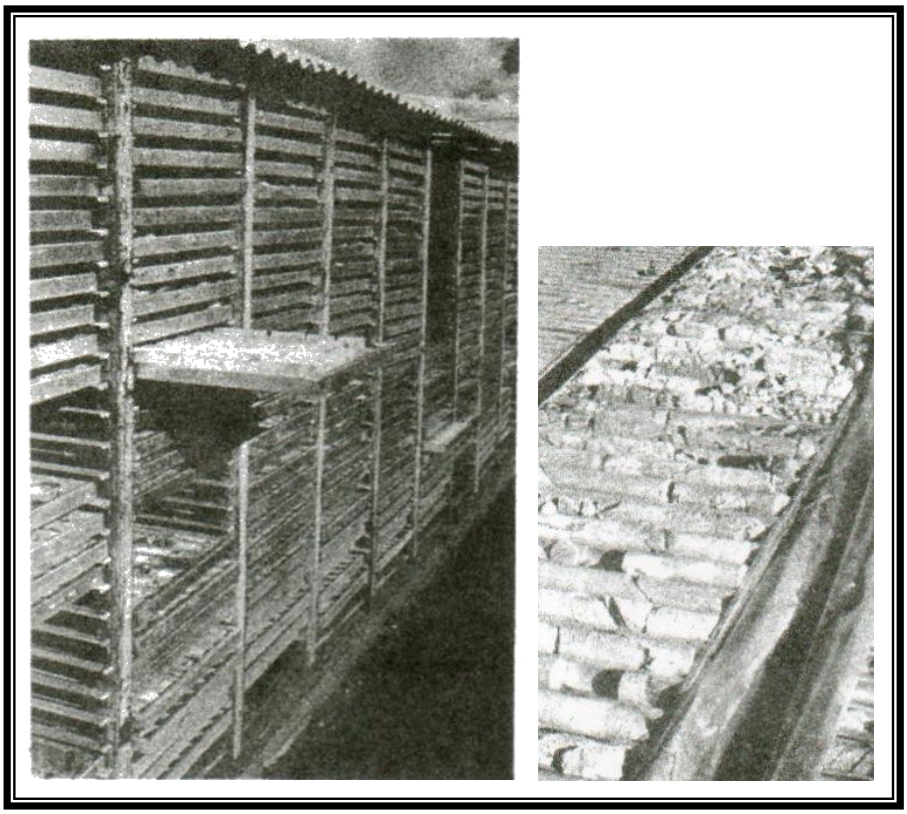
شكل رقم (3-109) مثال على نموذج وصف الحفر أللبابي للآبار الاستكشافية

المصدر: Hoek, E. f Brown, E. T. 1982. P 56



شكل رقم (110-3) صناديق حفظ النماذج اللبابية إثناء الحفر الاستكشافي الحقلي

بعد الانتهاء من إعمال حفر البئر أللبابي الاستكشافي والوصول إلى العمق المطلوب، ترتب وتحفظ كافة النماذج اللبابية في صندوق حفظ النماذج بع ترقيمها ووصفها ضمن النموذج الخاص المعد لهذا الغرض، عندئذ ترسل هذه النماذج لكل بئر إلى الورشة الجيولوجية حيث يتم تنصيف وقسم النموذج إلى نصفين متساويين ولكامل عمق البئر، احد النصفين تتم عليه إجراءات النمذجة وحسب توجيه وتوصية الجيولوجي المشرف على العمل يتم إجراء نمذجة لكل متر طول أو أكثر أو اقل حسب الفحص ألمختبري المطلوب والنتائج المراد الحصول عليها يتم إرسال هذه النماذج في أكياس خاصة منفصلة إلى المختبر بعد ترقيمها وتسجيلها في سجل خاص توثق فيه هذه الإجراءات لإغراض المتابعة وتسجيل نتائج الفحوصات المختبرية. النصف الثاني من النماذج يتم الاحتفاظ به في مخزن خاص للنماذج ويعطى أهمية خاصة في الحفظ والخزن لأنه سيكون مرجع يتم العودة إلى النماذج عند وجود أية نقص في المعلومات أو للتأثير في بعض الأحيان من الفحوصات وقد يكون مرجع للبحوث والدراسات اللاحقة كما في الشكل رقم (111-3)

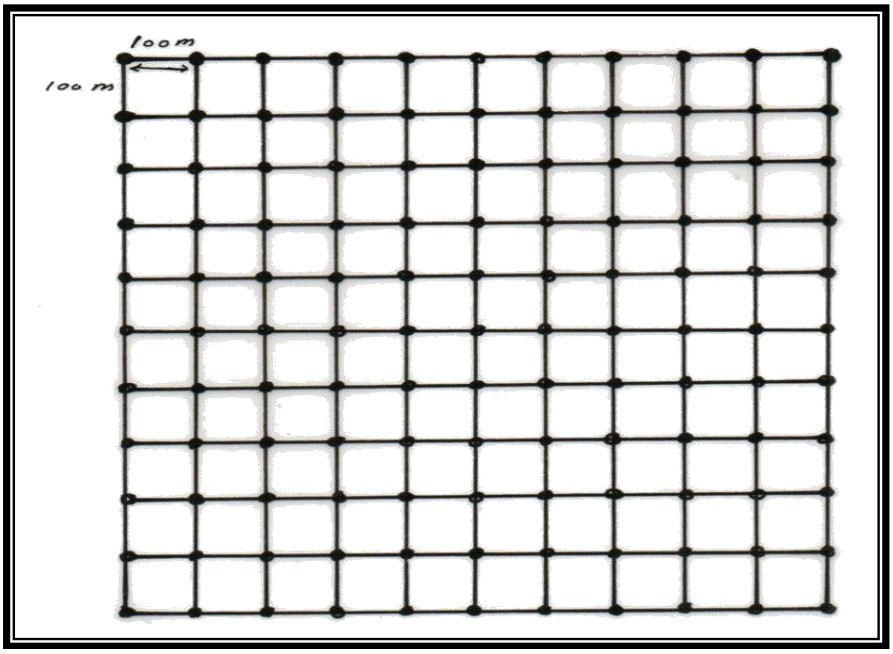


شكل رقم (111-3) مخزن حفظ النماذج اللبابية للآبار الاستكشافية

إن توزيع شبكة حفر الآبار الاستكشافية الأولية وتحديد أماكن حفر هذه الآبار يعتبر ذا أهمية كبيرة جدا في توجيه الدراسات المستقبلية بالإضافة إلى وضع خطط التوسع في المراحل اللاحقة في الدراسات المنجمية وبرامج النمذجة والحفر لغرض زيادة الدقة والموثوقية في النتائج المستحصلة من المراحل الأولى بالإضافة إلى إنها تساعد كثيرا على وضع برنامج تفصيلي للدراسة وتحليل المعلومات.

في كثير من الأحيان تكون الترسبات اما ذات درجة ميل معينة أو ترسبات عرقية وربما تكون ترسبات معقدة تكتونية حيث تظهر الحاجة إلى تكثيف أعمال الحفر لبابي مائل بدرجة معينة حتى يكون من الممكن الحصول على نموذج لبابي يمثل سمك الترسبات المعدنية.

مثال تطبيقي رقم (3-3): تم وضع برنامج حفر آبار لبابيه استكشافية لتتبع دراسة وتحديد الامتدادات الجانبية والعمودية لأحد الترسبات المعدنية ضمن مساحة قدرها (1) كم^2. سعر حفر المتر الواحد طول حفر لبابي يساوي (100) دولار/متر. تم وضع شبكة حفر للآبار الاستكشافية من قبل الجيولوجي المشرف على البرنامج وكانت الشبكة هي (100 × 100) متر المسافة الفاصلة بين الآبار. احسب الكلفة التخمينية اللازمة لتحديد هذه الترسبات والعمق يمتد إلى (150) متر تحت سطح الأرض؟



شكل رقم (112 – 3) شبكة حفر الآبار الاستكشافية

الحـل: بمـا إن المسـافة المستكشـفة هـي (1) كـم^2 وان شـبكة الحفـر هـي (100 × 100) متـر أي كـل (100) متـر يـتم حفـر بئـر استكشـافي، وعليـه فـان شـبكة الحفـر ضـمن (1) كـم^2 تكون كما في الشكل رقم (112 – 3)

عدد الآبـار المطلـوب حفرهـا سـيكون 11 × 11 = 121 بئـر الحفـر أللبـابي يمتـد إلـى عمق (150) متر تحت سطح الأرض

مجموع عدد الآبـار ×عمـق كـل بئـر 121× 150 = 18150 متـر مجمـوع أطـوال الحفـر أللبابي

الكلفة الكلية للحفر تساوي مجموع أطوال الحفر × كلفة حفر المتر الواحد =

1815 × 100 = 1.815.000دولار الكلفة الكلية لبرنامج الحفر اللبابي الاستكشافي.

الفصل الرابع

احتياطي الترسبات المعدنية Mineral Deposits Reserves

(4-1) المقدمة:

عبر المنظور الزمني القديم للمجتمعات البشرية وتلبية لحاجات الإنسان خلال حياته منذ القدم عمد إلى استغلال الموارد الطبيعية والثروات المعدنية بطرق بدائية ويدوية نظرا لتوفر الأيدي العاملة الرخيصة ومع مرور الزمن أدى إلى استنفاذ كامل للخامات والموارد الطبيعية القريبة من سطح الأرض وخاصة تلك ذات التركيز العالية، وخلال تطور الحياة البشرية وللطلب المتزايد على تلك الخامات والموارد الطبيعية حتمت على الإنسان التفكير في كيفية استغلاله للثروات تحت سطح الأرض أو ذات التركيز الواطئة مما أدى ذلك إلى أن يطور سبل ووسائل البحث عن هذه الموارد وكذلك تطوير طرق الاستخراج والاستغلال ألمنجمي ولجأ إلى استخدام التقنية الحديثة التي تستلزم استثمار رؤوس أموال كبيرة في هذه المشاريع.

من المعروف في المفهوم الجيولوجي إن الخامات والترسبات المعدنية تتواجد في القشرة الأرضية بأشكال ونماذج متعددة وتختلف بعضها عن بعض الأخر في ناحية الشكل والحجم وطبيعة تراكيز المعادن الموجودة فيها ولكل خام له خصائص ومميزات جيولوجية وتركيبية حسب الظروف ألترسيبية التي أدت إلى ظهور ونشوء هذه الترسبات.. فهي صعبة ومعقدة وذات متغيرات عديدة ولكل نوع من الترسبات المعدنية يعتبر جسم معدني له مميزاته الخاصة به قائم بذاته ولكل نموذج منها يحتاج إلى تفسير ودراسات جيولوجية وكيميائية وفيزيائية لفهم طبيعة هذه الجسم المعدني قبل الشروع بأي مرحلة من مراحل الاستخراج أو الاستغلال ألمنجمي.

إن الهدف الأساسي من أي برنامج استكشافي في التحري والتنقيب عن الترسبات المعدنية بصورة عامة سواء كانت مكشوفة على سطح الأرض أو مخزونة في باطن الأرض هو رصد واكتشاف لهذه الترسبات لغرض الاستفادة منها لتلبية الحاجات البشرية والمتطلبات الصناعية من المواد الأولية، لذلك عندما يحقق أي برنامج استكشافي نجاحات في العثور على أي ترسبات معدنية فإنها تخضع إلى سلسلة من الدراسات الجيولوجية والمراحل المتعاقبة من عمليات التحري والتنقيب التفصيلي وعمليات تقييم متعاقبة كل هذه المراحل والجهود تحتاج إلى استثمار رؤوس أموال كبيرة بالإضافة إلى وقت زمني طويل الهدف منها هي التحقق من هذه الترسبات وبالتالي تحديد امتداداتها وعمقها وشكلها وكذلك سمك هذه الترسبات مع فهم خصائصها الفيزيائية والكيميائية وما تحويه من تراكيز معدنية والتي تنتهي كل هذه الدراسات والمراحل التقييمية في ما يسمى في هذا الفصل احتياطي الترسبات المعدنية وسوف نتطرق إلى مزيد من التفاصيل حول مفهوم الاحتياطي المعدني وطرق تصنيف الاحتياطي المعدني.

(4-1-1) مفهوم الاحتياطي المعدني Concept of Ore Reserves

يمكن تعريف الاحتياطي المعدني انه مقدار أو كمية الخزين من الخامات أو الثروات المعدنية والطبيعية القابلة للاستخراج والاستغلال وقت التقدير أو في المستقبل الذي أمكن معرفة وتقدير كمياتها. هذا الخزين اما يكون كميا يقدر بالأطنان مثل احتياطي الترسبات المعدنية أو حجميا كاحتياطي الغاز الطبيعي والنفط والمياه الجوفية. هذا الخزين إما يكون مكشوفا على سطح الأرض أو يكون تحت سطح الأرض على أعماق مختلفة، ويكون إما خام معدني فلز أو لا فلز أو صخور صناعية أو مواد أولية هذه كلها تندرج تحت مسمى الترسبات المعدنية التي تتواجد في الطبيعة بكمية محدودة وتركيز معين ولها حجم وشكل ثابت ومن الممكن استغلالها بجدوى اقتصادية لأغراض صناعية وبشرية مفيدة. من هذا نستنتج ان المعرفة الجيولوجية وتوفر الخبرة تعتبر من اهم العوامل التي تساعد على إجراء الحسابات والتقديرات للتحقق من الاحتياطي لأنه هو ليس رقم مجرد يمكن استنتاجه من حسابات رياضية أو تقديرية انما هذه الحسابات مرتبطة بخصائص تقدير احتياطي تلك الترسبات.

إن ما تتوصل اليه هذه الدراسات من نتائج ايجابية هي الأهداف المنشودة التي يطمح اليها الجيولوجي والمستثمر على حد سواء والتي تعتبر في النهاية هي ثمرة الإنسان عبر التاريخ وفي المستقبل في طموحه المشروع لسعي في اكتشاف الثروات المعدنية المخزونة في باطن الأرض واستغلالها واستثمارها انها هبة الله عز وجل لهذه البشرية لكي تنعم بما جناها الله من موارد وثروات وكنوز لتمكن البشرية في تطوير حياتها ومعيشتها وتلبية لمتطلباتها الصناعية من هذه المواد، لذلك يعتبر موضوع الاحتياطي المعدني من المواضيع الأساسية والمهمة في الدراسات الجيولوجية التي تهتم بعمليات تقييم الترسبات المعدنية التي يجب ان تواجه بكل عناية ودقة وهذه الدراسات وما تترتب عليها من نتائج هي التي تقود إلى المراحل اللاحقة التي يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار من قبل الجيولوجي من ناحية استغلال هذه الترسبات وإنتاج المعادن وتحويل هذه الترسبات إلى أطنان وتراكيز Grade- tonnage، وعليها لذلك ترتكز قرارات ادارية مهمة لغرض تطوير وانشاء مشاريع استخراجية كبيرة وقيام صناعة تعدينية جديدة تؤدي إلى ظهور نشاط اقتصادي وبشري ومدني مهم.

وأخيرا يعتبر الاحتياطي المعدني هو بمثابة الجسر الذي يربط بين مراحل الاستكشاف والتحري المعدني ومرحلة الاستغلال ألمنجمي حيث ان أي ضعف أو سوء تقدير ممكن أن يؤدي إلى نتائج مخجلة وممكن ان يؤدي إلى كارثة.

اصبح الاحتياطي المعدني يرتكز على عدة مفاهيم أساسية حتى يمكن ان يسمى احتياطي قبل اعطاء الرقم التقديري لهذه الكمية من الترسبات وهذه المفاهيم أو الخصائص هي:-

أ- كمية محددة ومثبتة من الترسبات المعدنية.

ب- كمية محددة الشكل والحجم.

ج - محددة درجة تركيز الخام.

د- ممكن الاستغلال وقت التقدير أو مستقبلا.

هـ - ممكن استغلاله بجدوى اقتصادية مهمة.

و- ممكن معالجته واستخلاص مكوناته المعدنية بسهولة.

بعد ان يتم تحديد الاحتياطي المعدني من ناحية الشكل والابعاد والحجم قام الاختصاصيون في مجال جيولوجيا المناجم إلى تقسيم الاحتياطي المعدني إلى عدة اقسام حسب إمكانية الاستغلال من الناحية ألمنجميه هي كما يلي :-

(4-1-1-1) الاحتياطي الصناعي Industrial Reserve

وهو الاحتياطي من الترسبات المعدنية أو الصخور المعدنية القابلة للاستخراج والاستغلال لتلبية المتطلبات الصناعية والحياتية بجدوى اقتصادية مربحة وقت الاستغلال محددة الشكل والحجم والكمية وتم وصف خصائصه المعدنية والتعدينية.

(4-1-1-2) الاحتياطي ألموقعي In site Reserve

وهو الاحتياطي من الترسبات المعدنية أو الصخور الصناعية المخزونة في القشرة الأرضية في موقع تكونه وتواجده لم يتم تحديد شكل وحجم هذه الاحتياطي ولم يتم التعرف على مواصفاته المعدنية والتعدينية بعد.

(4-1-1-3) الاحتياطي ألمنجمي Mining Reserve

وهو الاحتياطي من الترسبات المعدنية أو الصخور الصناعية الذي تم تحديد شكل وحجم هذه الاحتياطي وتم وصف مميزاته وخصائصه التعدينية وهو الاحتياطي القابل للاستخراج والاستغلال من موقع تواجده ويعتبر هذا الاحتياط اقل كمية من الاحتياطي ألموقعي بنسبة معينة يحددها معامل الاستخراج ألمنجمي Mining factor حيث يعتمد هذا العامل على نوع الطريقة ألمنجميه المتبعة وكذلك على جيولوجية وطبيعة الترسبات المعدنية.

(4-1-1-4) الاحتياطي المعملي Mill Reserve

وهو الاحتياطي من الترسبات المعدنية أو الصخور الصناعية ويسمى كذلك بالاحتياط الفعال Effective Reserve وهو اقل مقداراً من الاحتياطي ألمنجمي بنسبة معينة تسمى بمعامل الاسترجاع Recovery factor ويقصد به نسبة أو كمية المعدن في الخام التي من الممكن الحصول عليها بعد اجراء عمليات الاستخلاص المعملي.

(4-2) الموارد الطبيعية Resources

يمكن تعريفها بانها الترسبات المعدنية أو الصخور الصناعية التي تم اكتشافها وتحديد موقعها ولكن لا ينطبق عليها تعريف الاحتياطي بسبب عدم توفر اية معلومات عن امتداداتها وشكلها وحجمها وكمياتها إلى غير ذلك من عناصر تعريف الاحتياطي وممكن ان تتحول إلى احتياطي في المستقبل بعد اجراء دراسات تفصيلية عليها لتطبيق شروط الاحتياطي عليها أو تكون ذات جدوى اقتصادية وممكنة استثمارها في المستقبل.

(4-3) تصنيف احتياطي الترسبات المعدنية

إن احتياطي الترسبات التي يتم تحديدها بعمليات التحري والاستكشاف الجيولوجي Geological Investigation خلال المراحل الأولية من أي برنامج استكشاف جيولوجي فان هذه الاحتياطات تخضع إلى سلسلة أو عدة مراحل من أعمال الدراسات الجيولوجية و التقييمية وفي كل مرحلة من هذه المراحل لها مقاييسها ومحدداتها ودقتها في تقدير الاحتياطات تعتمد بصورة كبيرة على حجم أعمال النمذجة المنفذة في كل مرحلة سواء كانت نمذجة سطحية أو نمذجة بواسطة أعمال حفر لبابي وتعتمد على طبيعة وجيولوجية الترسبات المعدنية من حيث نشأتها وتواجدها وكذلك تعتمد دقة التقديرات على مقاييس العمليات الاستكشافية والدراسات التقييمية التي تخضع لها هذه الترسبات أو تعود ايضا لأسباب مالية تعزى إلى التكاليف المستثمرة لتنفيذ أي مشروع جيولوجي استكشافي وبناءا على الأسباب اعلاه فان دقة تقديرات الاحتياطي وتباين مستويات هذه التقديرات في كل مرحلة، من هنا برزت الحاجة إلى وضع تصنيف للاحتياطي يتناسب دقته ودرجة الوثوق بالمعلومات المستنتجة اعتمادا على كل مرحلة مراحل التقييم تتناسب مع كثافة الأعمال الجيولوجية والدراسات التقييمية التي تجرى عليه.

لقد تم وضع عدة تصانيف ومسميات لتصنيف الاحتياطي من قبل الباحثين والمختصين في مجال جيولوجيا المناجم والتقييم المعدني تعتمد على المدارس العلمية واجتهاداتها وفلسفتها في تفسير مفهوم الاحتياطي بالاعتماد على دقة وكثافة النتائج والمعطيات ألمستحصلة في اعمال الاستكشاف والتقييم التي تخضع لها الترسبات المعدنية وكذلك جدواها الاقتصادية في تنفيذ برامج التعدين والتسويق انطلاقا من مبدأ الربح والخسارة ان اهم هذه التصانيف التي تستخدم بصورة واسعة في مجال جيولوجيا المناجم هي:-

(4-3-1) التصنيف الانكليزي

وضع هذا النظام من قبل معهد المناجم البريطانية (Institution Mining of Metallurgy) عام 1902 تم تقسيم الاحتياطي للترسبات المعدنية إلى ثلاث اصناف هي:-

(4-3-2) الاحتياطي المثبت Proven Reserve

في هذا الصنف من احتياطي الترسبات المعدنية يتم حساب حجم وكمية الاحتياطي ويتم التأكد من حدود امتدادات ومعدل درجة تركيز الترسبات بواسطة اجراء نمذجة تفصيلية وحفر ابار لبابية ودراسات تفصيلية معمقة لإعطاء صورة واضحة عن هذا الاحتياطي ضمن حدود الجسم المعدني من كافة الجهات.

(4-3-3) الاحتياطي المحتمل Probable Reserve

في هذا الصنف من الاحتياطي فان الترسبات المعدنية تخضع لنمذجة غير تفصيلية وتكون من ثلاث جهات أو جهتين ضمن حدود الجسم المعدني ولا تعطي صورة واضحة عن امتدادات وحدود تلك الترسبات من جميع الجهات لا يمكن حساب كمية الاحتياطي بدقة حيث تكون المعلومات الجيولوجية عن امتداد تلك الترسبات واضحة ومعروفة ومن الممكن اجراء بعض التقديرات الأولية عن الاحتياطي لتلك الترسبات لاحتمال وجودها ضمن الحدود الجيولوجية لتلك الترسبات.

(4-3-4) الاحتياطي الممكن Possible Reserve

في هذا الصنف من الاحتياطي تكون المعلومات المتوفرة هي عن طريق المعلومات الجيولوجية والتركيبية للمنطقة والمكتشف من الترسبات المعدنية يتم عن طريق نمذجة قليلة من جهة واحدة وفي جزء من المنطقة المستهدفة بالدراسة أي ان المعلومات المتوفرة عن امتدادات وحدود الترسبات المعدنية تتم عن طريق دراسات جيولوجية وتخمينية قائمة على الدراسة بصورة كبيرة وليست دراسات حقلية متكاملة.

(4-2-2) التصنيف الأمريكي

وضع هذا التصنيف من قبل معهد المناجم الأمريكي عام 1943 ويستند هذا التصنيف على محورين هما درجة الدقة والتأكيد للمعطيات الجيولوجية ألمستحصلة من النماذج والمحور الاخر هو الجدوى الاقتصادية من استغلال هذا الاحتياطي، ان المفهوم وفق التصنيف الامريكي يقوم على أساس اقتصادي ومدى ملائمة الاحتياطي لتلبية الحاجات الصناعية المحلية أو الاقليمية وعلى هذا الأساس تم تقسيم الاحتياطي وفق فلسفة التصنيف الامريكي إلى ثلاث اصناف هي :-

(4-2-2-1) الاحتياطي الموزون Measured Reserve

وهو احتياطي للترسبات المعدنية الذي تم حساب كميته Tonnage من نماذج استحصلت من مكاشف وخنادق وآبار واعمال منجميه وكذلك تم حساب درجة تركيز الخام من نتائج نمذجة تفصيلية. يجب ان تكون هناك معرفة وفهم واضح للمميزات والخصائص الجيولوجية للخام وكذلك يتم تحديد شكلها وحجمها ومكوناتها المعدنية. يجب ان تكون جميع الحسابات والتقديرات محسوبة بكل دقة وان نسبة الخطأ فيها يجب ان لا تتعدى عن 20%.

(4-2-2-2) الاحتياطي الموضح Indicated Reserve

وهو احتياطي الترسبات المعدنية الذي تم حساب كمية هذا الاحتياطي ودرجة تركيز الخام بالاستناد جزئيا إلى قياسات نوعية ونمذجة أو نتائج إنتاج منجمي وكذلك جزئيا يستند على شواهد جيولوجية. ان مواقع القياسات أو شبكة النمذجة تكون ذات مسافات متباعدة وذات توزيع عشوائي تكون غير ملائمة لتحديد شكل وحجم ودرجة تركيز الترسبات المعدنية.

(4-2-2-3) الاحتياطي المستدل Inferred Reserve

وهو احتياطي الترسبات المعدنية الذي تستند تقديرات وحسابات كمية الاحتياطي ودرجة تركيز الخام على أساس معرفة وفهم واسع للمميزات والخصائص الجيولوجية للترسبات المعدنية وتعتمد كذلك على مواقع نماذج وقياسات قليلة التخمينات للاحتياطي لهذا الصنف تقوم كذلك على شواهد جيولوجية أو مقارنتها مع ترسبات معدنية مشابهة لها من حيث الخصائص الجيولوجية.

بعد دراسة هذه التصانيف الثلاثة لاحتياطيات الترسبات المعدنية وفق المفهوم أو التصنيف الأمريكي نلاحظ انها تقوم على أساس الجدوى الاقتصادية لهذه الترسبات وقت التقدير وان لم يكن ذات جدوى أو ذات ربحية اقتصادية فلا ينطبق عليها مفهوم الاحتياطي وإنما تندرج ضمن مفهوم الموارد والثروات (Resources) وقد تتحول إلى صنف الاحتياطي عندما تتغير الموازين الاقتصادية كارتفاع الاسعار للمنتوج أو انخفاض كلف الانتاج باستعمال مكننة حديثة.

(4-2-3) التصنيف الروسي

وضع هذا التصنيف من قبل أكاديمية العلوم السوفيتية Soviet Academy of Sciences عام 1933 وأُعيد مراجعته عام 1953 ويستخدم لحد الان من قبل المؤسسات الجيولوجية السوفيتية وتم تصنيف احتياطات الترسبات المعدنية إلى اربع اصناف هي:

(4-2-3-1) الاحتياطي صنف (A)

ويمثل هذا الصنف اعلى درجة من الدقة ومن الموثوقية في حساب كمية الاحتياطي للترسبات المعدنية حيث يقابل هذا الصنف كل من الصنفين المثبت (Proven) والموزون (measured) في التصانيف الانكليزية والأمريكية على التوالي. يمثل هذا الصنف احتياطي الترسبات المعدنية التي لدراسات تفصيلية وتقييم معدني واسع وتم معرفة شكل وحجم هذه الترسبات مع وصف طبيعة الترسبات وتم تحديد كذلك التوزيع المعدني بدقة ودراسة وتحديد الخصائص الجيولوجية والتعدينية وألمنجمية للدراسات حيث تستند هذه المعلومات والدراسات على النماذج وابار واشغال منجمية تفصيلية.

(4-2-3-2) الاحتياطي صنف (B)

يمثل هذا الصنف احتياطي الترسبات المعدنية التي تم دراستها وإستكشافها بشكل تفصيلي بحيث يتم تحديد شكلها وحجمها وطبيعة التمعدن في تلك الترسبات ودراسة الاستخلاص المعدني من ناحية الاقتصادية ولا يتطلب هذا الصنف تحديد دقيق لامتداد الترسبات المعدنية ويقابل هذا الصنف

للاحتياطي الصنفين المحتمل (Probable) والموضح (Indicated) في النظامين الانكليزي والأمريكي على التوالي.

(4-2-3-3) الاحتياطي صنف (C)

يمثل هذا الصنف احتياطي الترسبات المعدنية التي تم اجراء دراسة ومعرفة تفصيلية كاملة لتحديد شكلها وحجمها وتركيبها وكذلك تحديد المميزات والخصائص الجيولوجية وألمنجمية بشكل عام وهذا التقدير يستند على نتائج نماذج آبار لبابية وخنادق واشغال منجميه وكذلك دراسات جيولوجية وجيوفيزيائية. ويقابل هذا الصنف للاحتياطي الصنفين الممكن (Possible) والمستدل (Inferred) في النظامين الانكليزي والأمريكي على التوالي.

(4-2-3-4) الاحتياطي صنف (C_2)

يمثل هذا الصنف احتياطي الترسبات المعدنية التي تم معرفة وفهم الاحتياطي له عن طريق تقديرات مستحصلة من نماذج أو معطيات استكشافية قليلة ويتم تحديد طبيعة الترسبات المعدنية وشكلها وخصائصها ومكوناتها المعدنية بالاستناد على دراسات جيولوجية ومختبرية وجيوفيزيائية ومن مواقع نماذج أو آبار أو مكاشف صخرية متباعدة.

(4-4) اسباب ظهور هذه التصانيف للاحتياطيات الترسبات المعدنية

استعرضنا في الفقرة السابقة ثلاث تصانيف رئيسية مستخدمة في جيولوجيا المناجم والتقييم المعدني بصورة كبيرة وهي أصناف عالمية تعكس هذه التصانيف وجهة نظر كل مؤسسة التي أوجدت التصنيف من ناحية طبيعية فهمهما وفلسفتها وطرق تقييمهما للترسبات المعدنية بالاستناد إلى كثافة النماذج المستخدمة ونوع الخصائص والمميزات التي تدخل في التقييم والجدوى أو الأهمية الاقتصادية للترسبات باعتبار ان هذا العامل هو العامل الرئيسي لتنشيط مهنة العمل ألمنجمي والصناعة المعدنية.

نلاحظ ان هذه التصانيف تستخدم مفاهيم مرنة وغير محدودة لطبيعة الدراسات والمعطيات والدراسات التقييمية المطلوبة لتحديد كل صنف من هذه الاصناف، كل منه له وجهة نظر واستيعاب خاص يعتمد بموجبه على استخدام شبكة نماذج محدودة، نوع النماذج المطلوبة، كيفية وضع الفروقات بين الدراسات والنتائج التفصيلية وغير التفصيلية وطبيعة المستويات المطلوبة من دقة الأعمال ومقاييس الحدود والتراكيز والجدوى الاقتصادية كل هذه المتغايرات مجتمعة تؤخذ بنظر الاعتبار مرة واحدة ويتم وزنها ومعايرتها لوضع الحدود اللازمة والدقة في تقدير الاحتياطي وبالتالي تصنيفه على ضوء طبيعة الترسبات المعدنية وتركيبها الجيولوجي والعامل الاقتصادي الحاسم في وضع الاحتياطي للمصنف المناسب له.

(4-5) العوامل التي تؤثر على تغيير صنف الاحتياطي الموقعي إلى الصنف المعملي

في كافة الأعمال ألمنجميه والتشغيلية والتعدينية لا يمكن استخراج كامل للترسبات المعدنية التي تم تقدير الاحتياطي لها من موقعها وإرسالها إلى معمل التنقية والاستخلاص بكامل الاحتياطيات المقدرة فلا بد ان يحصل لها اما زيادة أو نقصان في الكمية المجهزة تحكمها في ذلك عدة عوامل وهي:-

(4-5-1) حد القطع للتركيز cut –off Grade

ان تحديد حد القطع للتركيز قرار فني يتخذ اثناء عمليات التخطيط ألمنجمي Mining planning ودراسات الجدوى الاقتصادية، ويتم ذلك اعتمادا على نسبة المكونات المعدنية، سمك الترسبات المعدنية، كمية الإنتاج اليومي، موقع التمعدن، كذلك المردود الاقتصادي من بيع المعادن المنتجة ومعامل الاستخلاص Recovery Factor. يعتبر حد القطع للتركيز مفهوم اقتصادي يسيطر على عمليات التشغيل ألمنجمي في الحالتين المنجم السطحي أو تحت سطح الأرض بعض الأعمال ألمنجميه التي تتعامل مع الترسبات المعدنية ذات التركيز الواطئة تحتاج إلى ترك قسم من هذه الترسبات مع الصخور العقيمة لمنع حصول تخفيف للخام وهي نسبة تعتبر في حسابات الجدوى الاقتصادية لا تؤثر كثيرا على نسبة الإنتاج النهائي ولكن تؤدي إلى نقص في كمية الاحتياطي المقدرة. في حالة الصخور ذات التركيز العالي، أهمية هذه التراكيز انها تعطي إنتاج نهائي عالي وبذلك يتم قلع قسم من الصخور العقيمة وخلطها مع الخام عندئذ يحصل تخفيف للتراكيز بنسبة معينة وزيادة في كمية الاحتياطي المقدرة هذه الموازنة بين كمية الاحتياطي ودرجة التراكيز مهمة في عمليات التشغيل ألمنجمية في كافة مراحلها للحفاظ على اكبر كمية من الاحتياطي بدرجة تركيز معقولة لضمان اكبر كمية من الانتاج لكلفة اقتصادية واطئة.

(4-5-2) نسبة أو كمية الخام المستخرج من المنجم Percentage Mineability

تعتمد نسبة أو كمية الخام المستخرجة من المنجم على عدة عوامل اهمها:-

أ- طبيعة الأرض في موقع المنجم اذا كانت سهلة أو وعرة أو منطقة زراعية وكذلك بعدها وقربها عن مركز المدينة ومدى توفر الخدمات.

ب-الطريقة ألمنجميه المستخدمة في الاستخراج.

ج-المعدات ونوع المكننة المستخدمة في عمليات الاستخراج.

د- درجة الخام وحدة القطع للتركيز والسمك.

هـ- شكل وحجم وامتدادات الجسم المعدني.

(4-5-3) نسبة التخفيف للترسبات المعدنية Dilution factors

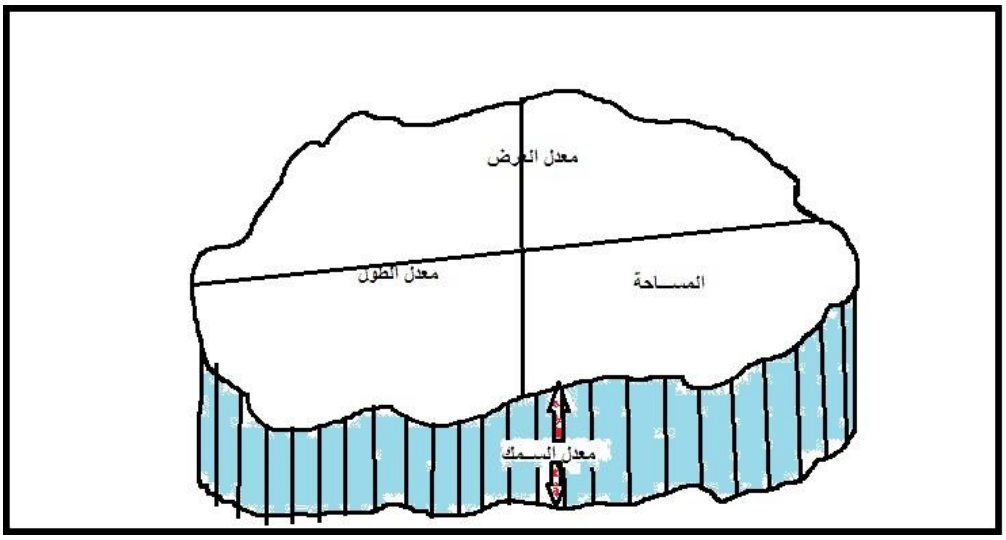
التخفيف للترسبات المعدنية يحصل اما بإضافة مواد صخرية خالية من أي مكونات معدنية أو إضافة خامات بتراكيز واطئة، هذه الإضافة تؤدي إلى خفض حد القطع للتركيز وبالتالي حصول زيادة بكمية الاحتياطي المحسوب على أساس حد قطع محدد للتركيز. السبب الاخر التي يؤثر على عامل التخفيف هو عامل إحصائي وحسابي، إن تحديد معدل حد القطع للتركيز يتم على أساس دراسة نتائج النمذجة وتقييم هذه النتائج في حين اثناء العمليات ألمنجميه القلع قد يكون ذات تركيز اعلى من المعدل أو اقل من درجة حد القطع للتركيز، هذا التغير في تراكيز كميات الخام المرسلة إلى معمل التنقية والاستخلاص تؤدي إلى حصول تذبذب في كميات الإنتاج النهائي من المعدن وبالتالي يؤثر على الكلف الإنتاجية للتشغيل.

(4-5-4) قابلية الصخور للطحن Grindability

مقاومة الصخور للطحن ومدى صلابتها ذات تاثير كبير على تقدير الاحتياطيات بسبب عدم القدرة على تحرير المكونات المعدنية ضمن الترسبات وتعريضها للعمليات الكيمياوية بحيث يؤثر ذلك على الإنتاج النهائي للمعادن.

(4-6) الشكل الهندسي للترسبات المعدنية Mineral Deposit Geometry

نعني بالأشكال الهندسية للترسبات المعدنية هي موقعها في القشرة الأرضية وكذلك شكل وحجم هذه الترسبات. الترسبات المعدنية عبارة عن أشكال هندسية غير منتظمة تعتمد على الظروف الجيولوجية والترسيبية المعقدة التي ادت إلى نشوئها ثلاثي الأبعاد ويشكل البعدين منها الامتدادات الجانبية أو المساحة الأفقية (الطول والعرض) في المنظور الافقي، اما البعد الثالث فيمثل سمك الترسبات المعدنية.



شكل رقم (1-4) الابعاد الهندسية الثلاثية لنموذج ترسبات طباقية

هذه العوامل الثلاث (الطول، لعرض، السمك) هي من اهم العوامل التي يتم دراستها بصورة تفصيلية في العمليات ألمنجمية للأنها تؤثر بصورة أساسية على اختيار الطريقة ألمنجمية التي تستخدم في عمليات استخراج الخامات.

ان كافة الدراسات الجيولوجية والعمليات الاستكشافية التي تجرى على الترسبات المعدنية احد اهدافها الرئيسية هي تحديد الامتدادات الجانبية وسمك الترسبات لكي تنتقل بعدها إلى المرحلة اللاحقة من الدراسات التفصيلية وعمليات التقييم المعدني وهي حساب احتياطي للترسبات المعدنية.

إن الترسبات المعدنية السهلة التي لها امتدادات افقية كبيرة ومتجانسة من حيث التركيب الجيولوجي وتمتلك احتياطي كبير وقريبة من السطح فانها تشجع على الاستثمار الضخم واستخدام معدات وتقنيات منجميه كبيرة لإمكانية زيادة ألإنتاج بسهولة وتغطية كلف الاستثمار والإنتاج من عائدات الإنتاج وإرباح بيع السلع اما الترسبات المعدنية غير المتجانسة والمعقدة جيولوجياً ولیس لها امتدادات كبيرة أو تكون بعيدة عن السطح، أو وجود مياه جوفية وتمتلك سمك متغاير وغير مستمر فانها تؤدي إلى استخدام معدات منجميه وتكنولوجيا باهظة الثمن مع ان الإنتاج قليل اذا كانت الطريقة المختارة هي طريقة المنجم تحت سطح الأرض وبالتالي تؤدي إلى قلة في الإنتاج وارتفاع أسعار السلعة وتحتاج إلى فترة زمنية طويلة لتغطية كلف الاستثمار والإنتاج. وبذلك اصبح دراسة الأبعاد الهندسية واستمراريتها وتجانسها من المواضيع المهمة في الدراسات ألمنجميه وتقييم الترسبات المعدنية.

مثال رقم (1-4)

إذا كانت لدينا ترسبات معدنية قدر الاحتياطي لها بحدود (20) مليون طن من الخام، احسب معدل الانتاج اليومي اذا ما أريد استغلال واستثمار كامل لهذا الخام على مدى (15) سنة.

الحل:

$$\text{معدل الانتاج اليومي} = \frac{\text{كمية الاحتياطي الكلية (طن)}}{\text{عدد الايام للفترة الزمنية المطلوبة}} = \frac{20\,000\,000}{15\times 366} = \frac{20\,000\,000}{5490}$$

= 3643 طن/ يوم

(4-7) تحديد الامتدادات الجانبية للترسبات المعدنية

Lateral delineation of Ore deposits

ان تحديد الامتدادات الجانبية للترسبات المعدنية يتم بواسطة النتائج والمعطيات ألمستحصلة من اجراء شبكة للنمذجة سواء كانت بواسطة حفر ابار لبابية أو نماذج مستحصلة من حفر خنادق تتوزع على كامل مساحة الترسبات المعدنية التي يقوم بتصميمها وتنفيذها الجيولوجي المختص وتكون كثافة هذه النماذج وفق مقياس مرحلة الأعمال الاستكشافية واهدافها.

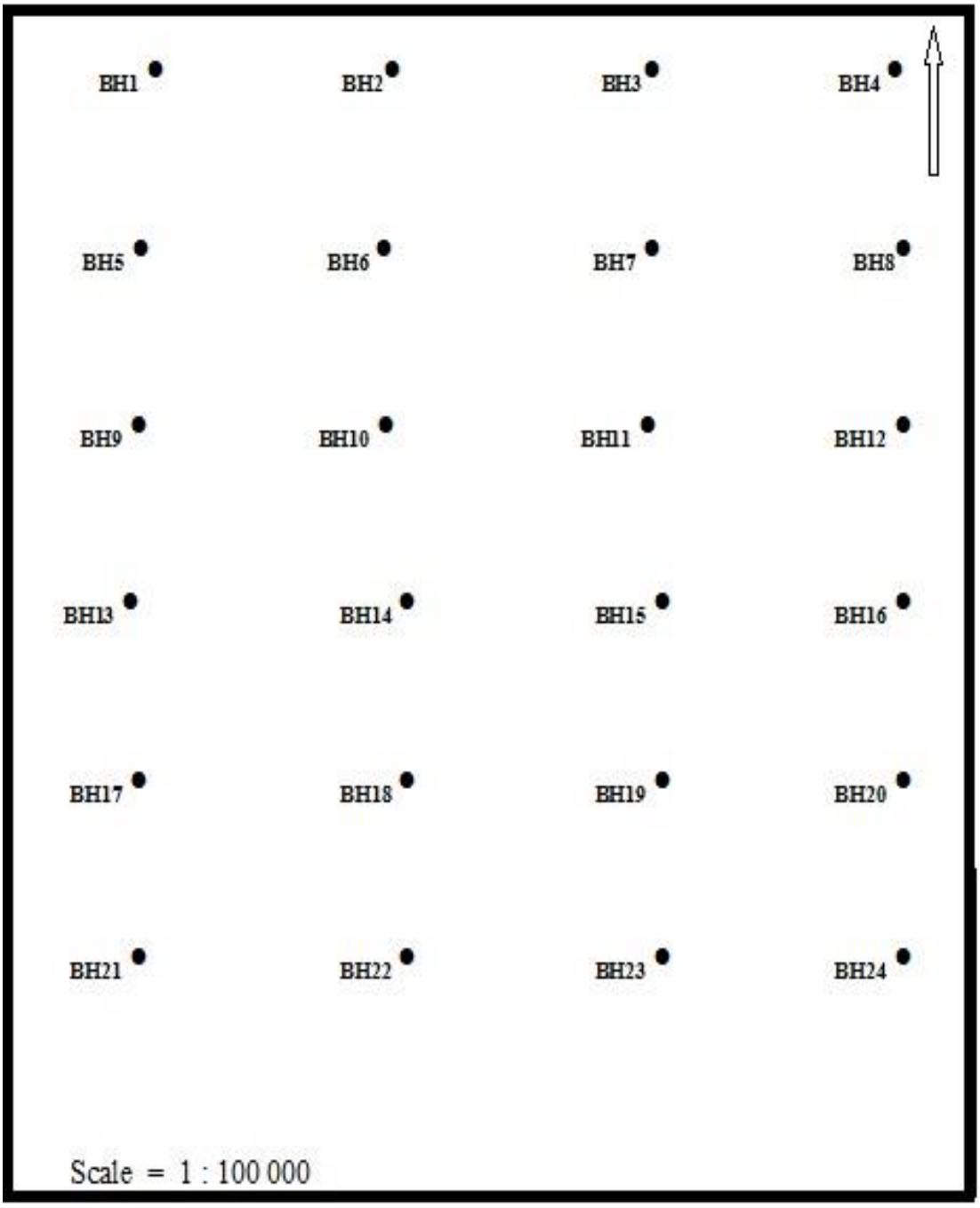
في حالة وجود نماذج أو مواقع آبار تعطي نتائج سلبية أي إن معطياتها فيما يتعلق بسمك الخام أو درجة التركيز لا تنسجم أو تتطابق معه معايير التقييم لمواصفات الخام أو عدم ظهور مؤشرات لامتدادات الترسبات المعدنية بهذه الحالة يتم اللجوء إلى قاعدة التنصيف الجانبي (Bilateral dissection) أي نعمل على تنصيف المسافة بين موقع النموذج السالب وموقع النموذج الموجب لغرض تحديد أو تقدير امتدادات الترسبات المعدنية، من هذا يتضح ان عملية تحديد امتدادات الترسبات المعدنية (الطول والعرض) هي عملية تقديرية وتزداد دقة هذه التقديرات مع زيادة كثافة نقاط النمذجة وتعتمد كذلك على مميزات وتجانس هذه الترسبات. وتقدم بعض الأمثلة التطبيقية لزيادة الاستيعاب حولها.

مثال رقم (2-4)

تم الحصول على نتائج لشواهد معدنية لخام الحديد من خلال حفر مجموعة من الآبار الاستكشافية ، كما مؤشرة في الشكل رقم (2-4) ، موزعة بنظام شبكه تربيعية متساوية الأبعاد . النتائج كما مدونة في الجدول المرفق مع الخارطة.

المطلوب :-

1. تحديد امتدادات ترسبات خام الحديد في منطقة الدراسة، مع الأخذ بنظر الاعتبار إن القيمة (% 20) تمثل حد القطع للتركيز .



شكل رقم (2–4) خارطة توزيع الآبار

جدول رقم (1-4)

معطيات الآبار الاستكشافية لتقييم ترسبات خام الحديد

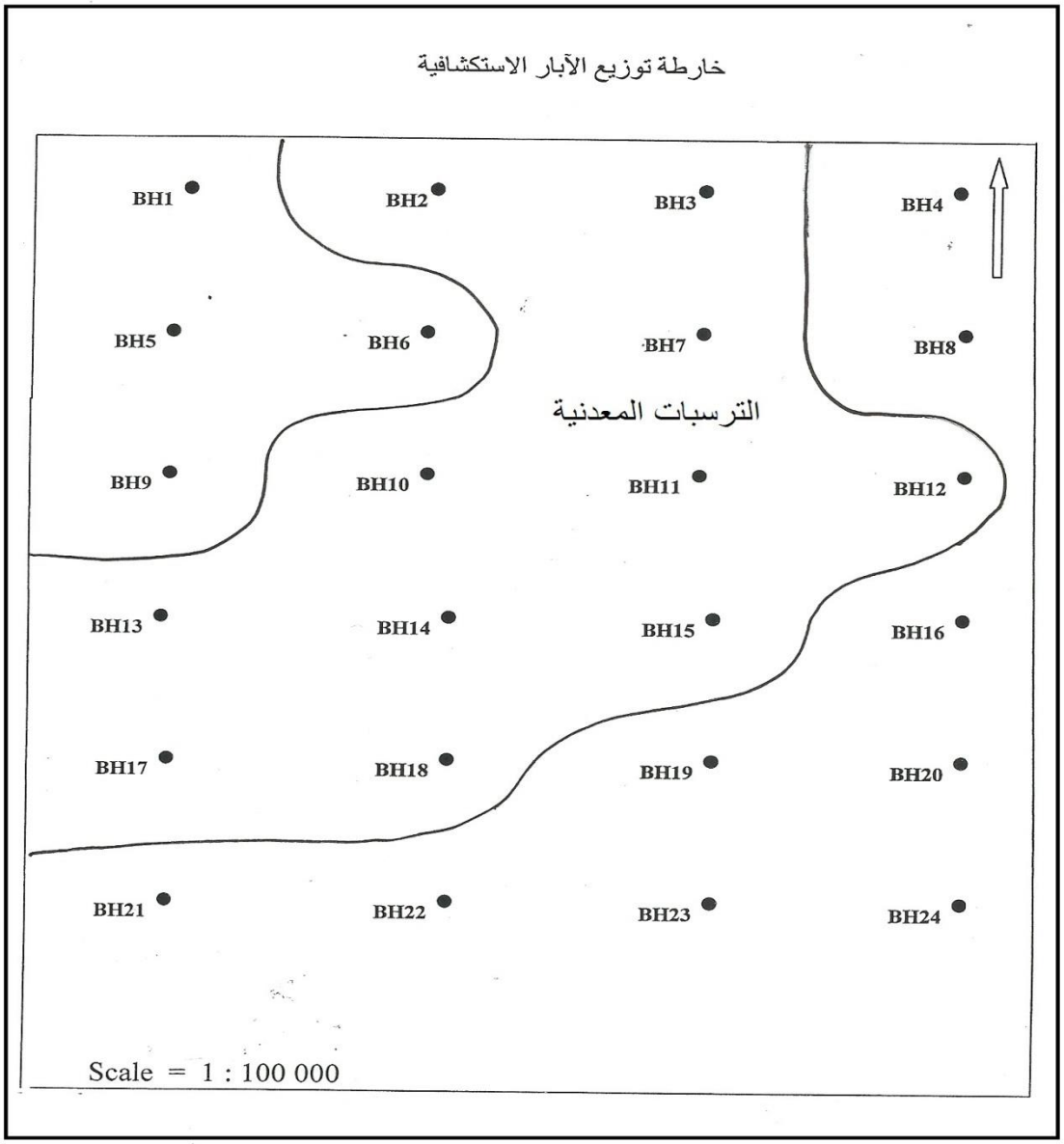
B.H. No.	Ore Thichness (m)	Grade Fe_2O_3 %	B.H. No.	Ore Thichness (m)	Grade Fe_2O_3 %
BH1	5.0	14.0	BH13	8.0	30.0
BH2	6.5	22.0	BH14	7.8	29.0
BH3	5.8	24.0	BH15	6.5	27.0
BH4	5.0	17.0	BH16	5.5	18.0
BH5	4.8	13.6	BH17	8.5	32.0
BH6	5.5	18.0	BH18	7.6	29.0
BH7	6.0	25.0	BH19	6.0	17.0
BH8	5.2	18.0	BH20	6.0	16.0
BH9	5.0	16.0	BH21	5.9	18.0
BH10	6.0	23.0	BH22	5.0	15.0
BH11	7.5	28.0	BH23	4.5	14.0
BH12	6.5	24.0	BH24	4.5	14.5

الحل: لغرض حل هذه المسألة نتبع الخطوات التالية:

1. تؤشر قيم تراكيز الحديد Fe_2O_3 لجميع الآبار على الخارطة، ثم بتم تمييز الآبار التي فيها تركيز الحديد مساوي أو أكثر من (% 20)، بلون مميز أو علامة مميزة.

2. يتم استخدام قاعدة مدى التأثير بين الآبار التي تمثل منتصف المسافة بين الآبار ، ثم يتم رسم حدود التمعدن للآبار التي يمتلك تراكيز مساوية أو اكثر من حد القطع ، لغرض تحديد امتدادات خام الحديد.

3. يمكن تلوين مساحة امتداد الترسبات بلون معين لغرض تمييزها عن المناطق الخالية من الترسبات.



شكل رقم (3-4) حدود امتدادات التمعدن

4. يتم تنصيف المسافة بين مواقع الآبار المتجاورة التي تحتوي على اقل من الحد الفاصل للتركيز والتي تحتوي على اكثر من الحد الفاصل للتركيز باعتبار ان مدى التأثير للمسافة بين الآبار هي منتصف المسافة بينهما.

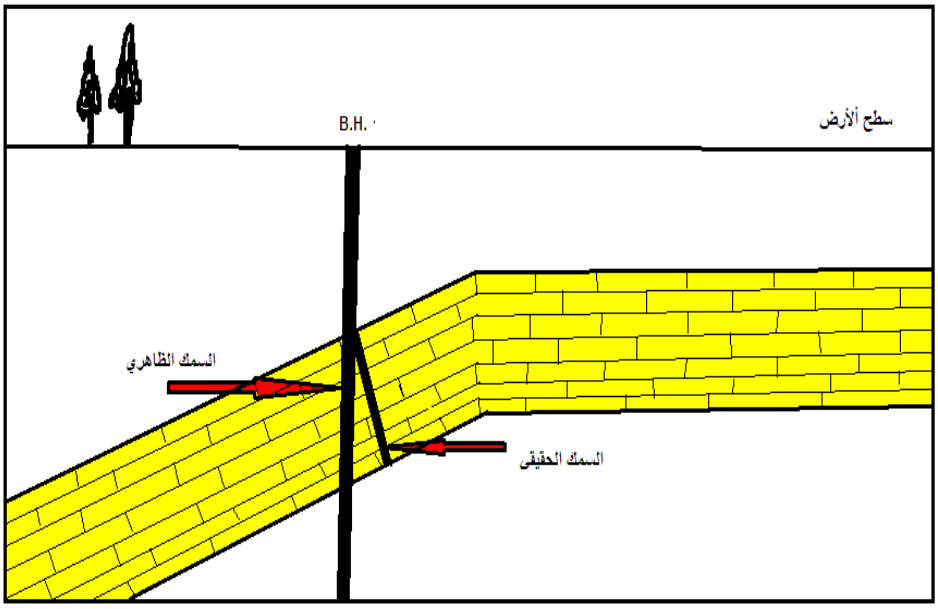
5. يتم ايصال خط منحني بجميع نقاط التنصيف وهو الذي يمثل حدود امتدادات التمعدن في لمنطقة كما موضح في الشكل رقم (3-4)

ملاحظة: هذه القاعدة هي غالبا ما تتبع في تحديد حدود امتدادات التمعدن لأي ترسبات معدنية عند تنفيذ أي برنامج استكشافي لتقييم الترسبات وتعتمد دقة التحديد على كثافة موقع الآبار المنفذة أو كثافة النماذج التي تعطي صورة تفصيلية عن تركيز الترسبات المستكشفة.

(4-8) تحديد سمك الترسبات المعدنية

Thickness Determination of Mineral Deposits

يعرف سمك (Thickness) الترسبات المعدنية بانه طول العمود أو المستقيم المحدد بنقطتي تقاطعه مع السطح العلوي والسطح السفلي للترسبات المعدنية، وقد يمثل طول العمود هذا السمك الحقيقي (True Thickness) عندما تكون الترسبات المعدنية على شكل ترسبات طباقية افقية الامتداد أو قد يمثل السمك الظاهري (Apparent thickness) عندما تكون الترسبات المعدنية مائلة بزاوية معينة عن الافق. يمكن حساب السمك الحقيقي وذلك بضرب السمك الظاهري في جتا زاوية الميل للطبقات أو الترسبات المعدنية (شكل رقم (4-4))



شكل رقم (4-4) السمك الحقيقي والسمك الظاهري لطبقة متمعدنة

تمتلك الترسبات المعدنية سماكات متباينة وغير منتظمة من موقع إلى آخر ضمن امتدادات الترسبات المعدنية ونادرا ما يكون السمك متجانس يحكمها في ذلك ظروف نشأتها والعوامل الجيولوجية المسيطرة على عمليات تكوين هذه الترسبات لذلك تعتبر عمليات حساب سمك الترسبات من العوامل التخمينية والتقديرية والتي تحتاج إلى مزيد من الدقة والدراسة وعلى امتداد مساحة هذه الترسبات لانها تؤثر بشكل مباشر على عملية تقدير الاحتياطي وكذلك تتحكم أو تسيطر على اختيار الطريقة ألمنجميه في استخراج واستغلال هذه الترسبات، لذلك فان عملية حساب سمك الترسبات المعدنية تكون على نوعين أو مرحلتين:-

الأولى: حساب سمك الترسبات المعدنية موقعيا في موقع النموذج من الجسم المعدني كأن يكون بئر استكشافي أو لبابي أو نماذج مستحصلة من خنادق ويكون حساب السمك في هذه الحالة حساب دقيق يستند على قياسات أطوال هذه النماذج وهذا السمك اما يكون ظاهري (رأسي)

أو حقيقي اذا كانت الترسبات افقية واذا كانت الترسبات المعدنية مائلة بزاوية معينة عندئذ يجب ان يصحح السمك الظاهري إلى السمك الحقيقي اعتمادا على زاوية الميل.

الثانية: حساب معدل السمك للجسم المعدني على مجمل مساحة امتداداته وهذا الحساب يتم وفق المعادلة التالية:

$$\text{معدل السمك} = \frac{\sum T}{n}$$

T = مجموع سماكات مواقع النماذج على امتداد مساحة الترسبات المعدنية

n = عدد مواقع النماذج الداخلة في الحساب

هذه المعادلة تطبق فقط في حالة اذا كانت مواقع النماذج ذات مسافات بينية متساوية حيث يكون مدى التأثير لكل سمك من موقع النمذجة متساوي مع مواقع النمذجة المجاورة له، اما في حالة المسافات البينية غير المتساوية بين مواقع النمذجة فيجب الاخذ بنظر الاعتبار تباين المسافات لمجانسة تأثيراتها وتتبع في ذلك طرق تقدير مدى تأثير موقع النموذج.

النتيجة ألمستحصلة تمثل معدل سمك الترسبات المعدنية أو الجسم المعدني وهذه النتيجة هي تقديرية وليس حقيقية مطلقة لانها تستند على نتائج مواقع النماذج المنتشرة على امتداد مساحة الترسبات المعدنية بصورة منتظمة أو عشوائية وثم تقدير مدى تأثير السمك في هذه المواقع مع مواقع النمذجة المجاورة.

(4-9) معامل الاسترجاع Core Recovery

يعرف معامل الاسترجاع إلى اللباب الصخري بانه نسبة النقص الحاصل في طول اللباب المستخرج اثناء عمليات حفر الآبار اللبابية بالمتر الواحد حفر حقيقي في البئر.

إن نسبة فقدان جزء من اللباب الصخري أثناء اعمال حفر الآبار اللبابية هو أمر شائع جدا ويعود ذلك لعدة أسباب منها طبيعة تكوين الترسبات المعدنية الجيولوجية والمعدنية وصلابة هذه الترسبات بالاضافة إلى تقنية الحفر والآلات المستخدمة وكذلك يعود السبب إلى الخبرة والمهارة للحفار القائم بأعمال الحفر اللبابي. نسبة فقدان اللباب هذه أو النقص الحاصل في طول اللباب المستخرج إلى ما يقابله من طول حفر حقيقي في بئر يجب ان يتم تصحيحه بكل دقة ليتناسب مع العمق الحقيقي للبئر لغرض الحصول على السمك الفعلي الذي تم حفره أثناء تنفيذ اعمال الحفر اللبابية. هذا التصحيح يجب ان يتم من قبل الجيولوجي الذي له خبرة عن طبيعة الترسبات وجيولوجية المنطقة والتتابع الطبقي والسماكات المفترض التي تم الحصول عليها من الدراسات السابقة يمكن نحصل على نتائج دقيقة وما يترتب عليها من حساب دراسات في المراحل اللاحقة التي على أساسها يتم تقييم هذه الترسبات.

وسوف نقدم هنا مسائل تطبيقية حول كيفية تقدير سمك الترسبات المعدنية في حالات مختلفة.

مثال رقم (3-4)

تم استحصال بعض النتائج من الحفر اللبابي للبئر رقم (M) في منطقة متمعدنة بخام النحاس وبمسافة راسية قدرها 3.65 م كما مبينة في الجدول رقم (2-4) احسب سمك الترسبات المعدنية في هذا الموقع مع الاخذ بنظر الاعتبار ان التركيز 0.4 % نحاس هو الحد الفاصل لدرجة تركيز الخام.

جدول رقم (2-4)

نتائج الحفر اللبابي للبئر رقم (M)

رقم النموذج	طول اللباب (م)	نسبة استرجاع اللباب (%)	درجة تركيز الخام Cu %	طول اللباب المصحح (م)
M1	0.35	80	0.2	0.43
M2	0.40	100	0.35	0.40
M3	0.30	70	0.45	0.43
M4	0.30	70	0.60	0.43
M5	0.20	70	0.80	0.28
M6	0.35	80	0.70	0.43
M7	0.40	100	0.70	0.40
M8	0.20	70	0.50	0.40
M9	0.30	100	0.35	0.30
M10	0.30	100	0.20	0.30

الحل: يتبع في الحل الخطوات التالية:

1- يتم القاء نظرة على النتائج في الجدول نتفحص من خلالها قيم التراكيز للنماذج.

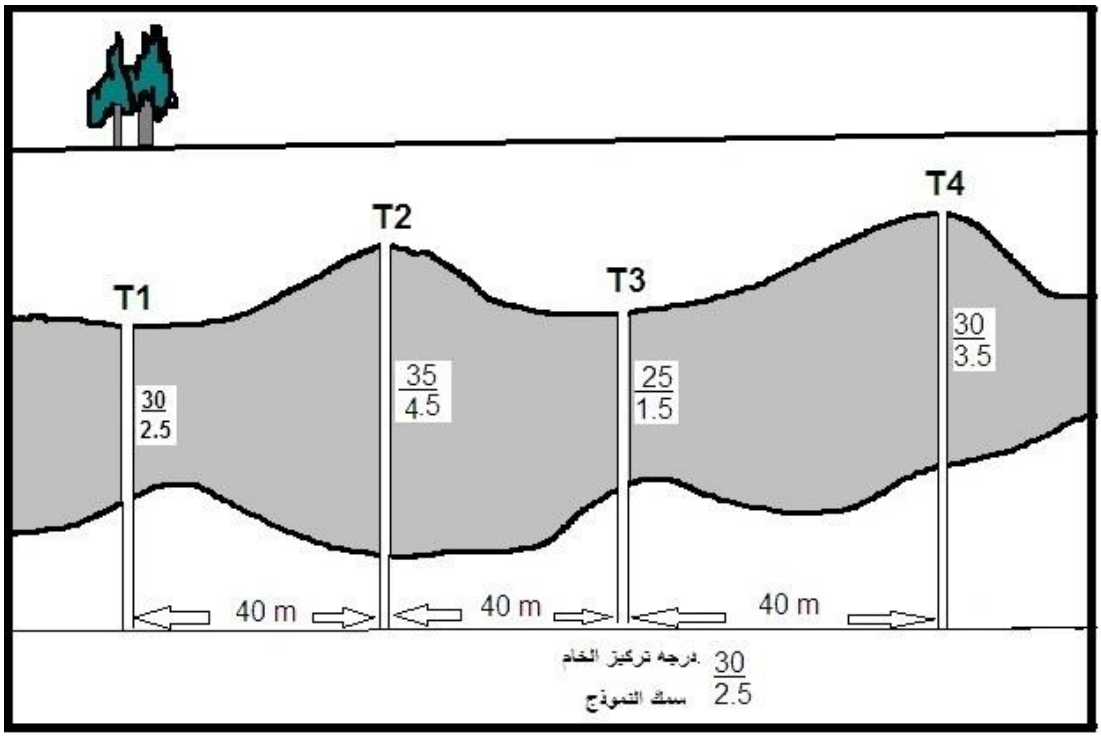
2- نلاحظ ان النماذج التي تزيد أو تساوي فيها قيم تراكيز النحاس عن 0.4 %حتى تحقق شرط السؤال وهي ستة نماذج من الرقم M3 إلى الرقم M7 وهي نماذج تمتلك أطوال مختلفة وهي التي تمثل التمعدن في موقع البئر الاستكشافي (M) ويتم استبعاد بقية النماذج لأن تركيز النحاس فيها يقل عن 0.4 %.

3- نلاحظ في الحقل الثالث من الجدول ان نسبة استرجاع اللباب لبعض النماذج اقل من 100%، وعليه يجب تصحيح أطوال النماذج حسب نسبة الاسترجاع لإيجاد الطول الحقيقي للنموذج ويتم بذلك تقسيم طول النموذج على النسبة المئوية للاسترجاع وتوضع النتائج كما هو في الحقل الخامس من نفس الجدول.

4- تجمع اطول نماذج اللباب بعد تصحيحها كما هو موضح في الحقل الخامس والتي لها درجة تركيز اكثر من أو تساوي 0.4% وهو حد القطع لدرجة التركيز وتمثل نتيجة الجمع سمك الطبقة المتمعدنة بالنحاس في موقع البئر الاستكشافي (M) والذي يبلغ (2.25)، هذا السمك يمثل السمك الرأسي أو الظاهري اذا كانت الطبقة المتمعدنة مائلة ويمثل السمك الحقيقي اذ كانت الطبقة المتمعدنة افقية.

مثال رقم (4-4)

يوجد لدينا مقطع عرضي واضح المعالم الشكل رقم (5-4) مكشوف على سطح الأرض لطبقة من الصخور الرملية المتمعدنة بالزركونيوم، خضعت هذه الطبقة لنمذجة قناتيه بمسافات منتظمة (40)متر، احسب معدل سمك الطبقة المتمعدنة من النتائج الواردة في الشكل رقم (5-4).



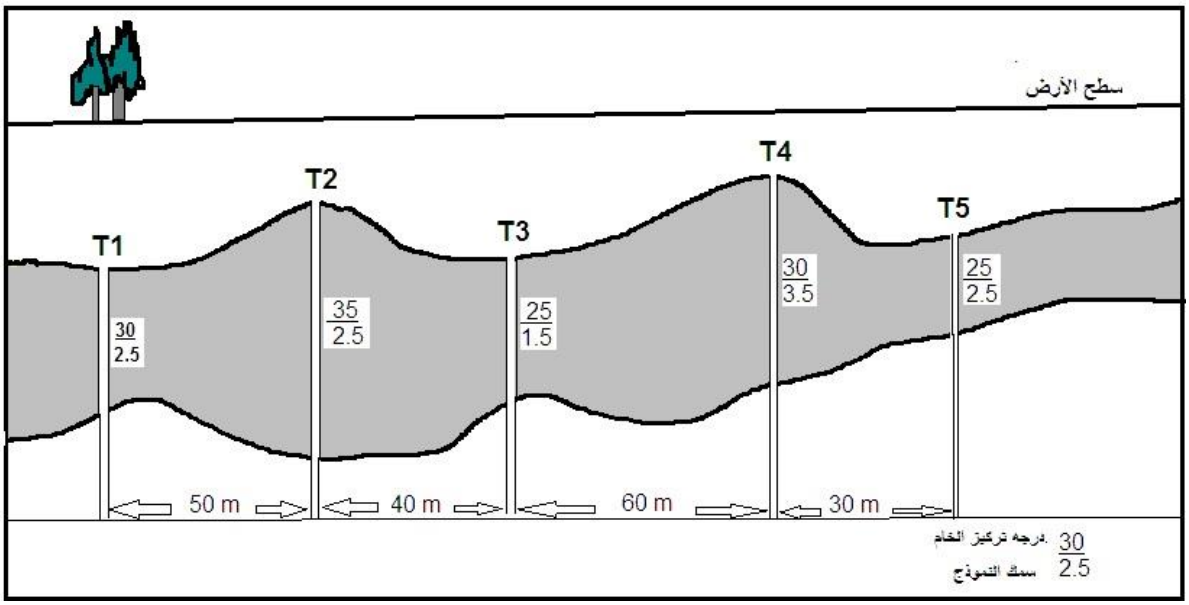
شكل رقم (5-4) نمذجة قناتيه متساوية المسافات

الحل: نلاحظ من الشكل أعلاه ان سمك طبقة متغير ومتباين من موقع إلى اخر حيث ان سمك الطبقة المتمعدنة منتظم وبمسافات (10) متر. بما ان المسافة الفاصلة بين مواقع الخنادق متساوية فعلية أى إن نسبة التأثير لكل بئر تكون متساوية، وبذلك فان معدل سمك الطبقة المتمعدنة يحسب كما يلي:-

$$\text{معدل السمك} = \frac{\sum T}{n} = \frac{2.5+4.5+1.5+3.5}{4} = 3 \text{ م}$$

مثال رقم (5-4)

يوجد لدينا مقطع عرضي واضح المعالم الشكل رقم (6-4) مكشوفا على سطح الأرض لطبقة من الصخور الرملية المتمعدنة بالزركونيوم خضعت هذه الطبقة لنمذجة قناتيه لغرض تقييم ترسبات الزركونيوم فيها وبمسافات موقعية متباينة كما موضح في الشكل المذكور. احسب معدل سمك الطبقة المتمعدنة في هذا المقطع العرضي؟



شكل رقم (6-4) نمذجة قناتية متباينة المسافات

الحل:

1- نلاحظ من الشكل أعلاه ان النمذجة القناتية ذات مسافات بينية متباينة، اذ إن المسافات الفاصلة بين مواقع الخنادق غير متساوية ويترتب على ذلك حساب مدى تأثير سمك كل بئر بالنسبة الى البئر المجاور وحساب امتدادات المسافات التي يؤثر بها موقع النموذج على الموقع المجاور إذ يتم تنصيف المسافات بين مواقع النماذج ثم يحسب مدى التأثير لكل موقع نموذج بالنسبة إلى مواقع النماذج المجاورة كما نلاحظ في الشكل رقم (6-4).

2- يضرب سمك الطبقة الظاهري في كل موقع في مسافة مدى التأثير له.

2- توضح النتائج كما في الجدول رقم (3-4)

جدول رقم (3-4)

النتائج الاستكشافية لنمذجة قناتية

Sample No.	Thick. (T) (m)	Grade (G) (%)	Range of Influence(R)	T x R	G x T x R
T1	2.5	30.0	50.0	125.0	3750.0
T2	2.5	35.0	45.0	112.5	3937.5
T3	1.5	25.0	50.0	75.0	1875.0
T4	3.5	30.0	45.0	157.5	4725.0
T5	2.5	25.0	30.0	75.0	1875.0
Σ	12.50	------	220.0	545.0	16162.5

5- يحسب معدل السمك وفق المعادلة التالية:

$$\text{معدل السمك} = \frac{\sum (R\ Tx)}{\sum (R)} = \frac{545.0}{220.0} = 2.48 \text{ متر}$$

وهو يمثل السمك الحقيقي اذا كانت الطبقة

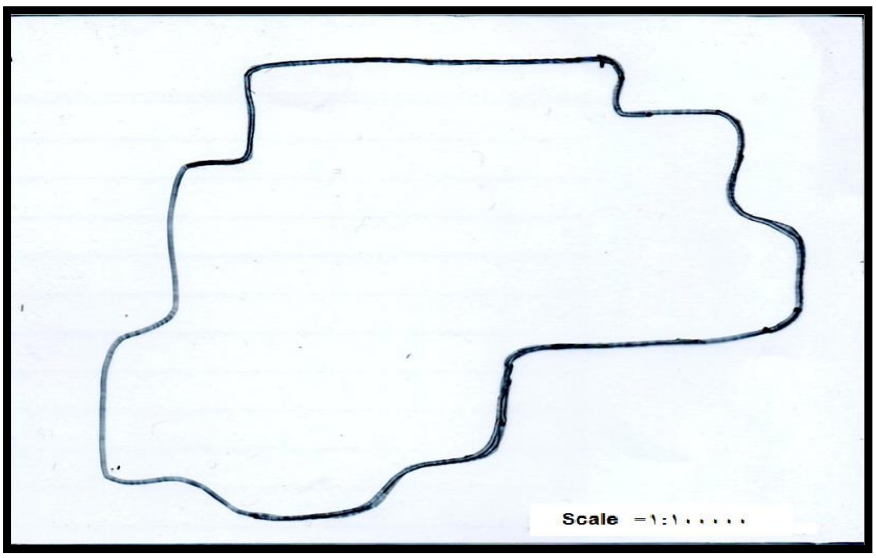
(4-10) حساب مساحة الترسبات المعدنية

ان الامتدادات الجانبية للترسبات المعدنية تكون دائما غير منتظمة الأشكال والأبعاد تحكمها في ذلك ظروف نشأتها وتواجدها كالعوامل الجيولوجية والتركيبية وغيرها وتشكل حساب مساحة امتدادات الترسبات عامل رئيسي ومهم يدخل في تقييم الترسبات المعدنية وحساب احتياطي الخامات وبما ان الحدود غير منتظمة ومتعرجة أو لا يمكن تطبيق القوانين الرياضية المعروفة في حساب المساحات، وبذلك تم ايجاد وسائل بديلة وعملية وذات دقة معقولة لحساب مساحات للترسبات المعدنية وهناك طريقتين رئيسيتين تستخدم لهذا الغرض وهي:-

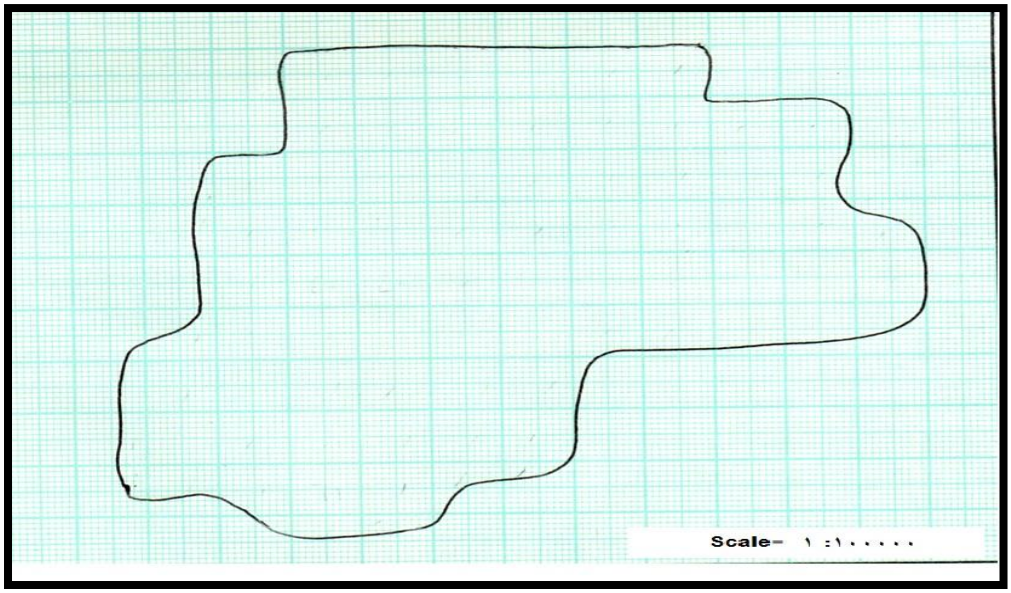
1- <u>الطرق الترسيمية</u>

أ- الطريقة البيانية Graphical method

تعتمد هذه الطريقة في حساب مساحة الامتدادات المتعرجة للترسبات المعدنية شكل رقم (4-7) باستخدام الورق البياني القياسي (Standard graph paper) يتم تسقيط أو رسم الحدود المطلوب حساب المساحة لها على الورق البياني بعد ذلك تحسب عدد المربعات داخل حدود هذه الامتدادات، يضرب المجموع الكلي للمربعات بمقياس الرسم لخارطة امتدادات الترسبات المعدنية، هذه الطريقة سهلة وعملية وذات دقة معقولة تتناسب مع مقياس رسم الخارطة كما في الشكل رقم (4-8)



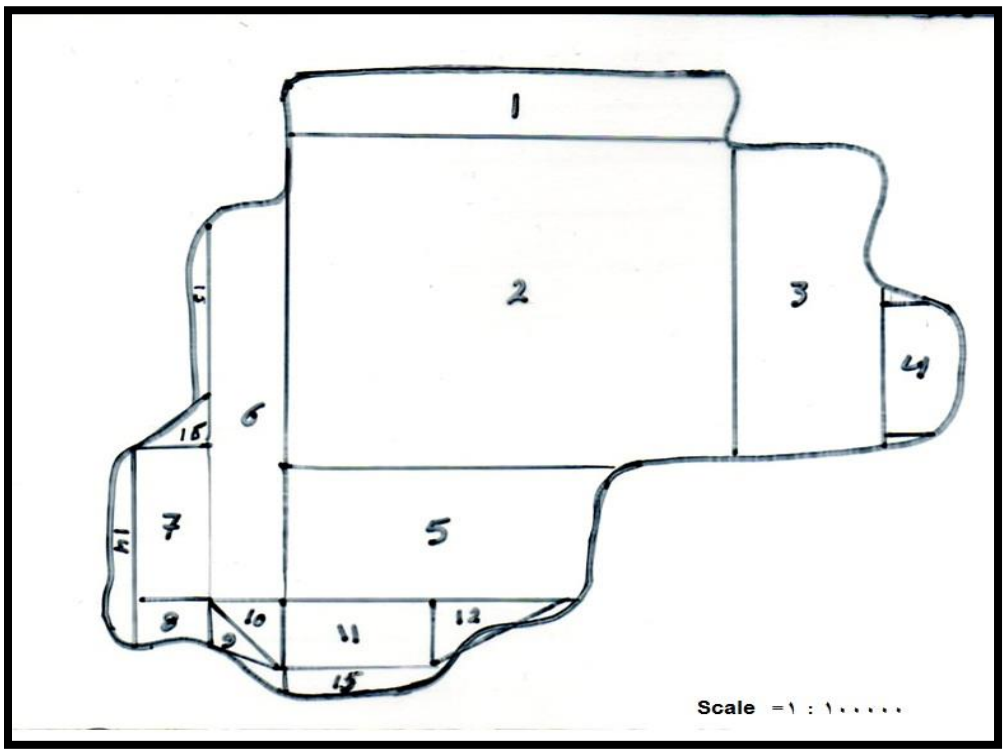
شكل رقم (7-4) حساب امتدادات للترسبات المعدنية



شكل رقم (8-4) حساب مساحة امتدادات للترسبات المعدنية بالطريقة البيانية

ب- طريقة القواطع Block Method

تعتمد هذه الطريقة على تقسيم مساحة الامتدادات للترسبات المعدنية إلى قواطع هندسية منتظمة (مربعات، مستطيلات، مثلثات، ... الخ) أي يتم تقسيم الشكل المتعرج إلى أشكال هندسية تنطبق عليها قوانين رياضية ثابتة لإيجاد المساحات. تجمع مساحات القواطع كافة لنحصل منها على مساحة امتدادات الترسبات المعدنية مع الاخذ بنظر الاعتبار مقياس الرسم لخارطة الترسبات المعدنية كما في الشكل رقم (9-4). القوانين الرياضية كما في الملحق رقم (1).



شكل رقم (9-4) حساب مساحة امتدادات الترسبات المعدنية بطريقة القواطع

ج- طريقة البلانيمتيز Planimeter or pantograph method

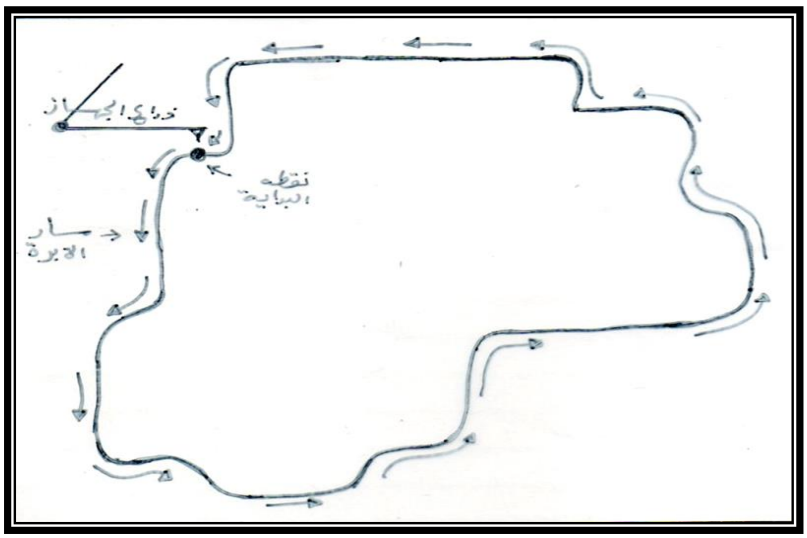
هذه الطريقة يمكن بواسطتها ايجاد مساحة الاشكال المنتظمة وغير المنتظمة ولكن ليس بالدقة الكافية كونها تعتمد على ضبط حركة اليد. جهاز البلانيميز هو جهاز آلي يستخدم لقياس مساحات الأشكال غير لمختلفة وتتلخص هذه الطريقة بان يتم إمرار الإبرة في ذراع الجهاز باتجاه معين من نقطة محددة على حدود المساحة المراد احتسابها والعودة إلى نفس النقطة من الاتجاه الآخر، وبذلك تستكمل تغطية كامل حدود المساحة كما في الشكل رقم (10-4) وباستخدام ثابت الجهاز ومعدل القراءة نحصل على القراءة المطلوبة كما في العلاقة التالية:

$A = C * n$

A = المساحة المطلوبة

C = ثابت الجهاز

n = معدل قراءة الجهاز النهائية



شكل رقم (10-4) حساب مساحة امتدادات الترسبات المعدنية بطريقة البلاينميز

2- تطبيق القوانين الرياضية

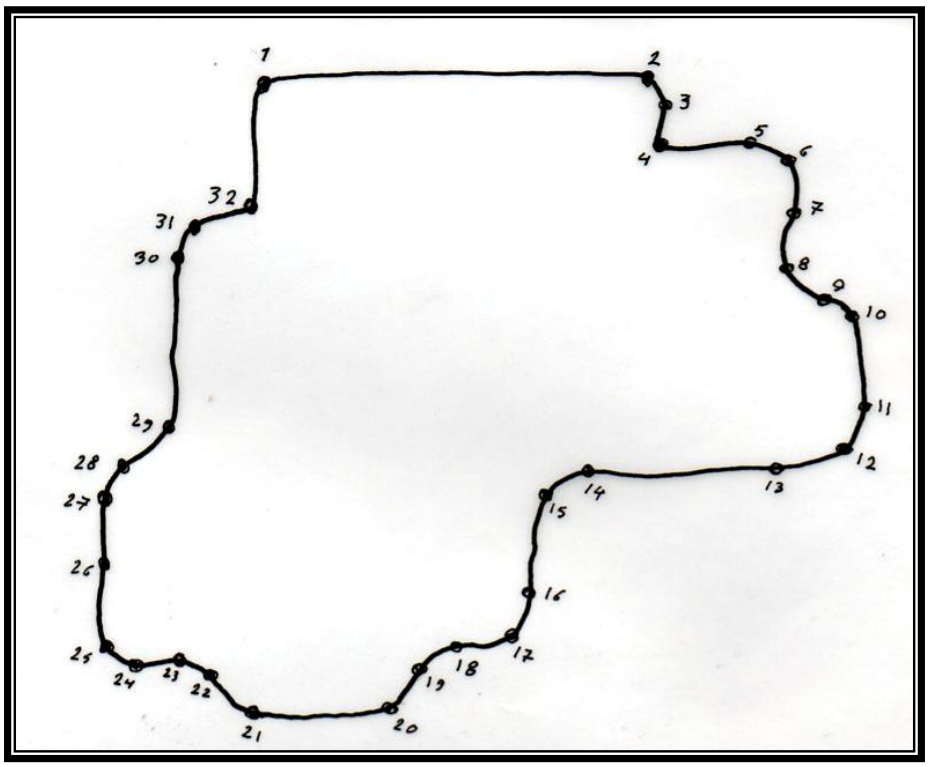
أ- طريقة الاحداثيات Coordination Method

تتطلب هذه الطريقة في حساب مساحة امتدادات الترسبات المعدنية تحديد نقاط عديدة باحداثيات (X,Y) تنتشر على طول حدود مساحة الترسبات المعدنية وكلما كانت كثافة النقاط عالية حصلنا على دقة اعلى في حساب المساحة الشكل رقم (11-4). ان حساب المساحة باستخدام طريقة الاحداثيات هو في الحقيقة يتم تقسيم الشكل المراد حساب المساحة له إلى اشباه منحرفات وبذلك سوف نحصل على ضعف المساحة لذلك يجب أن نقسم على (2) للحصول على المساحة المطلوبة ويستخدم القانون التالي في حساب مساحته.

$$2A = \frac{X_a}{y_a} * \frac{X_b}{y_b} * \frac{X_c}{y_c} * \dots . \quad * \frac{X_n}{y_n}$$

ولحل هذه المعادلة يتم (ضرب البسط السيني النقطة الأولى في المقام الصادي للنقطة الثانية) وتجمع مع (حاصل ضرب البسط السيني للنقطة الثانية مع المقام الصادي للنقطة الثالثة) وهكذا لكل النقاط حاصل الجمع اعلاه يطرح من (حاصل ضرب البسط السيني للنقطة الثانية مع المقام الصادي للنقطة الأولى) وتجمع مع (حاصل ضرب البسط السيني للنقطة الثالثة مع المقام الصادي للنقطة الثانية وهكذا لكل النقاط)

$$2A = \frac{X_a}{y_a} \times \frac{X_b}{y_b} \times \frac{X_c}{y_c} * \dots . * \frac{X_n}{y_n}$$



شكل رقم (4-11) حساب مساحة امتدادات الترسبات المعدنية بطريقة الاحداثيات

ب-طريقة الحاسوب Computer uses

تتوفر حاليا برامجيات حاسوبية جاهزة يمكن من خلالها حساب مساحات الأشكال غير المنتظمة بدقة عالية إما عن طريق الشكل بواسطة الماسح الضوئي إلى الحاسبة وحساب المساحة مباشرة أو إدخال نقاط الإحداثيات على طول مسار حدود الترسبات المعدنية وثم حساب المساحة داخل هذه الحدود وهي طرق حديثة وسريعة ويمتاز بالدقة العالية.

مثال تطبيقي رقم (4-6)

الشكل رقم (4-7) يمثل حدود امتدادات ترسبات معدنية معينة احسب مساحة هذه الامتدادات باستخدام طريقتين:-

أ- الطريقة البيانية

ب-طريقة القواطع

الحل: نتبع في الحل الخطوات التالية:

أ- الطريقة البيانية:

1- نستخدم ورق بياني ويفضل شفاف لرسم حدود امتدادات الترسبات المعدنية بكل دقة.

2- نحسب عدد المربعات الكاملة وكذلك نحسب عدد المربعات المليمترية المتبقية مع حدود امتدادات الترسبات المعدنية.

3- نجمع عدد المربعات الكاملة مع عدد المربعات المليمترية وتساوي (71) مربعاً شكل (4-8).

4- نستخدم مقياس رسم الخارطة 000 100: 1 ولحساب المساحة يتم إجراء ما يلي

1 سم على الخارطة = 100 000 سم على الأرض

1 سم على الخارطة = 1 كم على الأرض

1 سم^2 على الخارطة = 1 كم^2 على الأرض

اذن مساحة امتدادات الترسبات المعدنية تساوي

71 مربعا × 1 كم^2 = 71 كم^2 المساحة على الأرض

ب- طريقة القواطع:

1- يتم تقسيم مساحة الترسبات المعدنية داخل حدود الامتدادات إلى أشكال هندسية منتظمة أو قواطع كأن تكون مستطيلة أو مثلثة ويتم ذلك حسب اجتهاد الجيولوجي القائم بالحساب كما في الشكل (9-4).

2- يتم ترقيم هذه القواطع لغرض تميزها عن بعضها البعض.

3- تحسب مساحة كل قاطع باستخدام القوانين الرياضية الهندسية لحساب المساحات (الملحق رقم (1)).

4- تنظيم النتائج كما في الجدول رقم (4-4)

5- الأجزاء الصغيرة المتبقية مع الامتدادات حدود الترسبات المعدنية يمكن تقدير مساحتها أو اهمالها ويتم ذلك بقرار من قبل الجيولوجي اذا كانت المساحات لا تؤثر على القيمة الكلية لحساب المساحة وكانت ضمن الدقة المطلوبة للحساب.

6- يستخدم مقياس الرسم مباشرة عند حساب مساحة كل قاطع أو بالإمكان حساب مساحة كل قاطع بالسنتمتر المربع وثم يتم تحويل النتائج النهائي إلى المساحة الكلية على الأرض حسب مقياس الرسم النتيجة النهائية لمجموع مساحات القواطع هي = 71.15 كم^2

يلاحظ ان الفرق بين النتيجتين في كلا الطريقتين:

الطريقة البيانية = 71.00 كم^2

طريقة القواطع = 71.15 كم^2

هو 0.15 كم^2 وهي مساحة قليلة نسبة إلى المساحة الكلية لامتدادات الترسبات المعدنية.

جدول رقم (4-4)

حساب مساحة امتدادات الترسبات المعدنية بطريقة القواطع

رقم القاطع	شكل القاطع	الابعاد (كم)	المساحة(كم^2)
1	مستطيل	1 × 6	6.0
2	مستطيل	5 × 6	30.0
3	مستطيل	2 × 5	10.0
4	مستطيل	1 × 2	2.0
5	مستطيل	2 × 4	8.0
6	مستطيل	1 × 6	6.0
7	مستطيل	1 × 2.05	2.25
8	مستطيل	1 × 0.5	0.5
9	مثلث	0.5 × 0.75	0.375
10	مثلث	0.7 × 0.75	0.525
11	مستطيل	1 × 2	2.0
12	مثلث	0.8 × 7	0.8
13	مستطيل	0.2 × 2.5	0.5
14	مستطيل	0.3 × 3	0.9
15	مستطيل	0.5 × 2	1.0
16	مثلث	0.5 × 0.6	0.3
المجموع			71.15

مثال رقم (7-4)

احسب مساحة امتدادات الترسبات المعدنية ضمن الحدود المضلع (ABCDA) اذا كانت احداثيات رؤوس المضلع كما في الجدول التالي باستخدام طريقة الاحداثيات.

رقم النقطة	الاحداثيات السيني Easting	الاحداثيات الصادي Northing
A	1250	950
B	1750	2430
C	2350	240
D	3250	2830

الحل: نستخدم المعادلة التالية في الحل:-

$$2A = \frac{X_a}{y_a} * \frac{X_b}{y_b} * \frac{X_c}{y_c} * \frac{X_D}{y_D}$$

$$2A = \frac{1250}{950} * \frac{150}{2430} * \frac{2350}{2740} * \frac{3250}{2830}$$

$$2A = [1662500 + 5710500 + 8905000 + 3537500] - [3037500 + 4795000 + 6650500 + 3537500]$$

$$2A = 2245000 m^2$$

$$\therefore A = \frac{2245000}{2} = 1122500 m^2$$

(4-11) درجة تركيز الخام Ore Grade

يقصد بدرجة تركيز الخام أو الجودة Grade لأي ترسبات معدنية هي ما تحويه هذه الترسبات من مواد ذات قيمة اقتصادية متواجدة ضمن أو مع الصخور العقيمة لهذه الترسبات أو التكوينات الجيولوجية. ولكي يمكن تسمية أي تكوينات صخري بالترسبات المعدنية فهذا يعني انها تحوي على مواد معدنية أو غير معدنية ذات قيمة اقتصادية تتواجد بنسبة معينة. بناء على ذلك يعتبر تقدير درجة تركيز الخام أو معرفة جودته بانها العامل الأساسي الرئيسي الذي يقوم على أساس تقييم الترسبات المعدنية اذا كان الهدف من ذلك هو تقدير احتياطات هذه الترسبات أو تقييم الجدوى الاقتصادية من استثمارها. ويعبر عادة عن درجة تركيز الخام Grade بنسبة مئوية (%) أو اجزاء من المليون (p. p. m) أو احيانا كغم / طن.

ان مفهوم درجة تركيز الخام يعتبر من المفاهيم المهمة التي تستخدم دائما في الجيولوجيا الاقتصادية وفي عمليات تقييم الترسبات المعدنية وفي الحقيقة هي تقديرية في جوهرها أي لا توجد حسابات مطلقة لتحديد أو تعريف درجة تركيز الخام عند التعامل مع ترسبات معدنية لكامل امتداداتها أو حجومها وعادة ما يتم حساب معدل درجة تركيز الخام (Average Grade) حيث تستند تقديراتها على نتائج التحليل المختبرية ودقتها على ضوء اعمال النمذجة وكثافتها التي اجريت على الجسم المعدني وكذلك تعتمد على تجانس خصائص لجسم المعدني وانتظام حجم وشكل الجسم المعدني من الناحية الجيولوجية والتركيبية.

مثال على ذلك

اذا كانت لدينا جسم معدني كتلته (M) وان كتلة المادة المعدنية هي (m) احسب درجة تركيز الخام (G).

فحسب تعريف درجة تركيز الخام كما تعم ذكره في المقدمة فان التعريف اعلاه يمكن صياغته بالمعادلة الرياضية التالية:-

$$G = \frac{m}{M}$$

وبما ان درجة تركيز الخام يجب توضيحها وتعريفها بالنسبة المئوية فعليه.

$$G\ (\%) = \frac{m}{M} \times 100$$

ان درجة تركيز الخام أو الجودة تختلف من جسم معدني إلى اخر وتعتمد على العوامل الجيولوجية والظروف الترسيبية التي ادت إلى نشوء وتكوين هذه الترسبات فاذا كانت درجة تركيز الخام عالية فهذا يعني وجود نسبة كبيرة من المعادن في هذه الترسبات حيث ان كمية المعادن الاقتصادية المستخلصة من الجسم المعدني الخام سوف تكون كبيرة وبالعكس اذا كانت درجة تركيز الخام واطئة فعليه ان كمية الترسبات أو الجسم المعدني الخام الذي يجب استخراجه ومعالجته سوف تكون كبيرة لغرض استخلاص كمية مربحة اقتصاديا من المعادن الاقتصادية من ذلك الخام. لغرض زيادة الاستيعاب لمفهوم حساب درجة تركيز الخام نستدل به من سياق المثال التالي:-

تم استخراج كمية قدرها (1) طن من مواد خام من احدى المناجم تم الحصول منها على (20) كغم من النحاس بعد اجراء عمليات الاستخلاص عليها .ما هي درجة تركيز ذلك الخام؟ .... لذلك يجب ان نطبق المعادلة السابقة عليها وهي:-

$$G = \frac{m}{M}$$

$$= \frac{20}{1000} = 0.02 \quad \text{or} \quad G(\%) = 2\%$$

في الخامات الحاملة للفلزات فان درجة تركيز الخام عادة ما تقاس للمحتوى الفلزي في الخام كما في المثال اعلاه ومن الممكن ان يعبر عن درجة تركيز الخام كذلك بالمحتوى المعدني في الترسبات المعدنية، مثلا اذا كان النحاس يتواجد على شكل كبريتات النحاس (CuS) فمن الممكن ان يعبر عن درجة تركيز الخام اما بالمحتوى المعدني أو المحتوى الفلزي. اذا كان الوزن الذري للنحاس يسأوي 63.55 والوزن الذري للكبريت يسأوي 32.06 فعليه ان كل 1كغم من النحاس سوف يرتبط مع 32.06/63.55 ويسأوي 0.505 كغم من الكبريت ويمكن توضيح هذه العلاقة بالنسبة المئوية حيث ان كل 2% من النحاس سوف يحتوي على

1 kg Cu + 0.505 kg S = 1.505 × 2% = 3.01%

من كبريتات النحاس. وهذا المثال يوضح لنا ان درجة تركيز الخام لا يهم سواء كانت معبر عنها بالمحتوي المعدني أو الفلزي فهي تعني شيْ واحد هو جودة الخام من ذلك المحتوى المعدني.

من خلال تطبيق هذه العلاقة عند حساب درجة تركيز الخام بالمحتوى المعدني نستطيع ان نستنتج منها كذلك امكانية حساب كمية المعدن التي نستطيع ان نستخلصه من الخام في المرحلة اللاحقة من عمليات المعالجة والاستخلاص اذا كانت كفاءة الاستخلاص تسأوي 100% ومن خلال تطبيق نفس العلاقة السابقة نستطيع ان نستخلص كمية 30.1 كغم من كبريتات النحاس من كل (1) طن خام اذا كانت كفاءة الاستخلاص هي 100%. وبنفس العلاقة اذا كان التعامل من ناحية المحتوي الفلزي وليس المعدني فإننا نستطيع ان نستخلص 20 كغم من النحاس من كل (1) طن من الخام اذا كان تركيز النحاس يساوي 2%.

(4-12) تقدير درجة تركيز الخام Ore Grade Estimation

هناك طريقتين لتقدير درجة تركيز الخام عند المباشرة باجراء الحسابات التقديرية لها في مرحلة تقييم الترسبات المعدنية وهذه الطريقتين هما:-

(4-12-1) تقدير درجة تركيز الخام موقعياً

يتم تقدير درجة تركيز الخام موقعياً بالاعتماد على النتائج المختبرية ألمستحصلة من نمذجة الجسم المعدني في موقع معين وهذه النماذج تكون اما بواسطة اجراء حفر لبابي بواسطة ابار استكشافية اذ كانت الترسبات مطمورة تحت سطح الأرض أو بالاعتماد على النماذج ألمستحصلة من مكاشف الترسبات المعدنية اذا كان ظاهرا على سطح الأرض. ان النتائج ألمستحصلة من النماذج في أي موقع استكشافي يتم حساب سمك الترسبات المعدنية بكل دقة في ذلك الموقع وهو عامل مهم يدخل في حساب درجة تركيز الخام وكذلك يتم حساب محتوى هذه الترسبات من المكونات المعدنية سواء كانت تراكيز الفلز أو لمعدن معين ويمكن حساب درجة تركيز الخام في موقع ذلك النموذج لذلك السمك المحدد بتطبيق المعادلة التالية:

$$\text{درجة تركيز الخام في موقع النموذج} = \frac{\text{حاصل جمع (طول كل نموذج} \times \text{تركيز الفلز لذلك النموذج)}}{\text{مجموع اطوال النماذج}}$$

ويعبر بالصيغة التالية

$$G = \frac{\sum GT}{\sum T}$$

حيث إن :. G = درجة تركيز الخام ، T = طول النموذج

نلاحظ من خلال تطبيق المعادلة اعلاه في حساب درجة تركيز الخام ان النتائج ألمستحصلة هي واقعية ونتائج منطقية وحقيقية لانها تستند على نماذج متسلسلة متعاقبة لذلك السمك في ذلك

الموقع المحدد ولا يوجد أي تقدير افتراضي أو تخميني ناتج من تحديد هذه النتائج لمسافات بينية اخرى خارج موقع النموذج.

مثال رقم (8-4)

تم استحصال بعض المعطيات من احد الآبار الاستكشافية المحفورة لبابياً في احدى المناطق التي تتواجد فيها ترسبات للنحاس كما في الجدول رقم (5-4). المطلوب حساب درجة تركيز النحاس في هذه الترسبات في موقع البئر رقم (M) اخذين بنظر الاعتبار ان تركيز للنحاس 0.4% هو الحد الادنى لدرجة الخام المقبولة في تقييم هذه الترسبات.

جدول رقم (5-4)

بعض المعطيات الاستكشافية للبئر رقم (M)

رقم النموذج	طول اللباب (م)	تركيز النحاس (%)
M/30	0.4	0.45
M/31	0.4	0.72
M/32	0.4	0.67
M/33	0.4	0.85
M/34	0.4	0.48
M/35	0.4	3.72
المجموع	2.4	3.72

الحل: نلاحظ من الجدول (5-4) ان اطوال النماذج اللبابية متساوية (0.4) م الا ان تركيز النحاس يختلف من نموذج إلى اخر وجميعها تزيد تراكيز النحاس فيها عن %(0.4) وهي التركيز المقبول الذي يحقق شروط السؤال وفي هذه الحالة تحسب درجة تركيز خام النحاس في موقع البئر رقم (M) كما يلي:-

معدل درجة خام النحاس % = مجموع تراكيز النحاس في النماذج المطلوبة

هذه المعادلة تستخدم اذا كانت اطوال النماذج متساوية الطول ونحصل على نفس القيمة لبقية النماذج عند تطبيق المعادلة السابقة :- $G = \frac{\sum GT}{T}$

معدل درجة خام النحاس % = $\frac{3.72}{6}$ = 0.62 % نحاس حيث تمثل القيمة 0.62% معدل درجة التركيز النحاس في الخام في سمك طوله (2.4) م لذلك الموقع للبئر رقم (M).

مثال رقم (9-4)

تم استحصال بعض النتائج والمعطيات من احد الآبار الاستكشافية المحفورة لبابيا في احدى المناطق التي تتواجد فيها ترسبات النحاس كما في الجدول رقم (6-4) المطلوب حساب درجة تركيز النحاس في هذه الترسبات في موقع البئر رقم (k) اخذين بنظر الاعتبار ان التركيز للنحاس 0.4% هو الحد الادنى لدرجة الخام المقبولة في تقييم هذه الترسبات.

جدول رقم (6-4)

بعض المعطيات الاستكشافية للبئر رقم K

رقم النموذج	طول اللباب (م) (T)	تركيز النحاس (G)	طول اللباب × التركيز G × T
K20	0.30	0.30	———
K21	0.30	0.45	0.135
K22	0.40	0.45	0.180
K23	0.45	0.50	0.225
K24	0.35	0.55	0.192
K25	0.20	0.45	0.09
K26	0.30	0.30	———
المجموع	2.3	___	0.822

الحل: نلاحظ من الجدول (6-4) ان اطول النماذج اللبابية غير متساوية في الطول وكذلك هناك تباين في تراكيز النحاس حيث تصل إلى اقل من الحد المسموح في شرط السؤال.

لذلك لغرض حل هذا السؤال يجب اتباع الخطوات التالية :-

1- فرز النماذج التي تحتوي على تراكيز للنحاس اقل من 0.4% لتحقيق شرط السؤال ويتم استبعادها من الحسابات

2- يتم ضرب طول كل نموذج (T) في التركيز (G) % من فلز النحاس ويمثل حاصل ضرب G × T هو عمل مجانسة أو موازنة Weighted بين تأثيرات الطول والتركيز لكافة النماذج ويخصص لها عمود خاص في الجدول.

3- يتم جمع اطول نماذج اللباب ($\sum T$) والذي يمثل طول سمك الطبقة المتمعدنة في موقع البئر (K).

4- يتم حساب معدل درجة تركيز الخام وفق المعادلة التالية :-

معدل درجة تركيز الخام (G%) = $\frac{\sum GT}{\sum T}$ = $\frac{0.822}{2.3}$ =0.35 % نحاس

(4-12-2) تقدير الدرجة الاجمالية (معدل درجة تركيز الخام) في الترسبات المعدنية

يتم تعديل درجة تركيز الخام لمجمل حجم الترسبات المعدنية التي خضعت للعمليات الاستكشافية حيث يتم إدخال كافة نقاط مواقع النمذجة التي أجريت على الجسم المعدني في الحسابات التقديرية ويستحصل منها كل معدل درجة تركيز الترسبات المعدنية ويتم تلك الإجراءات وفق الخطوات التالية :-

1- تحسب درجة تركيز الخام لكل موقع من مواقع الآبار الاستكشافية (يمثل مجموع سماكات النماذج) لكل بئر أو موقع نموذج حسب ما تم بيانه في الفقرة السابقة.

2- يتم تنظيم جدول يحتوي على نتائج درجات تركيز الخام لكل موقع من مواقع النماذج أو الآبار مع بقية المعطيات يتضمن الحقول التالية

التسلسل	رقم البئر أو النموذج	السمك (T)	درجة تركيز الخام (G)	السمك × الدرجة (GT)

3- يحسب مجموع السماكات لكافة مواقع الآبار أو النماذج $\sum T$ لمجمل الترسبات المعدنية

4- التي خضعت للدراسة والاستكشاف المطلوب حساب درجة تركيز الخام لها.

5- يحسب مجموع حاصل الضرب السمك × الدرجة (GT) لكافة مواقع الآبار أو النماذج.

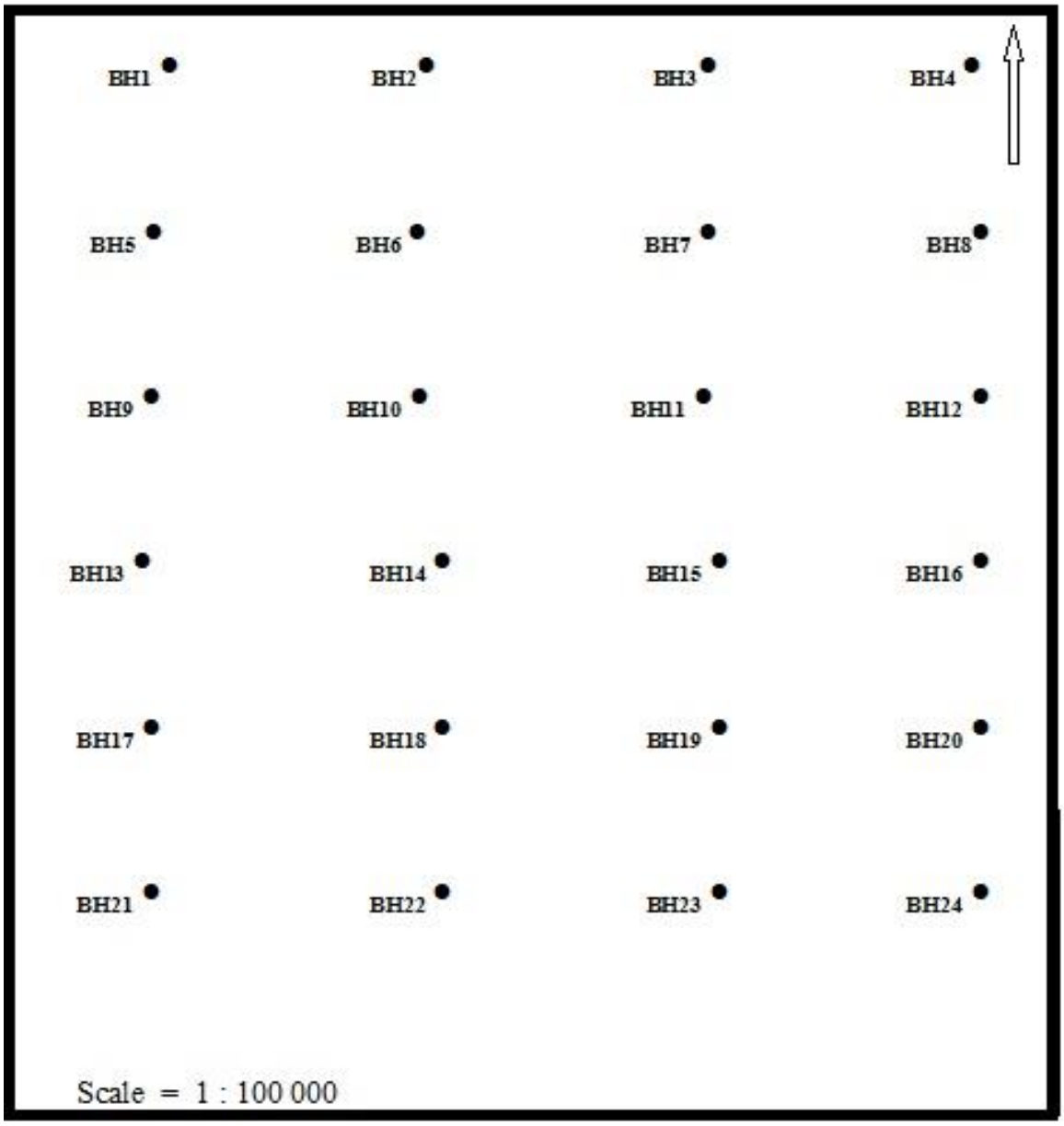
6- يتم حساب معدل الدرجة الاجمالية لتركيز الخام للترسبات المعدنية وفق المعادلة التالية :

$$G(\%) = \frac{\sum GT}{\sum T}$$

نلاحظ إن خطوات الحساب متشابهة للخطوات في الفقرة السابقة، مثال رقم (4-9) ولكن الاختلاف هنا تم حساب معدل درجة تركيز الخام لكافة أو مجمل الترسبات المعدنية التي تقوم على أساس تقديري وافتراضي كون ان مواقع النماذج تمثل شبكة اما عشوائية أو نظامية منتشرة على مساحة امتداد هذه الترسبات تفصل بينها مسافات بينية متباعدة وقد تم تمديد مسافة تأثير كل موقع من مواقع الآبار إلى منتصف المسافة بينها وبين موقع النموذج المجاور وبذلك فان عمليات الحساب هذه هي عملية تقديرية تزداد دقة التقديرات كلما اقتربت المسافات البينية بين المواقع النماذج والعملية بالعكس تكون دقة التقديرات ضعيفة وتقل الثقة في تقديرات النتائج كلما تباعدت المسافات بين مواقع النماذج. ان دقة التقديرات تعتمد على عدة عوامل منها استراتيجية العمل الاستكشافي هل هو استطلاعي أو تفصيلي وعلى نظام شبكة مواقع النماذج ومدى كثافة هذه المواقع والأهداف من هذا المشروع وكذلك التوظيفات المالية المخصصة لانجاز مراحل هذا العمل من مشاريع التقييم المعدني.

مثال رقم (10-4)

تم الحصول على نتائج لشواهد معدنية لخام الحديد من خلال حفر شبكة آبار استكشافية موزعة بشكل متساوي الأبعاد كما في الشكل رقم (12-4) وكانت النتائج كما في الجدول رقم (7-4). المطلوب حساب درجة تركيز خام الحديد في هذه الترسبات ضمن حدود امتداد ترسبات الحديد مع الأخذ بنظر الاعتبار إن درجة تركيز إلى Fe_2O_3 يساوي 20%.



شكل رقم (12-4) خارطة توزيع الآبار الاستكشافية

جدول رقم (7-4)

نتائج الآبار الاستكشافية لترسبات الحديد

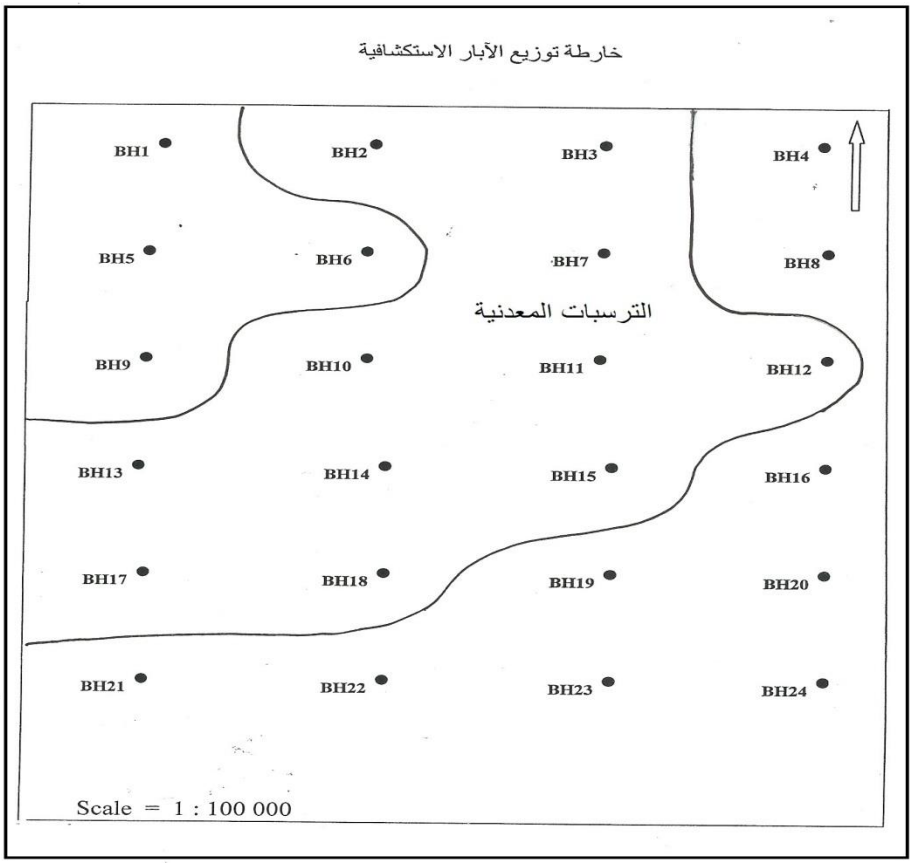
رقم البئر	سمك طبقة التمعدن (م)T	درجة تركيز الخام (G) Fe2O3%	رقم البئر	سمك طبقة التمعدن (م)T	درجة تركيز الخام (G) Fe2O3%
BH1	5.0	14.0	BH13	8.0	16.6
BH2	6.5	16.0	BH14	7.8	23.7
BH3	5.8	15.0	BH15	6.5	24.2
BH4	5.0	14.5	BH16	5.5	14.2
BH5	4.8	13.5	BH17	8.5	32.2
BH6	5.5	22.0	BH18	7.6	28.9
BH7	6.0	24.0	BH19	6.0	25.6
BH8	5.2	18.8	BH20	6.0	15.5
BH9	5.0	16.5	BH21	5.9	18.2
BH10	6.0	23.6	BH22	5.0	15.8
BH11	7.5	25.5	BH23	4.5	13.8
BH12	6.5	13.6	BH24	4.5	15.4

الحل :-

1- تؤشر قيم تراكيز الحديد Fe_2O_3 لجميع الآبار على خارطة توزيع الآبار الاستكشافية.

2- يتم تمييز الآبار التي تحتوي على تراكيز حديد Fe_2O_3 اكثر من 20% كأن يكون بعلامة أو لون مميز ... الخ

3- يتم استخدام منتصف المسافات بين الآبار كحدود فاصلة بين الآبار اكثر من 20% حديد والآبار التي تحتوي على اقل من 20% حديد ثم يتم رسم حدود التمعدن للآبار هذه بخط متصل مميز، كما موضح في الخارطة شكل رقم (13-4).



شكل رقم (13-4) خارطة حدود التمعدن

4- تجمع سماكات خام الحديد Fe_2O_3 لمواقع الآبار التي تقع ضمن امتداد الترسبات المعدنية لخام الحديد التي لها تركيز اكثر من 20% ويساوي $\sum T$.

5- يضرب سمك خام الحديد (T) في كل موقع بدرجة تركيز الحديد (G) لذلك السمك ويجمع حاصل الضرب $\sum(GT)$.

6- يتم عمل جدول يحتوي على النتائج لتقدير معدل درجة تركيز خام الحديد كما في الجدول رقم (4-8).

7- تحسب معدل درجة تركيز الخام التي تقع ضمن حدود امتدادات الترسبات لخام الحديد وفقا للمعادلة :-

$$G(\%) = \frac{\sum GT}{\sum T} = \frac{1586.95}{61.4} = 25.84\ \%\ Fe_2O_3$$

جدول رقم (8-4)

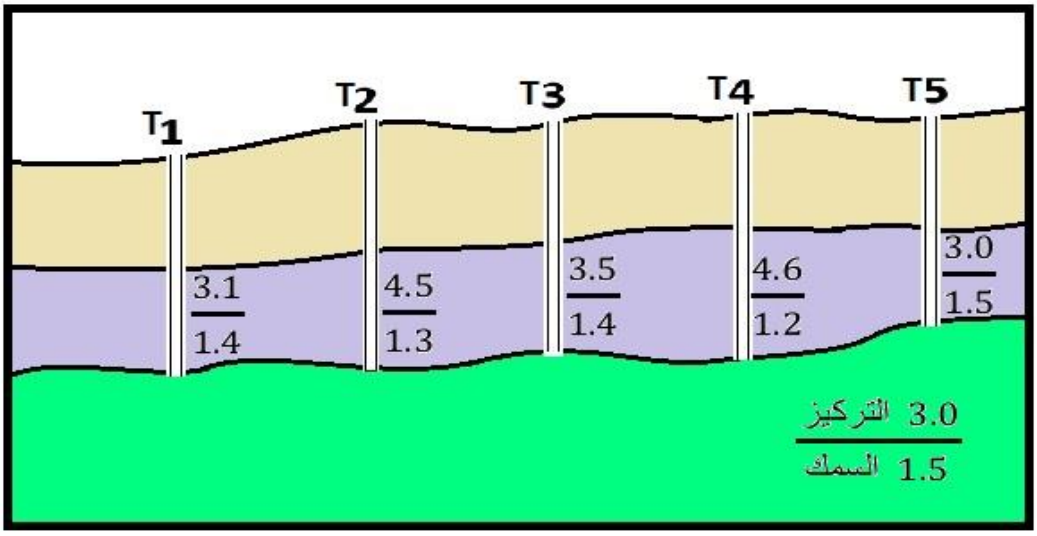
نتائج الحسابات لتحديد معدل درجة تركيز الخام لحالة المسافات البينية المتساوية

رقم البئر	السمك (م) (T)	درجة تركيز الخام Fe_2O_3 (G)	G × T
BH6	5.5	22.0	121.00
BH7	6.0	24.0	144.00
BH10	6.0	23.6	141.60
BH11	7.5	25.5	191.25
BH14	7.8	23.7	184.86
BH15	6.5	24.2	157.30
BH17	8.5	32.2	273.0
BH18	7.6	28.9	219.64
BH19	6.0	25.6	153.60
المجموع	61.4		1586.95

لنأخذ مثال آخر لحساب معدل درجة تركيز الخام في حالة المسافات البينية المتساوية. في حالة اذا كان لدينا مقطع لعرض معدني متمعدن، وكما هي الحالة في حالة الترسبات المعدنية للعروق المعنية (Veins) ولها عرض متباين الاتساع.

مثال رقم (11-4)

الشكل التالي رقم (14-4) يمثل مقطع افقي لعرق متمعدن بالنحاس تم دراستها بواسطة حفر خنادق في خمسة مواقع على طول امتداد الطبقة تفصل بينهما مسافات متساوية تساوي 15 م.



شكل رقم (14-4) مقطع افقي لعرق معدني لتحديد معدل درجة تركيز الترسبات المعدنية

استخدام النتائج الواردة في الشكل المذكور لتقدير معدل درجة وسمك الخام لهذه الطبقة في هذا المقطع الافقي.

الحل: نلاحظ من الشكل المذكور رقم (14-4) ان سمك الطبقة المعدنية المتمعدنة أو العرض المعدني غير متساوي وان المسافات الفاصلة بين مواقع النماذج (الخنادق) متساوية وعليه فان مدى التاثيرات الجانبية للقيم على امتداد المسافة بين هذه المواقع تكون متساوية، ولذلك لا يتطلب اخذ هذه المسافات بنظر الاعتبار عند حساب معدل درجة التركيز أو السمك. ولإجراء الحسابات لحل هذه المسألة يتبع الخطوات التالية:-

1- يتم عمل جدول يتضمن حساب المعطيات والنماذج لغرض تقدير درجة الخام وكما في الجدول الاتي رقم (9-4).

جدول رقم (9-4) تقدير درجة الخام

رقم موقع النمذجة	سمك الطبقة (T) متر	درجة تركيز الخام (G) %	G × T
T_1	1.4	3.1	4.34
T_2	1.3	4.5	5.85
T_3	1.4	3.5	4.90
T_4	1.2	4.6	5.52
T_5	1.5	3.0	4.50
المجموع	6.8		25.11

2- يضرب مقدار السمك (T) لكل موقع نموذج في درجة التركيز للنحاس لذلك الموقع (G) ويكون حاصل الضرب G*T ويوضح ضمن الحقل المخصص له.

3- تجمع سماكات كافة مواقع النمذجة الخنادق للخنادق $\sum T$ والتي تساوي 6.8 م.

4- تجمع كافة النتائج G*T والتي هي $\sum G*T$ وتساوي 25.11

5- تحسب معدل درجة تركيز النحاس وفق المعادلة التالية

$$G\ (\%) = \frac{\sum GT}{\sum T} = \frac{25.11}{6.8} = 3.69\%$$

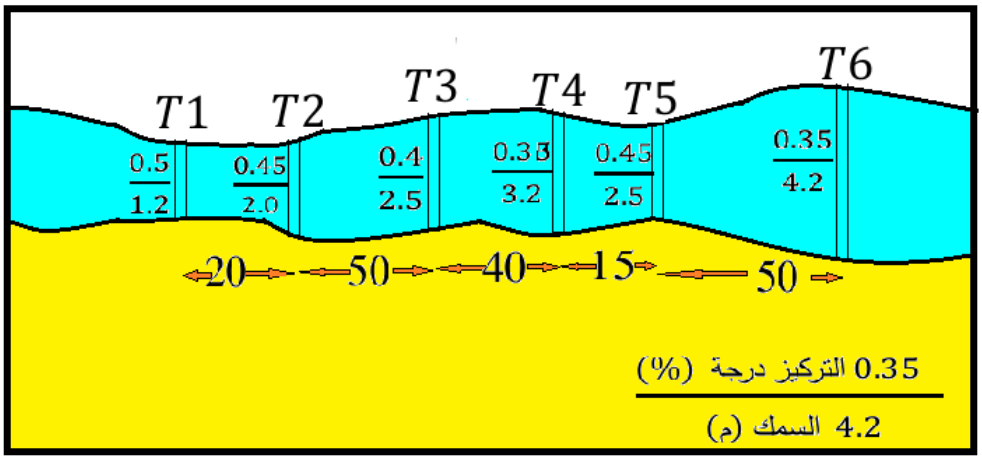
6- يتم حساب معدل السمك للطبقة المتمعدنة على امتداد المقطع الافقي للعرق المتمعدن كما يلي:-

$$\text{معدل السمك} = \frac{\sum T}{No\,of\ sampl} = \frac{6.6}{5} = 1.32 \text{ متر}$$

وعندما تكون المسافات البينية الفاصلة بين مواقع النماذج غير متساوية (Unevenly Spaced Samples) فبهذه الحالة عند إجراء حسابات تقدير معدل درجة تركيز الترسبات المعدنية أو حساب معدل السمك يجب ان نأخذ بنظر الاعتبار مديات تأثير المسافات الفاصلة بين هذه المواقع (Range of Influence) ويتبع في ذلك إحدى الطرق التي تمت الإشارة اليه في فصل نمذجة الترسبات المعدنية ولمزيد من الإيضاح والاستيعاب نتناول هنا بعض الامثلة التطبيقية لهذه الحالة.

مثال رقم (12-4)

الشكل التالي رقم (15-4) يمثل مقطع افقي لعرق معدني متمعدن باليورانيوم تم كشفها ونمذجتها بواسطة حفر عدة خنادق تفصل بينهما مسافات بينية غير متساوية على سطح العرق المعدني وخضع هذا العرق المعدني لنمذجة قناتيه في ستة مواقع. استخدام النتائج الواردة في الشكل المذكور لتقدير معدل درجة تركيز اليورانيوم ومعدل سمك العرق المعدني.



شكل رقم (15-4) مقطع افقي لعرق معدني متمعدن باليورانيوم لتحديد معدل درجة تركيز الترسبات والسمك في حالة المسافات البينية غير المتساوية.

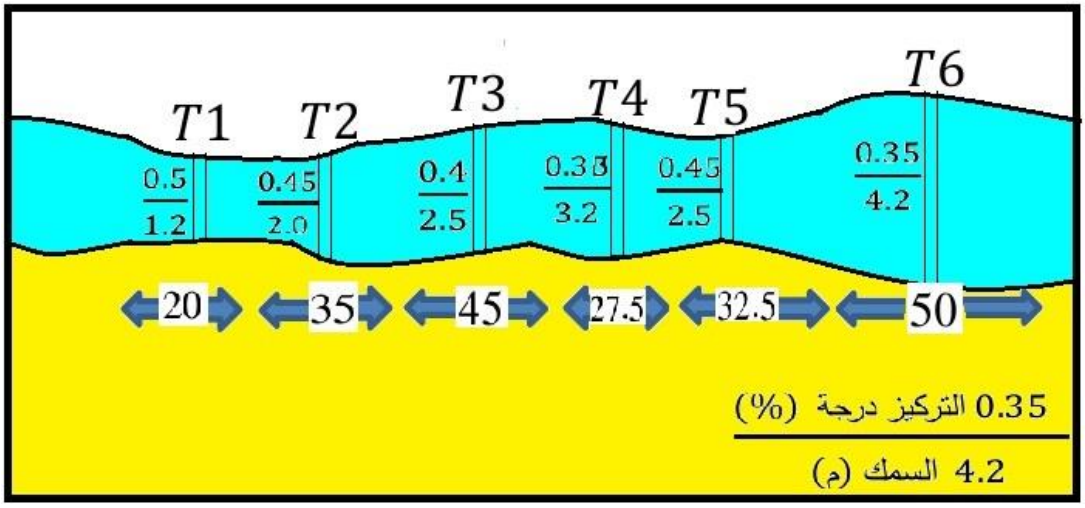
الحل:-

نلاحظ من لشكل المذكور إن مواقع النماذج (الخنادق) تفصل بينهما مسافات بينية متباينة أو غير متساوية وبذلك فان قيمة أو درجة تركيز الخام في كل موقع لها مديات تأثير متباينة يجب أخذها بنظر لاعتبار عند تقدير درجة التركيز أو السمك ومدى التأثير هذا يعتمد على المسافة الفاصلة بين موقعين من مواقع النماذج.

من الجدير بالذكر أن نشير هنا من قيمة التركيز العالية اذ كان لها مدى تاثير عالي أي إن المسافة الفاصلة بينهما وبين القيمة المجاورة كبيرة فإنها تعطي أو تؤثر بصورة واضحة على معدل درجة التركيز على الخام ككل وبالعكس إذا كانت القيمة الواطئة لموقع معين من النماذج له مدى تأثير كبير فإن يميل إلى خفض معدل درجة تركيز الخام.

نتبع في الحل الخطوات التالية :

1- نحسب مسافة مدى التأثير Length of Influence لكل موقع من مواقع النماذج حيث تمتد مسافة التأثير إلى منتصف المسافة التي تفصل بين كل موقعين وكما في الشكل التالي رقم (4-16).



شكل رقم (4-16) مديات تأثير مواقع الآبار للمسافات البينية غير متساوية

وبذلك يكون مدى تأثير موقع كل نموذج هو حاصل جمع مسافة التأثير على جانبيه كما موضح في الشكل اعلاه وكما يلي:-

مدى تأثير موقع النموذج رقم (1) = 10 + 10 = 20

مدى تأثير موقع النموذج رقم (2) = 10 + 25 = 35

مدى تأثير موقع النموذج رقم (3) = 25 + 20 = 45

مدى تأثير موقع النموذج رقم (4) = 20 + 7.5 = 27.5

مدى تأثير موقع النموذج رقم (5) = 7.5 + 25 = 32.5

مدى تأثير موقع النموذج رقم (6) = 25 + 25 = 50

مجموع الطول الكلي لمديات التأثير يساوي 210 متر

2- يضرب مسافة مدى التأثير (L) الذي تم حسابه في الفقرة أعلاه مع قيمة درجة تركيز اليورانيوم (G) وتضرب كذلك مع السمك (T) في موقع النمذجة ويتم تنظيم المعطيات في الجدول رقم (4-10).

جدول رقم (10-4)

النتائج الحسابية لتقدير درجة تركيز الخام في حالة المسافات البينية غير المتساوية

رقم النموذج	درجة تركيز الخام (G) %	سمك الطبقة (T) م	مدى التاثير (L) م	TL	GTL
T_1	0.5	1.2	20	24.0	12.0
T_2	0.45	2.0	35	70	31.5
T_3	0.4	2.5	45	112.5	45
T_4	0.38	3.2	27.5	88	33.44
T_5	0.45	2.5	32.5	81.25	36.56
T_6	0.35	4.2	50	210	73.5
المجموع		15.6	210	585.75	232

3- يضرب السمك لكل موقع نموذج في مدى التأثير لذلك النموذج T*L ويوضع في حقل خاص ضمن الجدول رقم (9-4).

4- يحسب معدل السمك وفق المعادلة:-

$$\text{معدل السمك} = \frac{\sum TL}{\sum L} = \frac{585.75}{210} = 2.78 \text{ متر}$$

5- يضرب كل من G*T*L ويوضع في حقل خاص ضمن الجدول.

6- يقدر معدل درجة تركيز الخام اليورانيوم وفق المعادلة:-

$$\text{معدل درجة تركيز اليورانيوم} = \frac{\sum GTL}{\sum TL} = \frac{232}{585.75} = 0.39\ \%$$

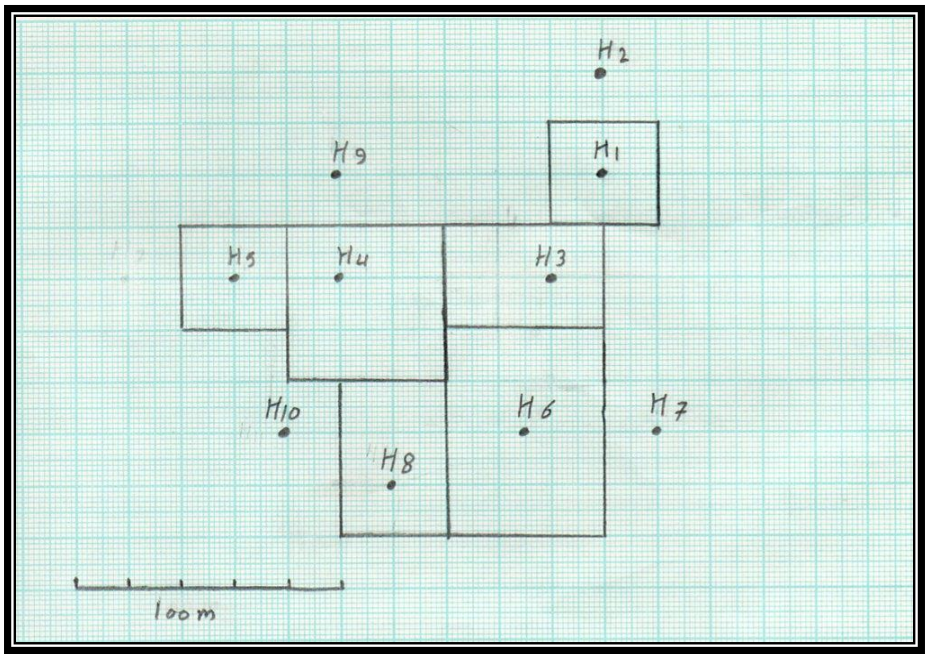
وضحنا في الفقرة السابقة كيفية حساب معدل درجة تركيز الخام أو السمك بصيغة المسافة لمديات التأثير بين المواقع وعرفنا كيفية حساب مديات التأثير بين مواقع النماذج بصيغة المسافة أما الآن سوف نتطرق إلى حساب مديات التأثير بين مواقع النماذج العشوائية بصيغة المساحة وهي الشائعة الاستخدام والاستعمال في حساب تقدير درجة تركيز الخام وتقييم الترسبات المعدنية حيث يتم حساب مساحة تأثير كل موقع نموذج بعدة طرق سوف نتطرق اليها بالتفصيل في فصل حساب احتياطي الخامات.

مثال رقم (13-4)

تم حفر مجموعة من الآبار الاستكشافية في إحدى مناطق الصحراء الغربية وكانت موزعة بصورة عشوائية لغرض تقييم ترسبات الخام فيها وتم تحديد مساحة تأثير الآبار الموجبة بطريقة القواطع وطريقة القواطع المضلعة شكل رقم (17-4) وشكل رقم (18-4) على التوالي، المطلوب حساب معدل درجة تركيز الخام ومعدل سمكها في المنطقة باستخدام النتائج الواردة في الجدول (4-11).

جدول رقم (11-4) يمثل النتائج الاستكشافية لأحد الترسبات المعدنية

رقم البئر	سمك طبقة التمعدن (م)	درجة الخام % (G)
H1	2.5	0.80
H2	0.0	0.00
H3	3.5	0.75
H4	4.5	0.85
H5	3.8	0.70
H6	2.8	0.67
H7	0.0	0.00
H8	3.2	0.99
H9	0.0	0.00
H10	0.0	0.00



شكل رقم (17-4) تحديد معدل درجة تركيز الخام ومعدل السمك بطريقة القواطع

الحل :-

بما إن شبكة توزيع مواقع الآبار عشوائية، ويتم حساب مدى تأثير كل موقع من مواقع الآبار بصيغة المساحة لمدى التأثير حيث انها تختلف من موقع لأخر حسب المسافات الفاصلة بين مواقع الآبار. ويتم حساب مساحة بعدة طرق إما بالطريقة التقليدية (طول×عرض) وفق مقياس الرسم أو باستخدام الورق البياني أو يستخدم الحاسبة عند رسم الخارطة بالحاسبة الالكترونية. ويتبع في حل المسألة الخطوات التالية :

1- يتم عمل جدول يتضمن نتائج ومعطيات الآبار الاستكشافية مع نتائج الحسابات كما في الجدول رقم (12-4).

جدول رقم (12-4)

رقم البئر	السمك (م)(T)	درجة الخام G%	مساحة القاطع (A) $م^2$	A*T	G*T*A
H1	205	0.80	1600	4000	3200
H2	0.0	0.00	---	---	---
H3	3.5	0.75	2400	8400	6300
H4	4.5	0.85	3600	16200	13770
H5	3.8	0.70	1600	6080	4256
H6	2.8	0.67	4800	13440	9004.8
H7	0.0	0.00	---	---	---
H8	3.2	0.99	2400	7680	7603.2
H9	0.0	0.00	---	---	---
H10	0.0	0.00	---	---	---
المجموع	20.3		16400	55800	44134

2- يتم حساب مساحة كل قاطع بإحدى الطرق المتبعة وحسب مقياس الرسم وبدقة عالية.

3- نضرب مساحة كل قاطع (A) في سمك طبقة التمعدن (T) لذلك القاطع لإيجاد قيمة (T*A) وتوضع في الحقل المخصص لها والغرض من هذه الخطوة لغرض إيجاد معدل السمك حسب مساحة مدى التأثير لذبك الموقع.

4- تضرب درجة تركيز الخام (G) في قيمة (T*A) لكل قاطع لغرض إيجاد (G*T*A) وتوضع في الحقل المخصص لها والغرض من هذه الخطوة هو لربط العلاقة بين المساحة والسمك ودرجة التركيز حسب مدى التأثير للموقع لكل قاطع. لإيجاد معدل درجة تركيز الخام.

5- يتم حساب معدل السمك حسب المعادلة التالية :-

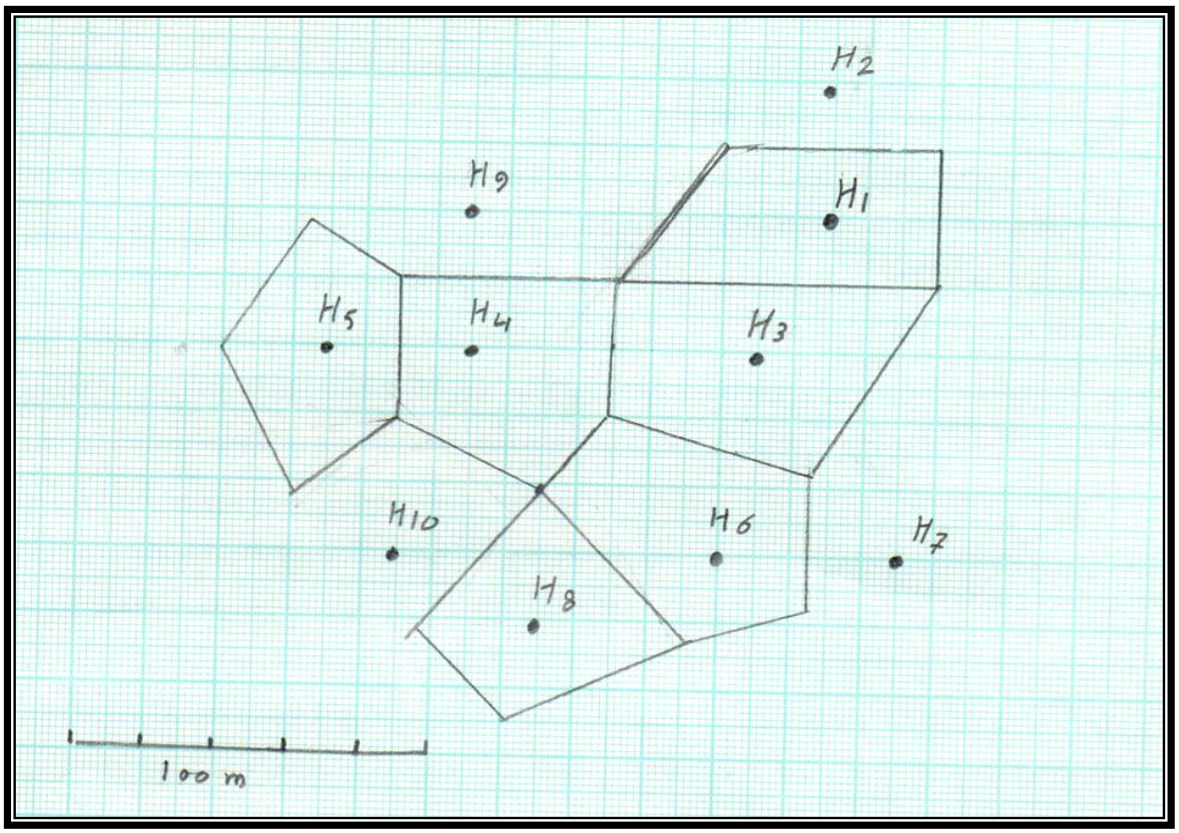
$$\text{معدل السمك} = \frac{\sum A*T}{\sum A} = \frac{55800}{16400} = 3.4 \text{ م}$$

6- يتم حساب معدل درجة تركيز الخام وفق المعادلة التالية :-

$$\text{معدل درجة تركيز الخام (\%G)} = \frac{\sum GTA}{\sum TA} = \frac{44134}{55800} = \%0.79$$

نلاحظ إن معدل درجة تركيز الخام مرتفع ويعود سبب ذلك إلى قيمة مواقع النماذج للآبار H_6 و H_4 حيث أن مساحة تأثيرها كبيرة وكذلك قيمة السمك للطبقة عالي في البئر H_4.

ولغرض حساب معدل درجة تركيز الخام ومعدل السمك باستخدام طريقة القواطع المضلعة، فتعاد نفس الخطوات السابقة وتعاد حساب مساحة التأثير لكل قاطع حسب مقياس الرسم وينظم جدول بالنتائج كما في الجدول رقم (13-4) والحسابات تتم حسب الشكل رقم (18-4)



شكل رقم (18-4) تحديد معدل درجة تركيز الخام ومعدل السمك بطرقة القواطع المضلعة

جدول رقم (13-4)

نتائج حسابات معدل السمك ومعدل درجة التركيز بطريقة القواطع

رقم البئر	السمك (T) م	درجة الخام (G) %	مساحة القاطع (A) م^2	A*T	G*T*A
H_1	2.5	0.80	3000	7500	6000
H_2	0.0	0.00	---	---	---
H_3	3.5	0.75	3600	12600	9750
H_4	4.5	0.85	3200	14400	12240
H_5	3.8	0.70	2400	9120	6384
H_6	2.8	0.67	3000	8400	5628
H_7	0.0	0.0	---	---	---
H_8	3.2	0.99	2800	8960	8870.4
H_9	0.0	0.0	---	---	---
H_{10}	0.0	0.0	---	---	---
المجموع	20.3		18000	60980	48572.4

$$\text{معدل السمك} = \frac{\sum A*T}{\sum A} = \frac{60980}{18000} = 3.38 \text{ م}$$

$$\text{معدل درجة تركيز الخام (\%G)} = \frac{\sum GTA}{\sum TA} = \frac{48572.4}{60980} = 0.79\%$$

نلاحظ في استخدام طريقة القواطع المضلعة ان مساحة التأثير تكون أكثر دقة ولا يوجد مبالغة في الامتداد كما هي الحال في حالة القواطع المنتظمة.

(13-4) معادلة درجة تركيز الخام بالنسبة إلى الكثافة

تتواجد الترسبات المعدنية بصورة غير متجانسة في كثير من انواع الترسبات بالإضافة إلى إن التوزيع المعدني غير متجانس اعتمادا على الظروف الترسيبية التي انشأت وكونت هذه الخامات وبذلك نلاحظ في كثير من الحالات اختلاف كثافة الترسبات من مكان إلى اخر مما يؤثر على التوزيع المعدني واختلاف درجة تركيز الخامات من مكان إلى اخر وعليه يجب إجراء تصحيح أو

موازنة (معادلة) درجة تركيز الخامات نسبة إلى اختلاف التوزيع المكافئ للكثافة. لمزيد من الإيضاح هذه المتغايرات نسوق المثال التالي:

مثال رقم (14-4)

لدينا ثلاث نماذج من ترسبات معدنية غنية باليورانيوم والنتائج موضحة في الجدول رقم (4-14) احسب معدل درجة تركيز اليورانيوم في الترسبات في حالتين:-

1- بدون الأخذ بنظر الاعتبار اختلاف الكثافة.

2- الأخذ بنظر الاعتبار اختلاف الكثافة.

جدول رقم (14-4)

نتائج تركيز اليورانيوم في الترسبات المعدنية

رقم النموذج	درجة تركيز اليورانيوم (G) متر	سمك الطبقة (T) متر	كثافة الخام (D) غم/سم^3	G*D
1	20.00	0.3	4.6	92.00
2	1.50	0.3	2.4	3.60
3	0.30	0.3	2.3	0.69
المجموع	21.80	0.9	9.3	96.29

1- نلاحظ من الجدول ان سمك النماذج الثلاث متساوية في الطول وبذلك فإن مدى التأثير لأطوال النماذج متساوية ولذلك لا يدخل في الحسابات في الحالة الأولى يكون:

$$\text{معدل درجة التركيز } G\% = \frac{\text{مجموع درجة التركيز } \sum G\%}{}$$

$$= \frac{21.80}{3} = 7.27\% \text{ يورانيوم}$$

2- في الحالة الثانية عندما يتم حساب معدل درجة التركيز المصحح إلى تغايرات الكثافة فيتم الحساب كما في المعادلة الآتية :

$$\text{معدل درجة التركيز } G\% = \frac{\sum G*D}{\sum D}$$

$$= \frac{96.29}{9.3} = 10.35\% \text{ يورانيوم}$$

إن حالة اختلاف الكثافة يجب الانتباه إليها في حالة الترسبات المعدنية المعقدة أو ذات تغايرات واسعة حيث تؤدي إلى حسابات خاطئة عند إجراء تقدير درجة تركيز الخام.

(4-14) اصناف درجة تركيز الخام

عموما في المناقشات الشاملة التي أُجريت في هذا الفصل حول مفهوم درجة تركيز الخام ان مصطلح درجة تركيز الخام Ore grade يستخدم لقياس معدل تركيز المعادن أو الفلزات في الترسبات المعدنية التي يحصل لها تقييم معدني ويتم تحديد امتدادها وحجمها وكتلتها بحيث تصبح جاهزة للمباشرة بأعمال الاستخراج أو الاستغلال ألمنجمي (العمليات التعدينية). العمليات التعدينية التي يتم اجراؤها على الترسبات المعدنية تشتمل على عدة مراحل تعتمد كل مرحلة على المرحلة اللاحقة ولكل مرحلة منها لها محددات خاصة بها وأعمال منجمية وحسابات تقييمية ومالية يتم على أساسها انجاز لكل مرحلة من هذه المراحل.

من المعلوم ان المكونات المعدنية في كل جسم معدني تتوزع بصورة غير متجانسة ضمن كل جسم معدني ولكل منها خصائصه ومميزاته الخاصة به تختلف عن الجسم المعدني لترسبات اخرى وبذلك فممكن ان نجد تراكيز عالية لأحد المعادن في مكان من جسم المعدني وفي مكان آخر تكون قليلة أي ان هناك تباين واختلاف من مكان إلى اخر في توزيع التراكيز وفي اماكن أُخرى من نفس الجسم المعدني قد لا نلاحظ أي تواجد لهذه المعادن. وعليه تم تصنيف درجة تركيز الخام إلى ثلاث أصناف اعتمادا على مراحل العمليات ألمنجمية وكما يلي:-

(4-14-1) درجة تركيز الخام الرئيسية Head Grade

عند المباشرة بالعمليات التعدينية على أي جسم معدني فان درجة تركيز الخام التي يتم قلعها من مكانها أو من أماكن تواجدها في المنجم وتصل إلى سطح الأرض في أي وقت سوف تختلف هذه الدرجة عن معدل درجة تركيز الخام في عموم الجسم المعدني اما بالزيادة أو بالنقصان تعتمد على التوزيع غير المتجانس لهذه التراكيز ضمن الجسم المعدني، كذلك العمليات ألمنجميه ونوع الطريقة المتبعة ووسائل النقل الخاصة بنقل الخام إلى سطح الأرض ينتج عنها عمليات إضافة من الصخور العقيمة اثناء القلع أو أعمال الاستخراج إلى الخام ويحصل للخام تخفيف لا يمكن تجنبه في كثير من الأعمال ألمنجميه. وطبقا لهذه المتغايرات فان درجة تركيز الخام للجسم المعدني المستلمة من المنجم إلى معمل الاستخلاص يسمى Head Grade وهي الدرجة التي تختلف عن معدلها العام وتكون اقل بسب أعمال التخفيف بسبب إضافة الصخور العقيمة إلى الخام أثناء أعمال الاستخراج ألمنجمي.

(4-14-2) درجة تركيز الخام المستخلصة Recoverable Grade

بعد مرحلة الاستخراج المعدني وقلع ونقل الخامات المعدنية إلى معمل الاستخلاص، يجب ان تكون هناك مرحلة ثانية هي مرحلة المعالجة والاستخلاص المعدني والتي يتم بها استخلاص وفصل المعادن أو الفلزات من الصخور الأُم أو الصخور العقيمة في معمل الاستخلاص. لا يوجد معمل له كفاءة على معالجة واستخلاص المعادن بنسبة 100 % حيث إن بعض المعادن أو الفلزات تذهب مع

الفضلات ولا يمكن معالجتها أو استخلاصها. كفاءة الاستخلاص المعملية تعتمد على عدة عوامل منها التقنية المستخدمة أو المسلك التكنولوجي المتبع في عمليات المعالجة وكذلك التقنية المستخدمة والمعدات والأجهزة اللازمة لإجراء عمليات الاستخلاص، وبذلك فان درجة تركيز الخام التي يمكن استخلاصها هي كمية الخام التي يمكن انتاجها أو استخلاصها من الترسبات المعدنية في معمل الاستخلاص.

(4-14-3) حد القطع لدرجة التركيز Cut- off Grade

تتواجد معظم الترسبات المعدنية بتراكيز متباينة ومختلفة وتتدرج تراكيز المعادن أو الفلزات من التراكيز العالية إلى التراكيز الواطئة وقد تتماشى هذه التراكيز على حدود أو ضمن امتدادات الترسبات المعدنية، بحيث ان العمليات ألمنجمية أو عمليات الاستخلاص لا تستطيع معالجة واستخلاص الترسبات المعدنية التي تمتلك درجت تركيز واطئة ضمن حدود معينة بحيث تصبح معالجة التراكيز تحت حد معين غير ذا جدوى اقتصادية، وبذلك يسمى حد القطع للتراكيز Cut- off Grade هو درجة تركيز الخام التي تحتها تصبح العمليات ألمنجمية وعمليات الاستخلاص غير مجدية وبكلام اخر هو الحد الأدنى المقبول من درجة تركيز الخام أو سمكه (Cut- off Thickness) الذي يحقق جدوى ايجابية في العمليات ألمنجمية وعمليات الاستخلاص عند استثمار هذه الترسبات. ان الترسبات المعدنية تحت حد القطع بدرجة التركيز يترك في محله وتصبح عمليات استثماره واستغلاله مكلفة وغير اقتصادية في وقت استثماره وربما يصبح ذو قيمة اقتصادي في المستقبل مع تغير حد القطع للتركيز أو السمك عند حصول أي تغير في احد العوامل التي تحدد حد القطع لهما.

ان حد القطع للتركيز أو السمك معيار مهم من معايير عمليات التقييم المعدنية، وحد القطع ليس ثابت لجميع انواع الترسبات المعدنية أو حتى للنوع الواحد احياناً لذلك يجب تحديده لكل جسم معدني وفق مؤشراته الجيولوجية والمعدنية واعتمادا على العمليات ألمنجميه والتعدينية والكلف الاقتصادية والاستثمارية والمردود الاقتصادي لها. وقد يزداد حد القطع أو يقل مع تطور المعادلة الاقتصادية التسويقية وتطور التقنية ألمنجميه وزيادة أسعار السلع وانخفاض كلف الإنتاج. تستخدم في تحديد حد القطع لدرجة الخام معادلات بصيغة مختلفة ولكنها تستند جميعا على أساس واحد هو الموازنة بين الكلف الاستثمارية والانتاجية والايرادات والربحية وهناك صيغ متعددة لهذه المعادلة تستخدم من قبل مؤسسات متخصصة عديدة تعتمد كل منها حسب رؤيتها وفلسفتها الاقتصادية وهي كما يلي:

1- المؤسسة الامريكية (قسم الطاقة)

$$\text{حد القطع للتركيز (G) \%} = \frac{\text{كلفة العمليات ألمنجمية والاستخراجية والاستخلاص + كلفة انتاج الطن الواحد من الخام}}{\text{7.7 (سعر البيع بالطن) * (كفاءة الاستخلاص)}}$$

2- المؤسسات الفرنسية

$$\text{حد القطع للتركيز G \%} = \frac{\text{مجمل كلف التشغيل ألمنجمي والاستخراج والمعالجة}}{\text{(كلفة انتاج الطن الواحد من المعدن) * (كفاءة الاستخلاص)}}$$

3- مؤسسات جنوب افريقيا

$$\text{حد القطع للتركيز (G) \%} = \frac{\text{كلفة انتاج الطن الواحد من الخام بما في ذلك الكلف ألمنجمية والتعدينية وكلفة الضرائب}}{\text{سعر الطن الواحد من فلز الخام}}$$

4- المؤسسات الكندية (قسم الطاقة)

$$\text{حد القطع للتركيز G\%} = (1+MD)\ (\frac{C}{P}+ML)-DG*MD$$

MD = معامل التخفيف المعدني

C = كلف التشغيل ألمنجمي وكلف المعالجة والاستخلاص وكلف الاستثمار الكلية

$$C = \frac{\text{سعرالطن للمعدن المتبادل}}{\text{اعلى سعر للمعدن المنتج/بالطن}}$$

ML = نسبة الفقدان اثناء معالجة الخام والذي يساوي (كفاءة الاستخلاص – 1)

DG = درجة تركيز الخام بعد التخفيف التي تحصل اثناء العمليات ألمنجميه

مثال رقم (15-4)

تم اكتشاف ترسبات معدنية تحوي على خام النحاس في مناطق شمال العراق، وكانت درجة تركيز الخام هي 1.8% نحاس في موقع الترسبات المعدنية.

الدراسات الأولية والتقييمية تشير إلى إمكانية حصول تخفيف للخام بنسبة 15% من الصخور العقيمة اثناء عملية استخرج الخام باحدى الطرق ألمنجمية. كفاءة الاستخلاص المعملي تساوي 90%. احسب:-

1- درجة تركيز الخام الرئيسية Head Grade التي بها يتم تسليم الخام إلى معمل الاستخلاص.

2- درجة تركيز الخام المستخلصة Recoverable Grade للخام.

3- كمية الخام المستخرجة بإحدى الطرق ألمنجميه لكي نحصل منها على (1) كغم نحاس بعد مرحلة الاستخلاص المعدني.

الحل:

1- بما ان معامل التخفيف هو 15% والذي يمثل نسبة الصخور العقيمة التي تضاف إلى الخام، لذلك فان معدل درجة تركيز الخام التي هي 1.8% سوف تقل أو يتم تخفيضها بمعامل قدره

$$\frac{15}{100} = 0.15$$

لذلك فان درجة تركيز الخام سوف تقل بمقدار قدره:- $1.8 * 0.15 = 0.27\%$

وعليه فان درجة تركيز الخام بعد التخفيف سوف تكون:- $1.8 - 0.27 = 1.53\%$

هذه النسبة هي التي تمثل Head Grade.

2- بما ان نسبة الفقدان هي 10% من فلز النحاس تحصل خلال عمليات المعالجة والاستخلاص حيث ان كفاءة الاستخلاص 90% وتمثل نسبة 10% هي نسبة الفقدان للنحاس، ولذلك فان درجة تركيز الخام الرئيسية سوف تقل بمقدار 10%، وعليه فان معامل التقليل سوف يكون:-

$$100\% - 10\% = 90\% = \frac{90}{100} = 0.9$$

$\therefore$ Recoverable Grade = $1.53 * 0.9 = 1.38\%$

3- اذا كانت درجة تركيز الخام المستخلصة Recoverable Grade هي 1.38% فهذا يعني ان كل (1) طن من الخام سوف يحتوي على نحاس حسب العلاقة التالية:-

$\frac{kg.Ore}{100}$	$\frac{kg\,copper}{1.38}$
1000	x

$$\therefore x = \frac{1000 \times 1.38}{100} = 13.8\ k$$ نحاس

أي ان كل طن يحتوي على كمية (13.8) كغم نحاس ولكي نحصل على (1) كغم نحاس يجب ان نستخرج خام بكمية تساوي :- $\frac{1000}{13.8} = 72.46\,Kg\ Ore$

(4-15) حد القطع للسمك Cut- off Thickness

يمثل حد القطع للسمك الحد الادنى من سمك الطبقة المتمعدنة القابلة للاستخراج وفق الطرق ألمنجمية المستخدمة، مع الاخذ بنظر الاعتبارات الجيولوجية للمكونات المعدنية. الترسبات المعدنية التي تمتلك سمك كبير من الممكن اجراء الاعمال ألمنجمية عليها سواء كانت تحت السطح أو بواسطة المنجم المفتوح باستخدام معدات تشغيلية كبيرة عالية الكفاءة وذات إنتاجية كبيرة بينما الترسبات المعدنية ذات السمك القليل أو الترسبات ذات المتغايرات عالية في السمك تحتاج إلى معدات تخصصية صغيرة وطرق استخراج منجمي خاصة بها، حيث تكون درجة القطع للسمك حساسية من الناحية ألمنجميه للترسبات المعدنية القليلة السمك (اقل من متر واحد) وفي هذه الحالة نضطر إلى قلع

جزء من الصخور العقيمة المجاورة لطبقة الخام الذي يؤدي إلى حصول تخفيف (Dilution) إلى درجة تركيز الخام مما يتطلب إعادة احتسابها وتقييمها، من ذلك نلاحظ الارتباط الوثيق بين حد القطع للسمك وحد القطع لدرجة التركيز حيث يتطلب دراستها وتقييمها وفق خيارات متعددة، وذلك لارتباطها بمقدار وكمية احتياطات الخام والقيمة الاقتصادية له ان عملية حساب احتياطي الخام يجب ان تتم وتحتسب وفق عدة خيارات وعدة مستويات لدرجة حد القطع للسمك وحد القطع لدرجة التركيز ويتم اختيار حد القطع لهما الذي يحقق اعلى مردود اقتصادي لاستثمار الخام واستغلاله.

مثال رقم (16-4)

المعطيات الواردة في الجدول رقم (15-4) تمثل سبعة نماذج مستخرجة من احد الآبار الاستكشافية لدراسة تقييم احد الترسبات المعدنية. احسب سمك الطبقة المتمعدنة ومعدل درجة تركيز الفلز في هذه الطبقة مع الأخذ بنظر الاعتبار المحددات التالية :-

أ- حد القطع لدرجة التركيز= 0.15 % فلز.

ب-حد القطع للسمك = متر واحد.

جدول رقم (15-4)

نتائج استكشافية لأحد الآبار لتحديد حد القطع لدرجة التركيز والسمك

رقم النموذج	سمك النموذج (م)	درجة تركيز النموذج % (G) فلز
1	0.3	0.02
2	0.3	0.04
3	0.3	0.35
4	0.3	0.26
5	0.3	0.15
6	0.3	0.08
7	0.3	0.05

الحل:-

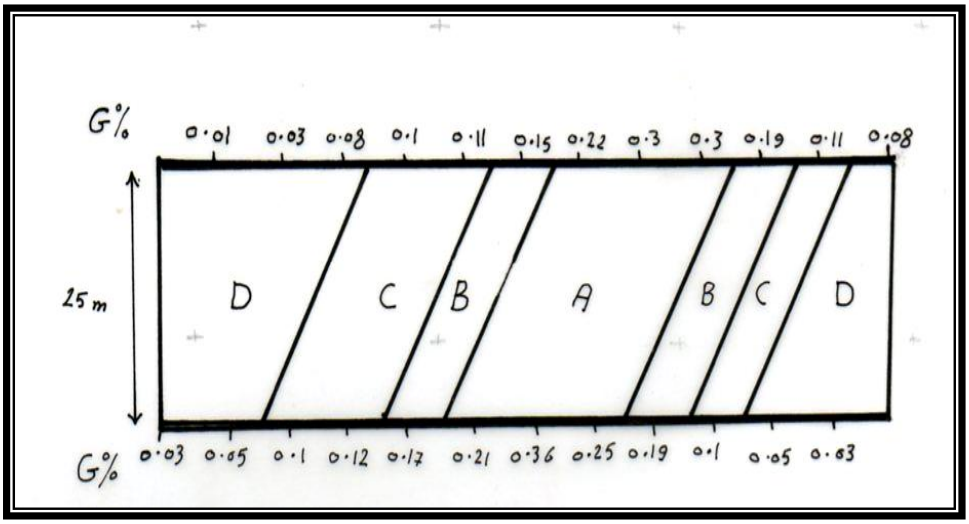
نلاحظ من الجدول اعلاه ان النماذج المرقمة من 3 إلى 5 هي مساوية أو اعلى من حد القطع لدرجة تركيز الفلز ($\geq 0.15\%$) لذلك فهي مقبولة ضمن مواصفات الخام المحددة ضمن شرط السؤال، ولكن مجموع سمك هذه النماذج يساوي 0.8 م وهو اقل من حد القطع للسمك المحدد بموجب شرط السؤال وهو متر واحد، لذلك يتطلب في مثل هذه الحالة اضافة احد النماذج ذو درجة تركيز اقل من حد القطع لدرجة التركيز لغرض اكمال السمك المطلوب وفي حالة هذه المسألة سوف يضاف النموذج رقم (6) الذي يبلغ سمكه (0.2) ودرجة تركيز الفلز هي (0.08 %) وبذلك نصل إلى حد

القطع للسمك هو متر واحد، ولكن يجب في هذه الحالة اعادة احتساب معدل درجة تركيز الخام للتأكد من ان اضافة النموذج رقم (6) ذو درجة التركيز الواطئة سوف لن يؤدي إلى خفض معدل درجة الخام إلى ما دون حد القطع لدرجة تركيز الفلزالمحددة (0.15 %).

يعاد احتساب درجة تركيز الخام لسمك متر واحد من النموذج رقم (3) إلى النموذج رقم (6) وبذلك تكون النتيجة هي %(0.229) درجة تركيز الخام ضمن المتر الواحد هي تحقق شروط السؤال المتعلقة بحد القطع للتركيز والسمك.

مثال رقم (17–4)

أُجريت عمليات استكشافية من خلال جمع عدة نماذج قناتية من مقطع معدني لغرض تقييم احد الفلزات المتمعدنة فيه كما في الشكل رقم (19–4) احسب اكبر كمية من الاحتياطي تعطي افضل مردود اقتصادي مع تغيرات في حد القطع للتركيز.



شكل رقم (19–4) مقطع افقي في عرق معدني مع مواقع النماذج وتراكيزها G%

الحل: يتم اجراء حسابات تقديرية لحساب الاحتياطي لكل قاطع ضمن حد القطع للتركيز له، ثم يتم زيادة كمية الاحتياطي من خلال إضافة قواطع جديدة ضمن حد القطع للتركيز الجديد وهكذا وتسجل النتائج كما في الجدول رقم (16–4).

جدول رقم (16–4)

يبين العلاقة بين تغير حد القطع للتركيز مع معدل التركيز وكمية الاحتياطي

رقم القاطع	تركيز الفلز G%	احتياطي الخام (طن)	حد القطع للتركيز (G%)	كمية الفلز المستخلصة (طن)
A	0.27	938	0.20	2.53
A+B	0.23	1563	0.15	3.59
A+B+C	0.19	2500	0.10	4.75
A+B+C+D	0.14	3750	0.01	5.25

يتم فحص ومفاضلة النتائج ألمستحصلة من خلال حسابات الاحتياطي التي اجري مع مختلف حد القطع للتركيز، حيث يتم اختيار كمية الاحتياطي التي تعطي اعلى قيمة من الايرادات واكبر كمية من الإنتاج. في عملية التشغيل ألمنجميه تعتبر هذه العملية من المراحل المهمة اثناء إجراء حسابات تقييم الترسبات المعدنية في حساب كلف الإنتاج مع كمية الإنتاج والايرادات المتحققة من خلال المفاضلة والعلاقة بين كمية الاحتياطي ودرجة تركيز الخام والايرادات المتحققة.

نلاحظ من الشكل (19-4) الذي يمثل مقطع منجمي من مستويين يفصل بينهما مسافة 25 م وان القاطع (A) يمتلك اعلى درجة تركيز للمعدن محاط بقواطع B ، C ، D ذات درجة تركيز واطئة. نلاحظ من الجدول رقم (15-4) ان حد القطع للتركيز يقل من (2%-0) إلى (0.01%) مع حصول زيادة في كمية الاحتياطي بنسبة 167% من الخام الذي يجب ان يستخرج مع حصول زيادة في كمية المعدن المستخلص بنسبة 88%.

(4-16) العوامل التي تؤثر على حد القطع للتركيز

Factor controlling cut- off Grade

يمكن تقسيم العوامل التي تؤثر على حد القطع للتركيز إلى قسميين رئيسيين هما:

(4-16-1) العوامل الجيولوجية والتعدينية Geological &Mining Factor

وتقسم إلى عدة عوامل هي :-

1- شكل وموقع الترسبات المعدنية Shape & location of Ore body

ان حجم وشكل وموقع الترسبات المعدنية لها اثر كبير في تحديد الحد الفاصل للتركيز حيث ان التجمعات الكبيرة ذات التراكيز الواطئة التي تقع قرب سطح الأرض يتم استثمارها واستغلالها بطرق سهلة وبتكاليف قليلة وإنتاجية عالية بصيغة المنجم المفتوح،في حين يتم استخراج الخامات تحت سطح الأرض بصيغة المنجم تحت سطحي ذات الكلف العالية والإنتاجية القليلة ويجب أن تكون التراكيز عالية لغرض زيادة الإيرادات الاقتصادية.

2- المكونات المعدنية Mineralogical contents

ان الخصائص المعدنية وطبيعة تواجدها وارتباطها مع المكونات المعدنية الأخرى أو مكونات الصخور العقيمة هي التي تتحكم بامكانية تنقية واستخلاص المعادن أو الفلزات من الخامات والتي بدورها تؤثر على قيمة تكاليف الإنتاج والاستخراج. وكلما كانت عمليات استخلاص سهلة وبتكاليف قليلة كلما امكن خفض حد القط لدرجة التركيز. مثال على ذلك ان عملية استخلاص النيكل من الكبريتيدات تكون أسهل وارخص مما في حالة ارتباط النيكل مع السيليكات. ولهذا يمكن اعتبار ان خام النيكل المرتبط مع الكبريتيدات ذات حد قطع للتركيز يساوي 0.5% ذات مردود اقتصادي جيد في حين ان خام النيكل المرتبط مع السيليكات غير ذو جدوى اقتصادية اذا كان حد القطع للتركيز اقل من 1.5%.

3- جيولوجية الترسبات المعدنية Ore Deposits Geology

ان جيولوجية الترسبات المعدنية يقصد بها الكيفية التي ترسبت بها الترسبات المعدنية والظروف الترسيبية والتركيبية التي أثرت عليه وأدت إلى نشوء وتكوين هذه الترسبات، فهي تتواجد بأشكال وأنواع مختلفة كأن تكون على شكل رواسب فتاتية أو على شكل صخور صلبة أو تكون على شكل ترسبات طباقية أو على شكل عروق معدنية ...الخ. وبذلك يكون لكل نوع من انواع هذه الترسبات تعقيدات ومواصفات هي التي تفرض عمليات استخراجية وتعدينية خاصة به حيث ترتفع كلف التشغيل والتعدين في حالة الترسبات الصلبة والمعقدة بينما تكون سهلة في حالة الرواسب المفككة أو الطباقية.

4- صفات المعدن أو الفلز Mineral Characters

ان أهمية الفلز الاقتصادية أو استخداماته البشرية والصناعية تعطي اهمية كبيرة إلى ضرورة الحصول عليه لغرض سد النقص في الطلب عليه مما يشجع على استغلال هذه المعادن أو الفلزات مع انخفاض حد القطع للتركيز لأن الإيرادات الاقتصادية من الانتاج تغطي كلف الاستثمار وكما هي الحالة عند استخلاص الذهب، الفضة.

5- شكل وحجم الحبيبات Shape &Grain Size

في بعض الترسبات المعدنية الفتاتية تتواجد الفلزات أو المعادن مرتبطة مع حبيبات الصخور العقيمة كما هي الحالة في حالة الترسبات الرملية الحاوية على معادن الزركونيوم والتيتانيوم، بهذه الحالة كمية الفلز المستخلص تعتمد على كفاءة الاستخلاص وخاصة ان كفاءة الاستخلاص تقل مع صغر حجم الحبيبات أو مع طحن وسحق الخام إلى حبيبات ناعمة جدا حيث إن هذه العملية تؤدي إلى زيادة التكاليف وتدني كفاءة الاستخلاص وبالتالي فإن العملية تحتاج إلى تراكيز عالية لحد القطع لزيادة كمية الفلز المنتج و أحيانا إن الترسبات المعدنية المتواجدة على شكل حبيبات ناعمة تحتاج إلى تكنولوجيا حديثة معقدة ذات كلف عالية لزيادة كفاءة الاستخلاص.

6- الناتج العرضي By Product

تتكون لترسبات المعدنية في بعض الأحيان من عدة معادن أو عدة فلزات مترابطة مع بعضها وهذا ينعكس ايجابيا في حالة استثمار هذه الترسبات حيث يتم إنتاج معادن أو فلزات ثانوية اخرى تكون كناتج عرضي عند إنتاج واستخلاص احد معادن أو الفلزات الرئيسية التي تؤدي إلى زيادة الايرادات المالية والأرباح فمثلا ان 40% من الذهب المستخرج في الولايات المتحدة الامريكية هو ناتج عرضي اثناء عملية استخراج اخرى وان قيمة الذهب تغطي تقريبا التكاليف اللازمة لإنتاج المعادن الاخرى وهذه الحالة تؤدي إلى خفض قيمة الحد الفاصل للجودة لغرض زيادة كمية الاحتياطي وبالتالي زيادة الانتاج.

7- المواد الغير المرغوبة Undesirable Substances

ان وجود المواد الضارة مع المعادن الاقتصادية في الترسبات المعدنية يؤدي إلى انخفاض في قيمتها الاقتصادية وذلك بسبب المشاكل التي تسببه اثناء عمليات الاستخلاص والمعالجة من جراء زيادة تكاليف هذه العمليات مثال على ذلك ما تحويه خامات القصدير على كمية لا بأس بها من معدن التوباز Topaz الذي يعتبر وجوده مضرا لما يسببه من تلف ومشاكل لمعدات الطحن والسحق بسبب صلادته العالية.

(4-16-2) العوامل الاقتصادية Economic factor وتقسم إلى عدة عوامل هي:-

1- سعر السلعة (المعدن أو الفلز) Commodity price

يعتبر سعر المعدن أو الفلز من العوامل المهمة والحيوية التي تؤثر على قيمة الحد الفاصل لدرجة تركيز الخام وكلما كان القيمة الاقتصادية أوسع البيع عالية للمعادن أو الفلزات المنتجة كلما كانت سببا في تخفيض الحد الفاصل للجودة لغرض زيادة الخزين الاحتياطي للخامات.

2- كلفة رؤوس الأموال Cost of Capital

إن الشركات الاستثمارية أو شركات التعدين تحتاج إلى توضيف رؤوس أموال ضخمة لغرض استغلالها واستثمارها في عمليات منجمية وتعدينية لانتاج المعادن والفلزات، وبالتالي فيجب ان يكون المردود المالي من عمليات الاستثمار هذه ان يغطي كافة تكاليف التشغيل والعمليات ألمنجميه والظروف بحيث يكون الاحتياطي المعدني بكمية كافية لاسترجاع رؤوس الأموال وتحقيق فائض ربحي لفترة زمنية طويلة.

3- الموقع Location

إن العامل الجغرافي له تأثير كبير في كون الترسبات المعدنية اقتصادية أم لا خاصة اذا كانت تقع في آماكن نائية أو صحراء بعيدة لا تتوفر فيه طاقة كهربائية ولا خدمات للحياة المدنية حيث تؤدي إلى زيادة تكاليف الاستثمار وبالتالي ينعكس على سعر السلعة وقد لا تكون تنافسية في السوق العالمي، واحيانا لا يكون الاستثمار مشجعا لجلب رؤوس الاموال في هذه المناطق.

4- المحددات البيئية Environmental limitation

أصبحت ظاهرة الحفاظ على نظافة البيئة ظاهرة حضارية تهتم بها كافة الدول مع منظمات عديدة، حيث تفرض على شركات الاستثمار القيام بالأعمال ألمنجميه والتعدينية بدون حصول تلوث للبيئة سواء كانت للجو أو الأرض أو المياه وكذلك ردم كافة اعمال الحفر ألمنجميه وهذه تؤدي إلى زيادة كلف الاستثمار وبالتالي زيادة سلع أسعار السلع المنتجة.

5- الضرائب Taxation

هناك قوانين في بلدان عديدة تفرض على شركات الاستثمار دفع ضرائب بنسبة معينة على الربح المتحقق من البيع أو الانتاج لسلعة معينة مما يؤدي إلى زيادة سعر السلعة أو احيانا العزوف عن الاستثمار في هذا الميدان بحيث تبقى اكثر الموارد الطبيعية أو الترسبات المعدنية بدون استثمار.

6- العوامل السياسية Political factors

ان معظم شركات الاستثمار لا تحبذ العمل في البلدان الغير مستقرة سياسيا واقتصاديا والسبب يعود إلى تذبذب القوانين وتحديدها كثير من حرية العمل والإنتاج كما ان قيمة العملة والأسعار تكون متذبذبة.

(4-17) تقدير الاحتياطي للترسبات المعدنية Ore Reserve Estimation

إن النظرة الحديثة لدراسة مفهوم حساب احتياطي الخامات هي نظرة واسعة الافق تستوعب كافة المتغيرات التي تحتويها الترسبات المعدنية من التركيب الجيولوجي، الامتدادات، الحجم ودرجة تركيز الخام. ان الترسبات المعدنية وخصائصها الفيزيائية والكيميائية وجدت في الطبيعة وهي غير قابلة للتغير ولكن التغير يحصل في النظرة وفي المعرفة في كمية التعامل مع مفهوم الاحتياطي الخامات. ان حساب احتياطي الخامات عملية تقديرية وتخمينية ليس هناك حسابات دقيقة مطلقة تعطي كمية نهائية للاحتياطي. التطور الحاصل هو عملية تحسين الدقة ومعرفة نسبة الخطأ في تقدير الاحتياطي بواسطة دراسة وإدخال كل المفاهيم المرتبطة بعملية الاستكشاف ألمنجميه من مرحلة اختبار طريقة النمذجة إلى مرحلة بيع الإنتاج في الاسواق.

لغرض تجاوز أي ضعف أو نقص في المعلومات ألمستحصلة خلال مرحلة تقييم الترسبات المعدنية وتجنب أي تذبذب قد يحصل في تقدير هذه الاحتياطات ظهرت في السنوات الاخيرة ثلاثة مفاهيم يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار عند حساب الاحتياطي وهي:-

1- ان عملية تقدير احتياطي الترسبات المعدنية هي ليست مجرد اجراءات حسابية رياضية، بل طريقة تدخل ضمنها تخمينات وقرارات حول العوامل الجيولوجية المتحكمة في ايجاد هذه الترسبات، العوامل الاستكشافية، الجدوى الاقتصادية والعمليات ألمنجميه والتشغيلية.

2- النتائج المستخلصة من تقدير احتياطي الخام هي ليست تعريف ما مخزون في باطن الأرض فحسب وانما قرار وتوصية باي مواصفات سوف يتم ارسال الخام إلى معمل المعالجة والاستخلاص وما هو معامل الاستخلاص المعدني وكمية الإنتاج النهائي ألمستحصلة.

3- لأسباب الخبرة المتراكمة في اعمال التعدين والأعمال ألمنجميه ولأسباب احصائية تعود إلى التحديدات في تنفيذ برامج النمذجة وكذلك خصائص ومميزات الخام ، ان دقة التخمين الخاصة إلى درجة تركيز الخام يجب ان لا تتعدى اكثر من ضعف المعدل العام لمقدار التركيز.

نستنتج من ذلك ان عملية تقدير احتياطي الترسبات المعدنية هي ليست معادلة رياضية نحصل من خلالها إلى رقم واضح ومطلق ومضمون، وانما هي مجموعة عمليات مترابطة ومتعاقبة تكمل بعض البعض الاخر لا يمكن ان نفصل بينهما خاصة في حالة الترسبات المعدنية واطئة التركيز تحتاج إلى دراسات ومعالجات مكثفة من قبل الجيولوجي والشخص المختص بعملية التقييم لابد من امتلاك خبرة لا بأس بها لفهم جيولوجي الخام، كيفية تنفيذ شبكة نماذج للحصول على نتائج ذات موثوقية عالية.

العمليات ألمنجميه، عمليات المعالجة والاستخلاص، الكلف الاقتصادية للاستثمار وسعر البيع للسلع المنتجة، يجب ان تكون هناك قرارات وتوصيات عن ماذا نحصل من ترسبات مطمورة تحت سطح الأرض. كافة مراحل الدراسة هي عمليات تقديرية، ان مرحلة تقدير احتياطي الخام تعتبر بمثابة الجسر الذي يربط بين مراحل الاستكشاف والتحري المعدني اذا نجحت في رصد ترسبات معدنية والعمليات ألمنجميه والاستخراجية.

ان قراءة لتاريخ جيولوجيا المناجم وعمليات الاستثمار ألمنجمي عبر الزمن الطويل نلاحظ ان كافة الأعمال التعدينية تركزت على استغلال الترسبات المعدنية ذات التركيز العالية، والخزين الكبير من الخامات القريبة من سطح الأرض. لم تمر مراحل الإنتاج بهذه التعقيد والموازنة والتقييم في كل مرحلة من مراحل الاستكشاف والاستخراج والتشغيل، المشكلة الان هي نفاذ الترسبات عالية التركيز وتحولت الاعمال الجيولوجية وألمنجمية نحو استثمار الترسبات واطئة التركيز التي كانت في السابق تهمل أو تتجنبها الاعمال ألمنجميه ومع دخول العامل الاقتصادي كعامل مهم في تحديد كيفية استغلال واستثمار الترسبات المعدنية واطئة التركيز، لهذا ظهرت دراسات الدقة والموثوقية والمجازفة في تقدير احتياطيات الترسبات المعدنية.

إن القواعد الأساسية المتبعة في تقدير احتياطيات الترسبات المعدنية هي نفسها تنطبق على مختلف أنواع الترسبات، تتمثل في حساب معدل السمك، مدى التأثير الجانبي لكل نموذج، حساب الكثافة، خصائص ومميزات الترسبات المطمورة تحت سطح الأرض، كمية الاحتياطي القابل للاستخراج، العوامل السياسية والاقتصادية التي تؤثر على عوامل الإنتاج. الدراسات الحديثة التي تهتم في تقدير احتياطيات الخام تهدف إلى زيادة الدقة والموثوقية في النتائج ألمستحصلة من دراسة العوامل أعلاه ومعرفة نسبة الخطأ فيها مع تقليل عامل المجازفة في تقدير وحساب كميات الاحتياطي المعدني.

إن الدقة في تقدير احتياطي الترسبات المعدنية يعتمد بصورة كبيرة على دقة وموثوقية النتائج ألمستحصلة من المتغيرات والعوامل التي تدخل في حسابات تقدير هذه الاحتياطيات، هناك مساحة واسعة من عدم الدقة والاخطاء المتراكمة خلال المراحل المختلفة من تقدير الاحتياطي وهي:-

(4-17-1) شبكة مواقع النمذجة Sample pattern

ان شبكة مواقع النمذجة المنفذة خلال المراحل الأولية في أي مشروع لتقييم الترسبات المعدنية بغض النظر عن كونها عشوائية أو نظامية، استطلاعية ام تفصيلية، فان قسم من هذه المواقع يقع ربما ضمن نطاق تمعدن ذو تركيز عالي أو ربما يقع في ضمن نطاق معدني ذو نطاق واطئ، هذا التباين في عدم التجانس في التوزيع للمكونات المعدنية في الجسم المعدني يعكس عدم تباين في قيم ونتائج التحاليل الكيمياوية وبالتالي يعكس تغاير واختلاف خلال المراحل النهائية من عمليات الاستخراج ألمنجمي في الكميات المستخرجة من كل نطاق أو قاطع استخراج منجمي تختلف من مكان لآخر في معدل درجة تركيز الخام وحيودها عن معدلاتها العامة.

(4-17-2) التحاليل الكيميائية والفيزيائية للنماذج

Physical and Chemical Analysis of Samples

إن النتائج ألمستحصلة من التحاليل الكيميائية أو الفيزيائية التي تجرى في المختبرات لا تعكس القيمة الحقيقية للنموذج أو منطقة تأثير النموذج ضمن الجسم المعدني والسبب في هذا التباين يعود إلى عاملين هما:

أ- الاختلاف في التوزيع المعدني ضمن الجسم المعدني من مكان لآخر.

ب- الخطأ البشري الذي يحصل أثناء عمليات النمذجة، تحضير النموذج والية وإجراءات التحاليل الكيميائية.

العنصر الأساسي الذي يجب ان يؤخذ بنظر الاعتبار ويعطى أهمية كبيرة عند تنفيذ الي برنامج لجمع النماذج هو ان النموذج المستحصل والقراءات التي تشتق منه يجب ان تمثل المنطقة التي أُخذت منها تمثيلا حقيقيا.

لنأخذ مثال على ذلك، عند جمع نماذج من الحفر أللبابي، يتم شطره إلى شطرين نصف للخزن كجزء مرجعي، والنصف الأخر يذهب للتحليل في المختبرات لإنجاز المتغايرات المطلوبة هذا ألنصف يجزَء إلى عدة أقسام، جزء يطحن لإنجاز بعض التحاليل وهذا الجزء المطحون بدوره يقسم إلى عدة أجزاء لغرض انجاز عدة تحاليل كيميائية أو فيزيائية، الخ من التحاليل المطلوبة. النتائج ألمستحصلة من أي جزء من هذه الأجزاء لن تعطي قطعا نفس الدقة من النتائج لو حللت الأجزاء الأخرى بنفس الطريقة. هذا الاختلاف في النتائج يسمى بالحيود والانحراف في النتائج ويؤثر على الدقة والموثوقية في نتائج التحليل. التوصية في السنوات الأخير تقضي بضرورة طحن النصف الثاني من اللباب الصخري كاملا ثم يتم تجزئته إلى عدة أقسام بعد مجانسته جيدا ويرسل كل جزء عندئذ إلى التحاليل المختبرية والهدف منها تقليل نسبة الانحراف والحيود في النتائج.

(4-17-3) معامل الاستخراج للباب الصخري Core Recovery

نتائج التحاليل ألمستحصلة من النماذج سواء لبابية أو نماذج قناتية ان موثوقية النتائج تعتمد بصورة كبيرة على التحاليل المختبرية بالإضافة إلى معامل الاسترجاع للباب الصخري. عندما يكون معامل الاسترجاع قليلا وعندما تكون النماذج القناتية لا تمثل كامل طول القناة فنحصل على نتائج مظللة أو لا تمثل تمثيل دقيق خصائص الجسم المعدني. عندما يكون الجزء المفقود من اللباب الصخري أو من النمذجة القناتية ذو تركيز عالي، ان النتائج ألمستحصلة من التحاليل المختبرية تعطي تحليل ذو تراكيز واطئة وبالعكس عندما يكون الجزء المفقود ذو تركيز واطئ وعليه سوف نحصل على تحاليل تدل على وجود تراكيز عالية وهي في الحقيقة نتائج غير حقيقية تعطي انحراف وعدم دقة في النتائج الجزء المفقود من اللباب الصخري أو النمذجة القناتية احيانا اما يهمل أو يكمل من السحنة الصخرية التي تليه وربما في بعض الحالات يترك فراغ وهذا يؤدي إلى استخدام قيمة لا اصل لها في

النموذج وإنما قيمة تقديرية، عليه يجب إعطاء اهمية عالية لأعمال الحفر اللبابي أو النمذجة القناتية، للحصول على دقة عالية وتقليل نسبة الخطأ في الحسابات.

(4-17-4) الاحتياطي الخام Ore Reserve

ان عملية تقدير كمية الاحتياطي للترسبات المعنية سواء كانت كحجوم أو أطنان، تعتمد على تقدير عدة متغايرات تدخل في المعادلة الخاصة بتقدير كمية الاحتياطي، وهي

أ- الامتدادات الجانبية للترسبات المعدنية

إن عملية تحديد الامتدادات الجانبية لأي جسم معدني هي عملية تقديرية بحد ذاتها تؤثر على دقة حساباتها عدة عوامل منها مدى لتأثير الجانبي لكل موقع نموذج، كثافة مواقع النماذج المستخدمة بالإضافة إلى مقياس رسم الخارطة المستخدمة في تحديد الامتدادات، كلما زاد مقياس الرسم كلما كانت نسبة الخطأ في تحديد الامتدادات الجانبية كبير ويدخل في ذلك خبرة ودقة الجيولوجي الذي يقوم بعملية التقدير هذه.

ب- قياس معدل الكثافة الكلية للصخور ضمن الجسم المعدني

وهي عنصر أساسي يؤثر كثيرا على حسابات كمية الأطنان للجسم المعدني والتغايرات في قياسات الكثافة تعتمد على مدى تجانس الجسم المعدني ويجب أن تعطى أهمية كبيرة ويقاس معدل الكثافة اعتمادا على اكبر عدد ممكن من القياسات الموقعية للكثافة الكلية في عدة مواقع متفرقة ضمن الجسم المعدني.

(4-17-5) معامل الاسترجاع Recovery Factor

إن مرحلة التقييم النهائي لتقدير احتياطي الترسبات المعدنية يجب ان تكون على أساس مقدار الخزين من احتياطي الترسبات المعدنية الموجودة في موقعه (In situ) ضمن القشرة الأرضية، بكل دقة يجب معرفة كمية الاحتياطي الممكن أن يستخرج بعمليات الاستخراج ألمنجميه، الفرق بين الخزين في الموقع والخزين المستخرج يسمى بعامل الفقدان ألمنجمي حصول تخفيف للخام أو فقدان بعمليات الاستخراج. ويسمى الاحتياطي المستخرج باحدى طرق الاستخراج ألمنجمي بالاحتياطي ألمنجمي (Mineable Reserve)

In Situ Reserve - Mining Losses = Mineable Reserve

الاحتياطي ألمنجمي هو الذي يرسل إلى معامل المعالجة الاستخلاص ومن غير الممكن ان يتم تقنية واستخلاصه 100% فهناك ضياع نسبة من التركيز المعدني Milling Losses يجب أن تطرح من الخزين ألمنجمي لتحصل على الناتج النهائي

Mineable Reserve- Milling Reserve = Recoverable

هناك عدة عوامل تؤثر على معامل الاسترجاع هي:-

(4-17-5-1) الفقدان ألمنجمي Mining Losses

من النادر خلال عمليات الاستخراج ألمنجمي ان يتم استخراج كامل للترسبات المعدنية من موقعها في الأرض دون ترك قسم من هذه الترسبات متخلفة في موقعها، درجة استخراج الخام من موقعه تعتمد على عدة عوامل هي:-

1-القيمة الاقتصادية للخام وهي اهم عامل يحدد درجة استخراج الخام من موقعه.
2-الوضع الجيولوجي والترسيبي للترسبات المعدنية هل هي معقدة ام طباقية سهلة الاستخراج.
3-مميزات وخصائص الصخور العقيمة المحيطة بالخام درجة صلابة الصخور أو طبيعة ترابطها مع الخام.
4-الطريقة ألمنجميه المستخدمة في عمليات استخراج الخام ومهارة العمال القائمين بالعمليات ألمنجميه.
5-درجة حد القطع للتركيز والسمك وكيفية السيطرة عليه أثناء أعمال الاستخراج.
6-التسهيلات وطرق النقل ألمنجمي سواء كانت تحت السطح أو منجم مفتوح وطبيعة المعدات المستخدمة في النقل والاستخراج.
7-ترك قسم من الترسبات المعدنية كدعامة لإسناد السقف في أعمال الاستخراج ألمنجمي تحت سطح الأرض.

من الممكن تقدير عامل الفقدان ألمنجمي بواسطة مقارنة الخزين ألموقعي مع الخام الذي يترك في موقعه ويحسب عامل الفقدان على شكل نسبة مئوية.

مثال:- اذا كان لدينا خزين موقعي من ترسبات معينة قدرت كميتها بحدود 6000 طن وكان معامل الاستخراج يساوي 90% احسب كمية الخزين ألمنجمي المستخرج؟

الحل:-

In Situ Reserve × Mining Recovery Factor = Mineable Reserve

$6000 \times 90\% = 5400$ Tonnes

(4-17-5-2) التخفيف ألمنجمي Dilution in Mining

خلال عمليات الاستخراج المعدني للخام يحصل خلط للمواد الصخرية العقيمة المحيطة بالخام مع الترسبات المعدنية اثناء أعمال الاستخراج ألمنجمي هذا التخفيف يؤدي إلى خفض درجة تركيز الخام.
درجة تخفيف الخام تعتمد على عدة عوامل

1- سمك الترسبات المعدنية، تزداد درجة التخفيف مع صغر سمك الترسبات المعدنية متمثلة بصعوبة وتعقيدات أعمال القلع.
2- نوع الطريقة ألمنجميه المستخدمة في أعمال القلع.
3- عمليات السيطرة على درجة التركيز.

4- الخصائص الفيزيائية للترسبات المعدنية للصخور العقيمة المحيطة بها.

(4-17-5-3) الفقدان المعملي Milling Losses

كميات الخزين ألمنجمي الذي يرسل إلى معمل التنقية والاستخلاص لا يمكن استخلاص كامل نسبة المحتوى المعدني في الخام فهناك نسبة من المعادن تخرج الفضلات لا يمكن معالجتها أو استخلاصها. نسبة الاستخلاص المعدني تعتمد على عدة عوامل هي:-

1-التركيب المعدني للترسبات المعدنية والصخور العقيمة فيما اذا كان طبيعة ارتباط المعدن مع الصخور المحيطة به صعب أو سهل ممكن استخلاصه بسهولة.

2-طبيعة التوزيع المعدني ضمن الترسبات المعدنية.

3-درجة تركيز الترسبات المعدنية، ان معالجة واستخلاص الترسبات المعدنية واطئة التركيز يكون صعب ومعقد يعتمد على توفر معدات متطورة واستخدام تقنية حديثة تسمح بتقليل نسبة فقدان في عمليات الاستخلاص.

ان معامل الاستخلاص المعدني يمثل في نسبة مئوية ويحسب على أساس نسبة فقدان المكونات المعدنية من الخام اثناء عملية الاستخلاص.

مثال:

تم إرسال ترسبات معدنية إلى معمل الاستخلاص تحتوي على معدن النحاس بكمية 23.6 طن . بما ان معامل الاستخلاص هو 10% ، احسب كمية معدن النحاس المستحصل من معمل الاستخلاص.

الحل: كمية النحاس في الخام المرسل × معامل الاستخلاص = كمية النحاس المفقود

= 23.6 طن * 10% = 2.36 طن كمية النحاس المفقودة

∴ كمية النحاس ألمستحصلة = 23.6 – 2.36 = 21.24 طن

إن ملاحظة الفقرات السابقة لعمليات تقدير احتياطيات الترسبات المعدنية نلاحظ عمليات المجازفة وعدم الدقة تأتي من خلال الدراسات الجيولوجية الحقلية ومرحلة جمع وتحليل النماذج وليست في العمليات الرياضية الحسابية. الاتجاه السائد في الوقت الحاضر هو استثمار الترسبات المعدنية ذات التركيز الواطئة ويفضل القريبة من السطح، تتمثل الصعوبات في مراحل حساب معامل الاسترجاع Recovery Factor خلال مراحل التشغيل ألمنجمي، ولكل مرحلة هناك نسبة تقديرية لحساب معامل الاسترجاع، معامل التخفيف ومعامل الاستخلاص قد تحصل خلال عدم الدقة في التقدير التي تؤثر على تقدير الناتج النهائي لاحتياطيات الترسبات المعدنية. عدم الدقة هذه لا يمكن التنبؤ بها خلال مراحل الدراسات والتقييم الأولية، هناك تذبذبات في الكميات ألمستحصلة في كل مرحلة تعتمد على كمية الخزين ومعدل التركيز وجميعها ترتبط بجداول التشغيل والإنتاج و ضبط الكميات المرسلة بتراكيز معينة. الناتج النهائي يجب أن يكون دقيق جدا ضمن مدى من الخطأ

المسموح به لاعتماده على كميات تقديرية خلال كافة مراحل التشغيل ألمنجمي. ان قرار المجازفة في المضي قدماً في استثمار الترسبات المعدنية واطئة التركيز قرار صعب يجب ان يعتمد على نتائج دقيقة على عكس الترسبات المعدنية عالية التركيز التي تكون نسبة الخطأ خلال مراحل التشغيل ألمنجمي ممكن تجاوزها.

مثال رقم (18-4)

احسب الاحتياطي الفعال لماده الالومينا AL_2O_3 المستخلصه من ترسبات البوكسايت قدرت كميتها بحدود مليون طن خام البوكسايت، استخرجت بطريقه المنجم المفتوح بكفاءة استخراج قدرها 85% وقد استخلصت الالومينا من تلك الترسبات بطريقه باير بكفاءة استخلاص قدرها 75%.

الحل: كمية احتياطي البوكسايت تمثل الاحتياطي ألموقعي In Situ الذي لا يمكن استخراجه جميعا حيث إن نسبة الاستخراج هي 85% أي ان الخام المستخرج Mineable Reserve يساوي

Mineable Reserve = In situ Reserve – Mining Losses

= In Situ Reserve * Recovery factor

= 1000000 * 85%

= 850000 Ton

والذي يمثل كمية الخام المستخرج الذي يرسل إلى معمل التنقية أما الباقي من الاحتياطي والذي يمثل 150000 طن تبقى في مكانها التي لا يمكن استخراجها بسبب تحديدات الطريقة ألمنجميه المتبعة والوضع الجيولوجي للخامات.

احتياطي مادة الالومينا Al_2O_3 التي يمكن استخلاصها في معمل الاستخلاص بكفاءة استخلاص 0.75 هي:

Reserve of Al_2O_3 = Mineable Reserve * Recovery factor

= 850000 * 0.75

= 637500 Ton Al_2O_3

أي هناك كمية من مادة الالومينا قدرها 212500 طن ضائعة في معمل الاستخلاص لا يمكن استخلاصها تترك مع المخلفات المعملية.

(4-18) المعالجات الاحصائية والجيواحصائية

Statistics and Geostatistics Evaluation

المعالجات الإحصائية التي تجري على النتائج ألمستحصلة من النماذج في المراحل الأولية من تقييم الترسبات المعدنية سواء كانت تخص معدل السمك أو معدل درجة تركيز الخام غالبا ما تهتم هذه الدراسات بمعدل القيمة ومعدل الانحراف المعياري للقيم التي نستنتج منه مستوى الدقة للقيم ومدى قربها أو بعدها من معدل هذه القيم. هذا الانحراف أو عدم الدقة في النتائج ناتج من العوامل المذكورة سابقا التي تعطي عدم دقة وعدم تأكيد، لغرض تحديد مقدار هذا الانحراف يتم معالجتها بالطرق الإحصائية أثناء معالجة نتائج تحاليل النماذج. مثلا لو كانت لدينا ترسبات معدنية لخام الحديد، درجة تركيز الحديد 5.3% فهذا يعني ان درجة التركيز هذه ضمن مدى ثقة (Confidence Interval) قدره 67% هذا يعني ان دقة معدل درجة التركيز يقع بين (5.6% - 5.0%)، أيضا ضمن مدى ثقة 95% معدل درجة التركيز يقع بين (5.9% - 4.7%). في الحسابات والممارسات العملية يجب التعامل مع اقل قيمة لمعدل التركيز وهي اقل من 4.7 يكون عنصر المجازفة بهذه الحالة يكون قليل.

من التجارب العملية باستخدام المعالجات الإحصائية في تقييم الترسبات المعدنية نلاحظ ان الانحراف المعياري لنتائج القيم يتأثر بعدة عوامل مهمة هي:-

1-كثافة مواقع النمذجة.

2-تجانس توزيع المكونات المعدنية والوضع الجيولوجي للترسبات.

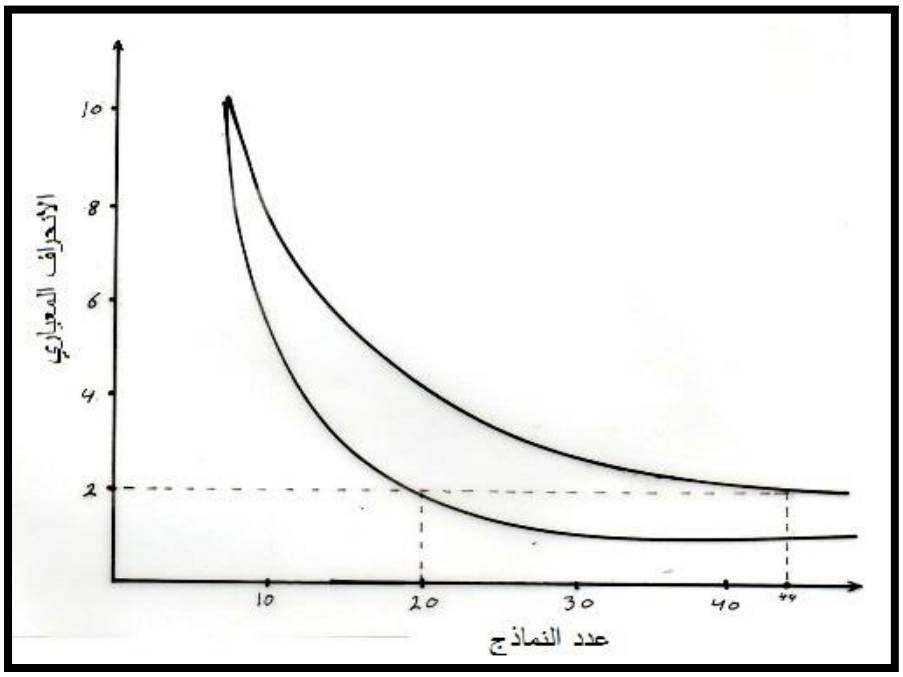
3-معامل الاسترجاع ونسبة الفقدان في الحفر اللبابي.

4-نتائج التحاليل الكيماوية و المختبرية ومدى الدقة المتوفرة في مراحل التحليل والموثوقية في النتائج ألمستحصلة.

5-التمثيل الصحيح لشبكة توزيع مواقع النمذجة بحيث تعكس كامل مواصفات الترسبات المعدنية.

المعالجات الجيواحصائية Geostatistics لنتائج القيم تعطي مقدار الدقة أو نسبة الخطأ في تقدير احتياطي الترسبات المعدنية، ويتم ذلك بواسطة حساب التباين Variance للقيم بواسطة رسم منحني Semivariogram من خلال دراسة هذا المرتسم Semivariogram الذي تمت الإشارة في فصل المعالجات الإحصائية نستطيع ان نحصل على قيمة Sill وهي تمثل التباين Variance أي معدل مربع الخطأ (∂^2) على افتراض ان كل موقع نموذج يمتد إلى مساحة التأثير له ضمن الترسبات المعدنية. الجذر ألتربيعي إلى Variance يمثل الانحراف المعياري للقيم من الممكن حساب معدل الانحراف المعياري لكل مجموعة من النتائج لمواقع النمذجة ومن ثم تزاد عدد مواقع النمذجة ويحسب لها الانحراف المعياري نحصل في النهاية مرتسم يبين العلاقة بين الانحراف المعياري وعدد النماذج المستخدمة في الحساب لنفس مساحة الترسبات المعدنية شكل رقم (20-4). نلاحظ من المرتسم ان استعمال المعالجات الإحصائية البسيطة إلى 44 نموذج بينما في استخدام المعالجات الجيواحصائية فان (21) نموذج كافية لتقييم الترسبات المعدنية بدقة عالية ونسبة خطأ قليلة. من هذا

نستنتج انه من الممكن تقليص الكلف الاقتصادية لتقييم أي مشروع واختصار الوقت اللازم للإسراع باتخاذ القرار المناسب للمضي قدماً في تنفيذ المراحل اللاحقة. ان تكثيف عدد النماذج وتقليص المسافات البينية ربما يؤدي إلى هدر في الأموال واطالة مدة تنفيذ المشروع والنتيجة هي الحصول على نفس الدقة والمعقولية من النتائج. ان المعالجات الجيواحصائية التي تجري على النتائج ألمستحصلة من تنفيذ أي مشروع استثمار معدني تعطي مؤشر جيد حول كفاية عدد النماذج ألمستحصلة أو قد تحتاج إلى توسيع شبكة نماذج اضافية من خلال فحص ومعالجة طبيعة التوزيع الإحصائي لنتائج النمذجة.



شكل رقم (20–4) تحديد عدد النماذج بالطرق الاحصائية

(4–19) جيولوجية الترسبات المعدنية في حساب احتياطي الخامات

Geology in Ore Reserve Estimation

من الممكن انجاز الحسابات الرياضية الخاصة بتقدير احتياطي الترسبات المعدنية من النتائج ألمستحصلة من مواقع النمذجة سواء كانت آبار لبابيه أو نماذج خندقية ومهما تكن شبكة توزيع هذه النماذج يبقى هناك غموض أو عدم دقة في التقديرات في الأماكن الواقعة بين الآبار والسبب يعود في ذلك إلى العوامل الجيولوجية والتركيبية التي أدت إلى نشوء هذه الترسبات وقد تكون عوامل معقدة ينتج عنها تعقيدات في جيولوجيا الترسبات المعدنية تنعكس على مميزاتها والتوزيع المعدني فيها أو تكون سهلة ومتجانسة التوزيع المعدني، هذه المتغايرات تؤثر تأثيرا كبيرا على حسابات احتياطي الترسبات المعدنية، نستعرض هنا بعض مواصفات الترسبات المعدنية التي تطرقنا لها بالتفصيل في فصل الترسبات المعدنية:

1– ترسبات العروق المعدنية Veins Type وهي معقدة جيولوجيا ذو امتدادات محدودة وهي ترسبات مهمة للذهب وهي ترسبات ذو كلف استثمارها عالية للتقييم والاستقلال.

2- الترسبات الطباقية Stratiform Type والتي تتكون من طبقات صخرية ذو امتدادات واسعة وهي ترسبات مهمة للمعادن الثقيلة، الحديد، الزنك، النحاس.

3- الترسبات القوية Massive أو الأجسام الحاوية على معادن حمصيه Dissiminated وهي ترسبات مهمة للنحاس، موليبدينوم.

4- الترسبات السطحية Surficial deposits وهي الترسبات المتكونة من نتائج التجوية وهي ترسبات البوكسايت، الحديد، اليورانيوم.

5- الترسبات النهرية Alluvial deposits وهي ترسبات الأنهار وتصاريف الجداول النهرية وهي مصدر مهم للحصول على الذهب والترسبات الساحلية للحصول على الروتايل.

الترسبات المعدنية التي تعكس تعقيدات في جيولوجية هذه التكوينات هناك مجازفة وعدم موثوقية في النتائج وعمليات التقييم نتيجة للمتغايرات والتباين في عدم التجانس في توزيع المكونات المعدنية والصفات الصخارية الأخرى المميزة لهذه الترسبات على عكس الترسبات الطباقية التي لها تجانس وامتدادات في خصائصها ومكوناتها المعدنية، ان عدم التجانس في خواص الترسبات المعدنية ممكن ان ينعكس اثناء المعالجات الإحصائية من خلال منحني التوزيع التكراري لنتائج التحاليل، عندما يكون المنحني متماثل سوف تتطابق القيم ذات التكرار العالي مع معدل القيم، وهذه الحالة تعكس تجانس الخصائص المعدنية للترسبات المعدنية أما إذا كان المنحني التكراري منحرف أو يحتوي على حيود على احدى الجهات فانه يعكس عدم التجانس في الترسبات المعدنية.

(4-20) تقدير الاحتياطي ألموقعي للترسبات المعدنية

In Situ Ore Reserve Estimation

إن عملية تقدير الاحتياطي ألموقعي للترسبات المعدنية هي عملية تقديرية إما تكون بالوزن أو بالحجم الهدف منها هي معرفة كمية الاحتياطي الخام المخزون في القشرة الأرضية. عمليات التقدير هذه تتطلب حساب الحجم الذي تشغله الترسبات المعدنية في منطقة تواجدها، وتحديد الحجم يتطلب تحديد مساحة امتدادات الترسبات المعدنية وهي عملية تقديرية وكذلك سمك هذه الترسبات الذي يتم تحديده من النماذج ألمستحصلة بإحدى طرق النمذجة التي سبق ان تطرقنا اليها. بعد تقدير حجم الترسبات المعدنية يتطلب إيجاد وزنه أو كمية الترسبات المعدنية ويتم بذلك بواسطة معرفة كمية أو تعيين كثافة هذه الترسبات Bulk Density ولغرض معرفة كمية المعدن أو الفلز في الترسبات المعدنية يتم ذلك بواسطة تحديد معدل درجة تركيز المعدن أو الفلز في الترسبات.

لحساب مقدار احتياطي الترسبات المعدنية يتم بواسطة المعادلة التالية:

احتياطي الترسبات المعدنية (طن) = حجم الترسبات المعدنية ($م^3$) × معدل كثافتها الحجمية طن/$م^3$.

$$\text{احتياطي المعدن أو الفلز (طن)} = \frac{\text{احتياطي الترسبات المعدنية (طن)} \times \text{معدل درجة التركيز \%}}{100}$$

ويمكن اختصار ذلك بالصيغة الرياضية التالية $$T = \frac{A \times G \times T \times D}{100}$$

مساحة امتداد الترسبات المعدنية A = Area (m^2)

معدل درجة تركيز الترسبات المعدنية G = Grade (%)

معدل سمك الترسبات المعدنية T = Thickness (n)

معدل الكثافة الكلية للترسبات المعدنية D = Bulk Density

لقد تطرقنا في الفصول السابقة إلى كيفية حساب عناصر المعادلة أعلاه حسب التأثير ألموقعي للنماذج في هذا الفصل سوف نتطرق إلى الطرق المختلفة في تقدير احتياطي الخامات منها الطرق التقليدية والطريقة الجيواحصائية ومحاولة معرفة أوجه الاختلاف في تقدير الاحتياطيات من ناحية الدقة ونسبة الخطأ في الكميات المقدرة لكل طريقة.

(4-21) طرق تقدير احتياطي الخامات

Methods of Ore Reserve Estimation

لكل طريقة من طرق تقدير احتياطي الترسبات المعدنية لها فوائدها ومساؤها ولذلك فان كل طريقة تقدير تكون ملائمة لأحد أنواع الترسبات المعدنية وبعضها يكون ملائم لكافة أنواع الترسبات. نستعرض في هذا الفصل تفاصيل لكل طريقة وهناك مسائل تطبيقية لتقدير احتياطي الترسبات المعدنية لكافة الطرق وباستخدام نفس نتائج التحليل للنماذج لمعرفة الدقة والفرق بين نتائج هذه الطرق المختلفة. هذه الطرق هي:-

1- الطريقة العامة General outline method
2- طريقة المناسيب أو طريقة تسأوي السمك Iso pach method
3- طريقة القواطع المضلعة Polygon method
4- طريقة القواطع المنتظمة Blocks method
5- طريقة المقاطع Cross – Section method
6- طريقة القواطع ذات التاثير المنتظم Uniform area of Influence method
7- طريقة المثلثات Triangulation method
8- الطريقة الجيواحصائية أو طريقة Kriging

Gcostatistical method or Kriging method

(4-22) مسائل تطبيقية عملية حول طرق تقدير احتياطي الترسبات المعدنية

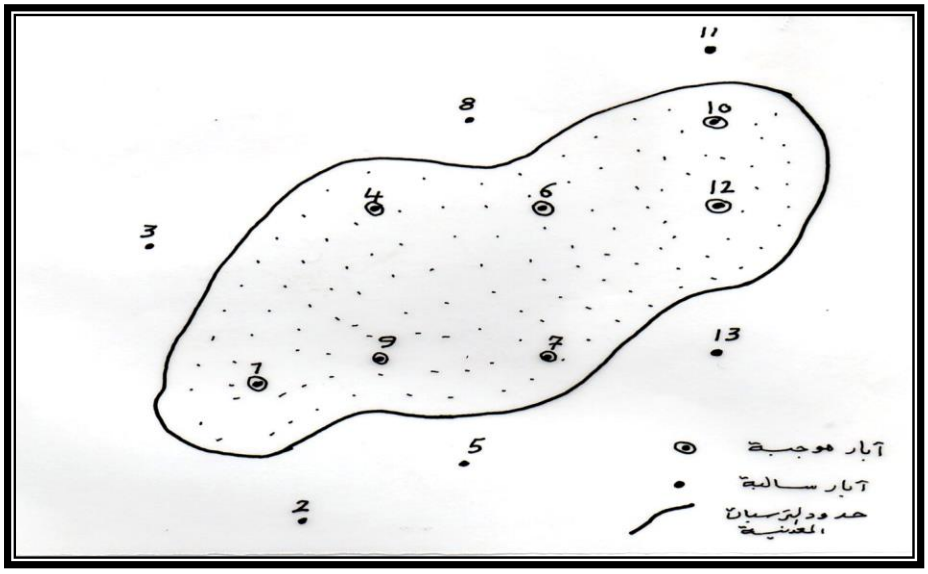
استعرضنا في الفقرة السابقة المفاهيم والأسس العامة لعدة طرق في تقدير احتياطي الترسبات المعدنية تستخدم بصورة كبيرة في عمليات التقييم المعدني، ولكي نلتمس التفاوت في تقديراتها والذي يعود إلى اختلاف الأسس المعتمدة وأسلوب حساباتها نتناول في هذه الفقرة مسائل تطبيقية عملية للطرق المختلفة في تقدير الاحتياطيات والتي تستند على نتائج استكشافية لمنطقة محددة وتطبق عليها تقدير الاحتياطي باستخدام الطرق المذكورة أنفا لكي نستطيع المقارنة بين تقديراتها المختلفة.

(4-22-1) الطريقة العامة General Outline method

تعتبر هذه الطريقة مناسبة وملائمة جداً للترسبات الطباقية والمنضدية Stratified & Tabular Deposits. وهي من الطرق السريعة والسهلة في تطبيقاتها وتعتمد على رسم حدود الترسبات المعدنية من نتائج مواقع النمذجة ومدى تأثير موقع كل بئر يتم رسم حدود التمعدن على أساس حد القطع للتركيز (Cut – off grade) المطلوب أو حد القطع للسمك المحدد شكل رقم (4-21) وبذلك يتم فرز نتائج النمذجة المطابقة لشروط حساب الاحتياطي داخل حدود الامتدادات المعدنية. تحسب مساحة حدود الامتدادات بأحد طرق حساب مساحة التأثير التي اشرنا في الفصول السابقة، ويتم حساب المعدل العام للسمك رياضيا من معدل سمك مجموعة الآبار ضمن مساحة الامتداد التمعدنية ويتم حساب المعدل العام لدرجة التركيز باستخدام المعادلة $\%= (G) \frac{\sum G.T}{\sum T}$ Average Grade

الكثافة الكلية للترسبات يتم حسابها بصورة مستقلة حقليا أو مختبريا يتم حساب الكثافة الكلية لعدة نماذج ثم يؤخذ المعدل العام. عندئذ يتم حساب كمية الاحتياطي المقدرة حسب معادلة حساب الاحتياطي هي

$$\text{Tonnage T} = \frac{A*G*T*D}{100}$$



شكل (4-21) حدود الترسبات المعدنية

في حالة وجود عدم تجانس في السمك أو درجة تركيز للترسبات المعدنية يتم تحديد مواقع هذا العدم تجانس، يمكن فصل هذه المناطق عن المناطق المتجانسة الأخرى وحساب الاحتياطي على حدة ثم تجمع النتائج النهائية سوية للحصول على كمية الاحتياطي النهائية وذلك لتجنب حصول انحراف أو تشويه في النتائج والحصول على مزيد من الدقة.

الفوائد:-

1- الطريقة سهلة وسريعة الحصول على النتائج.
2- سهولة إجراء الحسابات في حالة الترسبات المعدنية المتجانسة والعدسية.
3- النتائج تقوم على أساس تمثيل تخطيطي لحدود الترسبات.
4- الطريقة ملائمة لشبكة النمذجة المنتظمة وغير المنتظمة.

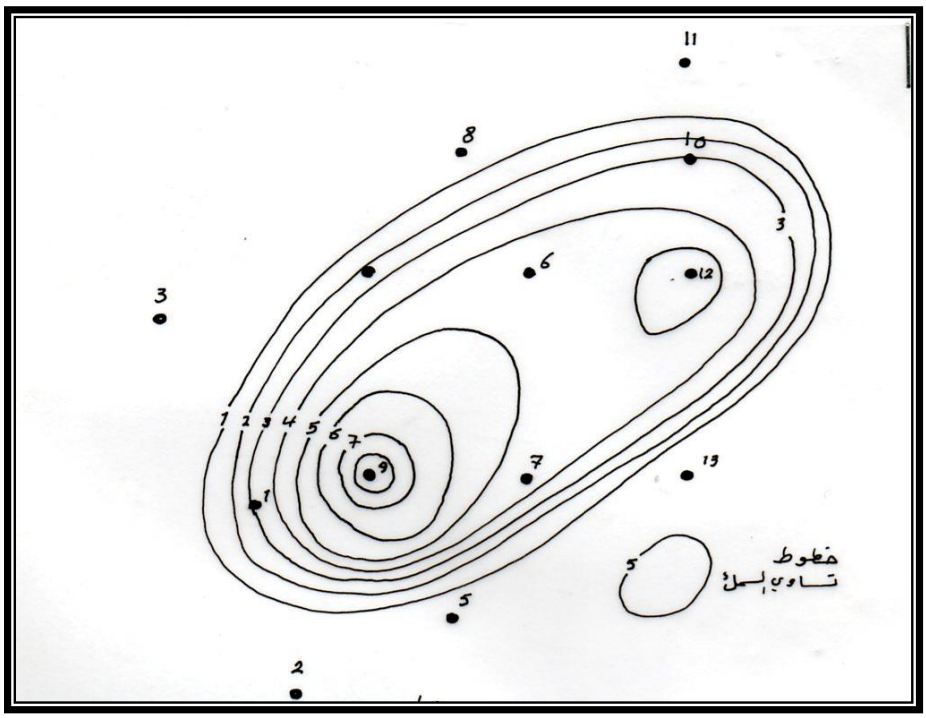
سلبيات هذه الطريقة:-

1- عدم دقة النتائج ألمستحصلة.
2- في حالة المسافات البينية الكبيرة بين الآبار يتم إضافة مساحات كبيرة على أساس مدى تأثير امتداد الآبار.
3- غير صالحة للاستخدام في حالة الترسبات المعدنية العرقية أو عالية التشويه وعدم التجانس.

(4-22-2) طريقة المناسيب أو طريقة تساوي السمك Isopach method

تعتمد هذه الطريقة في حساب حجم الترسبات المعدنية بالاستناد إلى خطوط تساوي السمك (Isopach) للترسبات المعدنية. شكل رقم (4-22) هذه الطريقة مناسبة للترسبات المعدنية الافقية Stratified deposits وكذلك للترسبات التي تعكس تغايرات في السمك. يتم رسم خطوط تساوي السمك من نتائج الآبار الاستكشافية الموزعة في منطقة الدراسة ويتم اختيار فترة كنتورية مناسبة Contour Interval يتم حساب حجم الاحتياطي المعدني وفق الخطوات التالية:-

1- تحسب المساحة بين كل خطين تساوي السمك بإحدى طرق قياس المساحة.
2- معدل السمك يمثل المعدل بين قيمة خطي تساوي السمك الذي يحيط بالمساحة المحسوبة.
3- تضرب مساحة كل قاطع في معدل السمك لها لنحصل على حجم الترسبات في ذلك القاطع.
4- تجمع الحجوم ألمستحصلة بهذه الطريقة لكافة خطوط تساوي السمك لنحصل على الحجم الكلي للترسبات المعدنية.
5- يحسب معدل درجة تركيز الخام من معدل درجة تركيز الآبار كافة.
6- ممكن حساب المعدل العام لدرجه تركيز الخام من معدل درجة تركيز الآبار لحافة .
7- بضرب الحجم الكلي في الكثافة لنحصل على الكمية الكلية لاحتياطي الترسبات بالطن.
8- تضرب الكميات الكلية الاحتياطي في معدل درجة التركيز لنحصل على الاحتياطي المعدني.



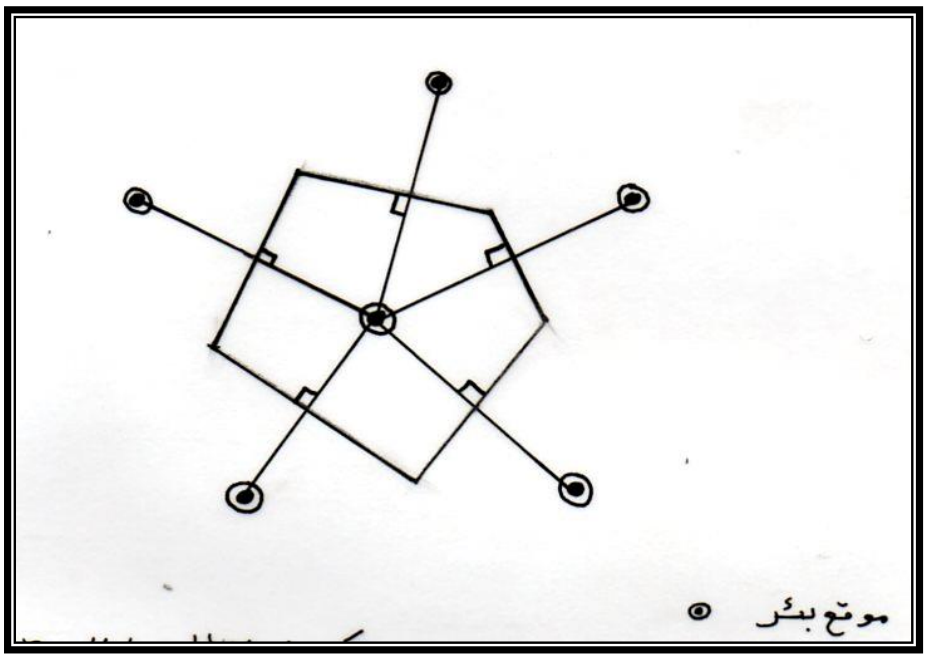
شكل رقم (22-4) خطوط تساوي السمك لمجموعة من الآبار

هذه الطريقة مناسبة لكافة أنواع شبكات حفر الآبار الاستكشافية ومن فوائدها أنها تعطي صورة واضحة عن تغايرات السمك ضمن للترسبات المعدنية وهي طريقة سريعة وسهلة وتعتمد على دقة رسم الخطوط الكنتورية أو خطوط تساوي السمك.

(4-22-3) طريقة القواطع المضلعة Polygon method

تعتبر هذه الطريقة من الطرق القوية والشائعة والمعتمدة في تقدير احتياطي للترسبات المعدنية لما تتميز به من الدقة والموثوقية في النتائج إذ انها ملائمة لحالت شبكة توزيع الآبار المنتظمة والغير المنتظمة حيث يمكن بواسطتها تجزئة الجسم المعدني إلى قواطع Polygons ذات الاحتياطيات العالية والواطئة وتؤخذ بنظر الاعتبار مديات تأثير كل موقع من مواقع النمذجة التي تشكل مركز القاطع Polygon.

تفترض هذه الطريقة ان مدى تأثير كل موقع نموذج أو بئر يمتد إلى منتصف المسافة إلى موقع النموذج أو البئر المجاور له، يرسم خط وهمي يصل بين مواقع النمذجة ثم يؤشر منتصف المسافة الفاصلة بين الآبار ثم تنتصف المسافة بواسطة خط عمودي على الخط الوهمي الواصل بين الآبار الذي يمثل ضلع القاطع وهو مدى تأثير مدى البئر وهكذا بالنسبة للآبار المتجاورة شكل رقم (4-23) حتى اكتمال كافة الآبار.



شكل رقم (23-4) تكوين القواطع المضلعة حول مواقع الآبار

تستند طريقة القواطع المضلعة على تصور بان نتائج كل موقع نموذج (سمك، درجة تركيز) ضمن شبكة توزيع النمذجة تمثل مساحة القاطع الذي يشكل موقع النموذج مركز مساحة التأثير حول موقع كل نموذج تعطي شكل غير منتظم في حالة شبكة النمذجة الغير المنتظمة وتكون القواطع منتظمة في حالة شبكة النماذج المنتظمة.

يقدر الاحتياطي بهذه الطريقة بإتباع الخطوات التالية:-

1- تحسب مساحة كل قاطع بأي طريقة من طرق حساب المساحات.
2- السمك ودرجة التركيز لكل نموذج يمتد على مساحة كل قاطع.
3- يتم ضرب مساحة كل قاطع في السمك ودرجة التركيز والكثافة لنحصل على كمية الاحتياطي المعدني لكل قاطع.
4- تجمع تقديرات احتياطيات القواطع كافة لنحصل على تقدير الاحتياطي الإجمالي للترسبات المعدنية.

هذه الطريقة ملائمة للترسبات المعدنية الطباقية المنتظمة والغير المنتظمة وللترسبات المعقدة ذات الاختلافات الكبيرة في السمك ودرجة التركيز.

وتعطي هذه الطريقة المرونة في تحسين دقة تقديرات الاحتياطي المعدني أثناء استمرار عمليات تطوير الحفر الاستكشافي في المنطقة المدروسة دون الحاجة إلى إعادة جميع حسابات تقدير الاحتياطي للمنطقة.

فوائد هذه الطريقة:-

1- سهولة إجراء تقديرات معدل السمك ودرجة التركيز.

2- لاتوجد عمليات مبالغة في امتداد تأثير الآبار حول نفسها.

3- إمكانية عزل المناطق ذات التباين الكبير في القيم عن مناطق ذات القيم الواطئة.

سلبيات هذه الطريقة:

1- صعوبة الحصول على نتائج جيدة في حالة المنطقة ذات الطبوغرافية المعقدة التي تؤدي إلى عشوائية توزيع مواقع النماذج وبالتالي عدم انتظام امتدادات مساحة التأثير.

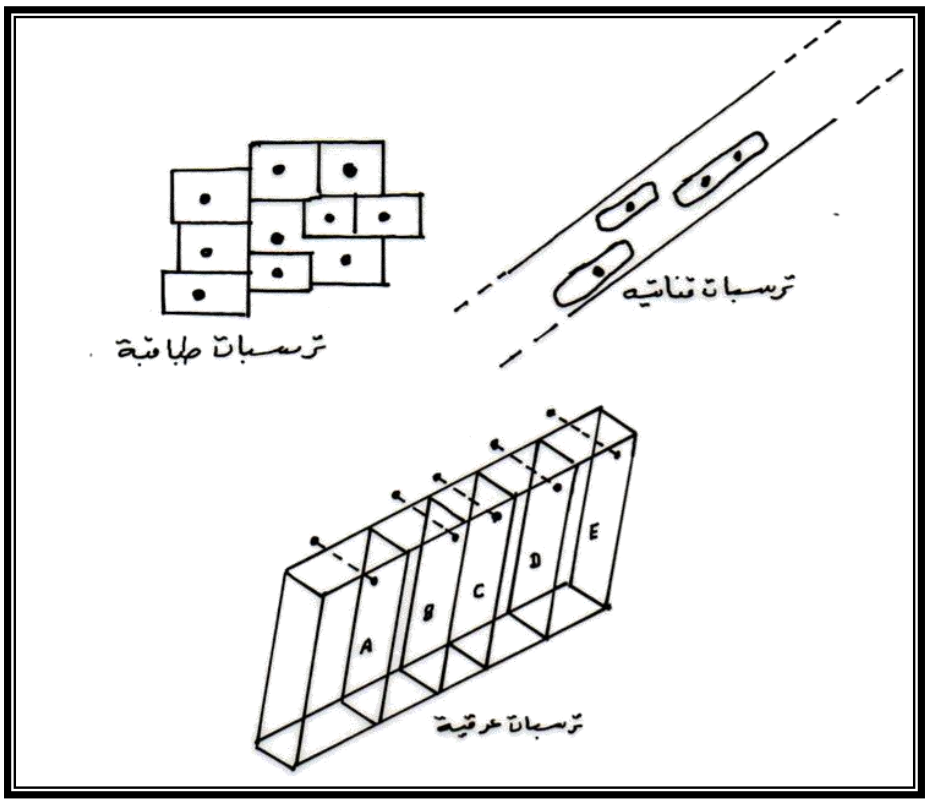
2- قياسات عديدة يجب إجرائها على كل قاطع من القواطع لتعيين المساحة، معدل السمك، معدل درجة التركيز.

3- عمليات رسم القواطع وتعيين مساحات التأثير تحتاج إلى وقت كبير.

4- معقولية النتائج لكل قاطع قليلة نسبيا كونها تستند على قراءة واحدة فقط.

(4-22-4) طريقة القواطع المنتظمة Blocks Methods

تعتمد هذه الطريقة على بناء أو رسم مساحة امتداد التأثير حول موقع النموذج على شكل قواطع منتظمة (مربعات، مستطيلات) متجاورة مع بعضها وتطبق فيها نفس قواعد حساب مدى التأثير لكل نموذج. تستخدم هذه الطريقة في حالة كون شبكة توزيع مواقع النماذج شبه منتظمة أو عشوائية وهي ملائمة للاستخدام للترسبات المعدنية الطباقية Tabular، ترسبات القنوات النهرية، العروق المعدنية شكل رقم (24-4). الترسبات المتمثلة بكل قاطع تمتلك معدل السمك ودرجة التركيز لقيمة النموذج أو البئر الواقع ضمن هذا القاطع. مواقع النماذج أو الآبار السالبة أو التي تمتلك قيمة اقل من حد القطع تطبق عليها نفس اجراءات مدى التأثير ولكنها تستبعد من الحسابات. في الترسبات الخندقية أو القنوات النهرية تحسب مساحة مدى التأثير لموقع النموذج على شكل استطالة أو وسادة مع استطالة القناة. يحسب الاحتياطي المعدني بهذه الطريقة بإتباع نفس خطوات حساب الاحتياطي كما في طريقة القواطع المضلعة. من فوائد هذه الطريقة إنها تعالج الترسبات المتفرقة والتي تقع في مناطق ضيقة ومن سلبياتها أو مساوئها إنها تضيف مساحات امتدادات تأثير كبيرة في حالة مواقع النماذج المتباعدة بمسافات كبيرة.

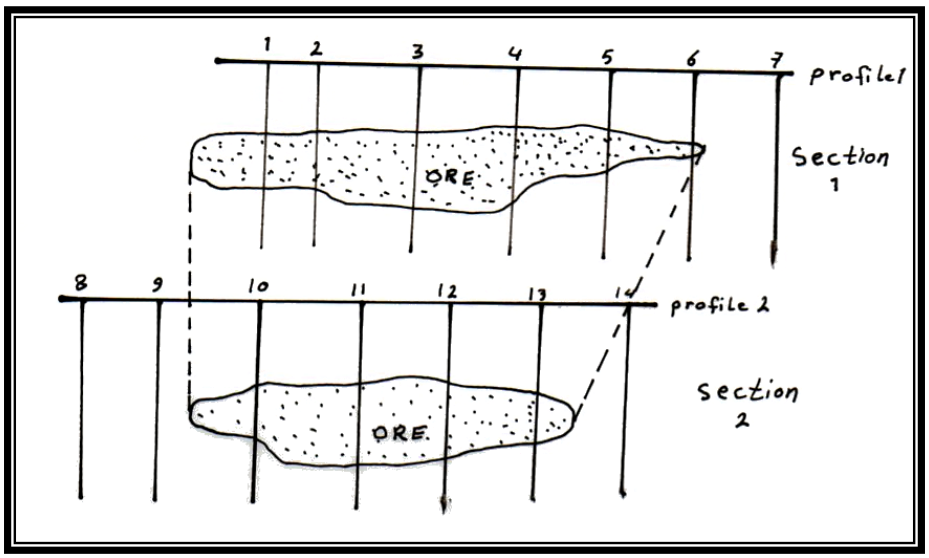


شكل رقم (24-4) انوع مختلفة من امتدادات مساحات التأثير لمختلف انواع الترسبات

(4-22-5) طريقة المقاطع Cross- Section method

هذه الطريقة ملائمة لتقدير احتياطي الترسبات المعدنية في حالة الترسبات المعدنية العرقية وغير المنتظمة خاصة الترسبات الطولية، والترسبات الموقعية. عادة ما يتم وضع شبكة حفر الآبار الاستكشافية لدراسة منطقة ترسبات معينة على شكل مسارات طولية ومتوازية مع بعضها تفصل بينهما مسافة معينة profiles، تقسم المنطقة إلى عدة مسارات تسقط عليها مواقع الآبار تغطي هذه المسارات كافة المساحة التمعدن، غالبا ما تكون المسافات بين المسارات اكبر بكثير من المسافة بين مواقع الآبار. تستند هذه الطريقة على أساس تقسيم الجسم المعدني إلى مقاطع عرضية Cross Section لكل مسار هناك مقطع عرضي يمثل شكل الجسم المعدني لذلك المسار وهكذا للمسارات الأخرى يتم تقسيم الجسم المعدني إلى عدة مقاطع عرضية متوازية مع بعضها شكل رقم (25-4). ويتم تقدير الاحتياطي وفق الخطوات التالية:-

1- تسقط نتائج كل بئر (سمك، درجة التركيز، العمق من سطح الأرض) على شكل مقطع عرضي ولكل عدد من الآبار الموجبة الواقعة على طول المسار profile يؤخذ بنظر الاعتبار مدى تأثير كل بئر على الجانبين وبهذا يتم تقسيم الجسم المعدني إلى عدة مقاطع عرضية أو شرائح بعدد المسارات تفصل بينهما مسافة محدودة وهي نفس المسافة التي تفصل بين المسارات المتوازية المتجاورة.



شكل (25-4) تكوين المقطع العرضي في عمليات تقدير احتياطي الخامات

2- كل شريحتين أو مقطعين متجاورين يمثلان جزء من الجسم المعدني تفصل بينهما مسافة محددة، اذا كانت الاختلافات قليلة بين مساحة وشكل الشريحتين (أو المقطعين العرضيين) فان حجم الجسم المعدني بين هاتين الشريحتين يحسب وفق المعادلة التالية:-

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} \times D$$

V = حجم الجسم المعدني بين الشريحتين

A_1 = مساحة المقطع العرضي الأول

A_2 = مساحة المقطع العرضي الثاني

D = المسافة بين الشريحتين

3- تتبع نفس الخطوات بالنسبة إلى الشرائح الأخرى.

4- تجمع الحجوم المقدرة لكافة الشرائح المتتالية لنحصل على حجم الترسبات المعدنية.

5- يضرب الحجم في الكثافة لنحصل على كمية احتياطي الترسبات المعدنية بالطن.

6- يحسب معدل درجة تركيز للترسبات المعدنية لكل مقطع لكافة الآبار الواقعة على طول المسار المشتركة في المقطع أو الشريحة يؤخذ بنظر الاعتبار تصحيح المعطيات أو النتائج حسب اختلاف مديات التأثير لمسافة مواقع الآبار.

7- يحسب تقدير الاحتياطي الجديد حسب المعادلة التالية:-

$$T_{\underset{Ton}{Fe}} = T_{\underset{Ore}{Ton}} \times G = Ton \quad Fe$$

هناك صيغة أخرى يفضل استخدامها لسهولة تطبيقها لحساب الحجم في حالة التباين الكبير بين مساحة المقطعين وهي صيغة الهرم الناقص الذي حجمه وفق المعادلة

$$V = \frac{1}{3} * D * \left(A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2} \right)$$

V = الحجم الجسم بين الشريحتين

A_1 = مساحة المقطع الأول أو الشريحة الأولى

A_2 = مساحة المقطع الثاني أو الشريحة الثانية

D = المسافة بين المقطعين أو الشريحتين

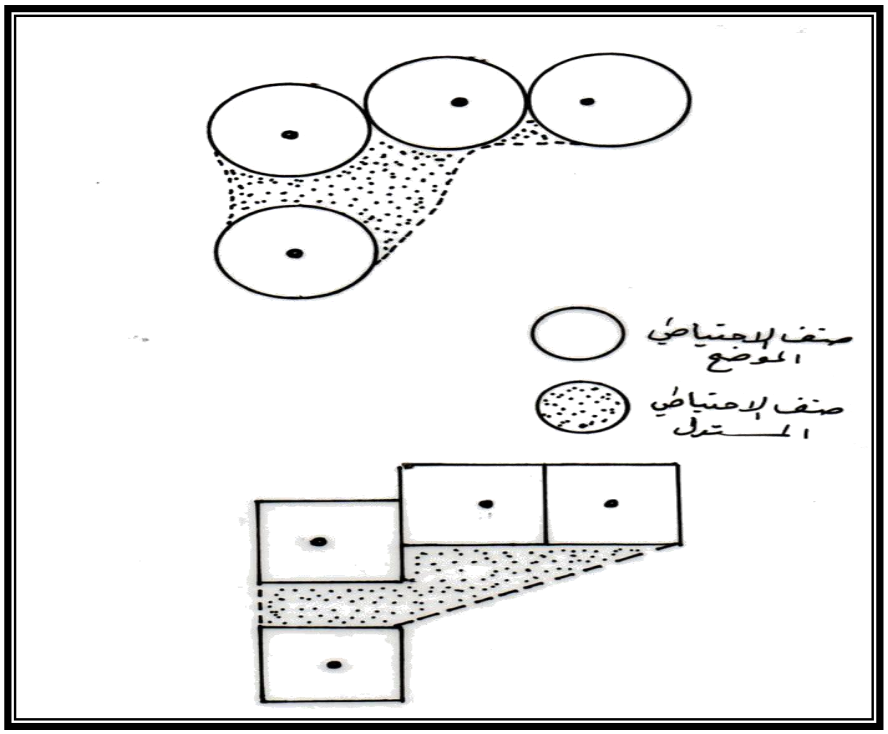
(4-22-6) طريقة القواطع ذات التأثير المنتظم

Uniform area of Influence method

تعتمد هذه الطريقة تقدير احتياطي الترسبات المعدنية على تحديد مساحة التأثير حول كل موقع نموذج أو موقع البئر على انفراد وتكون عادة مساحة التأثير هذه منتظمة تأخذ شكل هندسي منتظم كأن يكون على شكل دائري أو مربع أو مستطيل (شكل رقم 26-4).

بتطبيق هذه الطريقة يتم تقسيم احتياطي الترسبات المعدنية إلى صنفين وهو الصنف الموضح الذي يقع ضمن مساحة مدى التأثير لموقع النموذج والصنف الأخر هو الصنف المستدل الذي يقع خارج نطاق مدى التأثير المحدد، أي يمثل المساحات البينية الواقعة بين قواطع مدى التثير وذلك لعدم توفر المعلومات أو قيم النتائج تحيط بهذه المساحات هذه الطريقة ملائمة للاستخدام في حالة شبكة توزيع النماذج المنتظمة وتعتمد الترسبات المعدنية ذات الاستمرارية الكبيرة لحدود الامتدادات المعدنية.

طريقة تقدير الاحتياطي بهذه الطريقة يتبع الخطوات التالية :



شكل رقم (26-4) تصميم مساحة التأثير المنتظم لتقدير احتياطي الترسبات المعدنية

1. تحسب مساحة كل قاطع على حدة ويمثل السمك لموقع النموذج معدل السمك لهذا القاطع وكذلك بالنسبة لدرجة التركيز.
2. تحسب كمية الاحتياطي لكل قاطع بضرب الحجم في كمية الكثافة.

3. تجمع كميات الاحتياطي لكافة القواطع لنحصل على كمية الاحتياطي الموضح.
4. تحدد مساحة الاحتياطي المستدل للمساحات الواقعة بين قواطع الاحتياطي الموضح.
5. تحسب المساحة الذي تمثل الاحتياطي المستدل .
6. يحسب معدل السمك من خلال حساب معدل السمك من مواقع النماذج كافة وكذلك معدل درجة التركيز.
7. تضرب المساحة في معدل السمك في الكثافة لتحصل منها كمية الاحتياطي المستدل.
8. يجمع صنفي الاحتياطي الموضح مع المستدل لتحصل على الاحتياطي الكلي للترسبات المعدنية.

فوائد هذه الطريقة

1- من الممكن تقدير الاحتياطي الترسبات المعدنية بسهولة والسرعة.
2- من الممكن إجراء عمليات تقدير الاحتياطي بصورة تراكمية من دون الحاجة إلى إعادة الإجراءات الحسابية من البداية مع تقدم سير العمل عند جمع النماذج الاستكشافية.
3- من الممكن التمييز بين المناطق ذات الاحتياطات العالية عن الواطئة.
4- من السهولة إجراء تقدير الاحتياطي الكلي للترسبات المتقطعة والمنعزلة عن بعضها البعض وإجراء المقارنة بينهما.

سلبيات هذه الطريقة

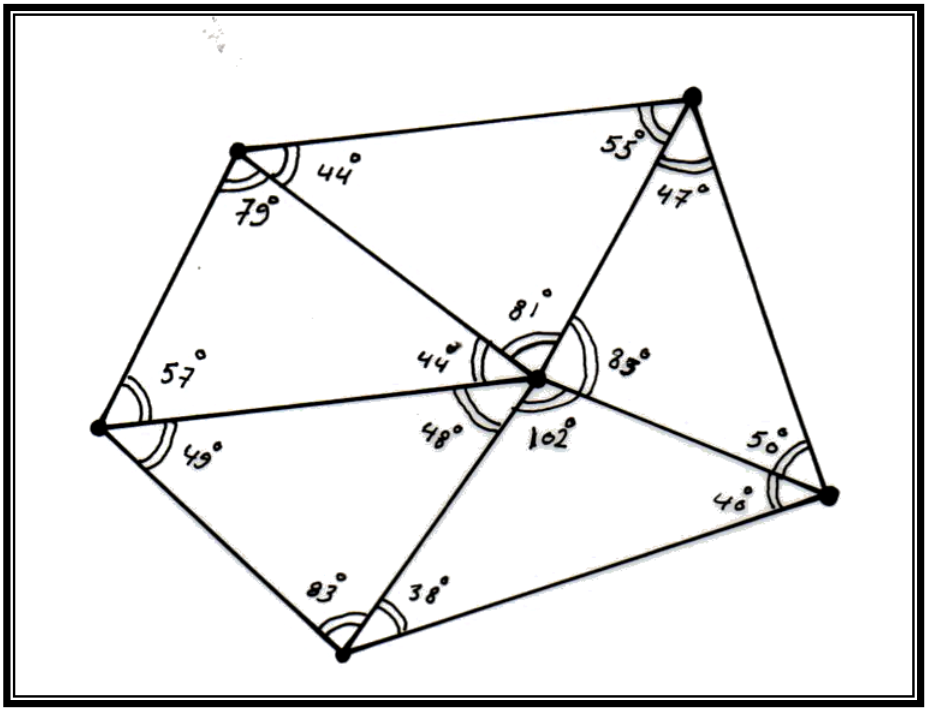
1- حصول زيادة في الكميات المقدرة للاحتياطي ألمنجمي بسبب سعة امتدادات المساحات للاحتياطي المستدل.
2- للترسبات المعدنية الطباقية النحيفة يحصل لها زيادة في امتدادات التأثير وتعطي تباين في حساب كمية الاحتياطي.
3- حساب معدل السمك أو درجة التركيز يتم على أساس قيمة موقع نموذج واحد في مساحة التأثير.

(4-22-7) طريقة المثلثات Triangulation method

تعتبر هذه الطريقة في تقدير الاحتياطي الترسبات المعدنية على تقسيم منطقة الترسبات إلى قواطع مثلثة بواسطة ربط مواقع النماذج أو الآبار المتجاورة بخطوط مستقيمة بعضها مع البعض الأخر لتشكيل مثلثات منتظمة أو مختلفة الأضلاع تعتمد على نظام شبكة توزيع الآبار شكل (4-27). معدل السمك ودرجة التركيز لكل مثلث يمثل معدل القيم الثلاثة للآبار التي تشكل رؤوس ذلك المثلث بدلاً من قيمة واحدة كما في الطرق السابقة تشكيل القواطع. ان نتائج الآبار أو القيم التي تشكل رأسي ضلع مشترك بين مثلثين تستخدم بصورة مشتركة لتقدير السمك ودرجة التركيز لمثلثين متجاورين وبذلك تكون القيم لكل بئر ذات تأثير على أكثر من مثلث على عكس حالة القواطع التي تعتمد في تشكيلها على بئر أو قيمة واحدة فقط تمثل ذلك القاطع بصورة مستقلة عن تأثير القيم للآبار الأخرى

المحيطة بها وبذلك تكون طريقة المثلثات اكثر تمثيل وفعالية في اشتراك مديات التأثير لعدد من الآبار في حسابات معدل السمك ودرجة التركيز.

ممكن ان تكون إحدى القيم التي تمثل رأس المثلث قد تؤثر تأثيراً كبيراً على حسابات معدل السمك ودرجة التركيز لذلك المثلث والمثلثات المتجاورة معها في التمثيل.



شكل رقم (27-4) طريقة تصميم المثلثات

هذا التأثير يعتمد على قيمة الزاوية التي يمثلها رأس المثلث في هذه الحالة يتطلب التصحيح للقيم إذا كانت المثلثات غير متساوية الأضلاع، أي ان درجة زاويته لا تساوي 60^0 ويتم ذلك بضرب قيم معدل السمك ودرجة التركيز بمعامل التصحيح (Correction Factor) الذي يحسب كما يلي:

$$\text{معامل التصحيح} = \frac{\text{زاوية رأس المثلث}}{}$$

يقدر الاحتياطي للترسبات المعدنية بإتباع الخطوات التالية:-

1- حساب مساحة كل مثلث على حدة بإحدى طرق قياس المساحة.
2- حساب معدل السمك ودرجة التركيز لكل مثلث بالاعتماد على قيم الآبار الثلاثة التي تشكل رؤوسه.
3- حساب كمية الاحتياطي لكل مثلث باستخدام المعادلة العامة بتقدير الاحتياطي.
4- تجمع تقديرات الاحتياطي لكافة المثلثات ويمثل ذلك مجموع تقدير الاحتياطي للترسبات المعدنية في المنطقة.
5- في حالة لمثلثات غير متساوية الأضلاع يتم ضرب معامل التصحيح لرأس زاوية المثلث في قيمة السمك ودرجة التركيز لكل رأس زاوية لنحصل على القيمة الصحيحة وهكذا بالنسبة لبقية رؤوس المثلث ويحسب الاحتياطي باتباع نفس الخطوات السابقة.

سلبيات هذه الطريقة

1- كمية الاحتياطي المقدرة بهذه الطريقة يكون منخفض جدا مقارنة مع الطرق الأخرى وذلك لان التقدير بهذه الطريقة لا يوجد فيه أي إضافات لمساحات مدى التأثير الجانبية لقيم مواقع الآبار.

2- النتائج أو القيم الكبيرة أو المنخفضة لبعض مواقع الآبار تؤدي إلى حصول حيود أو انحياز كبير باتجاه هذه القيم لاشتراكها في تقدير اكثر من قاطع وبذلك لا ينصح باستخدام هذه الطريقة في حالة الشبكة العشوائية.

3- تستغرق هذه الطريقة وقت طويل لتقدير الاحتياطي.

(4-22-8) الطريقة الجيواحصائية أو طريقة Kriging

Geostatistical Method or Kriging Method

المقدمة

التطبيقات الجيواحصائية الحديثة هي عبارة عن دراسة علاقة التأثير المتبادل بين قيم النماذج اعتمادا على التوزيع المكافئ لها في الجسم المعدني وهي التي تسمى Kriging نسبة إلى العالم الفرنسي Matheron Krige الذي استطاع بنظريته عام 1965 من تحويل المتغيرات الجيولوجية العامة في الترسبات المعدنية التي تسمى Regionalized Variables إلى معادلات رياضية لغرض التعامل معها في حساب أو تخمين أي قيمة مجهولة في أي موقع ضمن الجسم المعدني إذ إنها تأخذ بنظر الاعتبار موقع كل نموذج بالنسبة للأخر وإلى بعضها البعض ضمن امتدادات الترسبات المعدنية وحتى خارج حدود تلك الامتدادات. على النقيض من الطرق الإحصائية التقليدية. بعدها يتم تقسيم الجسم المعدني إلى عدة قواطع (Blocks) محددة الأبعاد ويستند تحديد الأبعاد هذه على عدة عوامل مثل عدد الآبار ونظامية شبكة الحفر ومقدار المسافة بين الآبار ويتم تقدير السمك ودرجة التركيز لكل قاطع باقل نسبة خطأ ممكنة وبالتالي نحصل على معلومات ذو موثوقية عالية عن تقدير احتياطي كل قاطع وعن مدى استمرارية الترسيب واتجاهه في الجسم المعدني وبذلك تكون العملية الوزنية لكل قاطع معتمدة على اكبر عدد ممكن من المعطيات، وبالتالي تؤدي أو تقود إلى وضع برنامج مستقبلي للحفر الاستكشافي ممكن ان ينفذ لإنجاز أي مشروع تعديني.

التطبيقات العملية للجيولوجيا الإحصائية في التقييم المعدني تتضمن حساب نسبة الخطأ في قيمة تقدير معدل درجة تركيز الخام والاحتياطي للترسبات المعدنية، بالإضافة إلى حساب أفضل قيمة تقديرية إلى درجة تركيز الخام الغير المعلومة لأي قاطع Block من الخام اعتمادا على القيم ألمستحصلة من معطيات حفر الآبار الاستكشافية وقيم التحاليل المختبرية للنماذج. كذلك من الممكن باستخدام هذه الطريقة واعتمادا على مبدأ توسيع مدى التأثير لقيم النماذج من معرفة مدى التباين أو التفاوت التي تحصل في القيم التقديرية لمناطق مدى التأثير الجديدة، بالإضافة إلى إمكانية تخمين أو

تقدير تأثير حد القطع لدرجة التركيز مع حجم القاطع Block Size في الطريقة ألمنجميه المستخدمة لغرض الحصول على أفضل معامل استخراج واستخلاص، خلال عمليات التشغيل ألمنجميه والتقليل من نسب الفقدان. باستخدام الطريقة الجيواحصائية ممكن السيطرة على شبكة توزيع الآبار وتقليل الكلف المالية خلال مرحلة الاستكشاف المعدني، كونها تعطي مؤشر على كفاية عدد الآبار المحفورة للحصول على افضل دقة ومعقولية في النتائج.

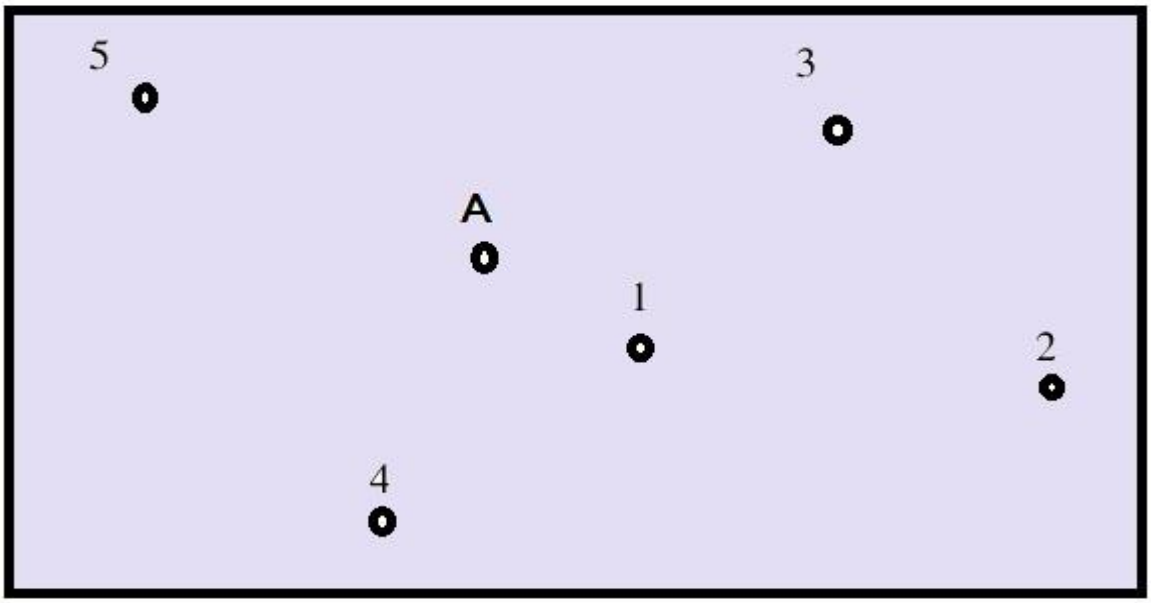
(4-22-8-1) الاسس المعتمدة في الطريقة الجيواحصائية

Basis of Gcostatistieal Method

تعتمد الطريقة الجيواحصائية أو طريقة Kriging على عدة أسس ونظريات لغرض انجاز احتياطي الترسبات المعدنية بكل دقة وموثوقية هذه الأسس هي:-

1- النماذج المتقاربة أو التي تفصل بينهما مسافات قليلة يؤثر بعضها على البعض الآخر أي تعطي وزن أو أهمية للنماذج القريبة على عكس النماذج المتباعدة التي يقل تأثيرها مع زيادة المسافة الفاصلة بين النماذج وليس أي شيء آخر. كما نلاحظ في الشكل رقم (29-4) ان النموذج رقم (1) يؤثر كثيرا على تقدير القيمة في النقطة (A) على عكس النموذج (5) يكون التأثير قليل.

2- موقع وحجم واتجاه النماذج تكون ثابتة ضمن الجسم المعدني بنقطة معينة وتتغير قيم كل نموذج وتأثيره على النماذج المتجاورة مع تغيير الموقع والحجم والاتجاه فمثلا في الشكل رقم (28-4) ان النموذج رقم (3) الذي يبعد بمسافة معينة عن الموقع (A) يؤثر بنسبة معينة على القيمة التقديرية عندها يختلف هذا التأثير عند النموذج رقم (4) الذي يبعد عن النقطة (A) بنفس مسافة النموذج رقم (3) لاختلاف الاتجاه وكذلك عند اختلاف حجم النماذج اذا كانت النماذج لبابية أو نماذج خندقية.



شكل رقم (28-4) التوزيع المكاني للنماذج وتأثير بعضها على البعض الاخر

3- حجم القاطع المطلوب تقدير الاحتياطي وعدد الآبار أو النماذج الداخلة في تقدير احتياطي حيث يعطي وزن وقيمة أكثر للنماذج القريبة أو النماذج الواقعة ضمن القاطع. في حالة الترسبات المعدنية غير متجانسة المكونات المعدنية كلما كبر حجم القاطع كلما زادت نسبة التباين لوجود اختلاف كبير في قيم النماذج المتجاورة اذ تتطلب هذه الحالة تصغير حجم القاطع لغرض تقليل نسبة التباين.

4- الطريقة المستخدمة في تقدير الاحتياطي يجب ان تكون دالة أو تعكس خصائص أو متغايرات الترسبات المعدنية التي تقع ضمن ذلك القاطع المراد تقدير الاحتياطي له وهذا لا يتحقق الأ باستخدام طريقة Kriging.

الدراسات الجيواحصائية أصبحت عامل مهم في إجراء دراسات الجدوى الاقتصادية وتقييم الترسبات المعدنية من خلال حساب كافة المتغيرات الموجودة في الجسم المعدني (السمك، درجة التركيز) والسيطرة على عمليات تحديد درجة تركيز الخام خلال كافة مراحل الاستخراج ألمنجمي والاستخلاص المعدني تعتبر هذه الطريقة ذات دقة عالية وتعطي اقل نسبة من التباين أو الانحراف عن القيمة الحقيقية. هذا التقدير يقوم على أساس عامل الوزن أو الأهمية التي تعطى إلى قيمة النموذج الذي يستخدم في عمليات التقدير، هذا الوزن أو الأهمية المعطاة إلى النماذج تعتمد على الخصائص الجيواحصائية للترسبات المعدنية وحجم وشكل توزيع النماذج الداخلة في عمليات تقدير الاحتياطي لكل قاطع من القواطع المكونة للجسم المعدني.

(4-22-8-2) تقسم الطريقة الجيواحصائية أو طريقة Krige إلى مرحلتين

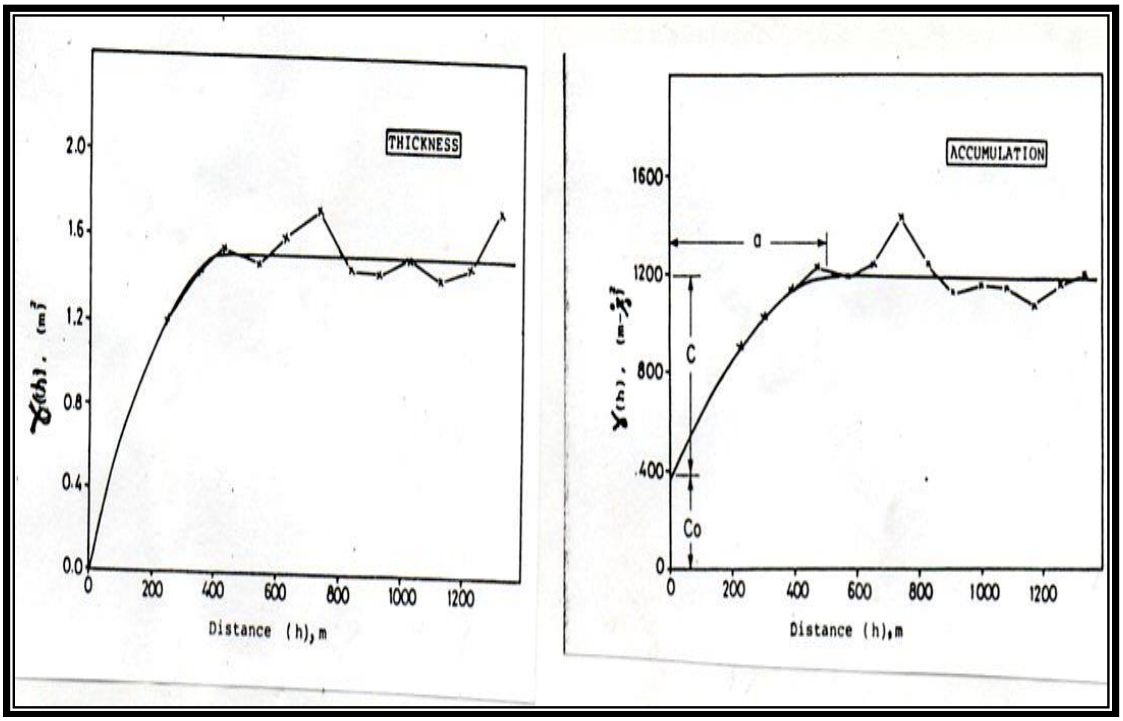
المرحلة الأولى:

تتضمن رسم وإعداد منحني Variogram الذي يعد موديل جيواحصائي لتمثيل المتغيرات في الترسبات المعدني والتي تعتبر مرحلة مهمة من مراحل حساب احتياطي الخامات بهذه الطريقة والذي يعكس بصورة كبيرة الخصائص الإحصائية والجيولوجية للترسبات المعدنية. هذا المنحني يمكن رسمه في المراحل الأولية من النتائج ألمستحصلة من معطيات حفر الآبار الاستكشافية الأولية وعلى أساس النتائج ألمستحصلة منه يمكن تصميم شبكة توزيع حفر الآبار في المراحل اللاحقة لغرض الحصول على اقل قيمة تباين باقل عدد ممكن من النماذج شكل رقم (29-4).

القيمة ألمستحصلة من رسم منحني Variogram الأخرى هي (Kriging Variance) أو عامل التباين الجيواحصائي والذي يمثل قياس لمقدار الدقة في تقدير الاحتياطي وكلما كان عامل التباين منخفض فهذا يدل على قيمة تقديرية جيدة للنتائج، اما اذا كان كبير فيعطي قيمة تقديرية ضعيفة للنتائج.

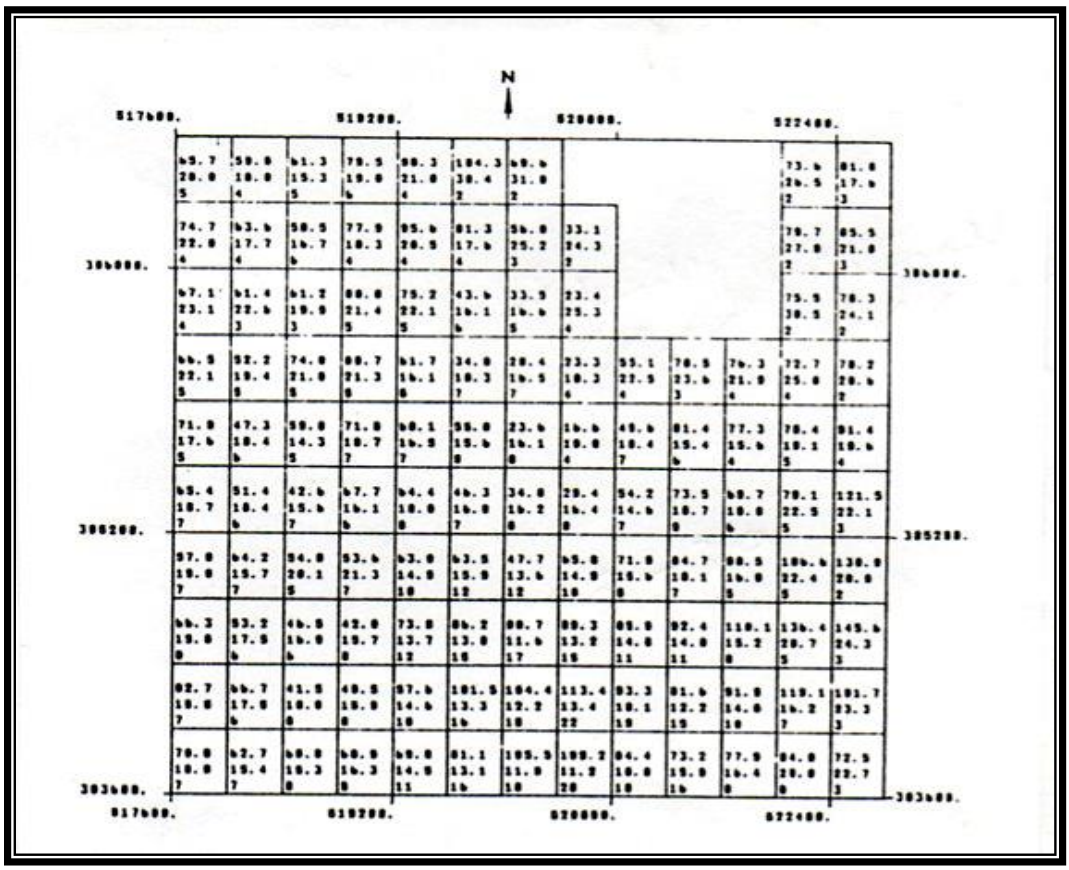
المرحلة الثانية:

تتضمن هذه المرحلة تقسيم الجسم المعدني إلى قواطع Block متساوية الأحجام وهذه المرحلة تعتمد بصورة كبيرة على المتغيرات ألمستحصلة من المرحلة الأولى، يتم بهذه المرحلة تقدير أو تخمين قيمة المتغيرات مثل السمك أو التركيز في أي نقطة أو قاطع ضمن الجسم المعدني باستخدام المعطيات من الآبار المجاورة والتي تقع ضمن كل قاطع باعلى دقة ممكنة واقل نسبة خطأ اعتماداً على عدة عوامل منها عدد الآبار المحفورة، نظامية شبكة الحفر والمسافة بين الآبار. شكل رقم (4-30).



شكل رقم (4-29) منحني الـ Semivariogram يمثل المنحني التجريبي والمنحني النموذجي

المصدر: A.Sahin and A. A. Abdul-latif, 1990, P.59



شكل رقم (30-4) القواطع بطريقة Kriging

الأرقام في كل قاطع تمثل من الأعلى إلى الأسفل:

القيمة التقديرية بطريقة Krige الانحراف المعياري بطريقة Krige

وعدد النماذج الداخلة في تقدير القيمة بطريقة Krige

في هذه الطريقة يتم تقدير الاحتياطي أو حساب قيمة السمك/ التركيز اعتماداً على عامل الوزن الذي يعطى إلى قيمة النماذج الداخلة في الحساب، ان الوزن الذي يعطي لقيم النماذج المتقاربة والداخلة ضمن كل قاطع يكون اكثر من النماذج المتباعدة، من الممكن بهذه الطريقة حساب القيمة المعطاة لكل نموذج التي يؤثر بها على النماذج المتجاورة في اقل نسبة خطأ ممكنة باستخدام حل المعادلات الرياضية والمصفوفات التي تترتب على هذا التقدير وهي التي تسمى بطريقة Kriging.

إن معالجة النتائج باستخدام طريقة Kriging يدويا يكون مرهق ويستغرق وقت وجهد طويل لاستخدامها معادلات رياضية طويلة وحلول للمصفوفات ولهذه الأسباب يجب إجراء هذه المعالجات باستخدام الحاسوب ولذلك وجدت انظمة حاسوبية متخصصة لهذا الغرض، وأصبحت المعالجات الجيواحصائية للمتغيرات الجيولوجية من القواعد والأسس المهمة التي تستخدم في حساب احتياطي الترسبات المعدنية ومن اهم الأنظمة المستخدمة هو Surfur Soft Ware Package والنسخ المحدثة لهذا النظام.

تستند أو تعتمد طريقة Kriging على ما يسمى بالمتغيرات العامة Regionalized Variables في الترسبات المعدنية والتي يمكن تعريف هذه المتغايرات العامة في أي جسم معدني

بانها أي متغير يراد اجراء الحسابات الإحصائية له مثل (السمك، التركيز، الامتداد، المساحة، ...الخ) والتي تكون دالة للمكان تتغير من موقع إلى آخر ضمن الجسم المعدني.

هذه المتغيرات العامة لها قيمة في كل موقع وفي كل نقطة ضمن الجسم المعدني تختلف في القيمة من مكان إلى آخر، المتغيرات العامة التي استندت عليها دراسة طريقة Kriging تشمل على ما يلي:-

1- الموقع أو التمركز Localization

الأساس التي يستند عليه هذا المتغير والخاص في حقل المكونات المعدنية هو الحجم، الشكل، الاتجاه للنماذج ألمستحصلة من الجسم المعدني بينما المتغير نفسه ممثل في قيم التحاليل المختبرية، اذا تغير احد من هذه الأسس فسوف نحصل على متغير جديد. مثال على ذلك، اذا كان هناك نموذج مستحصل من بئر استكشافي وزنه (5) كغم ونموذج اخر مستحصل من نمذجة بواسطة السيارات وزنه (5) طن مشتقة من نفس الموقع فسوف يكون لنا متغيرين اثنين (Two Variables Regionalized). السبب في ذلك هو الحصول على قيمة لدرجة التركيز مثلا من نماذج البئر تختلف في قيمة عن درجة التركيز ألمستحصلة من نماذج السيارات بسبب اختلاف حجم النموذج، لذا يجب ان تكون احجام النماذج كافة المستخدمة في التحاليل متساوية كي يمكن إجراء المقارنة بين النتائج.

2- الاستمرارية Continuity

إن الاختلاف المكاني للمكونات المعدنية في أي ترسبات معدنية تعتمد على العوامل الجيولوجية المؤثرة على وجود هذه الترسبات وكذلك على طبيعة النماذج ألمستحصلة. مثلا، الترسبات المعدنية من اصل رسوبي تعطي استمرارية عالية للتوزيع المعدني عما هي في الترسبات من نوع العرقي أو من اصل الحرمائي، وهذا يؤدي إلى حصول صعوبات في عمليات تقدير الاحتياطي.

3- تباين الخواص Anisotropy

أو يمكن تسميتها بان خواص الترسبات المعدنية هي ليست واحدة في جميع الاتجاهات، ممكن ان يحصل تغير تدريجي أو تغير بسيط في درجة التركيز مثلا في اتجاه معين والتغير يكون سريع أو غير منتظم في الاتجاه الاخر. هذه الحالة ممكن هذه ممكن ان توجد في الترسبات المعدنية الطباقية، الفوالق أو الترسبات في أنطقة الزحف.

4- الانتقالية Transitions

بعض الترسبات المعدنية تبدي أو تظهر ظواهر انتقالية من الصعب تمييزها أو ملاحظتها بواسطة المعالجات الإحصائية الاعتيادية. بعض الترسبات تعود إلى ظروف ترسيبية معينة في حين ان المكونات المعدنية لها سببها يعود إلى ظواهر جيولوجية مختلفة عن الظروف الترسيبية تلك. هذه المتغايرات العامة التي تتميز بها الترسبات المعدنية ثم تحويلها إلى صيغة رياضية لغرض دراستها متمثلة برسم وتركيب منحني Semivariogram الذي يعكس خصائص الترسبات المعدنية.

بعض المعالجات الجيواحصائية التي تتضمنها تطبيقات طبقة Kriging هي:-

1- حساب قيمة التباين أو الانحراف Variance

إن من اهم المعالجات الإحصائية لحساب التشتت أو الانتشار في القيم الإحصائية هي حساب التباين (Variance)، عند تقدير احتياطي الترسبات المعدنية لغرض معرفة نسبة الخطأ في القيم التقديرية للاحتياطي.

إن تقدير معدل درجة تركيز الترسبات المعدنية (G%) للاحتياطي بكمية قدرها (T) طن لا يكفي من دون معرفة فرص الحصول على قيمة معدل درجة التركيز في الجسم المعدني اثناء عمليات الاستخراج ألمنجمي لوجود مبدأ المجازفة في استثمار اموال طائلة لأي مشروع تعديني وبما يتعرض هذا المشروع إلى الفشل في حالة وجود تذبذب أو عدم استمرارية في المكونات المعدنية ضمن الترسبات المعدنية.

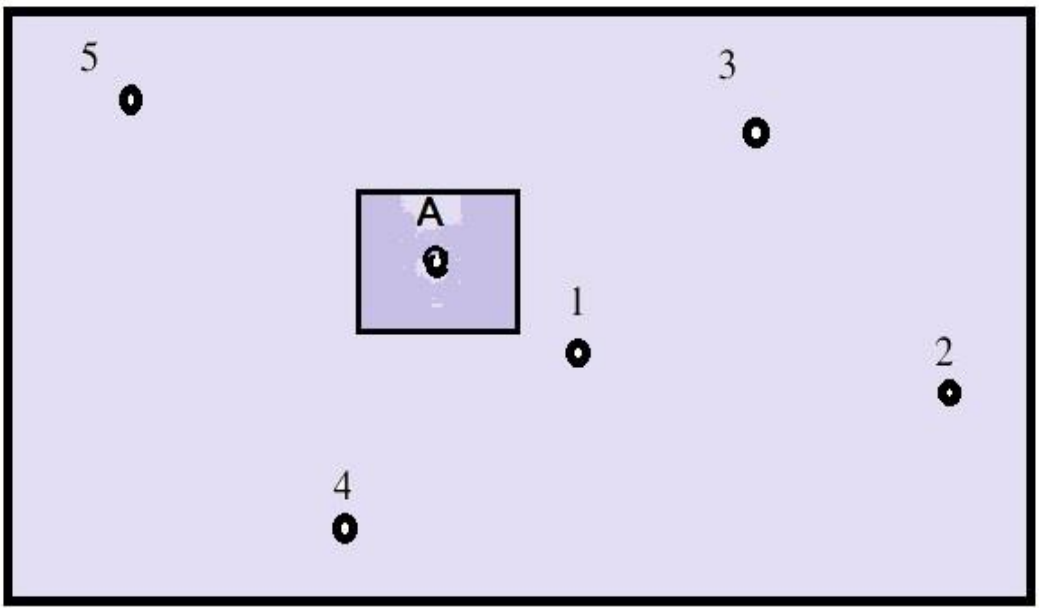
ان التباين Variance هو قياس نسبة التشتت للقيم G_i حول معدلها $\overline{G_i}$ هذه القيمة يمكن ان تتوقعها في حدود $(G_i - \overline{G_i})^2$ بسبب $\overline{G} = \frac{1}{N}(\sum G_i)$

$$\therefore \text{Variance } (\sigma^2) = \frac{1}{N}\left[\sum(G_i^{\,2}) - \frac{\sum(G_i^{\,2})}{N}\right]$$

G_i = قيم درجة تركيز الترسبات المعدنية

$\overline{G_i}$ = معدل درجة تركيز الترسبات المعدنية

N = عدد النماذج الداخلة في الحساب



شكل رقم (31-4) تقدير قيمة التركيز/السمك في الموقع (A) من تحديد تأثير القيمة من المواقع المجاورة

عند تطبيق طريقة Kriging لحساب Variance لو نلاحظ الشكل رقم (31-4) الذي يمثل مجموعة من الآبار موزعة بشكل عشوائية والمطلوب هو حساب قيمة المتغير كأن يكون السمك أو التركيز عند النقطة في الموقع (A) وكذلك للقاطع (A) المحدد الشكل.

نفرض ان القيمة التقديرية للتركيز عند الموقع A = G*

القيمة الحقيقية للتركيز عند الموقع A = G

أن الخطأ الحاصل عندما نوسع أو نمد تأثير التركيز عند الموقع(1) إلى الموقع A = Σ

$$\therefore \Sigma = G - G^*$$

بواسطة توسيع تأثير بقية Aعندما يتم إجراء عدة حسابات لتقدير درجة التركيز عند الموقع.

$\overline{\sum} = 0$ فعلية فإن معدل الخطأ لكل هذه القيم يساوي صفر 2,3,4,5 المواقع في النقاط

تعتبر إن التباين في الخطأ يساوي δ^2_{Σ}

$$\therefore \delta^2_{\varepsilon} = \left(\varepsilon - \bar{\varepsilon}\right)^2 = \text{Variance or geavamance}$$

$$\because \bar{\varepsilon} = 0$$

$$\therefore \delta^2 = \left(G - G^*\right)^2$$

$$\therefore \delta^2_{\Sigma} = 2\gamma(h) = \text{ Semivariogram}$$

إذن قيمة التباين ممكن قراءتها من المنحني Semivariogram مباشرة في حالة استخدام القاطع حول الموقع (A) وكان المطلوب تقدير قيمة درجة التركيز لهذا القاطع. يجب حساب أو رسم منحني Semivariogram بين كل موقع من مواقع النماذج والقاطع (A)

$$\delta^2_{\varepsilon} = 2\gamma(S,A) - \gamma(S,S) - \gamma(A,A)$$

A = حجم القاطع

S = النموذج الداخل في الحساب

هذه الحسابات يجب ان يتم معالجتها باستخدام الحاسوب كونها طويلة وتدخل في الحسابات المصفوفات واللوغاريتمات إذا توجد برامجيات جاهزة معدة لهذا الغرض ولكن الغرض من ذكرها وتوضيحها هو لغرض فهم واستيعاب فكرة تطبيقات نظرية Kriging.

2- حساب قيمة الانحراف المعياري

يعبر عن الانحراف المعياري أو مقياس التشتت (σ) بانه يساوي الجذر ألتربيعي للتباين، اما الخطأ القياسي للمعدل Standard error of the mean يعبر عنه بالانحراف المعياري مقسوما على الجذر ألتربيعي لعدد النماذج والذي يساوي:

$$\sigma(X) = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

إن أهمية حساب الانحراف المعياري في عمليات التقييم المعدني تقع ضمن نظرية الاحتمالية. وكمثال على ذلك، عند حساب معدل درجة تركيز الخام$(\overline{G})$ من قيم عدد من النماذج عددها **(N_i)** فان التحليل عندما نستنتج ان معدل درجة التركيز $(\overline{G})$تمثل قيمة تقديرية وان القيمة الحقيقية لمعدل درجة التركيز غير معروفة بالضبط للخام، ولذلك في حالة التوزيع المتناظر للقيم نلاحظ ان القيمة الحقيقية لمعدل درجة التركيز تقع ضمن حدود الدرجات التالية

Confidence	**Limit of True Grade**
68%	$\overline{G}-\sigma<G<\overline{G}+\sigma$
95%	$\overline{G}-2\sigma<\overline{G}+2\sigma$
99%	$\overline{G}-3\sigma<G<\overline{G}+3\sigma$

هذا يعني عندما نختار الحدود 68% ان قيمة معدل درجة تركيز الخام الحقيقية تكون اقل من القيمة $(\overline{G}+\sigma)$ واكبر من القيمة $(\overline{G}+\sigma)$ وهكذا وهذا يصح فقط في التوزيع المتناظر Normal Distribution اما في المعالجات الجيواحصائية فيتم استخدام مفهوم Geovariance والذي يمثل نسبة الخطأ الناتجة من توسيع أو مد أي قيمة لمتغير معين من أي موقع نموذج إلى مكان اخر لغرض تقدير قيمة هذا المتغير ويحسب معدل التركيز أو معدل السمك بحدود ثقة 95% حسب الصيغة التالية عند استخدام طريقة Kriging

$$\overline{G}_e{}^{-2"\sigma_{LN}"}\ (\overline{G})<m<\overline{G}_e{}^{+2"\sigma_{LN}"}\ (\overline{G})$$

المعدل الحسابي ويحسب من المعادلة $\overline{G}=\gamma e^{\sigma_{LN}{}^2/2}$

القيمة الرياضية إلى الوسيط Median $=\gamma$

التباين اللوغارتمي أو الخطأ الجيواحصائي للمعدل يحسب منGeovariance $=\sigma_{LN}{}^2$

3- التباين الجيواحصائي Extension Geovariance

التباين أو الانحراف الجيواحصائي هو حد المفاهيم الأساسية التي تستند عليها نظرية Kriging في حساب الاحتياطي. والتي تقوم على ان قيمة أي نموذج في أي موقع من الترسبات المعدنية لا يمكن ان تسأوي أو تعادل لمساحة أو حجم تأثيرها، ما لم يكن التمعدن ثابت أو مستمر. لذلك في كل الترسبات للمعدنية سوف نرتكب أو (نحصل على) نسبة من الخطأ عندما نقدر أو نستنتج معدل درجة تركيز النموذج إلى نطاق أو قاطع تأثير ذلك النموذج هذا الخطأ في التقدير يعود إلى عدة اسباب هي:-

أ- عدم تجانس واستمرارية المكونات المعدنية في الجسم المعدني.

ب-شكل وحجم النموذج المستخدم.

ج-نطاق أو مساحة التأثير للنموذج.

هذا الخطأ يسمى بـ Geovariance والذي يحسب بالصيغة التالية:-

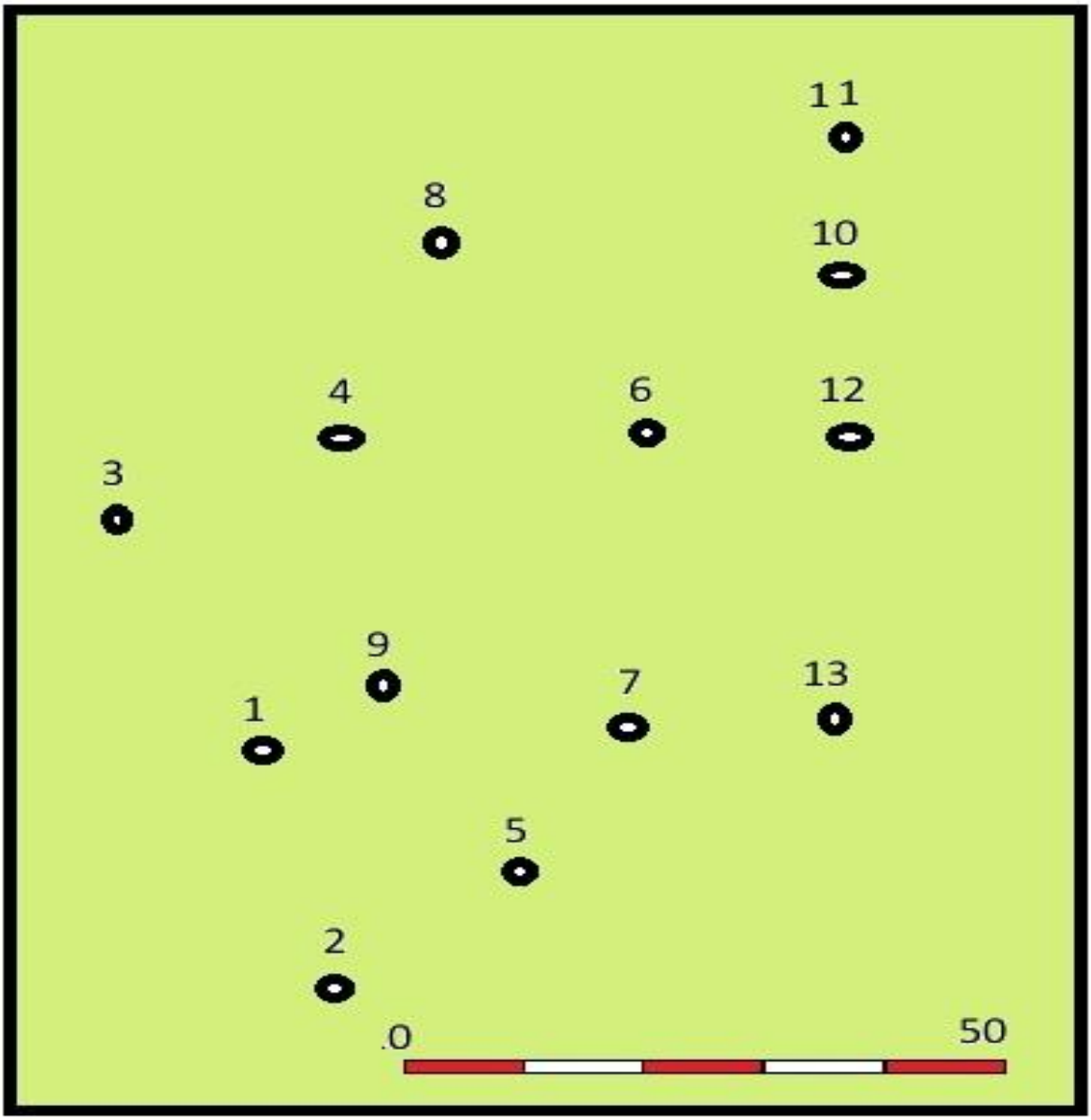
$$"\sigma_{LN}"(E) = \sqrt{\frac{\sigma^2(s)}{\overline{G}^2}}$$

Geovariance =الخطا الكلي الناتج من التقدير = $"\sigma_{LN}"(E)$

معدل درجة التركيز = $\overline{G}^2$ ، التباين في النماذج = $\sigma^2(s)$

مثال تطبيقي رقم (19-4)

رصدت ترسبات معدنية لخامات الحديد في احدى مناطق الصحراء غرب العراق وخضعت تلك الترسبات لعمليات استكشافية وتضمنت حفر مجموعة من الآبار موزعة بصورة شبه منتظمة كما في الشكل رقم (32-4). استخدام النتائج والمعطيات ألمستحصلة من تلك الآبار (السمك، درجة تركيز الحديد) كما في الجدول رقم (17-4). الكثافة الكلية لتلك الترسبات هي (2.5) طن/م^3 المطلوب هو تقدير احتياطي خام الحديد في تلك المنطقة واتبع في ذلك الطريقة العامة في تقدير احتياطي الترسبات المعدنية.



شكل رقم (32-4) خارطة توزيع الآبار الاستكشافية لتقدير احتياطي الترسبات المعدنية

جدول رقم (17-4)

نتائج معطيات آبار استكشافية لتقدير احتياطي خام الحديد

B. H. No.	Thickness (m.)	Grade Fe_2O_3 %	Depth m.
1	3.00	25.00	160
2	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0
4	3.5	30.0	164
5	0.0	0.0	0.0
6	4.5	40.0	164
7	4.5	35.00	168
8	0.0	0.0	0.0
9	8.0	35.00	168
10	3.0	30.00	165
11	0.0	0.0	0.0
12	5.0	45.00	164
13	0.0	0.0	0.0

الحل:

يتبع في الحل الخطوات التالية:-

1- يتم تحديد امتدادات الترسبات المعدنية لخام الحديد على أساس نتائج الآبار الاستكشافية ويتم اعتماد منتصف المسافة بين الآبار الموجبة والآبار السالبة الحد الفاصل ويرسم الخط متصل يمثل حدود الترسبات المعدنية كما في الشكل (33-4).

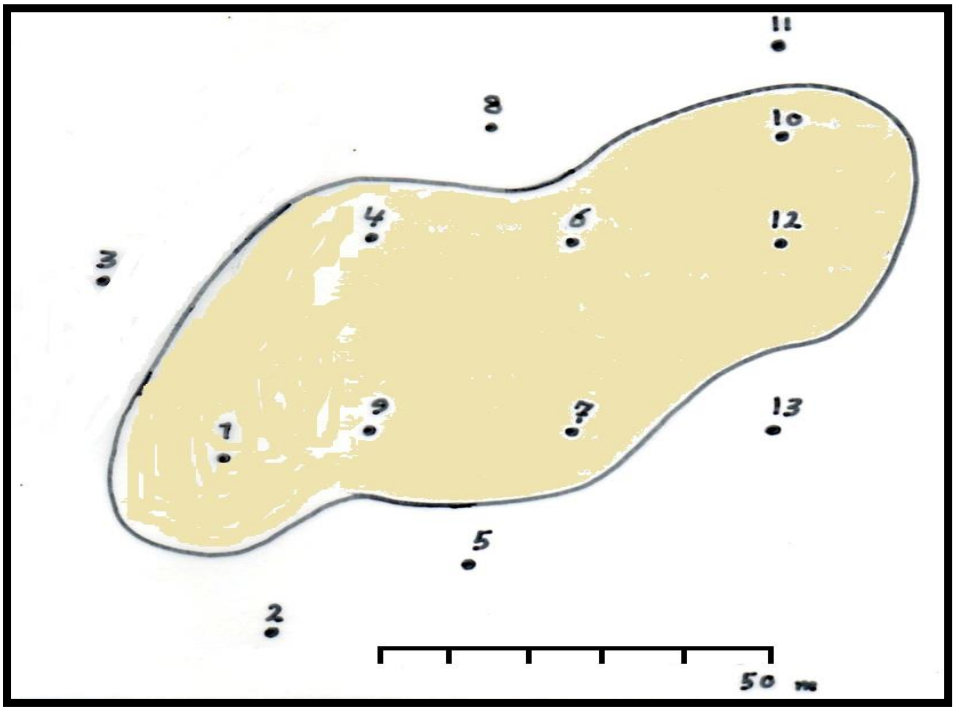
2- تحسب مساحة امتدادات الخام من الشكل رقم (33-4) بإحدى طرق قياس المساحة والتي تبلغ (6600) م^2

3- يتم حساب معدل سمك الترسبات بعد تنظيم جدول بالحسابات المطلوب كما في الجدول رقم (18-4) وتطبق المعادلة التالية:-

جدول رقم (18-4)

حسابات السمك ودرجة التركيز

Hole No.	السمك(m) (T)	Grade G%	G*T
4	3.5	30.0	105
6	4.5	40.0	180
10	3.0	30.0	90
12	5.0	45.0	225
9	8.0	35.0	280
7	4.5	35.0	157.5
1	3.0	25.0	57
Total	31.5		1112.5



شكل رقم (33-4) تقدير احتياطي الترسبات المعدنية بالطريقة العامة

معدل السمك = $\frac{\Sigma T}{n}$ حيث ان n = عدد الآبار، T = السمك

$$= \frac{31.5}{7} = 4.5 \text{ متر}$$

4- يحسب معدل درجة تركيز الحديد باستخدام الحسابات الواردة في الجدول رقم (18-4) وتطبق فيها المعادلة التالية

معدل درجة التركيز $= \frac{\Sigma G*T}{\Sigma T} = \frac{1112.5}{31.5} = 35.3\%$ حديد.

5- يتم حساب تقدير احتياطي فلز الحديد وفق المعادلة التالية:

احتياطي الترسبات المعدنية = المساحة * معدل السمك * الكثافة

= 2.5 * 4.5 * 6600

= 74250 طن ترسبات معدنية

احتياطي فلز الحديد = احتياطي ترسبات المعدنية * معدل درجة تركيز الفلز

= 74250 × 35.3 %

= 26210.25 طن فلز الحديد

مثال تطبيقي رقم (20-4)

طريقة تساوي السمك أو طريقة المناسيب استخدم خارطة الآبار الاستكشافية في الشكل رقم (32-4) ونتائج الآبار في الجدول رقم (17-4) لتقدير احتياطات خام الحديد في المنطقة المذكورة واتبع في ذلك طريقة تساوي السمك. علما بان حد القطع للسمك (cut- off Thickness) هو متر واحد.

الحل: يتبع في الحل الخطوات التالية:

1- يتم استخدام خارطة تساوي السمك (Thickness contouring) على أساس نتائج توزيع الآبار في الشكل رقم (32-4) واستخدام سمك طبقة الترسبات المعدنية في كل بئر، وتم اختيار الفترة الكنتورية لخارطة تساوي السمك هي (1) متر كما في الشكل رقم (34-4).

2- يتم حساب المساحة المحصورة بينة كل خطين لتساوي السمك وابتداءاً من خط تساوي السمك واحد متر لانه يمثل خط القطع للسمك باحدى طرق قياس المساحة، ترتيب النتائج كما في الجدول رقم (19-4).

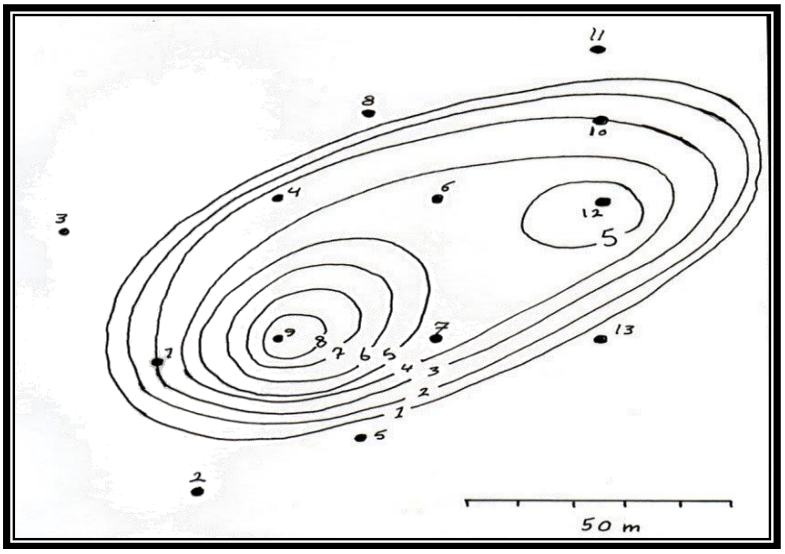
3- يمثل سمك الترسبات المعدنية للمساحة المحصورة بين كل خطين لتسأوي السمك هو معدل السمك بين قيمة كل خطين لتساوي السمك.

4- يحسب حجم الترسبات المعدنية لكل مساحة محصورة بين خطين من تساوي السمك وذلك بحاصل ضرب المساحة في معدل السمك.

5- يحسب احتياطي الترسبات المعدنية لكل مساحة بضرب الحجم في الكثافة 2.5 طن/م^3، وترتب النتائج كما في الجدول رقم (19-4)

6- يتم حساب معدل درجة تركيز الترسبات المعدنية نتائج الآبار الواقعة ضمن مساحة امتداد الترسبات المعدنية كما في الجدول رقم (19-4) وتحسب قيمة درجة التركيز من المعادلة

معدل درجة التركيز لفلز الحديد = $\frac{\sum T * G}{\sum T}$ = 35.3% حديد



شكل رقم (34–4) تقدير احتياطي الترسبات المعدنية بطريقة تساوي السمك

7- يحسب احتياطي فلز الحديد من حاصل ضرب احتياطي الترسبات المعدنية في معدل درجة تركيز الفلز ترتب النتائج كما في الجدول رقم (20–4).

جدول رقم (19–4)

حساب تقدير الاحتياطي بطريقة تسأوي السمك

Contour	Area (m^2)	Average Thickness (m)	Volume (m^3)	Tonnage Ore (Ton)	Tonnage Fe Ton
1	1200	1.5	1201.5	3003.75	106.3
2	1350	2.5	3375.0	8437.5	2978.4
3	1650	3.5	5775.0	1443.5	5096.4
4	1020	4.5	4590.0	11475.0	4050.6
5	1470	5.5	8085.0	20212.5	7135.0
6	700	6.5	4550.0	11375.0	4015.3
7	310	7.5	2325.0	5812.5	2051.8
8	100	8.0	800.0	2000.0	706.0
	7800			7653.75	27093.8

$$\text{Av. G} = \frac{\sum T * G}{\sum T} = \frac{1112.5}{31.5} = 35.3\%\ \text{Fe}$$

$$\text{Av. T} = \frac{\sum T}{n} = \frac{31.5}{7} = 4.5\ \text{m}$$

جدول رقم (20-4)

حساب معدل درجة تركيز الحديد

Hole No.	T M	G %	T * G
1	3.0	25.0	75.0
4	3.5	30.0	105.0
6	4.5	40.0	180.0
7	4.5	35.0	157.5
9	8.0	35.0	280.0
10	3.0	30.0	90.0
12	5.0	45.0	225.0
Total	31.5		1112.5

مثال تطبيقي رقم (21-4) طريقة القواطع المضلعة

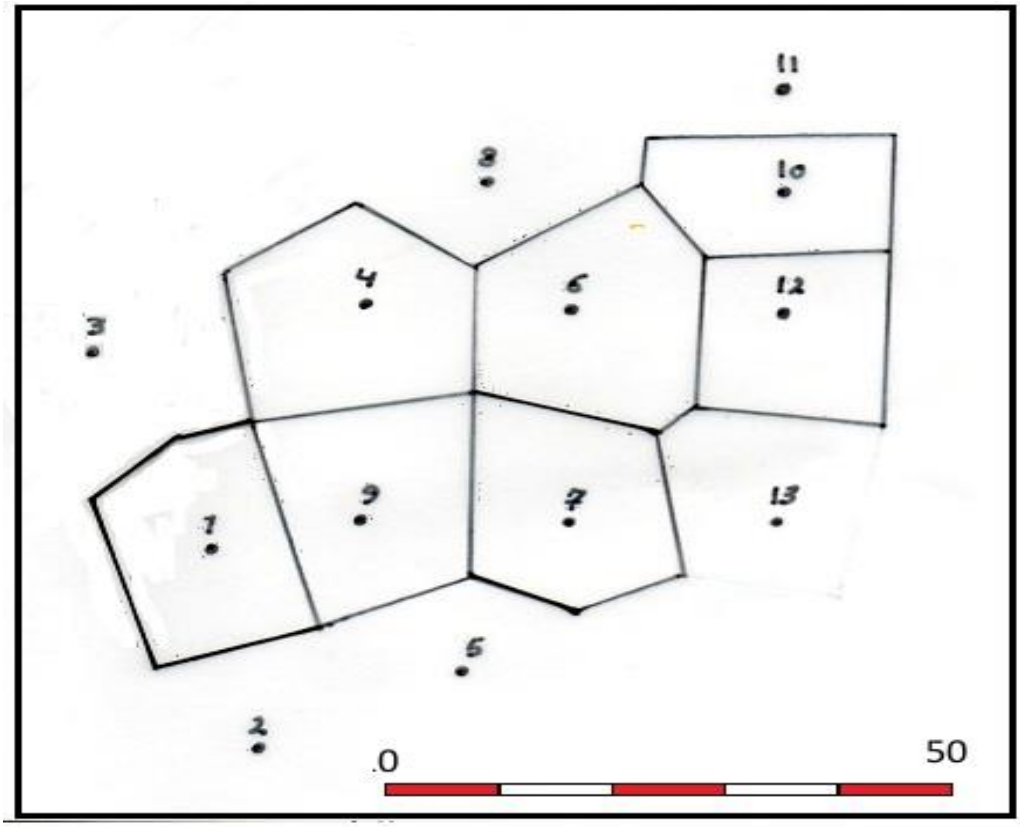
استخدام خارطة الآبار الاستكشافية في الشكل رقم (32-4) ونتائج الآبار في الجدول رقم (17-4) لتقدير احتياطي خام الحديد في المنطقة المذكورة واتبع في ذلك طريقة القواطع المضلعة لتقدير الاحتياطي.

الحل: بما ان شبكة توزيع الآبار الاستكشافية هي شبكة شبه منتظمة فعلية سوف يكون شكل القاطع المضلع ممثلا بأكثر من اربعة أضلاع لاكثر الآبار والذي يمثل مدى تأثير كل بئر. ان تقدير الاحتياطي بطريقة القواطع المضلعة يعتبر مناسبا وملائم ونحصل على نتائج ذات موثوقية عالية. ويتبع في الحل الخطوات التالية:-

1- يتم تصميم القواطع المضلعة حول كل بئر من الآبار الموجبة باستخدام قاعدة منتصف المسافة بين الآبار ويمثل كل قاطع مدى تأثير ذلك البئر. كما في الشكل رقم (36-4).
2- تحسب مساحة كل قاطع باستخدام إحدى طرق قياس المساحة وتفضل الطرق الرياضية لإيجاد المساحات [كما في الملحق رقم (1)].
3- معدل السمك لكل قاطع ومعدل درجة التركيز تمثلها قيمة البئر الواقع ضمن ذلك القاطع.
4- يحسب احتياطي فلز الحديد لكل قاطع بواسطة ضرب المساحة في معدل السمك في الكثافة في معدل درجة تركيز الترسبات المعدنية.
5- تنظم كافة نتائج الحسابات كما في الجدول رقم (21-4).
6- مجموع احتياطيات القواطع كافة تمثل مجمل احتياطي فلز الحديد في المنطقة.
7- يحسب معدل سمك الترسبات ومعدل درجة الحديد في المنطقة كما يلي:-

معدل سمك الترسبات = $\frac{\sum T * A}{\sum A} = \frac{28625}{6150}$ = 4.65 متر

معدل درجة تركيز الحديد = $\frac{\sum G * T * A}{\sum T * A} = \frac{1006375}{28625}$ = 35% حديد



شكل رقم (34-4) تقدير احتياطي الترسبات المعدنية بطريقة القواطع المضلع

جدول رقم (22-4)

حساب تقدير الاحتياطي بطريقة القواطع المضلع

Hole No.	Block No.	Area (A) (m^2)	Thickness (T) (m)	T*A	Grade (Fe)	G*T*A	Tonnage Ore (Ton)	Tonnage Fe (Ton)
4	4	1050	3.5	3575	30.0	110250	9187.5	2756.25
6	6	1100	4.5	4950	40.0	198000	12375.0	4950.0
10	10	725	3.0	2175	30.0	65250	5437.5	1631.25
12	12	750	5.0	3750	45.0	168750	9375.0	4218.75
9	9	925	8.0	7400	35.0	259000	8500.0	6475.0
7	7	850	4.5	3825	35.0	133875	9562.5	3346.8
1	1	950	3.0	2850	25.0	71250	7125.0	1781.25
	Total	6150	31.5	28625		1006375	71562.5	25141.3

مثال تطبيقي رقم (22-4) طريقة القواطع المنتظمة

استخدم خارطة الآبار الاستكشافية في الشكل رقم (32-4) ونتائج الآبار في الجدول رقم (17-4) لتقدير احتياطي خام الحديد في المنطقة المذكورة واتبع في ذلك طريقة القواطع المنتظمة لتقدير الاحتياطي.

الحل: يتبع في الحل الخطوات التالية:

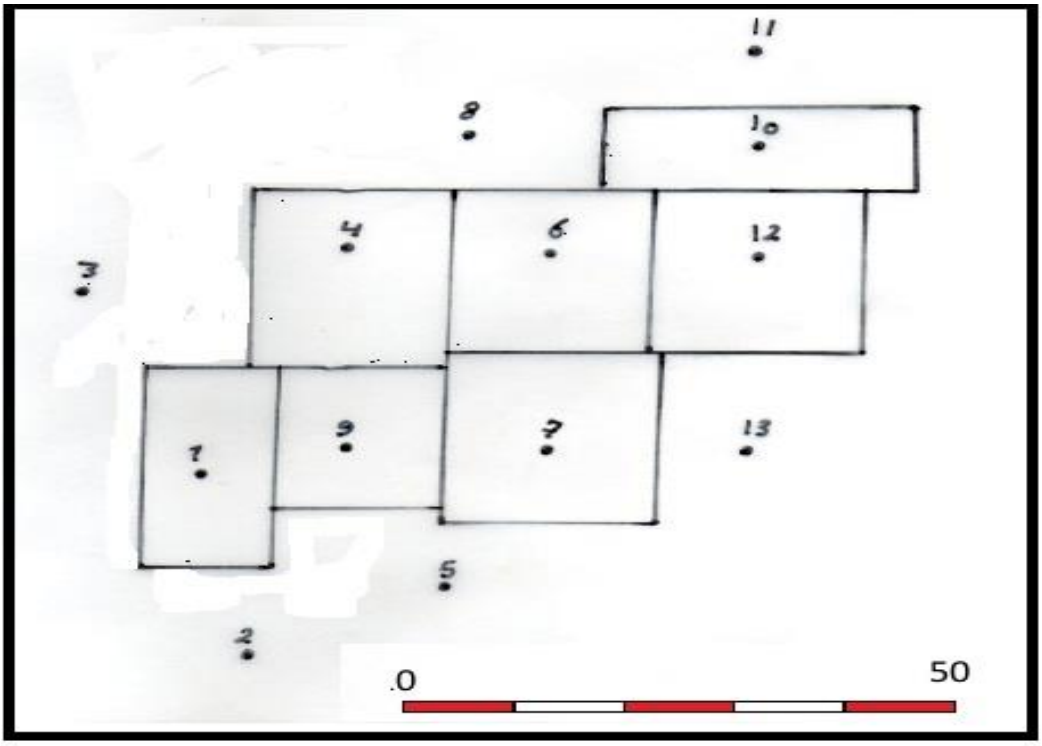
1- يتم تصميم القواطع المنتظمة حول كل بئر من ابار المنطقة الموجبة على أساس منتصف المسافة بينه وبين الآبار المتجاورة له من الجهات الأربعة، ولكون توزيع شبكة الآبار شبه منتظمة فان مساحات القواطع ستكون غير متساوية وتكون اما على شكل مربعات أو مستطيلات. كما في الشكل (35-4).

2- تحسب مساحة كل قاطع باستخدام احدى طرق قياس المساحة ويفضل اتباع طرق الحساب الرياضية كما في الملحق رقم (1).

3- معدل السمك ومعدل درجة التركيز لكل قاطع تمثلها قيمة البئر الواقع ضمن ذلك القاطع.

4- يحسب احتياطي فلز الحديد لكل قاطع بواسطة ضرب مساحة القاطع في السمك في معدل درجة تركيز الفلز وتنظم النتائج كما في الجدول رقم (22-4).

5- مجموع احتياطيات القواطع يمثل مجمل احتياطي فلز الحديد في المنطقة ومعدل سمك الترسبات ومعدل درجة التركيز يحسب كما في الطرق السابقة.



كل رقم (35-) تقدير احتياطي الترسبات المعدنية بطريقة القواطع المنتظمة

جدول رقم (22-4)

حساب تقدير الاحتياطي بطريقة القواطع المنتظمة

Hole No.	Area (A) (m^2)	Thickness T (m)	T*A	Grade Fe (%)	T*A*G	Tonnage Ore (Ton)	Tonnage Fe (Ton)
4	1050	3.5	3675.0	30.0	110250.0	9187.5	2756.5
6	915	4.5	4117.5	40.0	164700.0	10293.75	4117.5
10	900	3.0	2700.0	30.0	81000.0	6750.0	2025.0
12	925	5.0	4625.0	45.0	208125.0	11562.5	5203.12
9	700	8.0	5600.0	35.0	196000.0	14000.0	4900.0
7	1000	4.5	4500.0	35.0	157500.0	11250.0	3937.5
1	800	3.0	2400.0	25.0	60000.0	6000.0	1500.0
Total	6290	31.5	27617.5		977575.0	69043.75	24439.37

معدل سمك الترسبات = $\frac{\sum T * A}{\sum A} = \frac{27617.5}{6290} = 4.39$ م

معدل درجة تركيز الحديد في الترسبات = $\frac{\sum G * T * A}{\sum T * A} = \frac{977575.0}{27617.5} = 35.98$ % حديد

مثال تطبيقي رقم (23-4) طريقة المقاطع

استخدم خارطة الآبار الاستكشافية في الشكل رقم (32-4) ونتائج الآبار في الجدول رقم (17-4) لتقدير احتياطي خام الحديد في المنطقة المذكورة واتبع في ذلك طريقة المقاطع لتقدير الاحتياطي.

الحل:

دائما نثبت مواقع الآبار أو مواقع النمذجة لشبكة حفر الآبار على طول مسارات محددة Travers تقع ضمن منطقة الدراسة وتكون متوازية مع بعضها تفصل بينهما مسافات معينة. كل مسار من هذه المسارات يحتوي على عدد من الآبار الموجبة. طريقة المقاطع تتطلب تحديد مقطع عرضي يقطع الجسم المعدني على طول المسار الذي يحتوي على عدد من الآبار ضمن ذلك المقطع ويتم تحديد عمق المقطع العرضي وسمكه على ضوء معطيات نتائج الآبار الذي يحتويها. وهكذا بالنسبة لبقية المسارات المتوازية ويقدر احتياطي الترسبات المعدنية في كل قاطع Block ويقع بين مقطعين (Two cross- section) تفصل بينهما المسافة على الأرض حسب مقياس رسم الخارطة. يتم جمع احتياطيات القواطع التي تمثل مجمل احتياطي ترسبات فلز الحديد في المنطقة ويتبع في الحل الخطوات التالية:-

1- تثبت مسارات المقاطع (Section Travers) كما في الشكل رقم (36-4) وهي تمثل سبعة مقاطع S_1، S_2، S_3، S_4، S_5، S_6، S_7 وتقاس المسافات التي تفصل بينهما حسب مقياس رسم الخارطة وهي:-

$S_1 - S_2$ = 18 متر

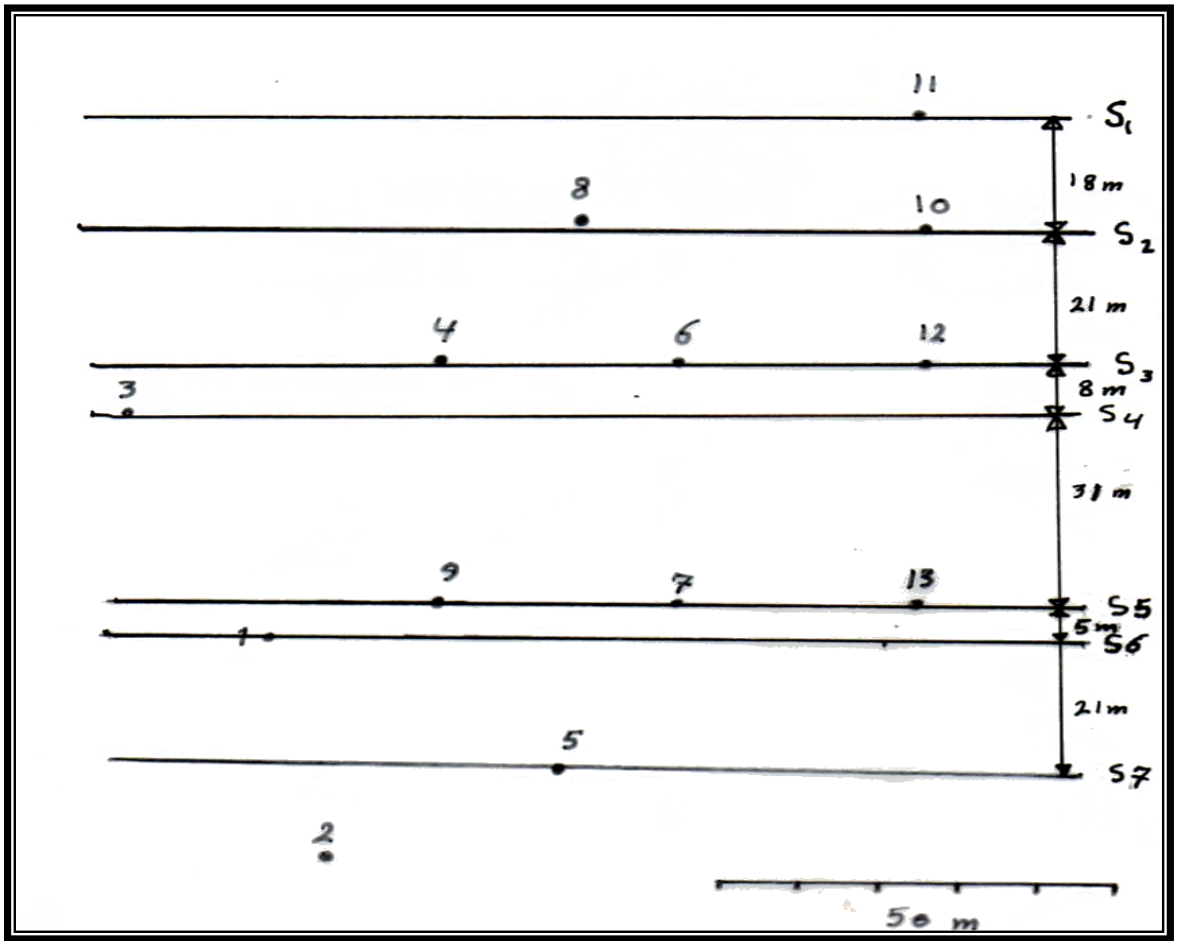
$S_2 - S_3$ = 21 متر

$S_3 - S_4$ = 8 متر

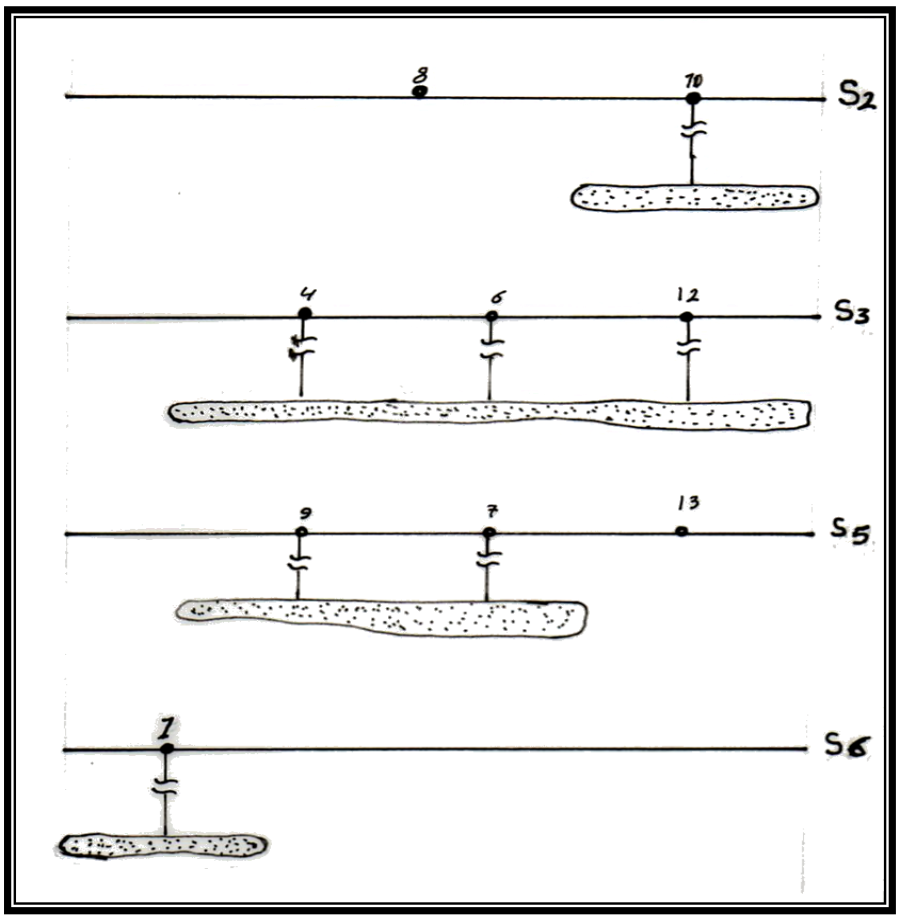
$S_4 - S_5$ = 31 متر

$S_5 - S_6$ = 5 متر

$S_6 - S_7$ = 21 متر



شكل رقم (36-4) مسارات profiles لمواقع الآبار الاستكشافية تستخدم لتقدير احتياطيات الترسبات المعدنية بطريقة المقاطع



شكل رقم (37–4) تقدير احتياطي الترسبات المعدنية بطريقة المقاطع Cross – Section

2- ترسم مقاطع للجسم المعدني على امتداد كل مسار يحتوي على الآبار الموجبة وقد تم استبعاد الآبار السالبة كما في الشكل رقم (37–4) وتم الاعتماد على مقياس الرسم لكل مسار لغرض حساب المساحة والعمق لكل مقطع اما المسافة بين المقاطع فتم رسمها بدون مقياس رسم لغرض الايضاح وفرز كل مقطع على حدة ولعدم حصول تداخل بينهما. (Over Lap).

3- تعتمد قاعدة تنصيف المسافات بين الآبار المتجاورة لكل مسار كحدود لمدى تأثير الآبار حولها ولغرض حساب مساحة تأثير كل بئر.

4- تحسب مساحة كل مقطع حول كل بئر لكل مسار بضرب السمك للترسبات المعدنية في امتداد تأثيرها حول موقع البئر.

5- يحسب معدل سمك الترسبات باستخدام نتائج الآبار كافة وحسب المعادلة: $Ar.T = \frac{\Sigma T}{n} = 4.5m$

6- تحسب درجة تركيز الخام في كل مقطع باستخدام درجة تركيز الخام لكل بئر ومساحة امتداد تأثيره وكما يلي : معدل درجة تركيز خام الحديد $= \frac{\Sigma G * Area}{\Sigma Area}$

7- تنظم نتائج الحسابات كما في الجدول رقم (23 – 4).

8- يحسب حجم خام النحاس بين كل مقطعين باستخدام قانون إيجاد الحجوم للأجسام الناقصة ملحق رقم (1) واستخدم هنا القانون التالي لسهولة تطبيقه:- $V = \frac{D}{3}(A_1 + A_2)\sqrt{A_1 A_2}$

V = الحجم

D = المساحة بين مقطعين

A_1 = مساحة المقطع الأول

A_2 = مساحة المقطع الثاني

9- تحسب كميات الخام واحتياطي فلز الحديد بين مقطعين باستخدام نتائج الفقرات 4، 5 و7 والكثافة هي 2.5 طن/م^3 تجمع الاحتياطيات بين المقاطع لنحصل على اجمالي احتياطي فلز الحديد كما موضح في الجدول رقم (23–4)

جدول رقم (23–4) نتائج حساب الاحتياطي بطريقة المقاطع

Block	Section	Hole No.	Area (m^2)	Grad F%	G * A	Distance (m)	Tonnage Ore (Ton)	Tonnage Fe (Ton)	
	S_2	10	200	30.0	6000				$Averag\,G=\frac{\Sigma G*A}{\Sigma A}=30.^0 d_0$
	S_3	12	175	45.0	7875				
		6	125	40.0	5000				
		4	185	30.0	5550				
	S_3	Total	485	37.9	18425				$Averag\,G=\frac{\Sigma G*A}{\Sigma A}=37.9$
$S_2 - S_3$		Total	685	35.6	24425	18	14946.5	5320.9	$Averag\,G=\frac{\Sigma G*A}{\Sigma A}=35.6\%$
	S_3	---	485	37.9	18425				
	S_5	7	225	35.0	7875.0				
		9	210	35.0	7350.0				
	S_5	Total	435	35.0	15225.0				$Averag\,G=\frac{15225}{435}=35\%$
$S_3 - S_5$		Total	920	36.5	33650.0	39	4482.9	16362.2	$Averag\,G=36.5\%$
	S_5	---	435	35.0	15225.0	---	---	---	
	S_6	1	150	25.0	3750.0	---	---	---	$Averag\ Grade=\frac{3750}{150}=25\%$
$S_5 - S_6$	Total		585	32.4	18975	5.0	3501.8	1134.6	$Averag\ Grade=\frac{18975}{585}=32.4\%$
Total			685	35.2	24425		14946.5	5320.9	$Averag\ Grade=\frac{77050}{2190}=35.2\%$
			920		33650		4482.9	16362.2	
			585		18975		3501.8	1134.6	
			2190		77050		63276.2	22817.7	

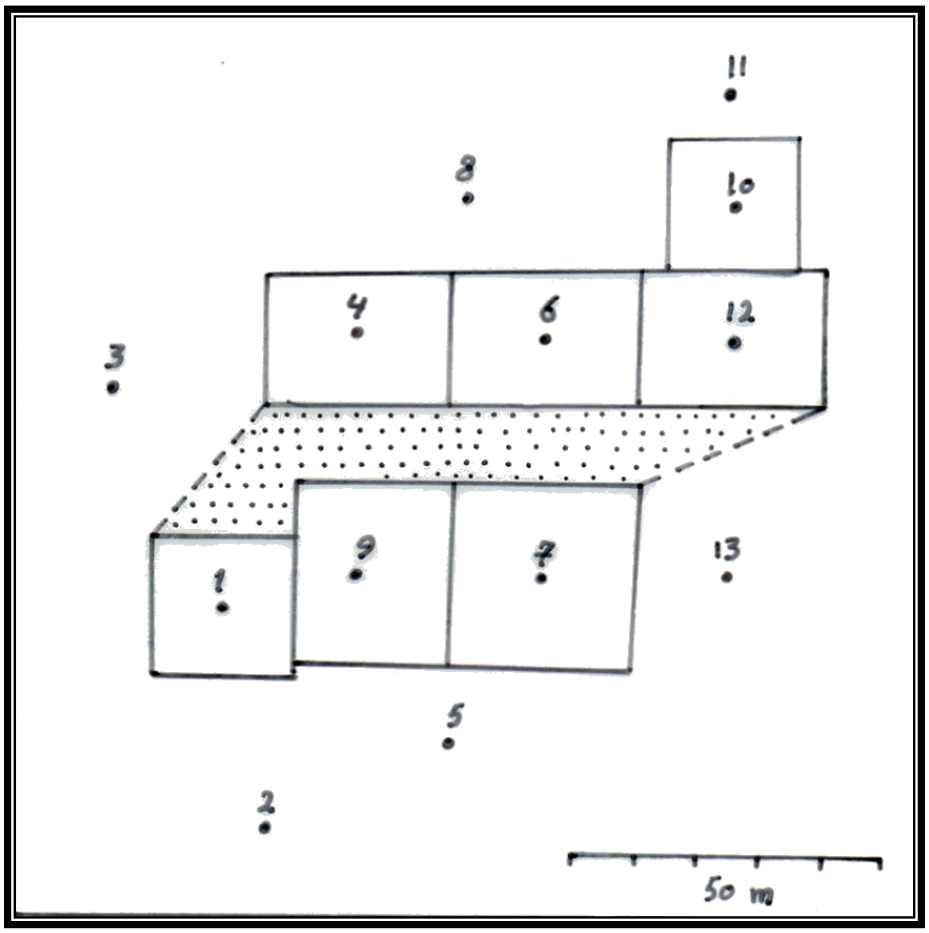
مثال تطبيقي رقم (24–4) طريقة المقاطع ذات التأثير المنتظم

استخدم خارطة الآبار الاستكشافية في الشكل رقم (32–4) ونتائج الآبار في الجدول رقم (4 – 17) لتقدير احتياطي خام الحديد في المنطقة المذكور واتبع في ذلك طريقة القواطع ذات التأثير المنتظم لتقدير الاحتياطي.

الحل : تعمد طريقة القواطع ذات التأثير المنتظم على ان يكون مساحة تأثير قيم الآبار تمتد بمسافة منتظمة حول البئر وبما ان مواقع الآبار موزعة بشكل شبه منتظم فهذا يعني انه سوف يتم ترك جزء من منطقة الترسبات خارج مساحة تأثير مواقع الآبار وفي هذه الحالة نتبع في الحل الخطوات التالية :

1- يتم أولا اختيار الشكل الهندسي الملائم لتمثيل مدى تأثير موقع البئر كأن يكون على شكل دائرة أو مربع أو مستطيل نحدد على ضوء طبيعة توزيع شبكة مواقع الآبار وخبرة الجيولوجي القائم بعملية التقدير وهنا تم اختيار شكلين هو المستطيل والمربع لتمثيل مساحة مدى التأثير لمواقع الآبار كما في الشكل رقم (38–4).

2- يمثل معدل السمك ومعدل درجة التركيز لكل قاطع قيمة البئر الواقع ضمن ذلك القاطع سواء كان البئر في المنتصف أو ضمن محيط ذلك القاطع.



شكل رقم (38 – 4) تقدير احتياطي الترسبات بطريقة القواطع منتظمة التأثير

جدول رقم (24-4) حساب تقدير الاحتياطي بطريقة القواطع منتظمة التأثير

Hole No.	Black No.	Area A (m^2)	Thickness T (m)	T*A	Grade Fe (%)	T*A*G	Tonnage Ore (Ton)	Tonnage Fe (Ton)
4	4	615	3.5	2152.5	30.0	64575.0	5381.25	1614.37
6	6	615	4.5	2767.5	40.0	110700.0	6918.75	2767.5
10	10	410	3.0	1230.0	30.0	36900.0	3075.0	922.5
12	12	620	5.0	3100.0	45.0	139500.0	7750.0	3487.5
9	9	750	8.0	6000.0	35.0	210000.0	15000.0	5250.0
7	7	900	4.5	4050.0	35.0	141750.0	10125.0	3543.75
1	1	500	3.0	1500.0	25.0	3750.0	3750.0	937.5
Total		4410	31.5	20800.0		740925	52000.0	18523.12

يمثل الاحتياطي الموضح Indicated

معدل سمك الترسبات = $\frac{\Sigma T * A}{\Sigma A} = \frac{20800}{4410} = 4.7$ متر

معدل درجة تركيز الحديد = $\frac{\Sigma T * A * G}{\Sigma T * A} = \frac{740925}{20800} = 35.6\%$ حديد

3- تحسب مساحة كل قاطع باستخدام طرق قياس المساحات المتبعة.

4- يحسب احتياطي فلز الحديد لكل قاطع بواسطة ضرب مساحة القاطع في السمك في الكثافة في درجة تركيز الفلز لذلك القاطع وتنظم النتائج كما في الجدول رقم (24-4).

5- تجمع احتياطات القواطع ويمثل مجمل احتياطي الترسبات المعدنية ومجمل احتياطي فلز الحديد. هذا الاحتياطي يمثل الاحتياطي من صنف الموضح (Indicated) الذي يستند على نمذجة من ثلاث جهات ومعطيات انتاج.

6- أما عن الاحتياطي المتبقي في المنطقة التي تقع خارج نطاق تأثير قيم الآبار (خارج منطقة القواطع) كما في الشكل (38-4) فهو يمثل الاحتياطي من صنف الاحتياطي المستدل (Inferred) وهو احتياطي يضاف إلى الاحتياطي الرئيسي (الموضح) ويحسب حسب الخطوات التالية:

أ- يتم تحديد منطقة الاحتياطي المستدل للمنطقة الواقعة بين قواطع مدى التأثير للابار كما في الشكل (38-4).

ب-تحسب المساحة لهذا الاحتياطي والتي تساوي (1300 م^2).

ج–معدل السمك لهذه المنطقة يمثل معدل سمك الترسبات الكلي ويساوي (4.5 م).

د– معدل درجة تركيز الحديد تمثل المعدل العام لدرجة تركيز الحديد في الترسبات وتساوي 35.3%.

هـ– الكثافة هي نفسها وتساوي 2.5 طن/م^3.

و– يحسب الاحتياطي المستدل حسب المعادلة العامة لتقدير احتياطي الترسبات وهو الاحتياطي المستدل = المساحة × معدل السمك × الكثافة

= 1300 × 4.5 × 2.5 = 14625 طن

احتياطي الحديد = 14625 × 35.3 = 5191.8 طن حديد

يكون مجمل احتياطي الحديد في المنطقة هو حاصل جمع الاحتياطي الموضح + الاحتياطي المستدل

الاحتياطي الاجمالي للترسبات المعدنية في المنطقة = 52000 + 14625 = 66625 طن

احتياطي فلز الحديد الاجمالي في المنطقة = 18523.12 + 5191.8 = 23714.92 طن حديد

مثال تطبيقي رقم (25–4) طريقة المثلثات

استخدم خارطة الآبار الاستكشافية في الشكل رقم (32–4) ونتائج الآبار في الجدول رقم (17–4) لتقدي احتياطي خام الحديد في المنطقة المذكورة واتبع في ذلك طريقة المثلثات لتقدير الاحتياطي.

الحل:

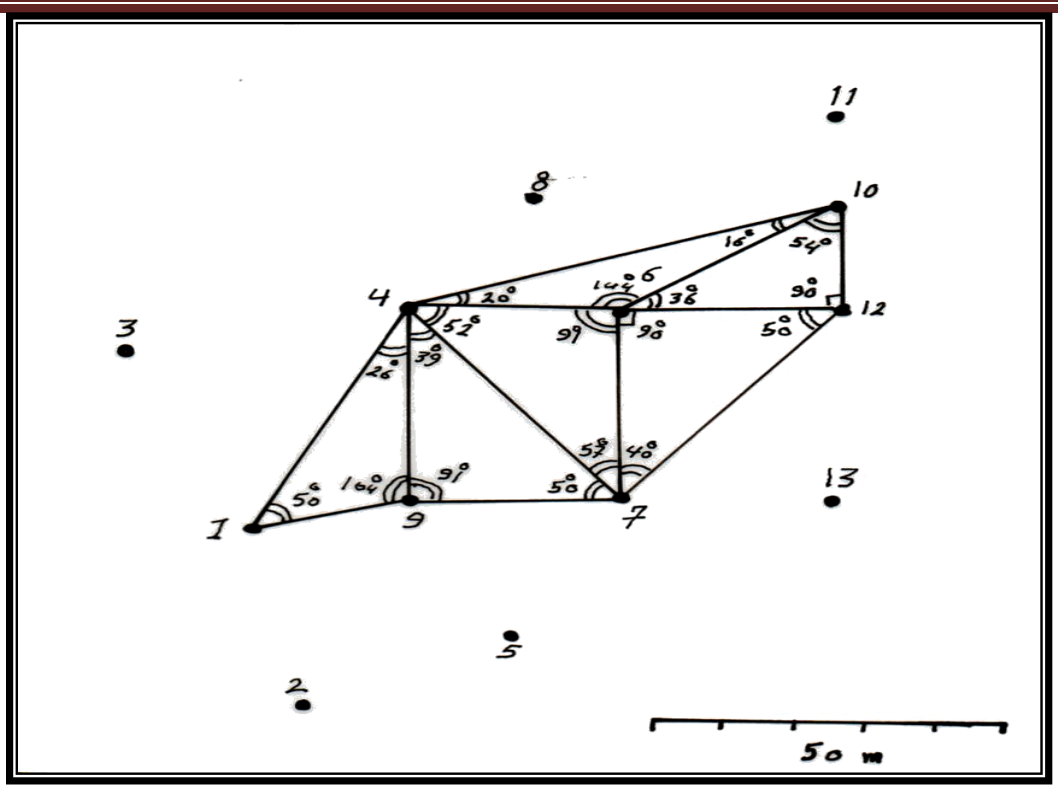
تعتمد طريقة تقدير الاحتياطي بطريقة المثلثات على تصميم القواطع المثلثة بحيث تشكل مواقع الآبار رؤوس المثلثات، إذا كانت المثلثات الناتجة مختلفة الأضلاع فيتطلب قياس زوايا كل مثلث لإيجاد معامل التصحيح إذا ان قيمة البئر ذات الزاوية الكبيرة تؤثر تأثيرا كبيرا على مدى تأثير النتائج للقيم الباقية وهذا يتطلب التصحيح. وإذا كانت المثلثات متساوية الأضلاع فلا يتوجب إجراء هذه الخطوة والاكتفاء فقط بقياس المسافة. في هذه المسالة شبكة توزيع الآبار شبه منتظمة لذلك فان شكل المثلثات غير متساوية الأضلاع و يتبع في الحل الخطوات التالية:–

1– تصميم المثلثات التي تشكل الآبار رؤوسها للقيم الموجبة فقط كما في شكل رقم (39–4) .

2– تقاس زوايا كل مثلث و تنظيم النتائج كما في الجدول المرقم (25–4).

3– يحسب معامل التصحيح باستخدام المعادلة.

$$\text{معامل التصحيح} = \frac{\text{زاوية رأس المثلث}}{60^0}$$



شكل رقم (39-4) تقدير احتياطي الترسبات المعدنية بطريقة المثلثات

4- تحسب مساحة كل مثلث بإحدى طرق قياس المساحات ويفضل استخدام الطرق الرياضية كما في الملحق رقم (1).

5- معدل السمك ومعدل درجة تركيز الفلز يحسب من نتائج الآبار الثلاثة التي تمثل رؤوس المثلث.

6- يحسب احتياطي الترسبات المعدنية واحتياطي فلز الحديد لكل مثلث من خلال ضرب مساحة لكل مثلث في معدل السمك في الكثافة في معدل درجة تركيز الفلز لذلك المثلث كما في الجدول رقم (4-25).

7- تصحح النتائج كما في النصف الثاني من الجدول أعلاه بضرب معامل التصحيح في السمك لذلك البئر.

8- يعاد احتساب احتياطي الترسبات المعدنية المصححة واحتياطي فلز الحديد المصحح لكل مثلث من خلال ضرب المساحة لكل مثلث في معدل السمك المصحح في الكثافة في معدل درجة تركيز الحديد المصححة.

9- تجمع نتائج احتياطيات المثلثات كافة ويمثل المجموع مجمل احتياطي الترسبات المعدنية المصححة وغير المصححة واحتياطي فلز الحديد المصحح وغير المصحح كما في الجدول رقم (4-26).

جدول رقم (25-4)

حساب الاحتياطي بطريقة المثلثات

Triangle	Area (A) (m^2)	Hole No.	Uncorreted Thickness (T) (m)	Grade (G) %	G*T	Uncorreted Tonnage (Ore) (Ton)	Uncorreted Tonnage (Fe) (Ton)	Correted factor	Correted Thickness (T_c) (m)	$G*T_c$	Corrected Tonnes Ore (Ton)	Corrected TonnesFe (Ton)
10-12-6	330	10	3.0	30.0	90			54/60	2.7	81.0		
		12	5.0	45.0	225			50/60	7.5	337.5		
		6	4.5	40.0	180			36/60	2.7	108.0		
		Average T = 11.5/3 = 3.8 m Average G = 495/12.5 = 39.6%						Average T_c = 12.913 = 4.3 Average G_c = 526.5/12.9 = 40.8%				
Total			12.5		495	3135.0	1241.5	16/60	12.9	526.5	3547.5	1447.4
10-6-4	340	10	3.0	30.0	90			144/60	0.80	14.0		
		6	4.5	40.0	180			20/60	10.8	432.0		
		4	3.5	30.0	105				1.16	35.0		
		Average T = 11.0/3 = 3.7 m Average G = 375/11.0 = 34.0%						Average T_c =12.76/3 = 4.2 m Average G_c = 491/12.76 =38.47%				
Total			11.0		375	3145.0	1069.3		12.76	491	3570	1373.3
		4	3.5	30.0	105.0			39/60	2.27	68.1		
		7	4.5	35.0	157.5			50/60	3.75	131.2		
		9	8.0	35.0	280.0			91/60	12.1	423.5		
4-7-9	660	Average T = 16.5/3 = 5.4 m Average G = 542.5/16.5 = 33.9%						Average T_c = 18.1/3 = 6.5m Average G_c = 622.8/18 = 34.4%				

Triangle	Area (A) (m^2)	Hole No.	Uncorreted Thickness (T) (m)	Grade (G) %	G*T	Uncorreted Tonnage (Ore) (Ton)	Uncorreted Tonnage (Fe) (Ton)	Correted factor	Correted Thickness (T_c) (m)	G*T_c	Corrected Tonnes Ore (Ton)	Corrected TonnesFe (Ton)
Total			16.0	542.5		8100.0	2745.9	26/60	18.1	622.8	9000.0	3096.0
4-7-9	380	4	3.5	30.0	105.0			50/60	1.5	45.0		
		1	3.0	25.0	75.0			100/60	2.5	62.5		
		9	8.0	35.0	280.01				13.5	472.5		
		Average T = 14.0/3 = 4.8 m Average G = 460/14.5 = 31.7%						Average T_c =17.8/3= 5.9 m Average G_c = 580/17.8 =32.58%				
Total			14.5		460.0	4560.0	1445.5		17.8	580.0	5605.0	1826.1
13-6-7	660	12	5.0	45.0	225.0			50/60	4.2	189.0		
		6	4.5	40.0	180.0			90/60	6.75	270.0		
		7	4.5	35.0	157.5			40/60	3.01	105.5		
		Average T = 14.0/3 = 4.7 m Average G = 562.5/14 = 40.1%						Average T_c = 13.96/3 = 4.65 Average G_c = 564.5/13.96 = 40.4%				
Total			14.0		562.5	7050.0	2827.0		13.96	564.5	6975.0	2817.9
6-4-7	520	6	4.5	40.0	180.0			91/60	6.8	272.0		
		4	3.5	30.0	105.0			52/60	3.0	90.0		
		7	4.5	35.0	157.5			37/60	2.77	96.95		
		Average T = 12.5/3= 4.17 m Average G = 442.5/12.5 = 35.4%						Average T_c =12.57/3= 4.19 m Average G_c = 458.95/12.57 =36.57%				
Total			12.5			5421.0	1919.0		12.57	458.95	5447.0	1988.1

جدول رقم (26–4) تقدير الاحتياطي الاجمالي بطريقة المثلثات قبل التصحيح وبعد التصحيح

المنبعث	المساحة A ($م^2$)	معدل السمك T M^2	T*A	معدل درة التركيز Grade G%	G*T*A	الاحتياطي الكلي خام (طن)	احتياطي كلي حديد (طن)	معدل السمك المصحح T_c m	معدل التركيز المصحح Grade G_c%	T_c*A	G_c*T_c*A	احتياطي مصحح خام (طن)	احتياطي جديد مصحح (طن)
10–12–6	330	3.8	1254.0	39.6	49658.4	3135.0	1241.5	4.3	40.8	1419.0	47895.2	3547.5	1447.4
10–6–4	340	3.7	1258.0	34.0	42772.0	3145.0	1069.3	4.2	38.47	1428.0	54935.16	3570.0	1373.3
12–6–7	600	4.7	282.0	40.1	113082.0	7050.0	2827.0	4.65	40.4	2790	112716.0	6975.0	2817.9
6–4–7	520	4.17	2168.4	35.4	7661.36	5421.0	1919.0	4.19	36.5	2178.8	79526.2	5447.0	1988.1
6–7–9	600	5.4	3240.0	33.9	109836.0	8100.0	2745.9	6.0	34.4	3600.0	123840.0	9000.0	3096.0
4–1–9	380	4.8	1824.0	31.7	57820.8	4560.0	1445.5	5.9	32.58	2242.0	73044.3	5605.0	1826.1
المجموع	2770	26.57	12564.4		449930.56	31411.0	11248.2	29.24		13657.8	491956.8	34144.5	12548.8

معدل السمك قبل التصحيح = $\frac{\sum T*A}{\sum A} = \frac{12564.4}{2770}$ = 4.5م

معدل درجة التركيز قبل التصحيح = $\frac{\sum G*T*A}{\sum T*A} = \frac{449930.56}{12564.4}$ = %35.8

معدل السمك المصحح = $\frac{\sum T_c*A}{\sum A} = \frac{13657.8}{2770}$ = 4.9م

معدل درجة التركيز المصححة = $\frac{\sum G_c*T_c*A}{\sum T_c*A} = \frac{491956.8}{13657.8}$ = %36.0

مقارنة نتائج حسابات الطرق المختلفة في تقدير احتياطي الترسبات المعدنية

تم تطبيق طرق مختلفة في تقدير احتياطي الترسبات المعدنية كما تم ذكره في الفقرة السابقة باستخدام نتائج ابار استكشافية لمنطقة محددة واحد لتقدير احتياطي فلز الحديد وقد أوضحت نتائج المقارنة كما في الجدول رقم (27-4) وكما يلي :

1- هناك تغايرات بسيطة وتفاوت نسبي في تقدير معدل درجة تركيز الترسبات المعدنية ومعدل السمك ويمكن القول ان النتائج كانت متطابقة.

2- هناك اختلاف جزئي وبسيط في تقدير احتياطي الترسبات المعدنية واحتياطي فلز الحديد ماعدا طريقة المثلثات التي اعطت اقل كمية مقدرة للاحتياطات والسبب في ذلك يعود إلى عدم وجود امتدادات لمساحة التأثير للآبار لأنها محدودة بالحدود الواصلة بين الآبار لذلك يعتبر التقدير بهذه الطريقة هو تقدير منخفض جدا (Underestimated) ولكن موثوقية النتائج بهذه الطريقة عالية جدا لعدم وجود مبدأ المجازفة في مدى تأثير موقع الآبار.

جدول رقم (27-4)

مقارنة نتائج حسابات طرق تقدير احتياطي الترسبات المعدنية

الطريقة	مساحة امتداد الترسبات م^2	معدل سمك الترسبات م	معدل درجة تركيز الحديد %	احتياطي الترسبات المعدنية (طن)	احتياطي فلز الحديد (طن)
الطريقة العامة	6000	4.5	35.3	74250.0	26210.25
طريقة تسأوي السمك	7800	4.5	35.3	76753.75	27093.8
طريقة القواطع المضلعة	6150	4.65	35.0	71562.5	25141.3
طريقة القواطع المنتظمة	6290	4.39	35.98	69043.5	24439.3
طريقة المقاطع	2190	4.5	35.2	63276.2	22817.7
طريقة القواطع ذات التأثير المنتظم	4410	4.7	35.6	66625	3714.9
طريقة المثلثات	2770	4.9	36.0	34144.5	12548.8

3- الطريقة العامة وطريقة تساوي السمك أعطت أعلى قيمة مقدرة للاحتياطات والسبب يعود إلى امتداد مساحة التأثير لمسافة بعيدة تمثل منتصف المسافة بين الآبار الموجبة والآبار السالبة وهذا يعطي مبالغة وتضخيم لمساحة الامتدادات لمدى التأثير للآبار.

4- درجة الموثوقية العالية بالنتائج ألمستحصلة كانت من قبل طريقة القواطع المضلعة لأنها محددة بامتدادات معقولة لمدى التأثير حول الآبار وهي طريقة سهلة وسريعة.

5- الطريقة الوحيدة والمعتمدة في معرفة القيمة الحقيقية للاحتياطي يتم ذلك في نهاية عملية الاستخراج ألمنجمي وبعد نفاذ كامل الاحتياطي الموقعي علما بأن كل طرق تقدير احتياطي

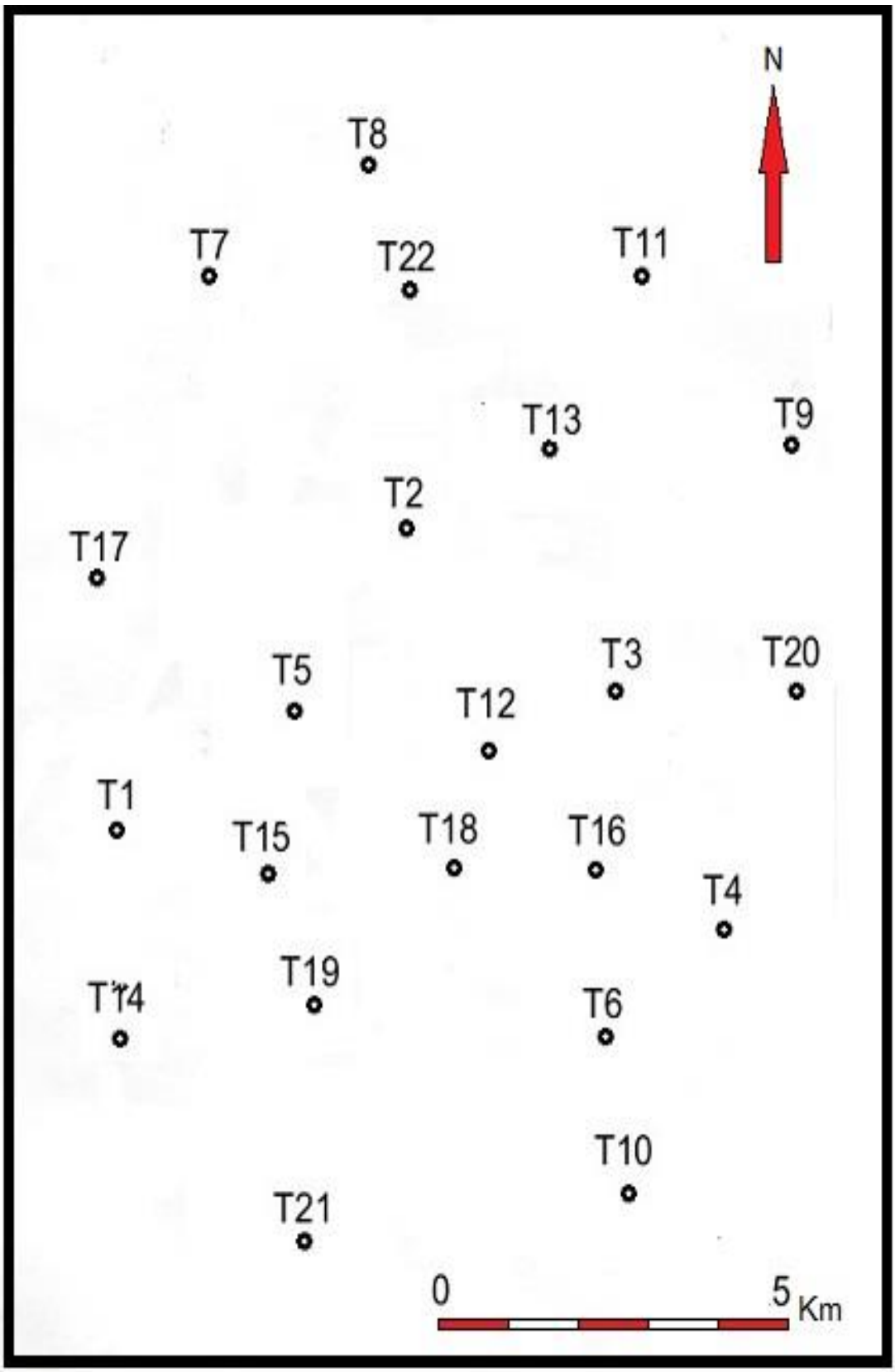
الترسبات المعدنية هي طرق تقديرية تختلف في درجة الدقة وموثوقية النتائج حسب الطريقة المستخدمة وكيفية التعامل مع الترسبات المعدنية وهي جميعا تعطي دليل على وجود ترسبات معدنية بحجم معين مخزونة في باطن الأرض بدرجة تركيز معينة التي تعطي إمكانية اتخاذ القرار المناسب للمضي قدما في القيام ببعض الأعمال الاستكشافية أو القيام بأجراء العمليات التعدينية واستغلال هذه الترسبات لإنتاج المعادن بقيمة اقتصادية مربحة.

مثال تطبيقي رقم (26-4)

تم رصد ترسبات معدنية لخام البوكسايت في احدى التخسفات Karst في منطقة صحراء غرب العراق. تم حفر مجموعة من الآبار الاستكشافية لتقييم هذه الترسبات كما في الشكل رقم (4-40)، حيث تتوزع الآبار بنظام شبكي شبه منتظم. النتائج الاستكشافية ألمستحصلة مدونة في جدول رقم (28-4)، علما بان حد القطع لدرجة التركيز الخام هو Al_2O_3 = 40%، كثافة خام البوكسايت يسأوي 2 gm/cm^3.

المطلوب

1- حساب احتياطي خام البوكسايت في هذه الخسفة باستخدام ثلاثة من طرق حساب الاحتياطي المعدني.
2- حساب الاحتياطي الفعال لمادة الالومينا Al_2O_3 في الخام.
3- حساب مقدار خام البوكسايت المستخرج بطريقة المنجم المفتوح open pit mine بكفاءة استخراج قدرها 85%.
4- احسب مقدار الالومينا المستخلصة من الخام بكفاءة استخلاص قدرها 80%.
5- احسب عمر المنجم اذا كان معدل استخراج الخام هو (1000) طن يومياً.
6- حساب حجم الغطاء الصخري Over burden.
7- حساب قيمة Stripping Ratio.



شبكة رقم (40-4) شبكة حفر الآبار الاستكشافية

جدول رقم (28-4)

نتائج الآبار الاستكشافية لخام البوكسايت

Sr. No.	B. H. No.	Depth to Ore (m.)	Ore Thick (m.)	Grade Al_2O_3 G%	Surface Eleva tion (m.)
1	T_1	8.0	6.0	30.50	335
2	T_2	15.0	4.8	54.80	250
3	T_3	11.0	5.0	50.00	300
4	T_4	10.5	5.0	25.85	330
5	T_5	11.0	4.5	45.50	285
6	T_6	7.0	3.6	50.60	280
7	T_7	7.5	8.0	30.00	340
8	T_8	7.5	6.0	30.00	320
9	T_9	7.5	2.0	30.50	335
10	T_{10}	6.0	2.0	32.00	315
11	T_{11}	8.5	3.0	31.50	340
12	T_{12}	15.0	5.5	55.50	240
13	T_{13}	10.0	3.8	45.80	245
14	T_{14}	8.5	4.0	32.00	420
15	T_{15}	10.5	4.6	45.60	280
16	T_{16}	9.0	3.0	45.00	290
17	T_{17}	8.0	8.0	25.00	340
18	T_{18}	14.0	5.2	55.20	250
19	T_{19}	10.0	2.8	45.80	300
20	T_{20}	8.0	3.0	35.00	350
21	T_{21}	8.5	6.0	32.00	340
22	T_{22}	10.0	2.3	45.30	280

الحل:

1- تؤشر قيم تراكيز الالومينا والسمك لكل بئر وتسقط على الخارطة لغرض معرفة طبيعة توزيع هذه التركيز مع تغايرات سمك خام البوكسايت.

2- تحديد امتدادات منطقة الترسبات الحاملة لخام البوكسايت حيث تستبعد الآبار التي تمتلك تراكيز الومينا اقل من 40%. شكل رقم (41-4)، الخط المتصل السميك الذي يمثل حدود امتدادات ترسبات خام البوكسايت.

3- تستخدم المعادلات التالية في حساب الاحتياطي المعدني

- احتياطي الترسبات المعدنية (طن) = مساحة الامتداد (م^2) × معدل السمك (م) × معدل الكثافة (طن/م^3).
- احتياطي الفلز أو المعدن (طن) = $\frac{\text{احتياطي الترسبات المعدنية} \times \text{معدل درجة التركيز \%}}{100}$

- معدل سمك الترسبات = $\frac{\sum T\,A}{\sum A} = \frac{\text{مجموع (مساحة القاطع} \times \text{السمك لكل قاطع)}}{\text{مجموع مساحة القواطع}}$

- معدل درجة تركيز المعدن أو الفلز = $\frac{\sum GT\,A}{\sum T\,A}$

4- يتم حساب الاحتياطي ودرجة التركيز باستخدام ثلاث طرق وكما يلي:-

1- <u>حساب الاحتياطي باستخدام الطريقة العامة</u>

تحسب مساحة الترسبات المعدنية لخام البوكسايت داخل حدود التمعدن باستخدام ورق بياني ومقياس رسم الخارطة من الشكل رقم (41-4) الخط السميك المتصل، وتنظم النتائج كما في الجدول رقم (29-4)

مساحة الترسبات المعدنية = 12200 m^2

معدل السمك = $\frac{\sum T}{n} = \frac{45.1}{11} = 4.1$ m

معدل درجة الخام من Al_2O_3 = $\frac{\sum GT}{\sum T} = \frac{2243.47}{45.1} = 49.7\%$

احتياطي الخام = 12200 × 4.1 × 2 = 100,040 طن

احتياطي Al_2O_3 = $\frac{49.7 \times 100040}{100}$ = 49720 طن الومينا

جدول رقم (29-4)

حساب الاحتياطي بالطريقة العامة

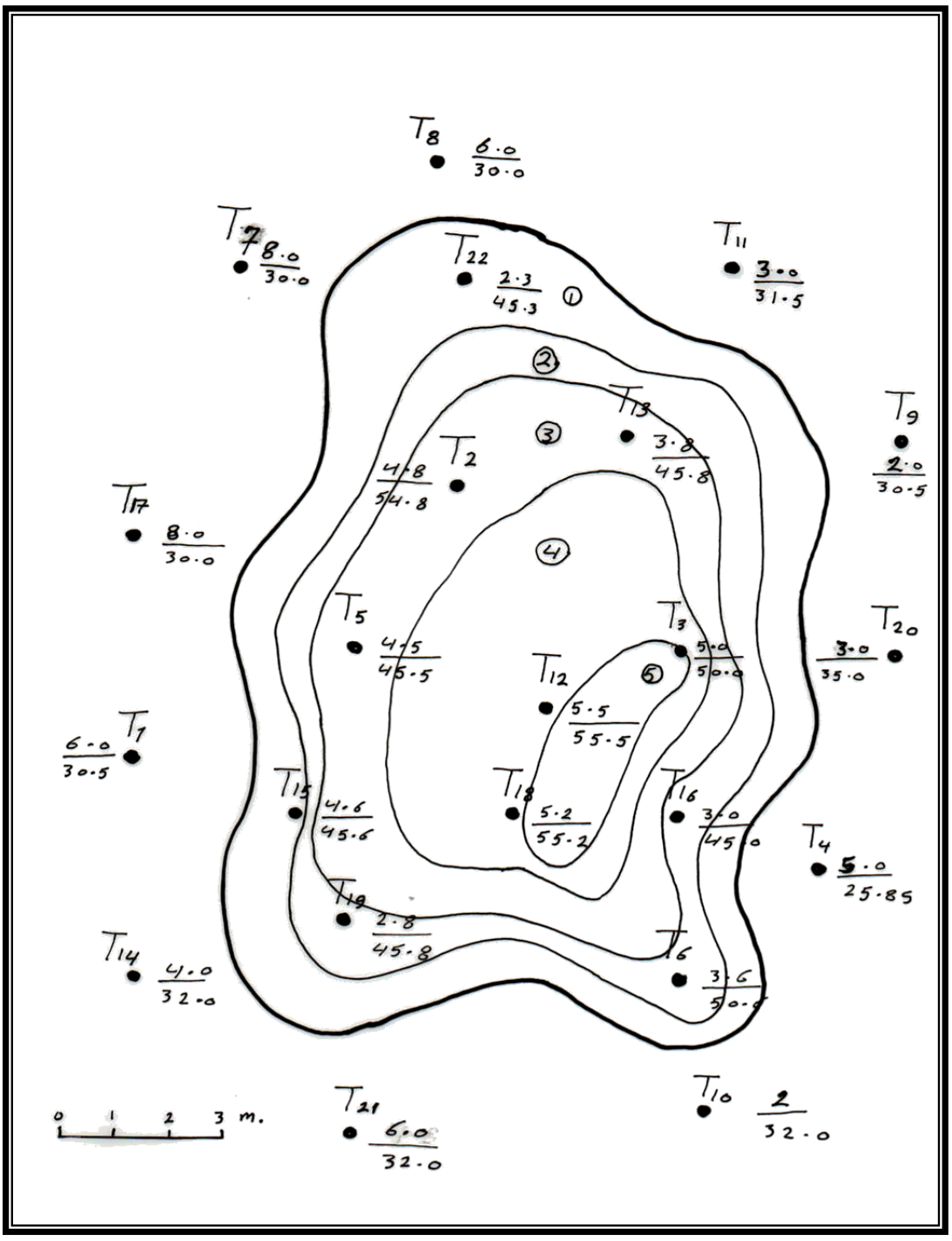
Ser. No.	B. H. No.	Thickness T_m.	Grade (G) %	G T
1	T_{22}	2.3	45.30	104.19
2	T_{13}	3.8	45.80	174.04
3	T_2	4.8	54.80	263.04
4	T_5	4.5	45.50	204.75
5	T_{12}	5.5	55.50	305.25
6	T_3	5.0	50.00	250.00
7	T_{15}	4.6	45.60	209.76
8	T_{18}	5.2	55.20	287.04
9	T_{16}	3.0	45.00	135.00
10	T_{19}	2.8	45.80	128.24
11	T_6	3.6	50.60	182.16
		45.1		224347

2- <u>حساب الاحتياطي المعدني باستخدام طريقة تساوي السمك</u>

أ- ترسم الخطوط الكنتورية لتساوي السمك كما في الشكل رقم (41-4).

ب-يتم ترقيم المساحات الواقعة بين كل خطين لتساوي السمك، ويكون معدل كل قاطع يمثل معدل لكل خطين متجاورين.

ج-تحسب مساحة كل قاطع وتسجل النتائج كما في الجدول رقم (30-4). ويتم بعدها حساب كمية حساب المعدني لخام البوكسايت مع معدل درجة الالومينا.



شكل رقم (41-4) خارطة حدود ترسبات البوكسايت مع خطوط تساوي السمك

جدول رقم (30-4)

نتائج استخدام طريقة تساوي السمك Contouring Method

B. n. No.	رقم القاطع	Area $A(m^2)$	Av. Thick T(m)	TA	Au Gra de (G) %	GTA	Baur. Ore Tonnage	Al_2O_3 Tonnage
	1	3500	1.5	5250	45.0	236250	10500	4725
	2	2100	2.5	5250	47.5	249375	10500	4987
	3	2800	3.5	9800	50.0	490000	19600	9800
	4	2600	4.5	11700	50.7	593190	23400	11864
	5	600	5.0	3000	53.5	160500	6000	3210
المجموع		11600	17.0	35000		1729315	70000	34586

باستخدام طريقة تساوي السمك Contouring كانت النتائج كما يلي

أ- احتياطي خام البوكسايت = 70000 طن.

ب-احتياطي Al_2O_3 = 34586 طن.

ج-معدل درجة الخام Al_2O_3 = $\frac{\Sigma GTA}{\Sigma TA}$ = $\frac{1729315}{35000}$ = 49.4%

د- معدل سمك خام البوكسايت = $\frac{\Sigma TA}{\Sigma A}$ = $\frac{35000}{11600}$ = 3.0 lm. متر

هـ - ان الاحتياطي الذي من الممكن استخراجه =

$70000 \times 0.85 = 59500$ Tonne

و- كمية Al_2O_3 المستخلصة من الخام

$59500 \times 0.8 = 47600$ Tonn. Al_2O_3

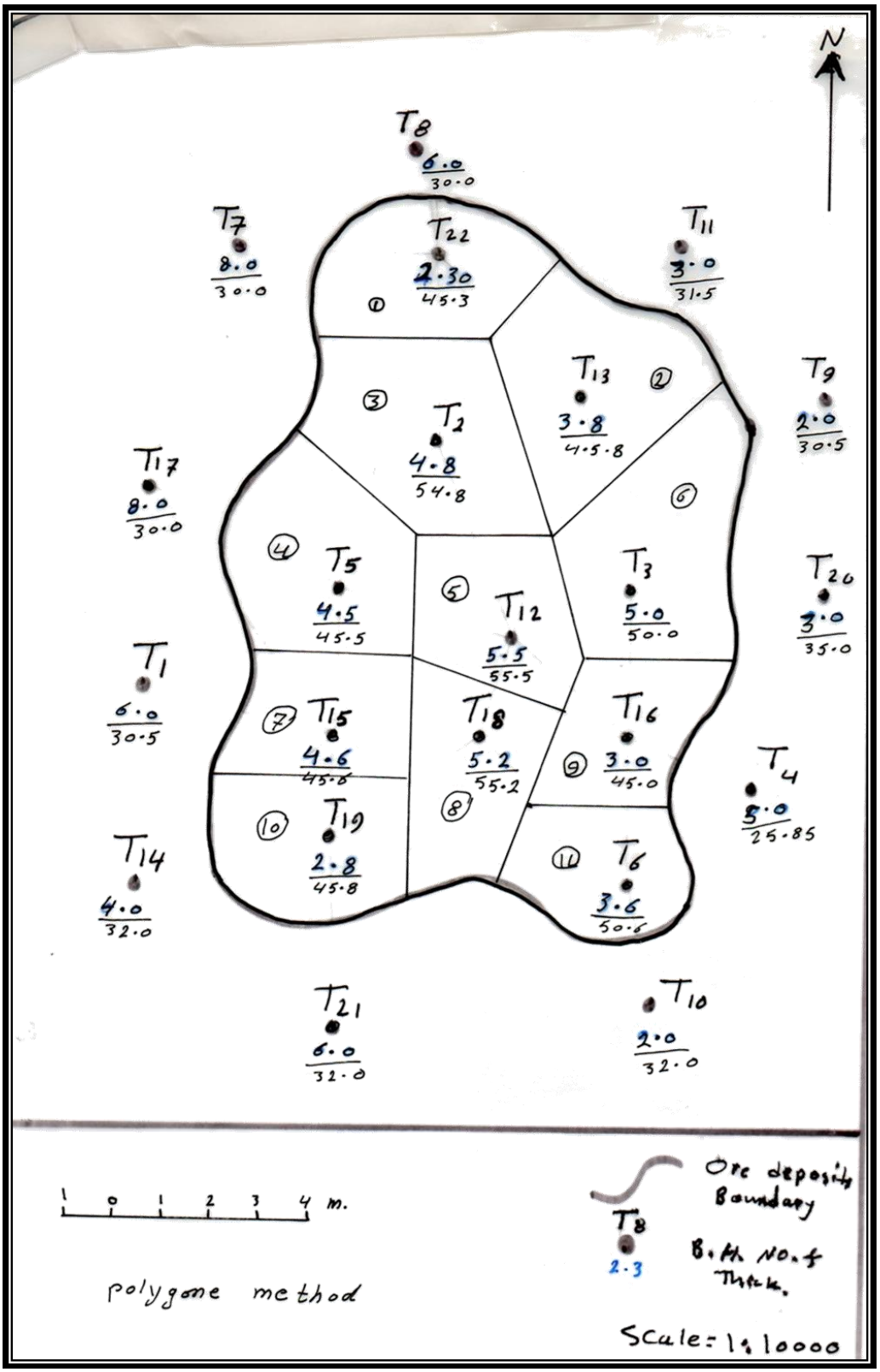
3- حساب الاحتياطي المعدني باستخدام طريقة القواطع

1- يتم تقسيم منطقة الترسبات إلى قواطع يمثل كل بئر مركز ذلك القاطع حسب طريقة عمل حساب الاحتياطي بطريقة القواطع.

2- ترقم القواطع لغرض تمييزها شكل رقم (42-4).

3- تحسب مساحة كل قاطع، ثم تستخرج كمية الاحتياطي لكل قاطع وتسجل النتائج كما في الجدول رقم (31-4).

4- تستكمل بقية اجراءات حساب الاحتياطي الكلي لخام البوكسايت.



شكل رقم (42–4) خارطة حساب الاحتياطي باستخدام طريقة القواطع

جدول رقم (31-4)

نتائج استخدام القواطع غير المنتظمة Polygons

Ser. No.	B.H. No.	رقم القاطع	Block Area A (m^2)	Thick T (m.)	TA	Grade Al_2O_3 (G) %	GTA	Baux. Ore Tonne	Al_2O_3
1	T_{22}	1	1150	2.5	2875	45.30	1302375	5750	2605
2	T_{13}	2	1450	3.8	5510	45.80	252358	11020	5047
3	T_2	3	1500	4.8	7200	54.80	394560	14400	7891
4	T_5	4	1350	4.5	6075	45.50	2764125	12150	5528
5	T_{12}	5	1000	5.5	5500	55.50	305250	11000	6105
6	T_3	6	1400	5.0	7000	50.00	350000	14000	7000
7	T_{15}	7	900	4.6	4140	45.60	188780	8280	3775
8	T_{18}	8	1000	5.2	5200	55.20	287040	10400	5741
9	T_{16}	9	850	3.0	2550	45.00	114750	5100	2295
10	T_{19}	10	1000	2.8	2800	45.80	128240	5600	2565
11	T_6	11	850	3.6	3060	50.60	154836	6120	3097
			12450	45.3	51910		2582464	103820	51064 9

باستخدام طريقة القواطع غير المنتظمة، كانت النتائج كما في الجدول اعلاه

أ- احتياطي خام البوكسايت = 103820 طن

ب-احتياطي معدن Al_2O_3 = 51649 طن

ج-معدل درجة الخام من Al_2O_3 = $\frac{\sum GTA}{\sum A}$ = $\frac{2582464}{51910}$ = 49.7%

د- معدل سمك خام البوكسايت = $\frac{\sum TA}{\sum A}$ = $\frac{51910}{12450}$ = 4.16m

هـ-ان الاحتياطي من خام البوكسايت = 103820 طن وبما كفاءة الاستخراج هي 85% عليه فان الاحتياطي الذي ممكن استغلاله هو

$103820 \times 0.85 = 88247$ Tonne

ويتم ترك الكمية الباقية البالغة 15573 طن من محلها لعدم امكانية استخراجها اما كفاءة الاستخلاص المعملية فتبلغ 80% وعليه فان الكمية ألمستحصلة من الخام والمعالجة هي

$88247 \times 0.80 = 70597.6$ Tonne

وسوف يتم ترك كمية من الخام قدرها (17649) طن تترك من مخلفات عملية الاستخلاص.

وعليه تبلغ كمية الالومينا Al_2O_3 ألمستحصلة من هذه الكمية هي

$70597.6 \times 49.7 = 35087$ Tonne Al_2O_3

5- لغرض حساب عمر المنجم نختار الاحتياطي المحسوب بموجب احدى الطرق ولتكن الطرق العامة حيث يبلغ الاحتياطي المحسوب = 100.040 طن

عليه فان عمر المنجم = $\frac{\text{كمية الاحتياطي الكلي}}{\text{الإنتاج اليومي}}$

$$= \frac{100.040}{100} = 1000 \text{ طن تقريبا}$$

6- لغرض حساب حجم الغطاء الصخري الذي يقع فوق منطقة الترسبات وداخل الحدود الجيولوجية لامتدادات ترسبات خام البوكسايت يتم حساب ذلك بواسطة ضرب المساحة الكلية لامتدادات الترسبات في معدل سمك الغطاء الصخري

7 - معدل سمك الغطاء الصخري = $\frac{\sum Depth\ to\ ore}{\sum No.Of\ B.H.}$ = $\frac{\text{مجموع العمق للابار}}{\text{}}$

$$= \frac{211}{22} = 9.6 \text{ متر}$$

حجم الغطاء الصخري = مساحة امتداد الترسبات حسب الطريقة العامة × معدل السمك

= 12200 م^2 × 9.6 م = 117120 م^3 حجم الغطاء الصخري

7- لغرض حساب Striping Ratio

$$\text{Striping Ratio} = \frac{\text{حجم الغطاء الصخري}}{\text{حجم الخام الكلي}}$$

$$= \frac{117120}{12200 \times 4.1} = \frac{117120}{50020} = 2.3$$

نستنتج من هذه العلاقة بما انها اقل من (5) فان طريقة الاستخراج ألمنجمي الملائمة الاقتصادية هي طريقة المنجم المفتوح.

مثال اثرائي رقم (4-27)

تم حفر مجموعة من الآبار الاستكشافية في احدى المناطق لغرض تقييم ترسبات الحديد فيها، كما في الخارطة شكل رقم (4-43)، النتائج والمعطيات الاستكشافية ألمستحصلة من تلك الآبار كما مدونة في الجدول رقم (4-32). علما بان كثافة خام الحديد هي (2.6) كغم/سم^3

المطلوب:

1- تحديد امتدادات ترسبات الحديد في تلك المنطقة.

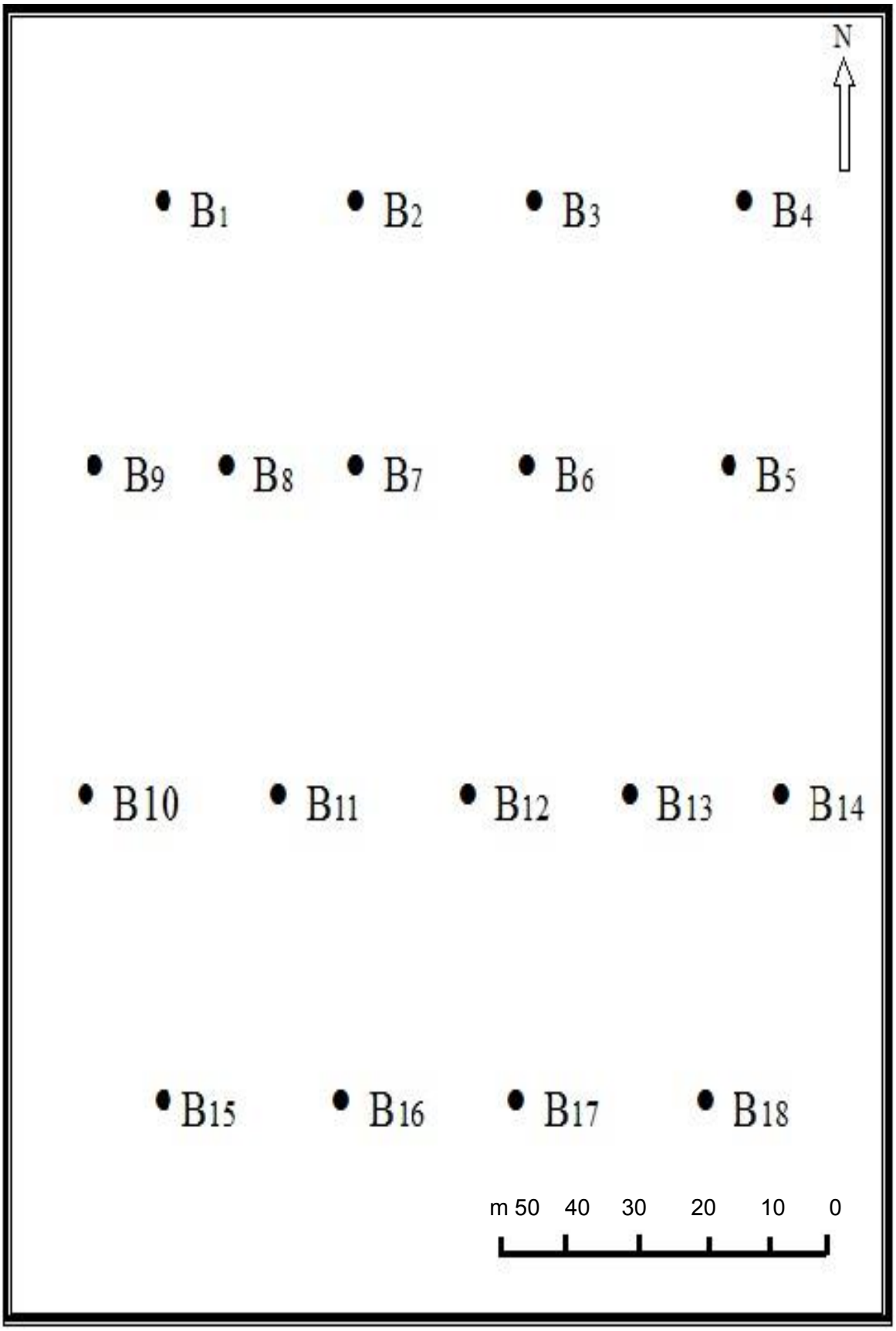
2- حساب كمية احتياطي خام الحديد في تلك المنطقة باستخدام الحدود الجيولوجية لترسبات الحديد باعتبارها حد القاطع للسمك.

3- حساب معدل درجة تركيز الحديد غي الخام Grade.

جدول رقم (4-32)

نتائج الآبار الاستكشافية

Ser.No.	B.H.No.	Thick.(m)	Ser.No.	B.H.No.	Thick.(m)
1	B1	0.00	10	B10	0.00
2	B2	11.87	11	B11	7.44
3	B3	9.77	12	B12	9.35
4	B4	0.00	13	B13	8.41
5	B5	0.00	14	B14	0.00
6	B6	0.00	15	B15	0.00
7	B7	10.50	16	B16	0.00
8	B8	6.49	17	B17	0.00
9	B9	0.00	18	B18	0.00



شكل رقم (43-4) خارطة توزيع الآبار

الفصـــــــل الخـــــــامس

المعالجة ألإحصائية لنتائج الاستكشاف المعدني

Geostatistical Processing of Data

(5-1) المقدمة:

تعتمد العلوم الجيولوجية التطبيقية بصورة كبيرة على الملاحظات والمشاهدات العينية والتحليلية في وصف خصائص ومميزات التكوينات والتراكيب الجيولوجية وكذلك الترسبات المعدنية، إن قسم كبير من الملاحظات والفرضيات تكون غير مؤكدة وتقع ضمن حدس وتخمين الجيولوجي اعتمادا على الرؤيا الجيولوجية وفهم لطبيعة نشوء وتكوين الترسبات المعدنية والتراكيب والظواهر الجيولوجية الأخرى.

أصبح الإحصاء في الوقت الحاضر أداة ووسيلة فعالة بيد الجيولوجي تساعده في الكشف على الغموض والشك الذي يرافق إعمال الاستكشاف والتقييم المعدني، إذ أصبح الإحصاء يسمى حاليا بالرياضيات التطبيقية وذلك لاستخداماته الواسعة في معالجة مختلف أنواع البيانات والمعلومات المستحصلة من مختلف مجالات العلوم الجيولوجية والمعارف العلمية الأخرى، بالإضافة إلى ذلك أصبحت الجيولوجيا ألإحصائية Geostatistics تسمى اليوم بالجيولوجيا الرياضية لأنها تعتبر المجال التطبيقي للجيولوجيا في إجراء مختلف أنواع الحسابات الرياضية والإحصائية لفهم وتحليل خصائص ومميزات المكونات الجيولوجية المتنوعة ويتم ذلك من خلال أجراء معالجة إحصائية للبيانات سواء كانت مستحصلة من عمليات الاستكشاف الحقلية أو من التحاليل المختبرية المختلفة.

بعض طرق المعالجات ألإحصائية تكون بسيطة في عرض البيانات والتي يمكن ان تعطي لنا معلومات مفيدة حول مميزات وخصائص الترسبات المعدنية مثلا أو أي مكون جيولوجي تحت الدراسة مثل البيانات الصورية أو الكمية أو على شكل منحنيات أو جداول تكرارية ....الخ علما ان استخدام هذه التقنية لا تأخذ بنظر الاعتبار التوزيع المكاني لمواقع النماذج والتي أصبح استخدامها محدود في الوقت الحاضر، في حين ان الطرق والحسابات ألإحصائية المتقدمة مثل حساب التباين (Semivariogram) تأخذ بنظر اعتبار التوزيع المكاني لمواقع النماذج والتي بها تصبح البيانات المستحصلة ذات القيمة وفائدة علمية توضح خصائص ومميزات أي مكون جيولوجي، وتعرض النتائج بثقة عالية وبدون اللجوء إلى عامل المجازفة والتخمين.

إن تقنية استخدام المعالجات ألإحصائية تقوم على أساس الحصول على بيانات ونتائج دقيقة من خلال معالجة مجموعة قليلة من قيم النماذج التي يتم الحصول عليها من دراسة جسم معدني أو مكون جيولوجي المطلوب إجراء تقييم معدني أو جيولوجي له، النتائج المستحصلة من المعالجات ألإحصائية ممكن ان تكون مؤشر سلبي أو ايجابي من ناحية الدراسات الجيولوجية والمعدنية وقد

تعطي الضوء الأخضر في المضي قدما نحو استكشاف الجسم المعدني أو الاكتفاء بما تم الحصول عليه إذا كانت النتائج غير مشجعة.

لتوضيح جانب من طبيعة الدراسات ألإحصائية، نفترض إن هناك جسم أو ترسبات معدنية، هناك قرار لاستكشاف وتقييم هذه الترسبات المعدنية من خلال حفر شبكة أبار لبابيه استكشافية محدودة العدد ومتناثرة في المنطقة المستهدفة لغرض الحصول على نماذج لبابيه تستخدم لتقييم هذه الترسبات . المعلومات الأولية التي من الممكن الحصول عليها هي سمك الترسبات المعدنية. عمقها عن سطح الأرض لكل بئر. لغرض معرفة سمك وعمق هذه الترسبات أو امتداداتها في مواقع جديدة يتوجب حفر أبار استكشافية جديدة. هذا غير ممكن من حيث الوقت المستغرق ويتطلب إضافة كلف اقتصادية جديدة، ان هدف اللجوء إلى المعالجات ألإحصائية للنتائج هو استخدام هذا العدد المحدود من الآبار المحفورة والنتائج المستحصلة منها في الاستدلال ودراسة الترسبات المعدنية في المواقع الجديدة بصورة دقيقة ومعقولية ومعرفة سمك وامتداد هذه الترسبات دون اللجوء إلى حفر أبار جديدة والنتائج المستحصلة تكون ذات دقة عالية بعيدا عن مبدأ التخمين والمجازفة بالتالي نتمكن من اختصار الوقت وتقليل الكلف لاقتصادية وهدر الأموال.

نستعرض في هذا الفصل الطرق ألإحصائية الأساسية المستخدمة في معالجة النتائج والبيانات الجيولوجية وهي على نوعين :-

1- المعالجات ألإحصائية غير المكانية Non- Spatial Statistics

هذا النوع من المعالجات ألإحصائية لا تأخذ بنظر الاعتبار الموقع المكاني للنموذج (إحداثيات النموذج) ضمن الجسم المعدني أو بالنسبة إلى موقع النماذج المجاورة والتي نفترض فيها ان شبكة حفر ألآبار عشوائية، أو إن مواقع النماذج أو الآبار يتم اختبارها على أساس طبيعية الترسبات أو طبوغرافية المنطقة، من الممكن أن تكون نتائج المعالجات ألإحصائية منحازة أو منحرفة باتجاه معين للنتائج (Bias) مثال على ذلك النتائج المنحرفة باتجاه السمك الكبير للجسم المعدني . من خصائص هذه المعالجات غير المكانية إن لها نزعة أو ميل للقيم المحسوبة لان تتركز أو تميل لان تتجمع حول الوسط الحسابي أو المعدل، إن القيم التي تتركز حولها البيانات تسمى مقاييس النزعة المركزية إما القيم التي تتباعد أو تنتشر بعيدا عن معدلها أو وسطها الحسابي تسمى مقاييس التشتت والاختلاف.

(5-2) التمثيل الصوري أو الخطي للتوزيع التكراري Frequency distribution

عندما يتم جمع بيانات أولية سواء كانت نماذج أو قراءات لدراسة ظاهره معينة، هذه القيم تعتبر بمثابة قراءات خام لا يمكن الاستفادة منها كما هي وهي على هذه الصورة، لذلك لابد من ترتيبها وتصنيفها بطريقة معينة لغرض تسهيل مهمة فهمها ومعالجتها بصورة مبسطة، ان فضل طريقة هي اللجوء إلى المعالجات ألإحصائية وذلك بإعادة توزيع هذه القيم أو النتائج إلى مجاميع أو فئات، ثم

تعيين عدد القيم التي تقع ضمن كل فئة، هذا الترتيب أو التنظيم يسمى بالتوزيع التكراري (Frequency distribution)، أو الجدول التكراري Frequency table.

مثال (1-5):

إذا كان لدينا قراءات تمثل أوزان (100) طالب من جامعة تكريت رتب جدول التوزيع التكراري لهؤلاء الطلبة باختبار خمسة فئات.

69	63	67	72	70	64	68	74	66	64
66	71	68	65	66	67	66	62	69	70
70	60	69	66	63	71	67	73	71	68
67	71	64	70	68	66	65	69	66	70
68	72	66	65	66	67	61	68	73	68
67	70	68	61	67	66	63	69	65	67
71	69	65	66	70	73	67	68	64	68
68	63	67	67	74	66	65	70	63	69
68	71	69	64	66	70	60	68	64	67
67	67	69	66	63	71	68	74	71	71

الحل: يتم إتباع الخطوات التالية لغرض ترتيب الجدول التكراري:-

أ- تحديد اعلى واقل قيمة ضمن أوزان الطلبة.

ب-إيجاد المدى Range والذي يمثل الفرق بين اعلى قيمة واقل قيمة

المدى = 74 – 60 = 14

ج- استخراج طول الفئة والذي يساوي $\frac{\text{المدى}}{\text{عدد الفئات}}$

∴ طول الفئة $= \frac{14}{5} = 2.8 \ \Omega \ 3$ يتم تعديل الرقم الى رقم صحيح يمثل طول الفئة = 3.

د- تعريف الفئات ابتداءاً من اقل قيمة للفئة الأولى وتنتهي بأعلى قيمة للفئة الخامسة.

هـ- يرتب جدول تكراري وكما يلي:-

الفئات	التكرار
60 – 62	5
63 – 65	18
66 – 68	42
69 – 71	27
72 – 74	8
المجموع	100

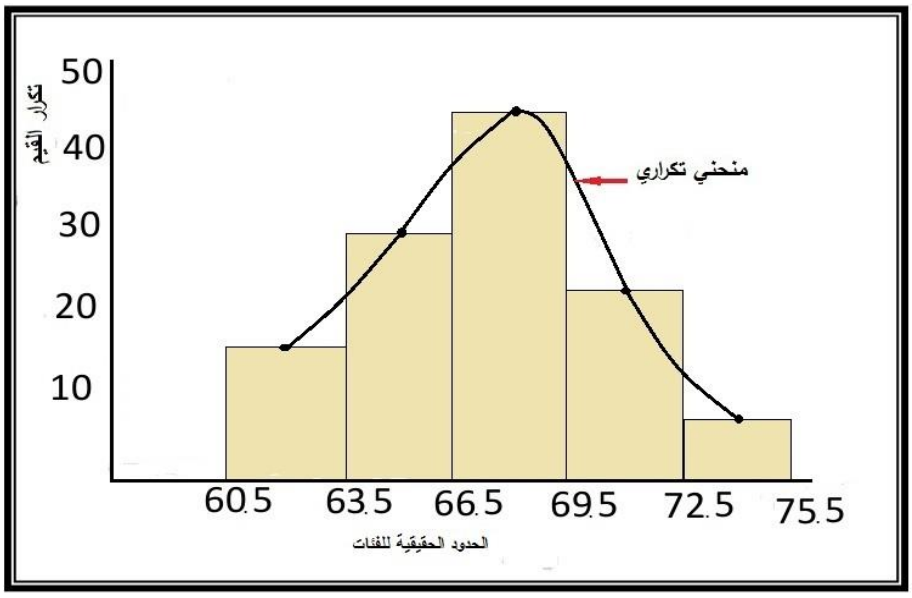
من الممكن عرض هذا التمثيل على شكل مرتسم لأعمدة Column والذي يسمى بالمدرج التكراري Histogram، حيث يتم عرض الفئات على المحور السيني وتعرض عدد التكرارات على المحور الصادي شكل رقم (1-5). يتم اختيار حدود الفئات اعتمادا على طبيعة توزيع القيم أو النتائج وكذلك تعتمد على اجتهاد وخبرة الجيولوجي القائم بالمعالجة ألإحصائية. من فوائد هذا التمثيل هو إعطاء صورة أولية عن طبيعة توزيع هذه القيم بصورة عامة ومدى تجانسها أو ارتباطها مع بعضها البعض، ان مساحة كل عمود تكراري يتناسب طردياً مع عدد التكرارات للقيم التي تقع ضمن كل فئة.

نقطة المنتصف في كل فئة تمثل معدل حدود الفئة وتسمى نقطة الوسط والتي يمكن على أساسها رسم المنحني التكراري عندما يتم إيصال جميع نقاط الوسط بخط متصل مع بعضها البعض (شكل 1-5). يتم استخدام ما يسمى بالحدود الحقيقية للفئات ويتم حساب الحدود الحقيقية للفئات بانها تمثل حاصل جم الحد الأعلى لأحد الفئات مع الحد الأدنى للفئة التي تليها مقسوما على (2) وكما في المثال السابق إن الحد الأعلى للفئة الأولى هو (62) والحد الأدنى للفئة هو (63) فيكون الحد الحقيقي الأعلى للفئة الأولى هو:- $\frac{62+63}{2}=62.5$

وأحيانا تكتب الفئات بالاعتماد على الحدود الحقيقية العليا للفئات وكما في الجدول التالي رقم (1-5)

جدول رقم (1-5)

الفئات	التكرار
59.5 – 62.5	5
62.5 – 65.5	18
65.5 – 68.5	42
68.5 – 71.5	27
71.5 – 74.5	8



شكل رقم (1-5) المدرج التكراري والمنحني التكراري

من فوائد اختيار الحدود الحقيقية للفئات هي تجاوز الغموض الذي يحصل عند توزيع القيم أو البيانات على الفئات وضمان عدم حصول تداخل القيم خاصة وجود كسور عشرية.

التوزيع التكراري النسبي Relative Frequency distribution

في بعض الأحيان يتم عرض بيانات الجدول التكراري على شكل نسبة مئوية وذلك يتم بقسمة التكرار لكل فئة على مجموع التكرار الكلي مضروبا في مئة، مثلا كما في المثال السابق ان التكرار النسبي للفئة 65 – 63 هو :- $\frac{18}{100} \times 100 = 18\%$

وهكذا بالنسبة لبقية الفئات حتى يتم اكتمال بناء جدول تكراري نسبي كما في الجدول (2-5). وهذا يعني ان 18% من الطلاب لهم أوزان ضمن (65 – 63) كغم.

جدول رقم (2-5) النسبة المئوية للفئات

الفئات	عدد النماذج	نسبة عدد النماذج %
60 – 62	**5**	**5/100 = 5%**
63 – 65	**18**	**18/100 = 18%**
66 – 68	**42**	**42/100 = 42%**
69 – 71	**27**	**27/100 = 27%**
72 – 74	**8**	**8/100 = 8%**
	100	

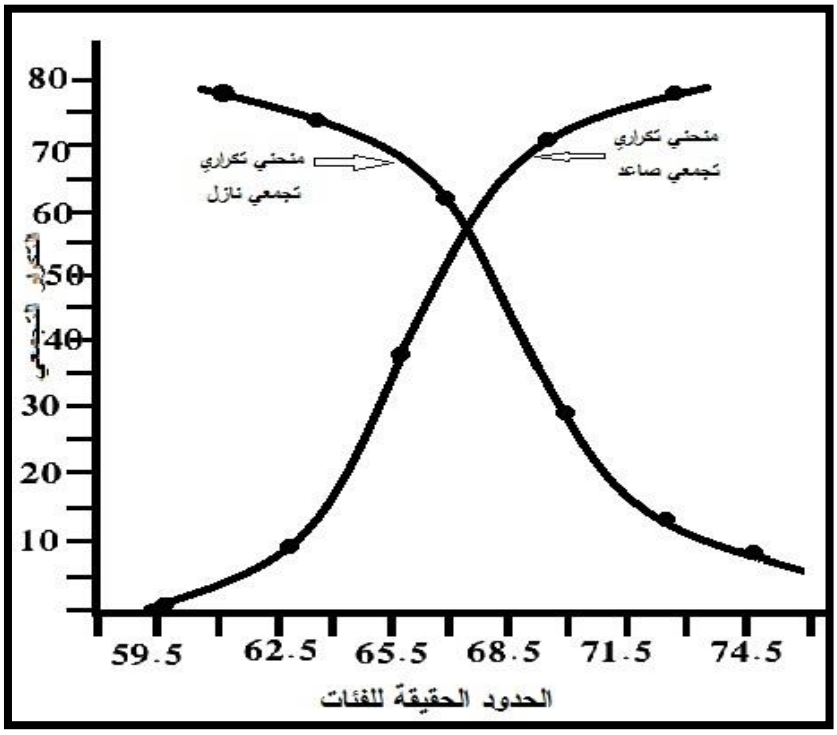
التوزيع التكراري ألتجمعي (الصاعد والنازل)Cumulative Frequency Distribution

هو عبارة عن تمثيل خطي يمثل نوع من المعالجات ألإحصائية للقيم والنتائج حيث يعرف التوزيع التكراري ألتجمعي بأنه حاصل جمع كافة التكرارات للبيانات التي تكون اقل من الحد الأعلى من للفئة الأخيرة. يسمى تكرار تجمعي صاعد في حالة جمع التكرارات للفئات ابتداءً من الفئات ذات القيم القليلة وانتهاءً بالفئات ذات القيم العالية وبالعكس يسمى تكرار تجمعي نازل اذا تم جمع التكرارات للفئات ابتداءً من الفئات ذات القيم العالية وانتهاء بالفئات ذات القيم الواطئة. الجدول الذي يعرض هذا التوزيع التكراري ألتجمعي يسمى الجدول المتجمع الصاعد أو الجدول المتجمع النازل جدول رقم (3-5).

جدول رقم (3-5) جدول تجمعي صاعد ونازل

الفئات	التكرار	تكرار تجمعي صاعد	تكرار تجمعي نازل
60 – 62	5	5	100
63 – 65	18	23	95
66 – 68	42	65	77
69 – 71	27	92	35
71 – 74	8	100	8

إن التمثيل الخطي لهذا التوزيع يسمى منحني صاعد أو منحني تجمعي نازل (Ogives) حيث يتخذ شكله حرف (S) وتمثل الحدود الحقيقية العليا للفئات على المحور السيني التكرار التجمعي على المحور الصادي كما في الشكل (2-5).



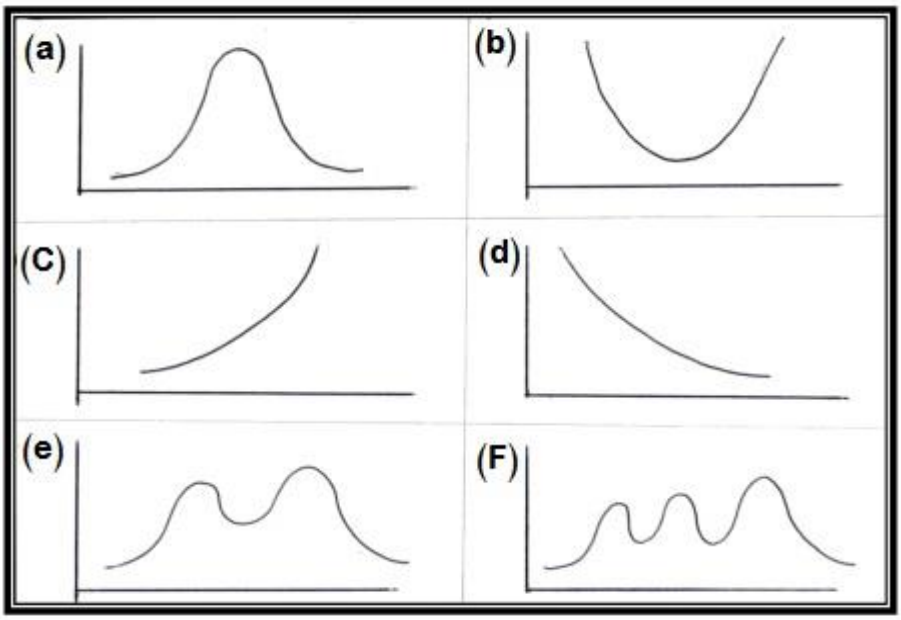
شكل رقم (2-5) المنحني التجمعي الصاعد والنازل

انواع المنحنيات التكرارية Types of Frequency Curves

أهم أشكال المنحنيات التكرارية التي نحصل عليها اثناء عمليات المعالجة ألإحصائية ورسم المنحني التكراري والتي تعتمد على طبيعة توزيع أو تجانس القيم أو القرارات وهي كما يلي:-

1- المنحني التكراري المتماثل أو الطبيعي Symmetrical Shape

وهي المنحنيات التي تتصف بان القيم تتوزع بشكل متماثل على جانبي خط المنتصف أو المعدل الحسابي Mean والنهايات اليمنى واليسرى للمنحني تمثل الحدود الدنيا للقيم للفئات العليا والدنيا شكل رقم (3a-5)



شكل رقم (3-5) اشكال منحني التوزيع التكراري

2- منحني تكراري على شكل حرف -U- U- shape

وهو المنحني الذي يتصف بان القيم تتوزع بشكل تماثل على خط المنتصف وعلى جانبي الوسط الحسابي Mean ولكن نهايات المنحني اليمنى واليسرى تمتلك قيم عليا، شكل (3b-5).

3- منحني على شكل الحرف -J-

وهو ذو التواء شديد أو على شكل حرف (ر) بالعربي عندما تمتلك القيم نهاية دنيا واحدة ونهاية عالية واحدة. شكل (3c-5).

4- منحني على شكل معكوس حرف -J-

ويمتلك ايضا ذو التواء شديد أو على شكل معكوس حرف (ر) وتكون النهاية العالية تمتلك قيم واطئة. شكل (3d-5).

5- منحني ذو قيمتين Bimodal

وهو المنحني الذي يمتلك قيمتين عليين. شكل (3e-5).

6- منحني متعدد القيم Multimodal

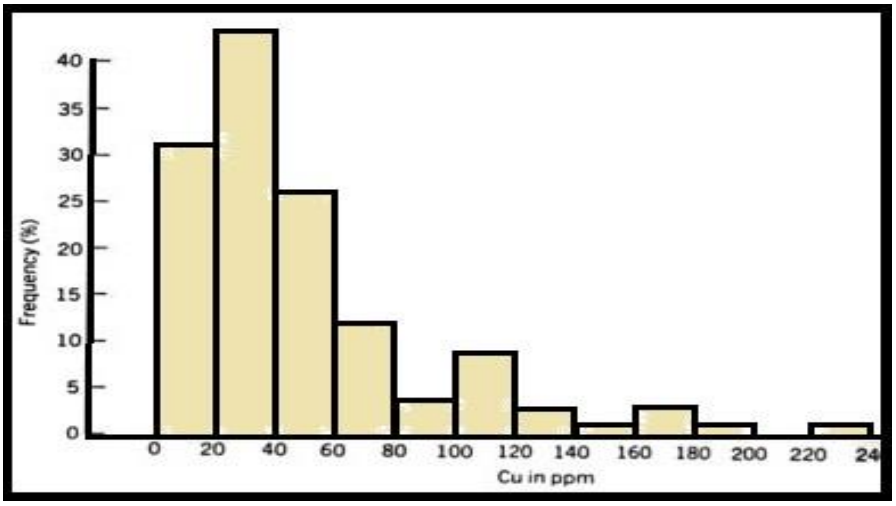
وهو المنحني الذي يمتلك اكثر من قيمتين أو اكثر من قيمتين عليا وقد تكون ثلاثة أو اربعة. شكل (3f-5).

(3-5) التوزيع اللوغارتمي المتماثل Lognormal Frequency distribution

إن كثير من المتغيرات الجيولوجية مثل (السمك، التركيز، المحتوى المعدني) التي تهتم بها دراسات الاستكشاف الجيولوجي، بصورة عامة لا تتبع التوزيع المتماثل إثناء المعالجات ألإحصائية للنتائج، نلاحظ ان القيم أو النتائج تحت الدراسة يحصل لها انحراف Skewed عند رسم المنحني

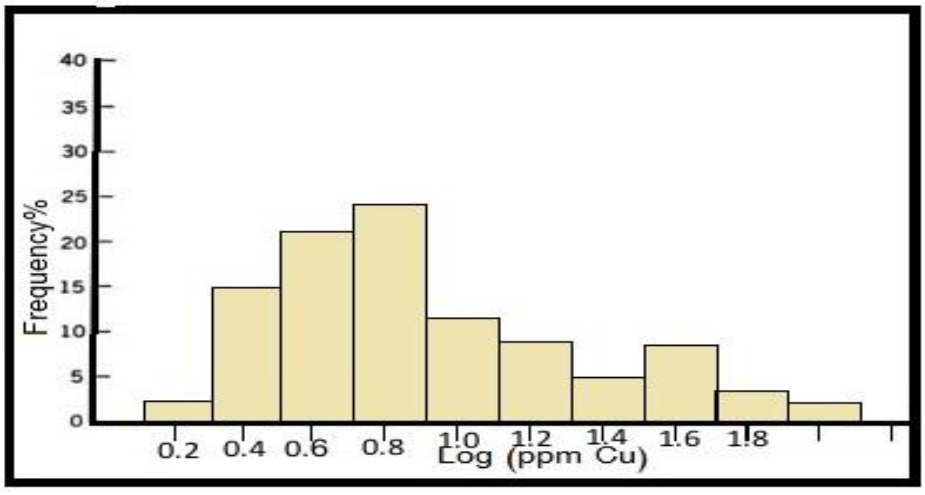
التوزيع التكراري والذي يعتمد على طبيعة خصائص ومميزات هذه المتغيرات والتي تعتمد كثيرا على المتغيرات الجيولوجية والظروف الترسيبية التي أدت الى نشأتها وتكوينها. من الأمثلة الجيدة على هذه الحالة كثيرا ما نلاحظ في التوزيع ألحجمي الحبيبي للرمال فإنها تتبع التوزيع المنحرف وليس المتماثل، وبهذه الحالة يصبح من الصعب أو غير الممكن إجراء معالجات إحصائية أو استنتاج بعض من المعالجات ألإحصائية بسبب هذا الانحراف.

لغرض إعادة هذا الحيود أو الانحراف في التوزيع التكراري للقيم الى التوزيع الطبيعي يتم اللجوء الى تحويل هذه القيم أو القراءات الى قيم لوغارتمية وبهذه الحالة يتم تحويل التوزيع التكراري المنحرف الى توزيع تكراري متماثل شكل رقم (4-5) يمثل مدرج تكراري منحرف القيم الحقيقية تمثل تركيز النحاس في رسوبيات المياه وبعد تحويل هذه القيم الحقيقية الى قيم لوغارتمية تتحول الى قيم طبيعية وعند رسم المدرج التكراري يكون عبارة عن مدرج تكراري متماثل شكل رقم (5-5).هذا التوزيع يسمى توزيع لوغاريتمي متماثل Log normal وبهذه الحالة



شكل رقم (4-5) مدرج تكراري منحرف لتركيز النحاس

المصدر (Davis, 1986, p.88)



شكل رقم (5-5) مدرج تكراري متماثل لتراكيز النحاس رسمت على مقياس لوغارتمي

المصدر (Davis, 1986, p.89)

يمكن حساب الوسط الحسابي والتباين لهذه القيم كما في المعادلة التالية:-

$$\overline{Y}=\frac{\sum Y_i}{n} \qquad \sigma_Y^2=\frac{\sum(Y_i-\overline{Y})}{n-1}$$

حيث ان:- X_i = قيمة كل نموذج $\qquad Y_i = Log\ X_i$

(4-5) مقاييس النزعة المركزية Measures of Central Tendency

من أهم مقاييس النزعة المركزية التي تهتم بها المعالجات ألإحصائية هي:-

1- المعدل أو الوسط الحسابي Mean
2- المنوال Mode
3- الوسيط Median
4- الوسط الهندسي The Geometric Mean
5- الوسط التوافقي The Harmonic Mean
6- الوسط التربيعي The Quadratic Mean

سوف نستعرض في هذه الفقرة بشيء من التفصيل مع الامثلة كل من هذه المقاييس.

1- المعدل أو الوسط الحسابي (Mean)

يعرف الوسط الحسابي بانه مجموع قيم النتائج لمتغير معين مقسومة على عدد هذه القيم. وتعطى بالعلاقة التالية:- $\overline{X}=\frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n}=\frac{X_1+X_2+X_3+...+X_n}{n}$

عدد النماذج = n ، قيمة كل نموذج لمتغير معين = X_i

اما طريقة حساب الوسط الحسابي في حالة البيانات المبوبة جدول رقم (4-5) عند معالجة النتائج على شكل توزيع تكراري فيجب استخدام العلاقة التالية:-

$$\text{الوسط الحسابي} = \frac{\text{مجموع (مركز كل فئة} \times \text{التكرار)}}{\text{مجموع التكرارات}} = \frac{\sum X_i f_i}{\sum f_i} = \frac{X_1 f_1 + X_2 f_2 + ... + X_n f_n}{\sum f_i}$$

X_i = مركز الفئة

مجموع التكرارات = $\sum f_i$, مجموع تكرار كل فئة = f_i

جدول رقم (4-5)

الفئات التركيز %	التكرار f_i	مركز الفئة f_i	$X_i \times f_i$
30 – 39	9	34.5	310.5
40 – 49	15	44.5	667.5
50 – 59	22	54.5	1199
60 – 69	25	64.5	1612.5
70 – 79	18	74.5	1341
80 – 89	11	84.5	929.5
	$\sum 100$		$\sum 6060$

$$\overline{X} = \frac{\sum X_i f_i}{\sum f_i} = \frac{6060}{100} = 60.6\%$$

هذا يعني ان معدل درجة تركيز الترسبات المعنية يساوي 60.6%.

هناك مفهوم شائع الاستخدام في المعالجات ألإحصائية عند اجراء حسابات الوسط الحسابي وهو ما يسمى بمعدل الخطأ للوسط الحسابي Standard error of the mean ويسمى كذلك الدقة في حسابات الوسط الحسابي تعطي هذه الحسابات نسبة الخطأ في كثير من المعالجات ألإحصائية عند استحصال مجموعة نماذج من منطقة معينة عددها (n) نموذج لها وسط حسابي تخميني قدره ($\overline{X}$) ومقدار تباين (σ^2) وانحراف معياري (σ) فان نسبة الخطأ تعطى بالعلاقة التالية:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}$$

اذا كانت قيمة التباين σ^2 مقسوما على عدد النماذج أو القيم (n) أي $\frac{\sigma^2}{n}$ قليلة فيقال عن التوزيع التكراري بانه متماثل وان الوسط الحسابي (mean) عندئذ يقع بين $\pm\frac{2\sigma}{\sqrt{n}}$ بنسبة احتمال 95% ويقع بين $\pm\frac{3\sigma}{\sqrt{n}}$ بنسبة احتمال 98%، (σ) هو الانحراف المعياري.

هذه المعالجات ألإحصائية يستفاد منها كدليل أو برهان في معرفة مدى كفاية النماذج المستحصلة في إجراء تقييم للترسبات المعدنية بدقة عالية. من خصائص الوسط الحسابي ان مجموع انحراف القيم عن وسطها الحسابي تساوي صفر أي ان:-

$$\sum(X_i - \overline{X}) = 0$$

وفي حالة الجداول التكرارية فان:-

$$\sum \text{ التكرار } (X_i - \overline{X}) = 0$$

2- المنوال Mode

يعرف المنوال لمجموعة من القيم بانه القيمة الأكثر تكرارا أو القيمة التي تقابل اكبر التكرارات. ان حسابه بسيط من حيث الفكرة أو طريقة ايجاده ويرمز له بالرمز (M_0). هناك مجموعة من القيم أو القراءات قد لا يوجد فيها منوال أو قد توجد قيمة منوال واحدة تسمى Unimodal أو قد توجد قيمتين للمنوال ويسمى Bimodal وقد يكون لهذه القيم أكثر من منوالين ويسمى Multimodal. من خصائص المنوال انه لا يتأثر بالقيم الشاذة أو المتطرفة.

مثال رقم (2-5): أوجد قيمة المنوال للقيم التالية:-

(2, 2, 5, 7, 9, 9, 10, 9, 10, 11, 12, 18, 9)

الحل: المنوال هو الرقم (9) لانه تكرر اربعة مرات ويسمى المنوال Unimodal لأنه أحادي.

في حالة البيانات المبوبة أو الجداول التكرارية، بعد تنظيم وترتيب القيم وفق جدول تكراري منتظم يمكن استخراج قيمة المنوال وفق الصيغة الرياضية التالية:-

$$M_O = L_1 + \left(\frac{\Delta_1}{\Delta_1 + \Delta_2}\right) * C$$

L_1 = الحد الادنى الحقيقي لفئة المنوال Δ_1 = الفرق بين تكرار فئة المنوال والفئة السابقة لها

Δ_2 = الفرق بين تكرار فئة المنوال والفئة اللاحقة لها

C = طول الفئة

مثال رقم (3–5): لدينا الجدول التكراري التالي، احسب قيمة المنوال.

الفئات	التكرار f_i
60 – 62	5
63 – 65	18
66 – 68	42
69 – 71	27
72 – 74	8
	100

الحل:

نلاحظ ان الفئة (66 – 68) هي اكبر التكرارات فهي بذلك تكون فئة المنوال، نستخرج قيمة المنوال بعد تطبيق القانون وتعريف المتغيرات التي هي:–

$L_1 = 65.5$

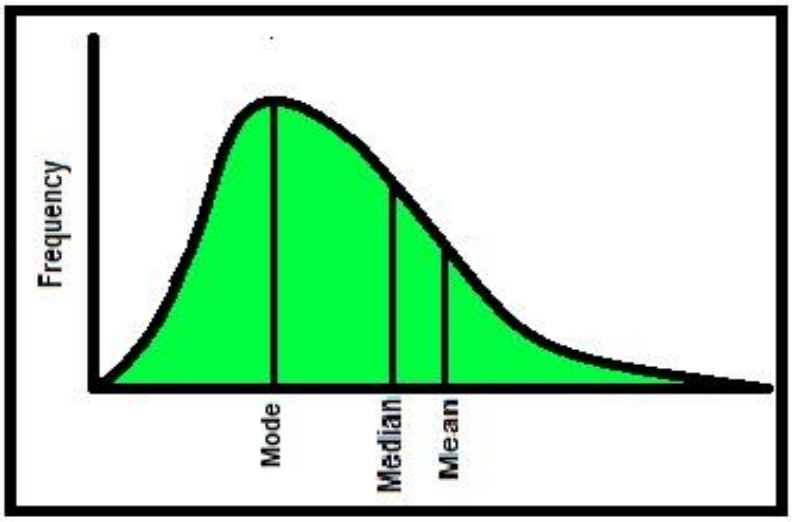
$\Delta_1 = 42 - 18 = 24$, $\Delta_2 = 42 - 27 = 15$, $C = 65.5 - 68.5 = 3$

$$M_O = 65.5 + \left(\frac{24}{24+15}\right) * 3 = 67.3$$

بالامكان كذلك استخراج قيمة المنوال بعد رسم المنحني التكراري شكل رقم (6–5). اذا كان المنحني التكراري هو Unimodal سوف نحصل منه على العلاقة التالية:–

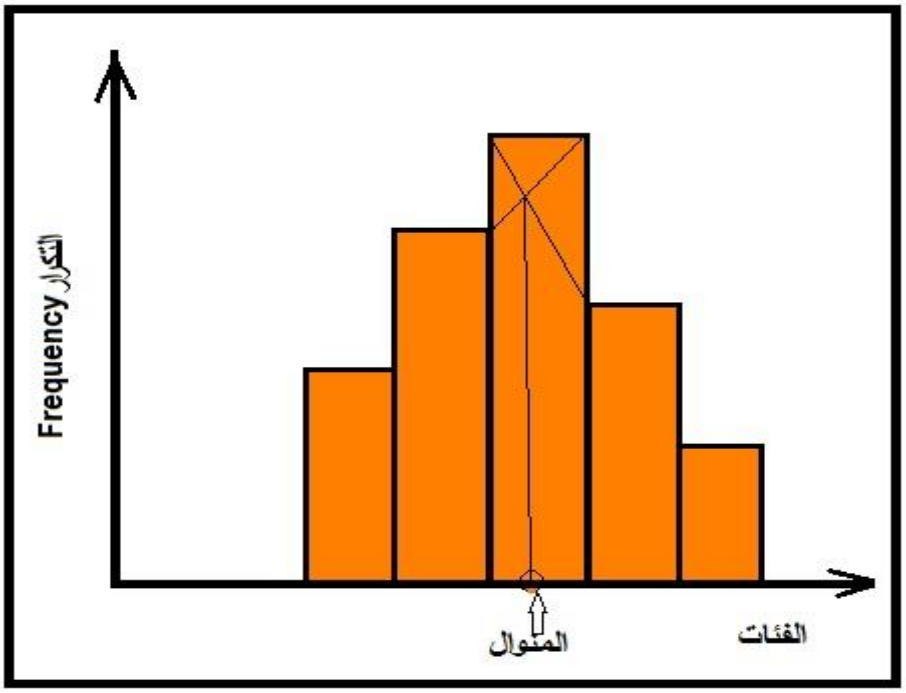
Mean – Mode = 3 (mean – median)

إما إذا كان شكل المنحني متماثل بهذه الحالة سوف تتطابق هذه المتغيرات الثلاث.



شكل (6–5) استخراج قيمة المنوال، الوسيط، المعدل من المنحني التكراري

يمكن كذلك حساب قيمة المنوال بعد رسم المدرج التكراري للنتائج ثم استخدام مستطيل الفئة المنوالية الذي يمثل اعلى مستطيل بالنسبة الى المستطيلات المجاورة له شكل رقم (7-5).



شكل رقم (7-5) حساب قيمة المنوال من المدرج التكراري

3- الوسيط Median

يعرف الوسيط لمجموعة من القيم أو النتائج بانه القيمة التي تتوسط مجموعة من القيم أو القيمة الواقعة في وسط مجموعة من القيم أو القراءات عندما يتم ترتيبها تصاعديا أو تنازليا، هذا بفرض ان عدد القيم فردي، أما اذا كان عدد القيم زوجي فان الوسيط هو معدل القراءتين الوسطيتين، ويرمز للوسيط بالرمز (Me). الوسيط لا يتأثر بالقيم الشاذة أو المتطرفة ويمكن ايجاده بيانيا في رسم المنحني التكراري شكل (6-5) ويمكن إيجاده حسابيا كما في المثال التالي:-

مثال رقم (4-5): اذا كان لدينا عدد من القيم هي (65, 52, 59, 50, 61, 57, 55)

الحل: يتم ترتيب هذه الأعداد تصاعديا كما يلي:- (50, 52, 55, 57, 59, 61, 65)

نلاحظ ان قيمة الوسيط هي القيم (57) والتي تمثل القيمة الوسطى. يمكن استخدام العلاقة التالية لتعيين قيمة الوسيط وهي:-

$$Me = \frac{n+1}{2} = \frac{7+1}{2} = 4$$

أي ان ترتيب الوسيط هو القيمة الرابعة والتي تساوي (57).

أما إذا كان عدد القيم أو القراءات زوجي عندئذ يتم جمع القراءتين الوسطيتين وقسمتها على اثنين بعد ترتيبها تصاعديا أو تنازليا كما في المثال التالي:-

مثال (5-5): لدينا عدد من القيم التالية. المطلوب حساب قيمة الوسيط؟

(1, 3, 6, 8, 11, 15, 17, 22)

الحل: بما ان الأعداد مرتبة تصاعديا ومجموعها القيم هو عدد زوجي فان قيمة الوسيط تحسب كما يلي:-

$$Me = \frac{8+11}{2} = \frac{19}{2} = 9.5$$

يمكن كذلك حساب قيمة الوسيط من العلاقة التالية:-

$$Me = \frac{\left(\frac{n}{2}+1\right)+\left(\frac{n}{2}\right)}{2}$$

حيث ان:-

$\left(\frac{n}{2}+1\right)$ = موقع القيمة الأولى = $\frac{8}{2}+1=5$

$\left(\frac{n}{2}\right)$ = موقع القيمة الثانية = $\frac{8}{2}=4$

موقع القيمة الأولى هي (5) والتي قيمتها تساوي (11)

موقع القيمة الثانية هي (4) والتي لها قيمة تساوي (8)

$$\therefore Me = \frac{8+11}{2} = \frac{19}{2} = 9.5$$

في الحالة البيانات المبوبة يكون ايجاد الوسيط وفق الصيغة التالية

$$Me = L_1 + \left(\frac{\frac{N}{2} - (\sum f)}{f\ median}\right) * C$$

حيث ان :- L_1 = الحد الادنى الحقيقي لفئة الوسيط ، N = مجموع التكرارات

$(\sum f)$ = مجموع التكرارات لكافة الفئات التي تقع اقل فئة الوسيط

f median = تكرار فئة الوسيط = (التكرار المتجمع عند نهاية فئة الوسيط – التكرار المتجمع عند بداية فئة الوسيط)

C = طول فئة الوسيط

لغرض ايجاد الوسيط من البيانات المبوبة أو من أي الجدول التكراري نستعل المثال التالي:-

مثال رقم (6-5): تم قياس أطوال الأطفال لأحد المراحل ورتبت ضمن جدول تكرار ضمن خمس فئات وكانت كما في الجدول التكراري التالي:-

الفئات	التكرار	تكرار تجمعي صاعد	تكرار تجمعي نازل
60 – 62	5	5	100
63 – 65	18	23	95
66 – 68	42	65	77
69 – 71	27	92	35
72 – 74	8	100	8
المجموع	100		

الحل: ترتيب الوسيط = $\frac{\sum \text{التكرار}}{2} = \frac{100}{2} = 50$

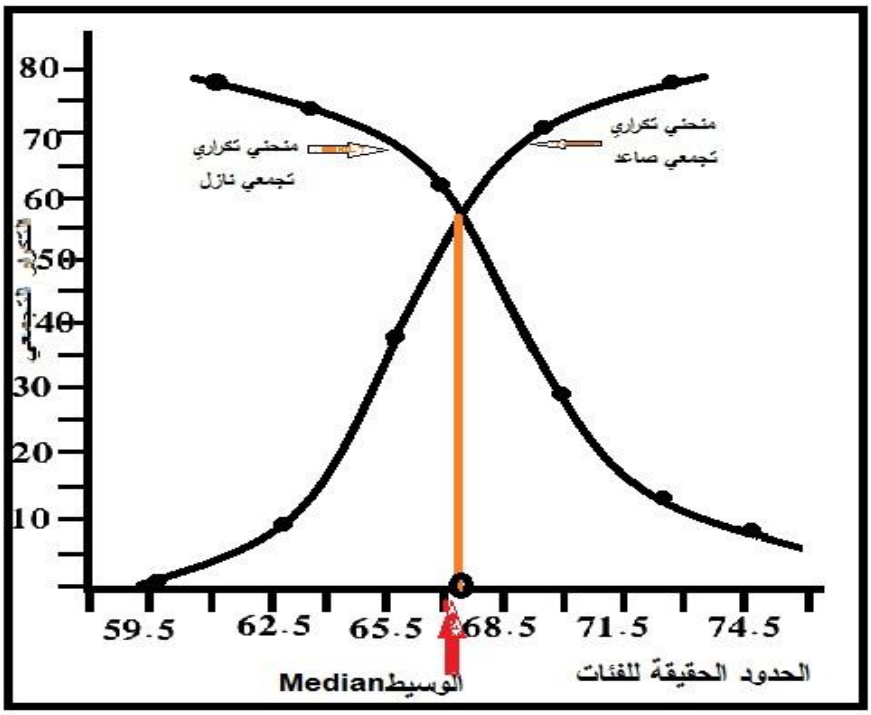
أي ان قيمة الوسيط هو الطول الذي ترتيبه (50) وبعد ترتيب القيم تصاعديا أو تنازليا نرى ان الترتيب (50) يقع في الفئة التي حدودها هي (66 – 68) ثم نستخرج المتغيرات من الجدول التكراري:-

$L_1 = 65.5$ ، $\sum f = 23$

f median = 65 – 23 = 42 , C = 68.5 – 65.5 = 3

$$\therefore \text{Me} = 65.5 + \left(\frac{\frac{100}{2} - 23}{42} \right) \times 3 = 67.4$$

أي ان طول الطفل الذي ترتيبه (50) يساوي 67.4 ، الطريقة الثانية لايجاد ترتيب الوسيط هو باستخدام الرسم البياني لكل من المنحني التجمعي الصاعد والمنحني التجمعي النازل وعند انزال عمود على المحور السيني من نقطة التقاطع لهذين المنحنيين فان القيمة تمثل قيمة الوسيط شكل رقم (5-8).



شكل (8-5) حساب قيمة الوسيط من المنحني التكراري التجميعي الصاعد والنازل

4- الوسط الهندسي The Geometric Mean

يعرف الوسط الهندسي (G) لمجموعة من القيم أو النتائج (N) بأنه الجذر مرفوع بعدد القيم لحاصل ضرب كافة القيم أو القراءات ويعرف بالعلاقة الرياضية التالية :-

$$G = \sqrt[N]{x_1 * x_2 * x_3 * .... * \times N}$$

مثال على ذلك أن الوسط الهندسي للقيم 2,4,8 هو:-

$$G = \sqrt[3]{2 \times 4 \times 8} = \sqrt[3]{64} = 4$$

عادة في التطبيق العملي يتم حساب الوسط الهندسي باستخدام اللوغاريتمات وكما يلي :-

$$Log\, G = \frac{1}{3}\, Log\ 64 = \frac{1}{3}(1.806) = 0.602$$

$$G = 4$$

في حين أن الوسط الحسابي لهذه القيم هو :-

$$\overline{X} = \frac{2+4+8}{3} = 4.6$$

وهذا يتضح ان الوسط الهندسي لمجموعة من القيم موجب دائما ويكون اصغر من الوسط الحسابي. لا يمكن إيجاد الوسط الهندسي الا اذا كانت مجموع القيم الموجبة. يستخدم الوسط الهندسي في حساب الأرقام القياسية للأسعار أو إيجاد معدل التغيير في المبيعات أو السكان.

5- الوسط التوافقي The Harmonic mean

يعرف الوسط التوافقي بأنه مقلوب الوسط الحسابي لمقلوب القيم أو النتائج ويرمز له بالرمز ($\overline{H}$) ويعطى بالعلاقة التالية:- $$\overline{H}=\frac{N}{\sum\frac{1}{X}}$$

ومن خصائصه انه اقل من الوسط الحسابي.

مثال (7-5):

اشترى مزارع بذور حنطة بسعر إجمالي قدره ألف دينار من كل من الشركات التالية:-

أ- الشركة الأولى كان سعر الطن الواحد من بذور الحنطة = 20 دينار

ب- الشركة الثانية كان سعر الطن الواحد من بذور الحنطة = 25 دينار

ج- الشركة الثالثة كان سعر الطن الواحد من بذور الحنطة = 50 دينار

ما هو متوسط سعر الطن الواحد من بذور الحنطة؟

الحل: نستخرج الوسط التوافقي من القانون:-

$$\overline{H}=\frac{3}{\frac{1}{20}+\frac{1}{25}+\frac{1}{50}}=\frac{3}{0.11}=27.27$$ دينار

أما في حالة الجداول التكرارية فان الوسط التوافقي يمثل بالعلاقة التالية:-

$$\overline{H}=\frac{\sum f_i}{\sum\left(\frac{f_i}{X_i}\right)}$$

f_i = التكرار X_i = مركز الفئة

مثال (8-5): أوجد الوسط التوافقي من الجدول التكراري التالي:-

الفئات	f_i	X_i
60 – 62	5	61
63 – 65	18	64
66 – 68	42	67
69 – 71	27	70
72 – 74	8	73
المجموع	100	

الحل: لايجاد الوسط التوافقي نطبق القانون الخاص بالجداول التكرارية:-

$$\overline{H} = \frac{\text{مجموع التكرارات}}{\sum \frac{\text{التكرار}}{\text{مركز الفئة}}} = \frac{100}{\frac{5}{61} + \frac{18}{64} + \frac{42}{67} + \frac{27}{70} + \frac{8}{3}} = \frac{100}{14855} = 67.3$$

6- الوسط التربيعي The Quadratic mean

وهو الجذر التربيعي للوسط الحسابي لمربعات القيم Root mean squars ويرمز له بالرمز (R. M. S.) ويمثل بالعلاقة الرياضية التالية:-

$$\text{R. M. S.} = \sqrt{\frac{\sum (\overline{X})^2}{N}}$$

مثال (9-5): أوجد الوسط التربيعي للقيم التالية 3, 5, 6, 6, 7, 10, 12

$$\text{R. M. S.} = \sqrt{\frac{3^2 + 5^2 + 6^2 + 6^2 + 7^2 + 10^2 + 12^2}{7}}$$

$$= \sqrt{57} = 7.55$$

اما في حالة الجداول التكرارية فيمكن ان نمثل الوسط التربيعي من خلال العلاقة التالية :-

$$\text{R. M. S.} = \sqrt{\frac{\sum \text{التكرار} \times \text{مربع مركز الفئة}}{\sum \text{التكرار}}} = \sqrt{\frac{\Sigma \left[f_i \times (X_i)^2 \right]}{\Sigma f_i}}$$

مثال (10-5): أوجد الوسط التربيعي من الجدول التكراري التالي:-

الفئات	التكرار
60 – 62	5
63 – 65	18
66 – 68	42
69 – 71	27
72 – 74	8

الحل:

الفئات	f_i	X_i	$(X_i)^2$	$f_i \times (X_i)^2$
60 – 62	5	61	3721	18605
63 – 65	18	64	4096	73728
66 – 68	42	67	4489	188538
69 – 71	27	70	4900	132300
72 – 74	8	73	5329	42632
المجموع	100			455803

$$\therefore R.M.S. = \sqrt{\frac{455803}{100}} = 67.51$$

أما مقياس التشتت والاختلاف وهي من من المعالجات ألإحصائية غير المكانية والتي تعرف بأنها القيم أو القراءات التي تتباعد أو تنشر بعيدا عن وسطها الحسابي. قد يكون مقدار التشتت ضئيل وقد يكون كبير اذا كانت متباعدة بصورة كبيرة جدا عن وسطها الحسابي مقياس التشتت كثيرة مختلفة وهي على توعين:-

أ- مقاييس التشتت المطلق وأهمها

1-المدى The Range

2-الانحراف المتوسط The mean Deviation

3-الانحراف القياسي والتباين The standard deviation and the variance

ب- مقاييس التشتت النسبي

1- معامل الاختلاف Coefficient of variation

سوف نستعرض هنا خصائص ومميزات كل من هذه المقاييس مع بعض الامثلة حولها.

(5-5) مقاييس التشتت والاختلاف Measures of Dispersion or variation

1- المدى Rang:

يمثل المدى الفرق بين أعلى واصغر قيمة في النتائج والقيم المستحصلة. المدى ليست ذان أهمية من المعالجات ألإحصائية ولكن لا بد من معرفة الفروقات العليا والدنيا في القرارات في المراحل الأولية من بدء المعالجات والحسابات ألإحصائية لانه يتوقف على معرفة قيمتين فقط. المدى يتأثر كثيرا بالتذبذب الذي يحصل في أي من نتائج القيمتين العليا والدنيا. من الصعب ايجاد المدى في جدول توزيع تكراري لعدم معرفة القيمتين الطرفيتين.

2- الانحراف المتوسط the mean deviation

يعرف الانحراف المتوسط بانه معدل انحراف القيم عن الوسط الحسابي ويرمز ل بالرمز (M. D.) ويمثل بالصيغة التالية:-

$$\text{M. D.} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(X_i - \overline{X}\right)}{N`} = \overline{\left|X - \overline{X}\right|}$$

يجب إهمال الإشارة السالبة (-) لذلك تم الاتفاق على وضع المعادلة بين خطين عمودين | | دلالة على إهمال الإشارة السالبة كما في المثال التالي:-

$|-4| = 4$

$|+3| = 3 \ , \ |6| = 6$

مثال (5-11): أوجد الانحراف المتوسط للاعداد التالية:- (2, 3, 6, 8, 11)

الحل: يتم استخراج الوسط الحسابي ($\overline{X}$) أولا حيث ان:- $\overline{X} = \frac{2+3+6+8+11}{5} = 6$

ثم نستخرج الانحراف المتوسط من القانون:-

$$\text{M. D.} = \frac{|2-6|+|3-6|+|6-6|+|8-6|+|11-6|}{5} = \frac{|-4|+|-3|+|0|+|2|+|5|}{5} = 2.8$$

اما في حالة الجداول التكرارية أو البيانات المبوبة يصبح التمثيل الرياضي لقانون الانحراف المتوسط كما يلي:-

$$\text{M. D.} = \frac{\sum_{i=1}^{n} f_i \left|X_i - \overline{X}\right|}{N`} = \frac{\sum f_i \left|X_i - \overline{X}\right|}{N}$$

مثال (12-5): أوجد الانحراف المتوسط من الجدول التكراري التالي:-

الفئات	التكرار
60 – 62	5
63 – 65	18
66 – 68	42
69 – 71	27
72 – 74	8
	100

الحل: يتم تنظيم جدول تكراري تستحدث فيه الحقول لغرض استخراج المتغيرات والقيم التي تستخدم في حساب المعدل أو الوسط الحسابي وكذلك المتغيرات الداخلة في قانون حساب الانحراف المتوسط وكما يلي:-

الفئات	f_i	X_i	$f_i * x_i$	$\left\|X_i - \overline{X}\right\|$	$f_i \left\|X_i - \overline{X}\right\|$
60 – 62	5	61	305	6.45	32.25
63 – 65	18	64	1152	3.45	62.10
66 – 68	42	67	2814	0.45	18.90
69 – 71	27	70	1890	2.55	68.85
72 – 74	8	73	584	5.55	44.40
المجموع	100		6745		226.50

$$\overline{X} = \frac{\Sigma f_i X_i}{\Sigma f_i} = \frac{6745}{100} = 67.45 \quad ، \quad M.D = \frac{\Sigma f_i \left|X - \overline{X}\right|}{\Sigma f_i} = \frac{226.5}{100} = 2.265$$

- الانحراف المعياري والتباين Standard deviation and Variance

يعتبر الانحراف المعياري من اكثر مقاييس التشتت استخداما واهم المقاييس ألإحصائية عامة التي تستخدم في المعالجة ألإحصائية للنتائج لإعطائه صورة واضحة عن طبيعة توزيع القيم أو النتائج. يعرف الانحراف المعياري بانه درجة تباعد أو انتشار القيم أو القراءات حول معدلها أو وسطها الحسابي، إذا كانت القيم متجمعة بالقرب من وسطها الحسابي فان مقدار تشتتها سوف يكون ضئيل وإذا كانت القيم متباعدة عن وسطها الحسابي فان تشتتها سوف يكون كبير. رياضيا يعرف الانحراف المعياري بأنه القيم الموجبة للجذر التربيعي لمتوسط مربعات انحرافات القيم أو النتائج عن وسطها الحسابي ويرمز له برمز (σ).

اذا كانت لدينا مجموعة من القيم لنماذج معينة عددها (n) وهي:- $X_1, X_2, X_3, \ldots, X_n$

وسطها الحسابي هو $(\bar{x})$ فان قيمة هذه المتغيرات أو المفردات تكون قريبة من بعضها البعض إذا كانت قريبة من وسطها الحسابي $(\bar{x})$ أي ان انحرافها عن الوسط الحسابي قليل، وبالتالي فان قيمة انحراف أو تشتت قيم هذه النتائج عن الوسط الحسابي $(\bar{x})$ يمكن استخدامه لقياس التشتت ويكتب بالصيغة الرياضية التالية في حالة البيانات غير المبوبة:-

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma\left(x_i - \bar{x}\right)^2}{n}} = \sqrt{\frac{\Sigma X_i^{\,2}}{n} - \bar{X}^{\,2}}$$

مثال (13-5) احسب الانحراف المعياري للقيم التالية:-

23, 28, 24, 29, 32, 21, 25, 34

الحل :-

أ- نستخرج الوسط الحسابي $\bar{x}$ ، $\bar{x} = \frac{\Sigma x_i}{n}$.

ب- نستخرج انحراف كل قيمة عن وسطها الحسابي $(x - \bar{x})$.

ج- نربع الانحرافات $(x - \bar{x})^2$.

د- نجمع مربعات الانحرافات $\Sigma (x - \bar{x})^2$

هـ- نقسم الناتج على عدد القيم وكما في الجدول التالي:-

x_i	$(x-\bar{x})$	$(x-\bar{x})^2$
23	−4	16
28	1	1
24	−3	9
29	2	4
32	5	25
21	−6	36
25	−2	4
34	7	49
216		144

$$\bar{x}=\frac{\Sigma x_i}{n}=\frac{216}{8}=27$$

$$\sigma=\sqrt{\frac{\Sigma\left(x_i-\bar{x}\right)^2}{n}}$$

$$=\sqrt{\frac{144}{8}}=4.25$$

في بعض الأحيان يتم حساب الانحراف المعياري حسب المعادلة التالية :-

$$\sigma=\sqrt{\frac{\Sigma\left(x-\bar{x}\right)^2}{n-1}}$$

يتم إحلال (n−1) محل عدد القيم (n) ويسمى حينئذ بالتخمين الأفضل (Best Estimat of S.D.) وتستخدم هذه العلاقة لحساب الانحراف القياسي لمجموعة من القيم يقل عددها عن (30) قيمة أما إذا ازدادت عدد القيم عن (30) قيمة فبهذه الحالة لا يوجد أي اختلاف بين التعريفين، السبب في اختيار تقسيم على القيمة (n−1) هو إن مجموع الانحرافات عن الوسط الحسابي يساوي صفر، لذلك عند إخراج نموذج أو قيمة واحدة من القراءات نحصل على (n−1) من القيم أو القراءات والتي تسمى بالقيم الحرة، أن عدد القيم الحرة في أي ظاهرة هي (n−1) وهو ما يسمى في الإحصاء بدرجات الحرية. بهذه الحالة سوف يكون الانحراف المعياري عند تطبيق القانون الأخير :-

يمكن كذلك استخدام القانون التالي في حساب الانحراف القياسي

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma(X_i)^2 - \frac{(\Sigma X_i)^2}{n}}{n-1}}$$

حيث نحصل على نفس النتيجة في حالة تطبيق القانون الأول.

في حالة الجداول التكرارية يتم استخدام القانون التالي:_

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma f_i \left(X_i - \overline{X}\right)^2}{\Sigma f_i - 1}}$$

طريقة الحساب هذه تسمى بالطريقة المطولة وذلك لدخول حسابات كثيرة ضمن القانون أما الطريقة المختصرة في حساب الانحراف القياسي فتتمثل في استخدام القانون التالي الذي لا يدخل في الحساب استخراج الوسط الحسابي:-

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma f_i (X_i)^2 - \frac{(\Sigma f_i X_i)^2}{\Sigma f_i}}{\Sigma f_i - 1}}$$

مثال رقم (14-5)

أوجد الانحراف المعياري من الجدول التكراري التالي:-

الفئات	التكرار
60 – 62	5
63 – 65	18
66 – 68	42
69 – 71	27
72 – 74	8

الحل: نستخدم جدول تكراري يحتوي على حقول جديدة لغرض حساب المتغيرات التي تدخل ضمن قانون حساب الانحراف المعياري وكما يلي:-

الفئات	f_i	X_i	$X_i^{\cdot} * f_i$	$X_i^{\,2}$	$f_i * X_i^{\,2}$
60 – 62	5	61	305	3721	18605
63 – 65	18	64	1152	4096	73728
66 – 68	42	65	2814	4489	188538
69 – 71	27	70	1890	4900	132300
72 – 74	8	73	584	5329	42632
المجموع	100		6745		455803

ثم نطبق قانون الطريقة المختصرة لسهولته:-

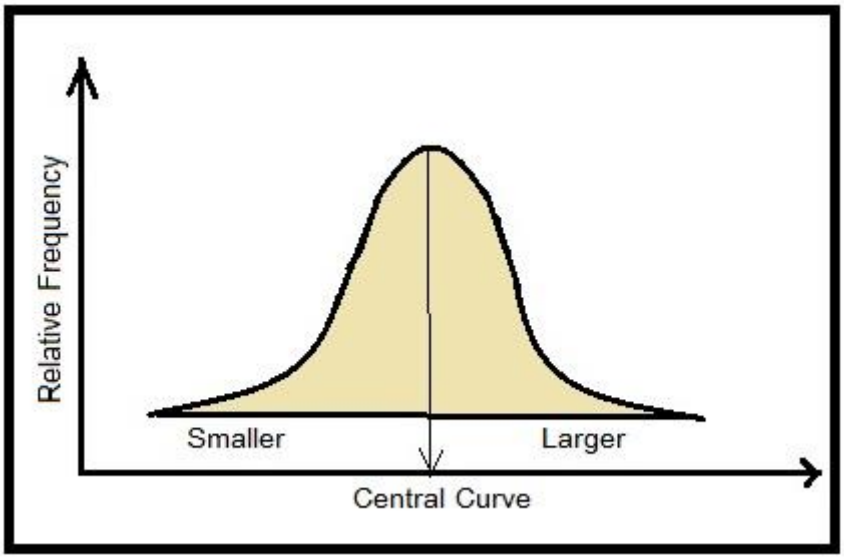
$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma f_i \left(X_i^{\,2}\right) - \frac{\left(\Sigma f_i X_i\right)^2}{\Sigma f_i}}{\Sigma f_i - 1}}$$

$$= \sqrt{\frac{455803 - \frac{(6745)^2}{100}}{100-1}} = \sqrt{\frac{455803 - 454950}{99}} = \sqrt{8.61} = 2.9$$

إما التباين The Variance والذي يعرف بأنه مربع معدل الانحراف عن معدل القيم للنتائج الداخلة في الحسابات، أي انه يمثل مربع الانحراف المعياري ويرمز له بالرمز (σ^2). حتى يمكن التغلب على مشكلة الإشارة السالبة عند جمع الانحرافات التي تؤدي دائما إلى إن يكون مجموع انحرافات القيم عن معدلها (عند دراسة أي ظاهرة) يساوي صفر، وبدلا من اخذ القيم المطلقة للانحرافات (بدون إشارة) كما سبق ذكره عند حساب المدى أمكن التغلب على هذه المشكلة باستخدام طريقة تربيع قيم الانحرافات حيث تصبح جميعها موجبة، وبذلك نحصل ما يسمى بالتباين Variance The عند حساب التباين نقوم بتربيع الانحرافات لذلك فان قيمة التباين تكون مقاسه بمربع الوحدات المستخدمة في قياس النموذج. إذا كانت النماذج المستحصلة مقاسه بالسنتمتر أو المتر فلا توجد مشكلة، ولكن المشكلة تظهر عندما تكون القياسات بالكيلوغرام أو الدينار أو عدد الطلاب مثلا، حيث يكون التباين مقاس (بالكغم)^2 أو (دينار)^2 أو (طفل)^2 وهي بهذه الحالة غير ذات معنى ولغرض حل هذا الإشكال لابد من إرجاع هذه القياسات إلى أصلها لذلك يجب اخذ الجذر ألتربيعي للتباين لنحصل على الانحراف المعياري، أي إن:- $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$

خصائص الانحراف المعياري

1- في حالة أذا كانت مجموعة من القيم تتوزع توزيع طبيعي Normal distribution ، أي أن القيم تنتشر أو تتوزع بشكل عنقودي حول معدلها وبذلك نحصل منحني تكراري متماثل أو متناظر من الجهتين شكل رقم (4-5)



شكل (9-5) منحني تكراري متماثل

في بعض الأحيان يسمى منحني التوزيع الطبيعي بمنحني كَاوس (Gaussian Curve) نسبة إلى العالم الذي اشتق معادله المنحني الطبيعي وتم حساب المساحة تحت المنحني عام (1777-1855) ويسمى منحني كَاوس -لابلاس أحيانا.

من خواص منحني التوزيع الطبيعي هي:-

أ- شكل المنحني يكون على هيئة ناقوس Bell

ب- تتركز القيم أو القراءات حول الوسط الحسابي بحيث تقسمه الى قسمين متساويين.

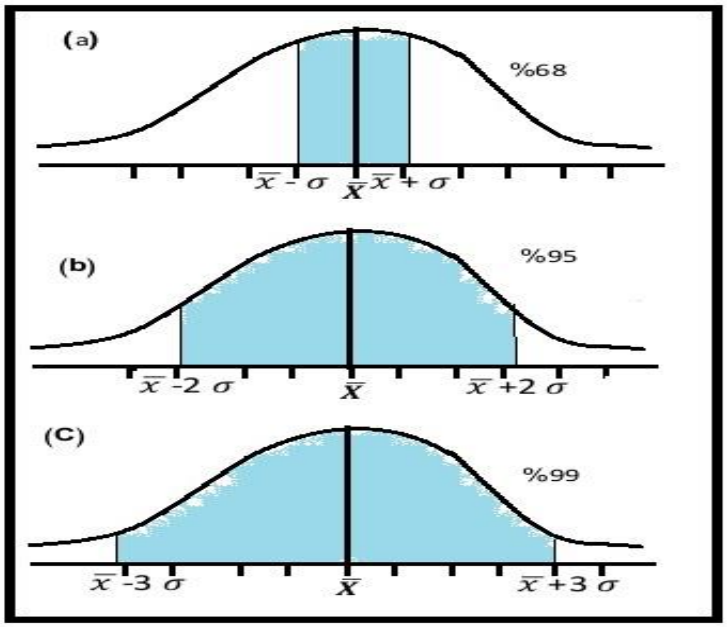
حـ- الوسط الحسابي والمنوال والوسيط لها نفس القيمة.

د- طرفي المنحني تتناقص بالارتفاع كلما ابتعدنا عن الوسط الحسابي ولكنها لا يلتقيان بالمحور السيني أبدا.

هـ- المساحة الكلية الواقعة تحت المنحني تساوي 100% وبذلك يمكن حساب الاحتمالية من المنحني التكراري مباشرة وكما يلي:-

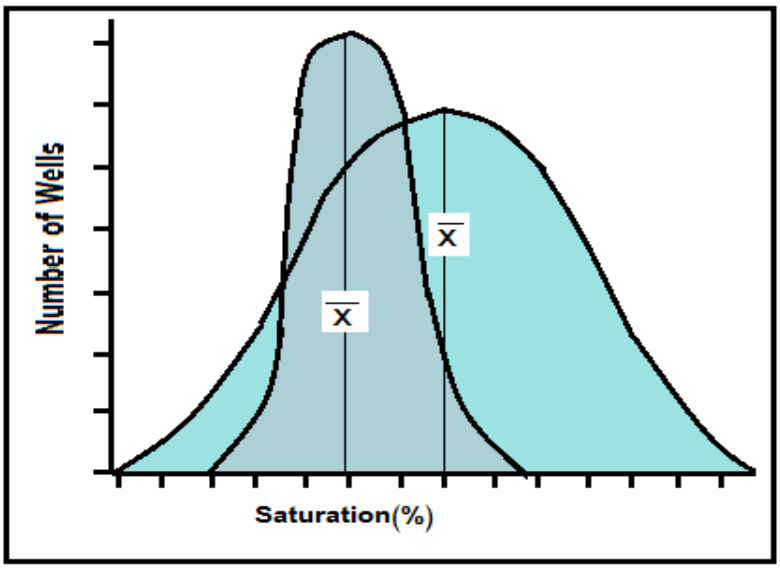
-68% من القيم أو القراءات تقع بين $(\bar{x}-\sigma)$ و $(\bar{x}+\sigma)$ من مجموع المساحة الواقعة تحت المنحني التكراري وتسمى هذه النسبة بحدود أو مدى الثقة والمعقولية في النتائج Confidence Limiter شكل رقم (5-10a).

- 95% من القيم أو القراءات تقع بين ($\bar{x}-2\sigma$) و ($\bar{x}+2\sigma$) ويقال عنه اثنان انحراف معياري على جانبي المعدل الشكل (5-10b) أي إن 95% من القي أو النتائج تقع بين هذا المدى من الانحراف المعياري.
- 99% من القيم أو القراءات تقع بين ($\bar{x}-3\sigma$) و ($\bar{x}+3\sigma$) ويقال عنه ثلاثة انحراف معياري على جانبي المعدل الشكل (5-10c) أي ان 99% من القيم أو القراءات تقع بين هذا المدى من الانحراف المعياري.
- المساحة تحت المنحني التكراري بعد ($\bar{x}+3\sigma$) ليس لها قيمة أو أهمية لأنها عادة تكون قيم قليلة أو شاذة.



شكل رقم (5-10) عدد القيم الداخلة ضمن الانحراف المعياري في التوزيع المتماثل

2- إذا كانت قيمة الانحراف المعياري صغيرة أو قليلة فهذا يدل على أن القيم أو النتائج قريبة جدا من المعدل أو الوسط الحسابي وبالعكس إذا كانت قيمة الانحراف المعياري كبيرة فهذا يدل على أن القيم مشتتة بعيدا عن الوسط الحسابي، شكل رقم (5-11) نلاحظ أن قيم المنحني A قريبة جدا من المعدل حيث إن الانحراف المعياري صغير في حين أن المنحني B يدل على القيم مشتتة بعيدا عن الوسط الحسابي، أي أن الانحراف المعياري



شكل رقم (11-5) منحني التوزيع التكراري الطبيعي مع اختلاف الانحراف المعياري

كبير، وفي كلتا الحالتين فان كلا من هذين المنحنيين هي ذات توزيع طبيعي متناظر.

3- العلاقة بين الانحراف المعياري والانحراف المتوسط، اذا كان التوزيع غير متماثل أي انه ملتوي التواء بسيط وعليه فان العلاقة تمثل بالصيغة التالية :-

$$M.D. = \frac{4}{5}\sigma$$

4- الخطأ القياسي Standard error أو ما يسمى الانحراف القياسي للمتوسطات Standard deviation of the mean يستخدم هذا المعيار أو العامل عند قياس مدى تشتت متوسطات العينات المستحصلة من وسط معين ويرمز له بالرمز ($S_{\bar{x}}$)، وتعرف العلاقة بينه بين الانحراف المعياري بالصيغة التالية:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

للخطأ القياسي اهمية كبيرة ويستخدم في الاستنتاج الاحصائي.

(5-6) مقاييس التشتت النسبي Relative deviation measurements

هذه المقاييس لها أهمية كبيرة عند إجراء مقارنة التشتت بين مجموعتين أو اكثر تختلف في وحدات القياس للقيم لكل منهما، وذلك لكون مقاييس التشتت خالية من وحدات القياس.

من اهم مقاييس التشتت النسبي التي غالبا ما تستخدم في المعالجات ألإحصائية هي

1- معامل الاختلاف Coefficient of Variation

والذي يرمز له بالرمز (c.v.) ويمثل بالصيغة الرياضية التالية في حالة استخدام الانحراف المعياري:-

$$c.v. = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100$$

أما في حالة استخدام الوسيط فيمثل بالصيغة التالية

$$c.v.=\frac{M.D.}{Me}\times 100$$

وفي حالة استخدام الانحراف المتوسط يمثل بالصيغة التالية :-

$$c.v.=\frac{M.D.}{\bar{x}}\times 100$$

مثال رقم (15-5):

أجريت دراسة جيولوجية لاستكشاف سمك طبقة معدنية (بالمتر) مع تركيز احد المعادن الحاضنة له مقاسا بال(P.P.M.) الى (150) نموذج لبابي لأحد الآبار الاستكشافية وكانت خلاصة النتائج كالاتي:-

	السمك (متر)	التركيز P.P.M.
الوسط الحسابي	200	800
الانحراف المعياري	16	36

المطلوب إجراء مقارنة بين تشتت الصفتين؟

الحل:- نستخدم قانون معامل الاختلاف لغرض المقارنة بين الصفتين وذلك لاختلاف وحدات القياس لكلا المتغيرين.

$$c.v=\frac{6}{\bar{x}}\times 100$$

بالنسبة للسمك $c.v.=\frac{6}{200}\times 100=8\%$

بالنسبة للتركيز $c.v.=\frac{36}{800}\times 100=4.5\%$

نستنتج من النتائج أعلاه إن درجة التشتت اكبر في صفة السمك عما هي في صفة التركيز وهذا يعني ان سمك الطبقة المعدنية متغايرة بصورة كبيرة جدا.

2- الدرجة القياسية Standardized Scores

في كثير من الأحيان تحتاج إلى مقارنة مفردتين من مجموعتين مختلفتين وفي هذه الحالة يجب تحويل وحدات كل مفردة إلى وحدات قياسية حتى تكون مقارنة ذات معنى، يتم ذلك باستخدام الوسط الحسابي والانحراف المعياري لكل مجموعة. وتسمى كذلك بالمتغيرات القياسية (Standarized variables)، وهذه يمكن بواسطتها قياس انحراف القيم عن الوسط الحسابي بوحدات الانحراف المعياري، يرمز للدرجة القياسية بالرمز (Z) وتمثل بالصيغة التالية:-

$$Z=\frac{X-\bar{X}}{\sigma}$$

نلاحظ كذلك إن الدرجة القياسية خالية من أي وحدات مستخدمة في القياس، اذا تم تحويل جميع قيم مجموعة معينة الى درجات قياسية بهذه الحالة سوف تكون قيمة الوسط الحسابي تساوي صفر، وان تباينها Variance يساوي واحد، أي ان (Z) الدرجة القياسية يكون لها توزيع طبيعي.

مثال (16-5):

حصل طالب على درجة (84) في الرياضيات حيث كان الوسط الحسابي لجميع الطلبة في مادة الرياضيات يساوي (76)، وبانحراف معياري يساوي (10). اما في امتحان الفيزياء فقد حصل نفس الطالب على درجة (90) وكان الوسط الحسابي للطلبة في امتحان الفيزياء هو (82) وبانحراف معياري يساوي (16).

في أي من الموضوعين كانت قابلية الطالب في الفهم والاستيعاب والنجاح اعلى؟

الحل: عند إجراء مقارنة مباشرة في الدرجات للطالب نجد انه حصل في الفيزياء على (90) وكانت اعلى من درجته في الرياضيات التي هي (84)، عند تحويل هاتين الدرجتين الى درجات قياسية نجد ان:- بعد تطبيق قانون الدرجة القياسية

$$Z = \frac{X - \overline{X}}{\sigma}$$

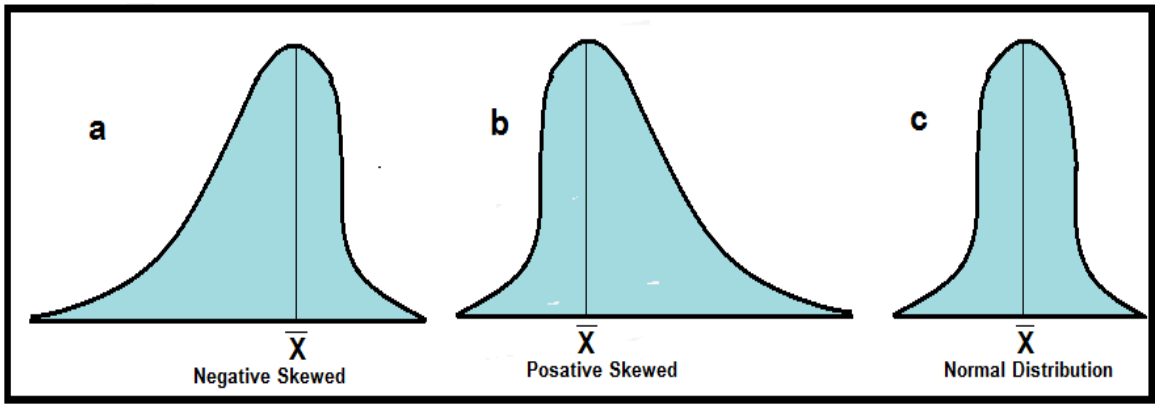
$$\therefore Z = \frac{84-76}{10} = 0.8 \qquad \text{في الرياضيات}$$

$$Z = \frac{90-82}{16} = 0.5 \qquad \text{في الفيزياء}$$

من هذا يتضح لنا ان قابلية الطالب في الرياضيات اعلى مما هو عليه في الفيزياء وهو عكس ما توصلت اليه المقارنة المباشرة ضمن منطوق السؤال.

(5-7) مقاييس الالتواء والتفلطح Measures of Skewness and kurtosis

يعرف الالتواء Skewness بانه المعامل الذي يقيس انتشار أو ميل الجزء الأكبر من القيم التي تتركز على جانب احدى جهات الوسط الحسابي اما على يمين أو يسار الوسط الحسابي Mean، ويعرف معامل الالتواء كذلك بانه قياس لدرجة عدم التناظر أو الحيود من الشكل الطبيعي الذي يحصل في شكل منحني التوزيع التكراري. اذا كان شكل منحني التوزيع التكراري يمتلك نهاية (Tail) طويلة باتجاه اليمين وهذا يعني ان الجزء الأكبر من القيم أو القراءات تكون اقل من المعدل وتتركز من جهة اليسار في هذه الحالة يسمى المنحني التكراري بان له التواء الى جهة اليمين أو يسمى التواء موجب شكل (5-12a) (positively skewed). اذا كان شكل المنحني يمتلك نهاية Tail طويلة باتجاه اليسار وهذا يعني ان الجزء الاكبر من القيم أو القراءات تكون اكثر من المعدل وتتركز من جهة اليمين عندئذ يسمى المنحني التكراري بان له التواء الى جهة اليسار ويسمى التواء سالب شكل (5-12b) (Negatively skewed). التوزيع يكون طبيعي عندما يكون شكل المنحني التكراري متماثل ويحصل هذا في حالة انتشار القيم أو القراءات بصورة متساوية تقريبا حول معدلها الحسابي الشكل (5-12c)، وبهذه الحالة لا يوجد أي التواء.



شكل رقم (12-5) اشكال الالتواء في منحني التوزيع التكراري

يعبر عن الصيغة الرياضية ألإحصائية لحساب الالتواء Skewness كما يلي:-

$$\text{Skewness} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(X-\overline{X}\right)^3}{n\sigma^3}$$

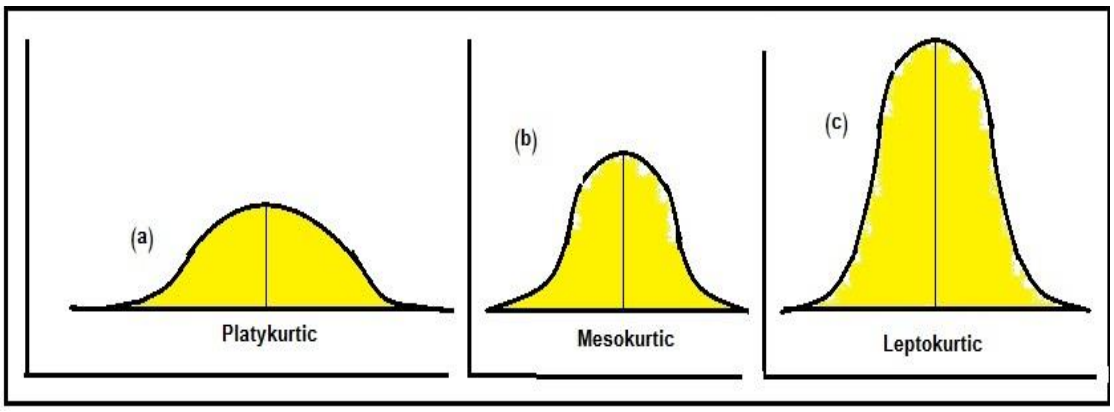
$$= \left(\frac{mean-\text{mod}\,e}{\sigma}\right)$$ قانون بيرسون الأول

$$= \left(\frac{3(meam-median)}{\sigma}\right)$$ قانون بيرسون الثاني

من فوائد حسابات الالتواء هي معرفة ما اذا كانت موزعة بصورة متساوية حول معدلها ام لا من خلال معرفة قيمة أو إشارة الالتواء حيث ان التوزيع المتناظر تكون قيمة الالتواء تساوي صفر.

القوانين أعلاه تعرف كذلك بقانون بيرسون الأول والثاني لقياس معامل الالتواء. هناك قياسات أخرى لتعريف الالتواء تسمى معامل الالتواء الثالث باستخدام العزوم وهي ليست كثير الاستخدام في الجيولوجي.

مقاييس التفلطح Measures of kurtosis ويعرف بانه درجة الاستدقاق أو الذروة في قمة التحدب لمنحني التوزيع التكراري وعادة تحسب بالنسبة الى التوزيع الطبيعي. اذا كان منحني التوزيع التكراري يمتلك قمة عالية كما في الشكل (5-13a) يسمى عندئذ (Leptokurtic) أي درجة عالية من التفلطح، بينما اذا كان شكل المنحني يمتلك تفلح متوسط كما في الشكل (5-13b) يسمى التوزيع (Mesokurtic)، أما اذا كان التفلطح كبير كما في الشكل (5-13c) فيطلق على التوزيع انه واطئ أو قليل التفلطح (platykurtic).

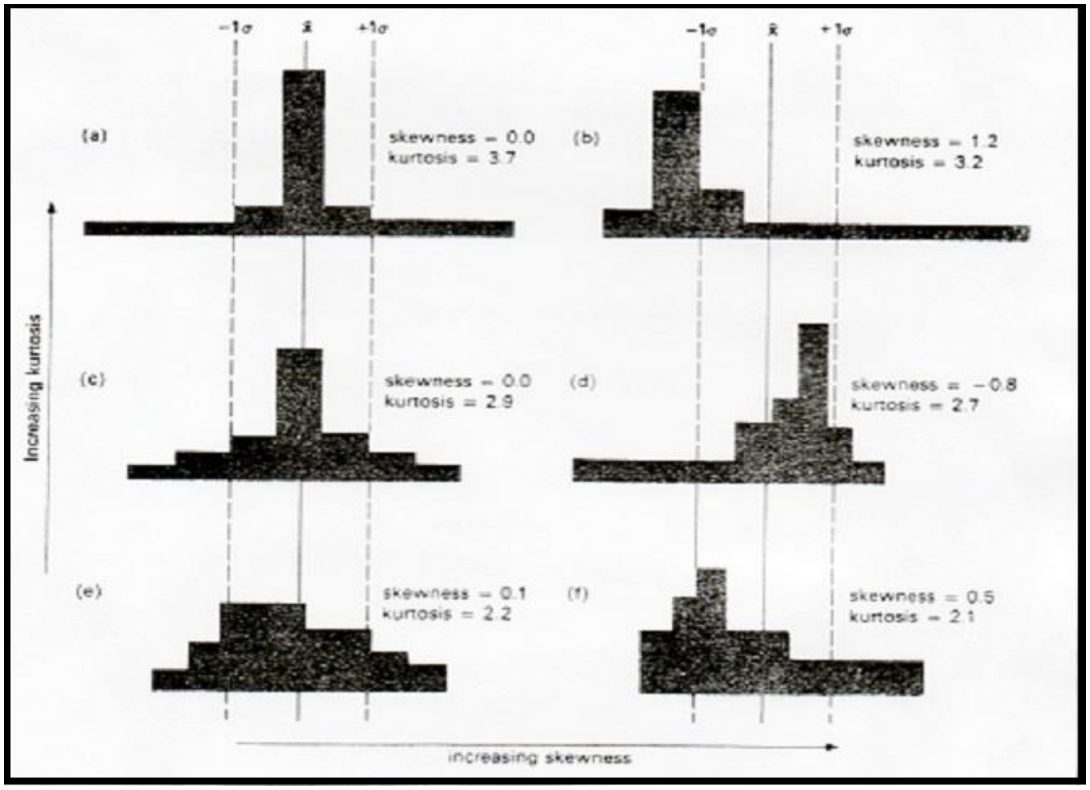


شكل رقم (13-5) إشكال التفلطح في منحني التوزيع التكراري

يتم حساب قيمة التفلطح حسب المعادلة الرياضية التالية:- $Kurtosis = \frac{\Sigma\left(X - \overline{X}\right)^4}{n\sigma^4}$

إن هذا القياس لا يستخدم كثيرا في المعالجات ألإحصائية كما هو الحال بالنسبة للمعايير الأخرى لعدم أهميته حيث انه يعطي فكرة أولية عن نوع التوزيع لمجموعة من القيم أو القراءات.

لغرض استعراض المزيد من الإيضاحات حول مفاهيم التفلطح والالتواء نلاحظ في الشكل (14-5) لدينا مجاميع من القيم لها نفس العدد من القراءات تم رسم المدرج التكراري لها. نلاحظ من الإشكال الستة (a, b, c, d, e, f) أنها تختلف عن بعضها البعض بصورة كبيرة، تمت المحافظة على أن مساحة المدرج التكراري تكون مساوية إلى عدد القيم الموجودة ولكنها تختلف في الشكل لاختلاف نمط توزيع هذه القراءات.



شكل رقم (14-5) إشكال مقاييس التفلطح والالتواء في منحني التوزيع التكراري

المصدر: (Ebdon, 1985, P. 29)

إن الإشكال الموجودة على جهة اليمين من الشكل (5-14, b. d, f) يكون التوزيع غير متناظر، إذ إن المنوال يقع على احد جانبي الوسط الحسابي ($\overline{X}$) ويقال عن هذا التوزيع انه ملتوي Skewed. إما الإشكال الثلاثة الأخرى على يسار الشكل (5-14. a. c. e) أنها تمتلك درجات التواء قليلة حيث إن المنوال Mode قريب أو يتطابق مع الوسط الحسابي ($\overline{X}$)، ويقال عندئذ عن هذا التوزيع انه التوزيع متجانس أو متناظر. نلاحظ بالإضافة إلى ذلك إن كل شكلين متجاورين (a, b) و(c, d) و(e, f) تمتلك نفس الدرجة من التدبب أو الاستدقاق أو التفلطح ويسمى الشكلين (b و a) عالي التفلطح والشكلين (d وc) متوسط درجة التفلطح إما الشكلين (f وe) قليل التفلطح. هذه القياسات خاصة لوصف أو تعريف شكل منحني التوزيع التكراري التي من خلالها يمكن التعرف على طبيعة توزيع أو انحياز القيم أو النتائج.

مثال (5-17):

احسب قيمة التفلطح Kurtosis والالتواء Skewness لمجموعة القيم التالية:-

$X_i = 1, 2, 2, 3, 3, 3, 4, 5, 6, 7$

الحل: يتم تنظيم جدول لحساب المتغيرات الداخلة في حساب قانون التفلطح والالتواء بعد حساب المعدل أو الوسط الحسابي وكما يلي:-

$$\overline{X} = \frac{\Sigma X}{n} = \frac{36}{10} = 3.6$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma\left(X - \overline{X}\right)}{n}} = \sqrt{\frac{32.4}{10}} = 1.8$$

x	$\left(X-\overline{X}\right)$	$\left(X-\overline{X}\right)^2$	$\left(X-\overline{X}\right)^3$	$^4\left(X-\overline{X}\right)$
1	- 2.6	6.76	- 17.576	45.69
2	- 1.6	2.56	- 4.096	6.55
2	- 1.6	2.56	- 4.096	6.55
3	- 0.6	0.36	- 0.216	0.129
3	- 0.6	0.36	- 0.216	0.129
3	- 0.6	0.36	- 0.216	0.129
4	0.4	0.16	0.064	0.025
5	1.4	1.96	2.744	3.84
6	2.4	5.76	13.824	33.17
7	3.4	11.56	39.304	133.63
		32.40	29.520	229.87

$$\text{Skewness} = \frac{\sum\left(X-\overline{X}\right)^3}{n\sigma^3} = \frac{29.520}{10*(1.8)^3} = 0.506$$

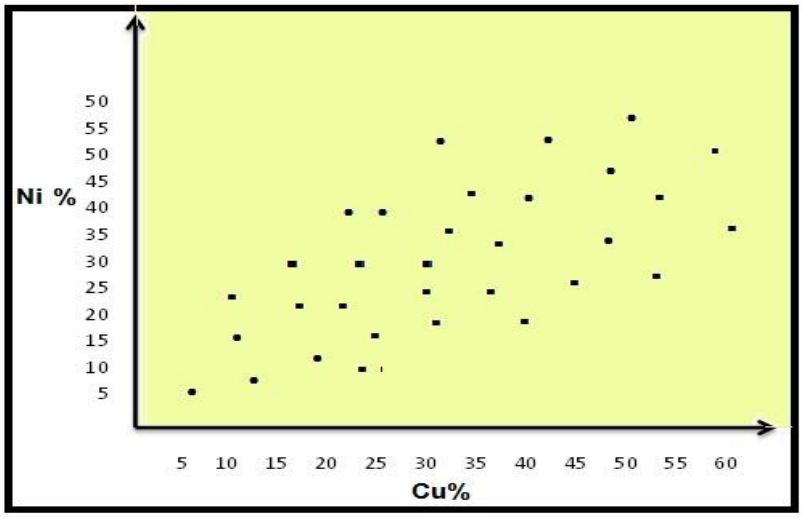
$$\text{kurtosis} = \frac{\sum\left(X-\overline{X}\right)^4}{n\sigma^4} = \frac{229.87}{10*(1.8)^4} = 2.19$$

(5-8) مخطط الانتشار Scatter diagram

غالبا ما يكون في العمل الجيولوجي الحصول على اكثر من متغير تحتاج الى معالجة احصائية، وتحتاج الى معرفة نوع العلاقة أو الترابط الموجود بين كل متغيرين من هذه المتغيرات، مثلا العلاقة بين تركيز عنصر معين مع سمك الطبقة المتمعدنة أو العلاقة بين تركيز النحاس والحديد في احد الترسبات المعدنية، في الحالة يتم رسم مخطط لهذه العلاقة بين هذين المتغيرين يسمى مخطط الانتشار (Scatter diagram) بهذه الحالة يتم رسم احد المتغيرات على طول المحور السيني والمتغير الآخر على طول المحور الصادي لكل زوج من هذه المتغيرات اذا كانت اكثر من متغيرين.

مخطط الانتشار مهم في توضيح نوع العلاقة بين كل متغيرين والتي تعكس طبيعة الظروف الجيولوجية والترسيبية المسيطرة على تكوين ونشأة الترسبات المعدنية.

نلاحظ في الشكل رقم (15-5) مخطط الانتشار لمتغيرين هما نسبة النحاس ونسبة النيكل في طبقة متمعدنة، نلاحظ من المخطط العلاقة الموجودة بين هذين المتغيرين حيث ان أي زيادة في نسبة النحاس يقابلها زيادة في نسبة النيكل والعكس بالعكس حيث تكون العلاقة موجبة، وكثيرا ما نلاحظ في امثلة اخرى بعدم وجود أي علاقة بين متغيرات اخرى أو تكون العلاقة سالبة.



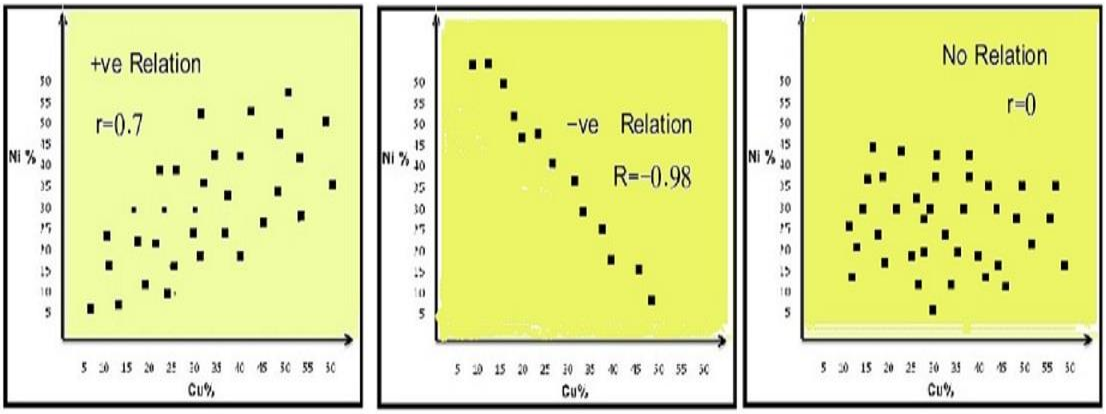
شكل (15-5) مخطط انتشار يوضح العلاقة بين تراكيز النحاس النيكل

من الممكن استخدام الصيغة الرياضية التالية لإيجاد أو حساب قيمة العلاقة بين متغيرين والتي تسمى كذلك معامل الارتباط (r) Correlation Coefficient.

$$r = \frac{\sum\left(x-\bar{x}\right)\left(y-\bar{y}\right)}{\sqrt{\left[\Sigma(x-\bar{x})^2\right]\left[\Sigma(y-\bar{y})^2\right]}}$$

دائما نجد ان قيمة معامل الارتباط يتراوح بين (1+ و 1−)، عندما تكون قيمة معامل الارتباط تساوي (1−) فهذا يدل على وجود علاقة قوية بين المتغيرين قيد الدراسة في النماذج المستحصلة.

حيث عندما تقل احدى القيم تزداد القيم الأخرى مقابل لها، وعندما تكون قيمة معامل الارتباط يساوي (1+) فهذا يدل كذلك على وجود علاقة قوية بين المتغيرين حيث كلما زاد احد المتغيرين يقابله زيادة في المتغير الآخر، أي ان القيمة العالية لأحد المتغيرين يقابله زيادة في قيمة المتغير الآخر. عندما تكون قيمة معامل الارتباط قريبة أو تساوي صفر فهذا يدل على وجود علاقة ضعيفة بين المتغيرين أو عدم وجود علاقة ونلاحظ ذلك بصورة واضحة في الشكل رقم (16−5) للاشكال c, b, a نستدل من قيمة معامل الارتباط (r) على نوع العلاقة بين المتغيرات.



شكل رقم (16−5) اشكال مخطط الانتشار

(9−5) المعالجات ألإحصائية المكانية Spatial statistics

المعالجات ألإحصائية التي نوقشت في الفقرات السابقة لم تأخذ بنظر الاعتبار الموقع المكاني للنماذج أو موقع كل نموذج نسبة الى مواقع النماذج الاخرى ضمن الجسم المعدني مما يجعل الاستفادة من النتائج المستحصلة من المعالجات ألإحصائية محدودة، فضلاً عن ذلك اذا كانت النماذج محدودة العدد يجعل استخدامها محدود وقصور في الاستنتاجات والنتائج عن حدود التراكيز وامتدادات الترسبات المعدنية، كذلك لا يمكن الاستدلال منها عن عدد النماذج التي يجب جمعها لغرض الاستفادة منها في تقييم وحساب احتياطي الترسبات المعدنية.

المعالجات ألإحصائية المكانية تأخذ بنظر الاعتبار موقع كل نموذج ومدى التأثير المتبادل بينه وبين النماذج المجاورة وبالتالي يمكن اعتبار شبكة النماذج أو الآبار اشبه بمجموعة سكانية واحدة تؤثر احدها على الكل بنسب معينة تعتمد على المسافة الفاصلة والاتجاه وبالعكس وهكذا بالنسبة لكل نموذج ضمن هذه المجموعة، تدخل جميع هذه النماذج في المعالجة ألإحصائية مرة واحدة وبنفس

التأثير والقيمة والنتيجة المستحصلة من هذه الدراسات هو عبارة عن منحني احصائي يسمى بال Semivariogram.

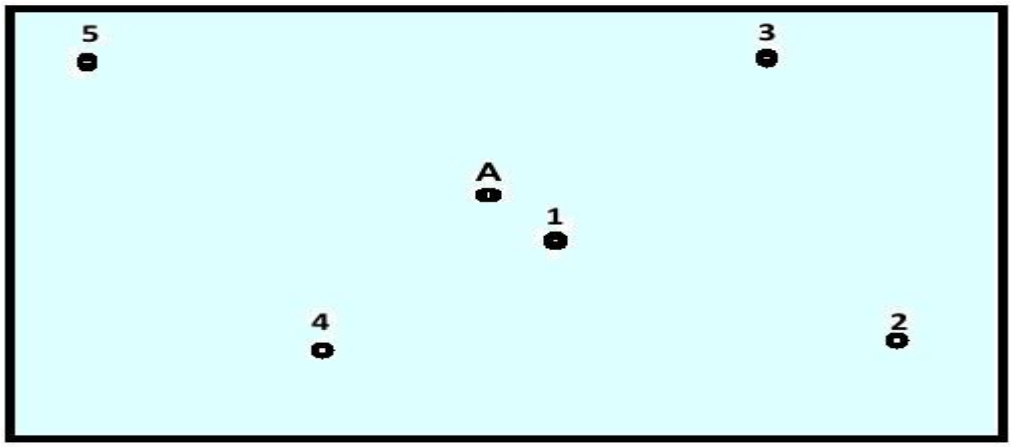
تمت الإشارة الى حساب وتفسير Semivariogram في فصل نمذجة الترسبات المعدنية ضن فصل المعالجات ألإحصائية للنتائج سوف نتطرق بشيء من التفصيل عن مبادئ وفكرة حساب وتطبيق Semivariogram ضمن الطريقة الجيواحصائية.

الطريقة الجيواحصائية في معالجة النماذج احصائياً ورياضياً

تم تطبيق الطريقة الجيواحصائية لأول مرة في حساب احتياطي الترسبات المعدنية في جنوب افريقيا في احد مناجم الذهب. ان المشكلة التي كانت قائمة آنذاك هي كيف يمكن التنبؤ أو معرفة تركيز الذهب في موقع معين ضمن المنجم أثناء اعمال الاستخراج المنجمي والتي سوف يتم قلعها واستخراجها لاحقا؟ وباستخدام عدد محدود من القيم أو النماذج المتوفرة. ان قيم تراكيز الذهب تختلف بصورة كبيرة من موقع الى اخر وأثناء إجراء المعالجات ألإحصائية لهذه التراكيز فإنها تبدي انحراف أو حيود كبير باتجاه التراكيز العالية Highly Skewed، هذا الحيود والالتواء الذي يظهر في منحني التوزيع التكراري لم يستطيع احد من الباحثين وضع تفسير مقنع لع الى ان جاء العالم سيشل H. S. Sichel وطبق نظرية التوزيع اللوغارتمي Log – normal distribution الذي حصل على نتائج مشجعة وبذلك تم تحويل التوزيع التكراري المنحرف أو الالتواء في المنحني الى منحني توزيع متناظر symmetrical وبه أمكن التعامل مع القيم والنتائج المستحصلة احصائيا ورياضيا لاستخراج كافة المتغيرات التي يمكن الاستفادة منها في معرفة مميزات وخصائص الترسبات المعدنية.

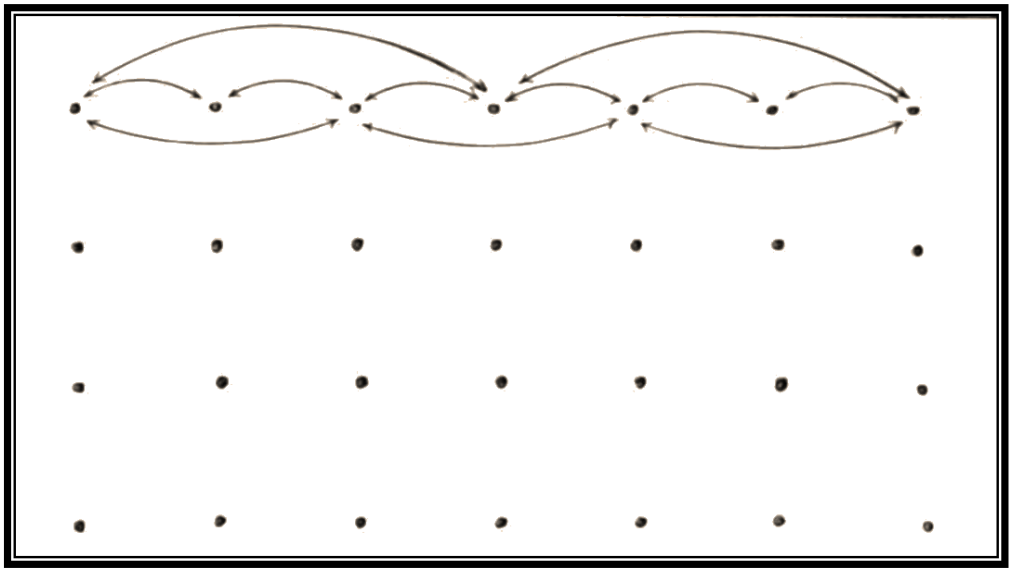
الخطوة اللاحقة هي حساب أو اخذ العلاقة والتأثير بين القيم والنتائج بنظر الاعتبار وتم إدخال مواقع النماذج في الحسابات والمعالجات ألإحصائية، ومن خلالها تم التعرف على أماكن تواجد التراكيز العالية والتراكيز الواطئة ضمن الجسم المعدني. لإلقاء المزيد من الايضاح نسوق المثال التالي:-

لدينا الشكل رقم (17-5) الذي يمثل توزيع عشوائي لستة مواقع نماذج ضمن مساحة معينة من الترسبات المعدنية ثم استخدامها لغرض تقييم هذه الترسبات.



شكل رقم (17-5) توزيع مواقع النماذج

نلاحظ من الشكل أعلاه ان العلاقة أو التأثير بين قيمة النموذج عند الموقع A وقيمة أي نموذج في أي نقطة اخرى تعتمد على المسافة بين هذه النماذج وكذلك الاتجاه بين موقع كل نموذجين ولا شيء آخر. ان العلاقة بين قيم النماذج لا تعتمد فيما اذا كان النموذج واقع ضمن نطاق تركيز عالي أو فقير، بل ان العلاقة بين قيم النماذج تعتمد على الموقع المكاني لها فقط وليس غير ذلك وبالحقيقية فان العلاقة بين النماذج لا تعتمد حتى طبيعة التمعدن أو التوزيع المعدني ضمن الجسم المعدني. من الشكل (17–5) ممكن بناء على هذه الفرضية أو النظرية نستنتج ان قيمة النموذج عند الموقع (5) تختلف كثيراً عن قيمة النموذج عند النقطة (A)، بينما قيمة النموذج عند الموقع (1) هي مقارنة جدا مقاربة جدا للقيمة عند الموقع (A)، عندها يمكن ان نفترض ان الاختلاف في القيمة بين أي موقعين ضمن الجسم المعدني تعتمد على المسافة بينهما وكذلك الاتجاه Relative Orientation. لنفترض اننا استخدمنا أي زوج من النماذج تفصل بينهما مثلا مسافة (50) متر باتجاه شمال – جنوب أو شرق – غرب ضمن الجس المعدني ثم نبدأ بحساب الاختلافات بين هذه القيم، بعد ذلك نستخدم أزواج النماذج (pairs) التي تفصل بينهما مسافة (100) متر وثم (200) متر وهكذا ... شكل رقم (18–5).



شكل رقم (18–5) شبكة حفر ابار نظامية m (100×100)

القيمة المستحصلة التي تمثل الاختلاف في المتغير الذي تم حسابه مثلا (التركيز، السمك، ... الخ) سوف تختلف باختلاف كل زوج من النماذج (For each pair of samples) وعندما يتم اخذ عدد كافي من الأزواج باتجاه معين عندئذ يكون من الممكن بناء أو تمثيل مدرج تكراري Histogram بهذه الحالة أمكن تحويل المسافة بين النماذج الى شكل إحصائي أي ان متغيرات قيم النماذج مع المسافة تم تحويلها الى صيغة رياضية بهذه الحالة سوف نحصل على مدرج تكراري Histogram واحد لكل مسافة وضمن اتجاه معين في الجسم المعدني. لكي يمكن بناء صورة واضحة لمميزات وخصائص الترسيب بهذه الحالة نحتاج الى مسافات مختلفة واتجاهات متعددة قدر الإمكان.

هذه العملية تكون طويلة ومملة ومربكة في اكثر الاحيان ولكي نبسط العمليات ألإحصائية وبصورة واضحة عندها يجب اللجوء الى حساب واستخدام الوسط الحسابي أو المعدل (mean) وكذلك التباين (variance) أو استخدام الانحراف المعياري standard deviation.

إذا اعتبرنا ان المسافة بين النماذج في اتجاه معين هي (h) وان الاختلافات في قيم النماذج سوف تعتمد فقط على المسافة (h) ويمكن ان يقال في المفهوم الإحصائي ان توزيع هذه الاختلافات تعتمد فقط على (h) واذا كانت هذه الحالة هي حقيقة التوزيع للمتغيرات في الجسم المعدني بهذه الحالة سوف يكون المعدل الحسابي والتباين كذلك حقيقي.

إذا اعتبرنا ان معدل الاختلافات في قيم النماذج هو [m(h)] وان التباين لهذه الاختلافات تعتبر هو [2γ (h)] واذا افترضنا ان لدينا من ازواج النماذج a set of pairs لمسافة معينة هي (h) عندئذ يمكن ان نضع صيغة رياضية لحساب معدل الاختلافات في القيم [m(h)].

$$m(h) = \frac{1}{n}\sum[g(x)-g(x+h)]$$

حيث ان:-

m (h) = معدل الاختلافات في القيم بين نموذجين

(g) = المتغير الذي تم حسابه مثل (التركيز السمك ، ...)

(x) = موقع النموذج الأول في الزوج (pair)

(x + h) = موقع النموذج الثاني في الزوج

n = No, of pairs عدد الازواج

من خلال تطبيق هذه المعادلة نلاحظ ان قيمة m (h) اذا كانت تساوي صفر فهذا يعني ليس هناك أي اختلاف في التركيز للمسافة (h)، بكلام اخر ممكن ان نتوقع وجود نفس القيمة للنموذج ممكن ان تمتد ضمن الجسم المعدني للمسافة (h) وهذا يعني عدم وجود اختلاف في القيم للمسافة (h) أي لا يوجد حيود أو انحراف (Trend) في تجانس الجسم المعدني.

عندما نعود الى التباين في الاختلافات Variance of the Differences والذي يرمز له (2γ h) والذي يسمى variogram وبنا انه يتغير مع المسافة والاتجاه فبالإمكان أن ي يحل محل m (h)

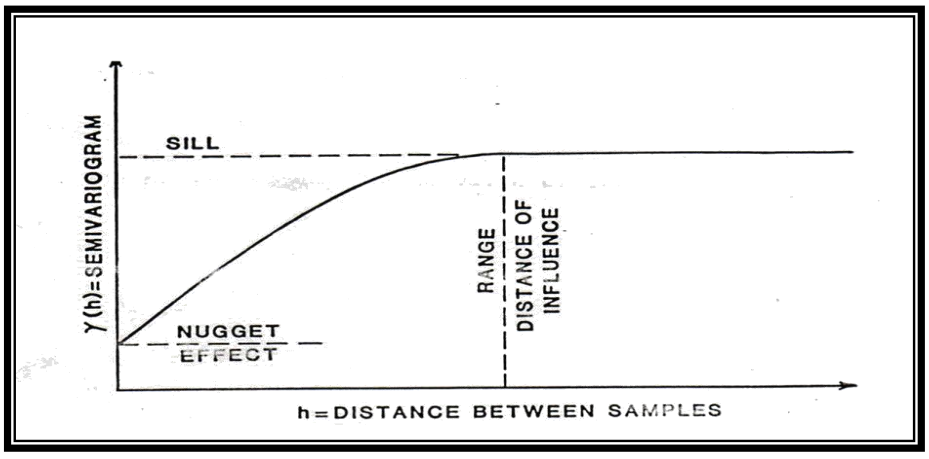
$$2\gamma(h) = \frac{1}{n}\sum[g(x)-g(x+h)]^2$$

حيث ان العدد (2) وضعت لأغراض حسابية اما الرمز γ (h) فيسمى Semi – variogram. بهذه الحالة نحن نقيس الاختلافات في قيم النماذج التي تفصل بينهما المسافة (h) وباتجاه محدد والنتيجة التي نحصل عليها تكون مرفوعة للاس التربيعي (Squared)، مثال على ذلك (% by weight)^2 أو (ppm)^2 ... الخ.

الطريقة البسيطة لتمثيل هذه الصيغة الرياضية هي بواسطة الرسم حيث تمثل المسافة بين الازواج pairs على المحور السيني وتمثل قيمة (γ Semi – variogram) (على المحور العمودي ونبدأ بالمسافة من الصفر. عند المسافة صفر يتعذر اخذ نموذجين يمثلان موقعين عند نفس الموقع لذلك فان قيمة γ يجب ان يكون صفر لذلك فالمنحني يجب ان يمر من نقطة الصفر. عندما يتم تباعد في المسافة بين نموذجين لمسافة محددة عندها نتوقع حصول بعض الاختلافات في الفرق بينهما وتكون قيمة γ بهذه الحالة قيمة موجبة ، وعند زيادة المسافة اكثر فان الاختلاف في هذه الحالة يبدأ بالزيادة الى ان يصل الى حد معين عندما تبلغ المسافة الفاصلة بين النماذج مقدار معين ، عندها تصبح قيم النماذج بعد هذه المسافة غير معتمدة بعضها على البعض الاخر، أي لا يوجد تاثير متبادل بين مواقع النماذج وبهذا تصبح قيم ال Semivariogram ثابتة.

إن مسافة التأثير المتبادل بين القيم أو النماذج أو مواقع الآبار تختلف من جسم معدني الى اخر وقد تختلف ضمن الجسم المعدني الواحد اعتمادا على درجة تجانس المكونات المعدنية وتختلف كذلك مع اختلاف الاتجاه لمواقع النماذج ضمن الترسبات المعدنية. ان درجة التشابه أو عدم التشابه في قيم النماذج ذات اهمية كبيرة وتعطي دليل واضح على فهم خصائص ومميزات الترسبات المعدنية عند اجراء تقييم معدني لها. إن الاداة أو الوسيلة ألإحصائية المستخدمة لبيان هذا التشابه أو عدم التشابه بين مواقع النماذج ضمن الجسم المعدني كدالة للمسافة بين هذه الموقع هو الذي يطلق عليه اسم ال Semivariogram.

شكل رقم (19–5) والذي يسمى بالشكل المثالي الى الـ Semivariogram في المعالجات الجيواحصائية Geostatistics وهو الذي يقابل التوزيع المتناظر Normal distribution في الدراسات ألإحصائية Statistics.



شكل رقم (19–5) الشكل المثالي الى Semivariogram

من الجدير بالذكر ان نلجأ الى مراجعة المثال المحلول في كيفية حساب ال Semivariogram ضمن فصل الترسبات المعنية. الهدف من ذلك هو فهم فكرة الية حساب ال Semivariogram، حاليا تجري كافة هذه الحسابات باستخدام الحاسوب تدعمه في ذلك وجود برامج

جاهزة تخصصية معدة لهذه الغرض مثل Geoeas، winsurf وغيرها من المتداول حاليا، وما على الجيولوجي أو الشخص الذي يجري هذه الحسابات أو المعالجات الا ايجاد رسم بصيغة مقبولة ومقنعة الى منحني Semivariogram والتي من الرسم تقوم باستخدام المتغيرات المطلوبة لتي يمكن ان تستنتج منها مواصفات وخصائص الجسم المعدني من تركيز، سمك، تمعدن، الخ والتي تدخل كذلك في المعالجات والحسابات ألإحصائية في المراحل اللاحقة لغرض حساب احتياطي الترسبات المعدنية. ومن هذه التغيرات هي:-

1- **المدى Range**: وهي المسافة التي تصبح عندها النماذج غير معتمدة بعضها على البعض الأخر وتسمى Range of Influence of Samples

وبصيغه الأخرى هي المسافة التي تصل فيها قيمة (γ) الى قيمة (sill) وتحسب من المنحني الى Semivariogram وتقرا على المحور السيني والتي تمثل اعلى قيمة لمسافة التأثير بين النماذج في اتجاه معين، أي ان التأثير المتبادل بين النماذج سوف يزول بعد هذه المسافة.

2- Sill value: وهي اعلى قيمة للاختلافات تظهر بين النماذج وتلاحظ عندما يأخذ شكل منحني Semivariogramخط افقي أي بمعنى اخر انها تمثل قيمة (γ) عندما يصبح شكل المنحني ثابت ويرمز لها بالرمز (c).

3- **Nugget effect**: وهي تمثل القيمة التي يتقاطع فيها المنحني مع المحور العمودي في مرتسم Semivariogram، عندما تكون المسافة بين النماذج صفر. عندما تكون قيمة ال Nugget قريبة من الصفر فانها تعكس أو توضح لنا في هذه الحالة عن وجود علاقة أو تاثير متبادل بين مواقع النماذج، تظهر هذه الحالة في الترسبات المعدنية ذات الامتدادات الواسعة مثل الترسبات الطباقية. عندما تكون قيمة Nugget كبيرة بهذه الحالة تعكس عن عدم وجود علاقة أو تأثير بين مواقع النماذج، تظهر هذه الحالة في ترسبات القنوات النهرية أو ترسبات الصدوع و الفوالق، تتأثر قيمة Nugget كثيرا عند وجود خطأ في نظام النمذجة أو نتائج التحاليل الكيميائية والمختبرية. يجب ان تؤخذ هذه الحالات بنظر الاعتبار للحفاظ على الدقة والمعقولية في النتائج.

توجد أشكال عديدة ونماذج متنوعة من منحنيات تمثيل الSemivariogram تعكس خصائص ومميزات مختلف الظواهر الجيولوجية المدروسة. ونستعرض هنا بعض اهم هذه الموديلات وكما يلي:-

1- Spherical Model

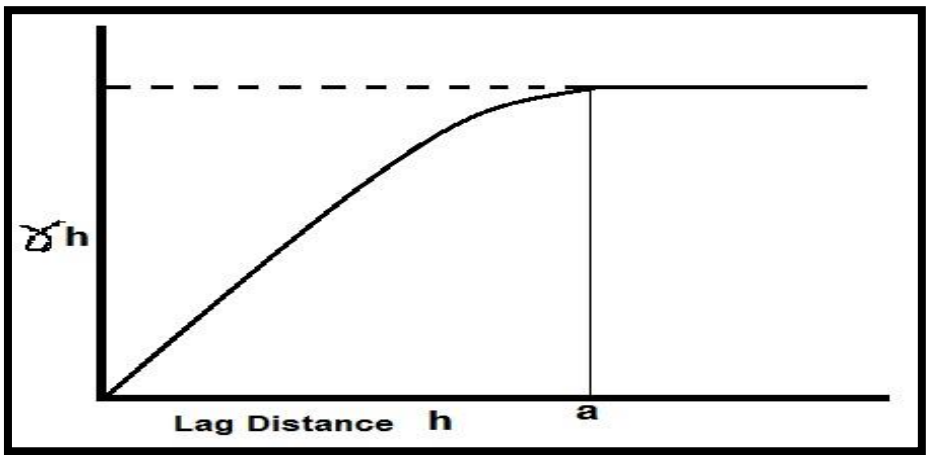
في هذا النموذج يبدأ شكل المنحني من الصفر ثم يبدأ بالزيادة بصورة معتدلة الى ان يصل الى النقطة التي فيها يبدأ المنحني باتخاذ الشكل الافقي الثابت والذي يسمى sill والتي عندها تكون قيمة المدى Range والتي يرمز لها بالرمز (a) تساوي قيمة Semivariogram (γ) مع قيمة التباين σ^2.

أي ان $\gamma(h) = \sigma^2$ شكل رقم (20-5)

الصيغة الرياضية لهذا التمثيل هي :-

$$\gamma(h) = \sigma_0^2 \left(\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right) \quad when\ h \le a$$

$$\gamma(h) = c \qquad when\ h \ge a$$



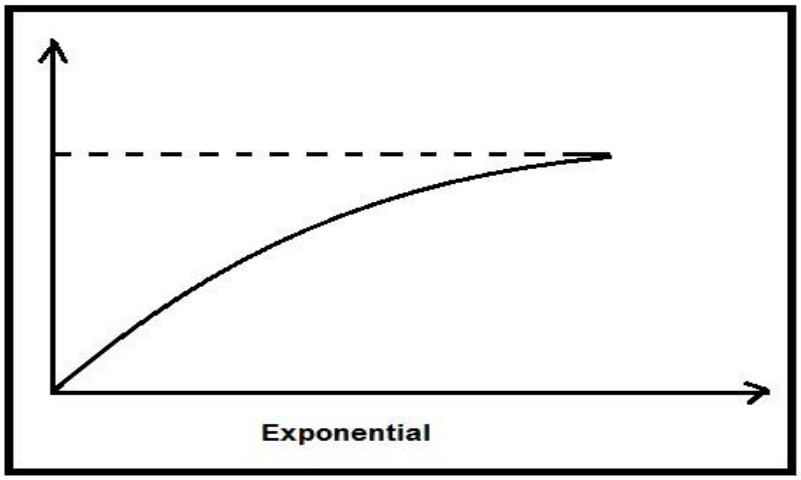
شكل(20-5) نموذج مثالي الى Spherical Semivariogram

المصدر (Davis, Jc, 1973, p247)

يعتبر هذا النموذج من أهم وأشهر النماذج في الاستخدام في المعالجات ألإحصائية بصورة عامة لمختلف أنواع الظواهر والمتغيرات.

2 - Exponential Model

في هذا التمثيل يبدأ شكل المنحني من نقطة الصفر كذلك ويبدأ بالزيادة والصعود تدريجيا ولكنه لا يصل إلى حالة الثبات والاستقرار في القيمة. شكل رقم (21-5).

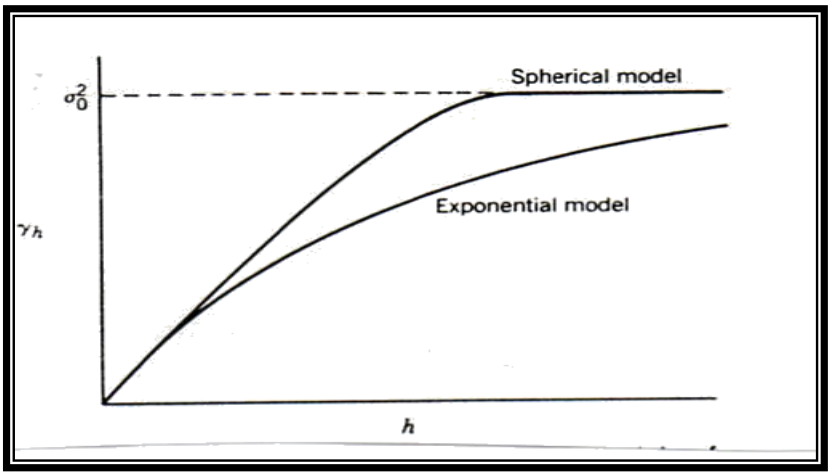


شكل رقم (21-5) Exponential Model

الصيغة الرياضية لهذا التمثيل هي :

$$\gamma(h) = c\left(1 - \exp^{-h/a}\right)$$

الشكل التالي رقم (22-5) يمثل مقارنة بين النموذجين Spherical وال Exponential .



شكل رقم (22-5) Spherical and Exponential

Models of Semivariogram

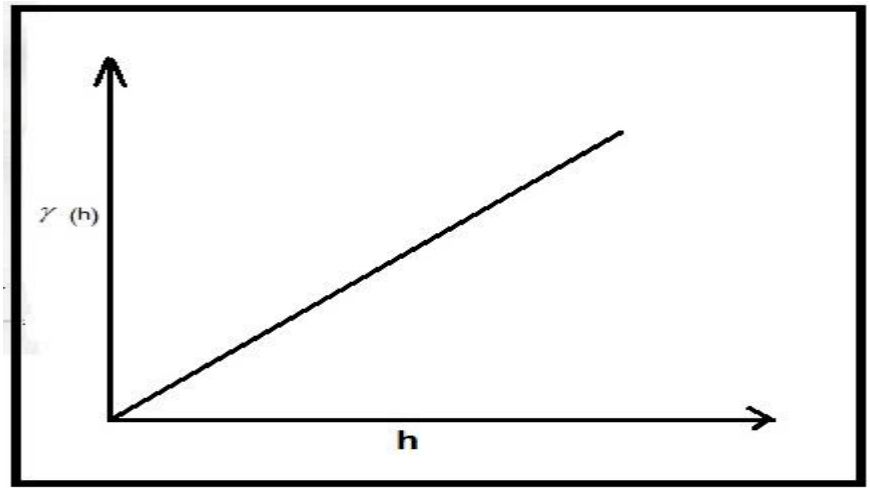
المصدر (Davis, 1973, p247)

Linear Model -3

هذا النموذج يعتبر ابسط من الإشكال السابقة، المتغيرات المستحصلة منه فقط الميل slope والتمثيل الرياضي لهذا النموذج هو:-

$$\gamma(h) = \alpha h$$

يكون على خط مستقيم يمر من نقطة الصفر وليس له قيمة sill وهذا يظهر لنا عن وجود استمرارية في التأثير المتبادل بين النماذج متوسطة القيمة. هذا النموذج يمثل تمثيل جيد العلاقة بين النماذج لمسافة اقل بكثير من المسافة (a). شكل رقم (23-5).



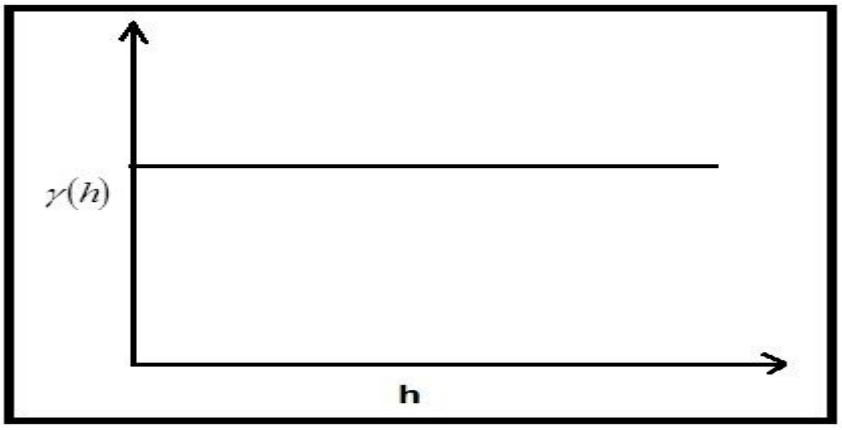
شكل رقم (23-5) Semivariogram Linear Model

Horizontal Model -4

شكل المنحني يكون عبارة عن خط مستقيم أفقي على مسافة معينة من نقطة الصفر على المحور الصادي. والاستنتاج الجيواحصائي لهذا الشكل هو عدم وجود أية علاقة تأثير بين النماذج

No spatial autocorrelation بالإضافة إلى ذلك عدم وجود استمرارية في العلاقة بين قيم النماذج وفيه تكون قيمة $\gamma(h) = \sigma^2$

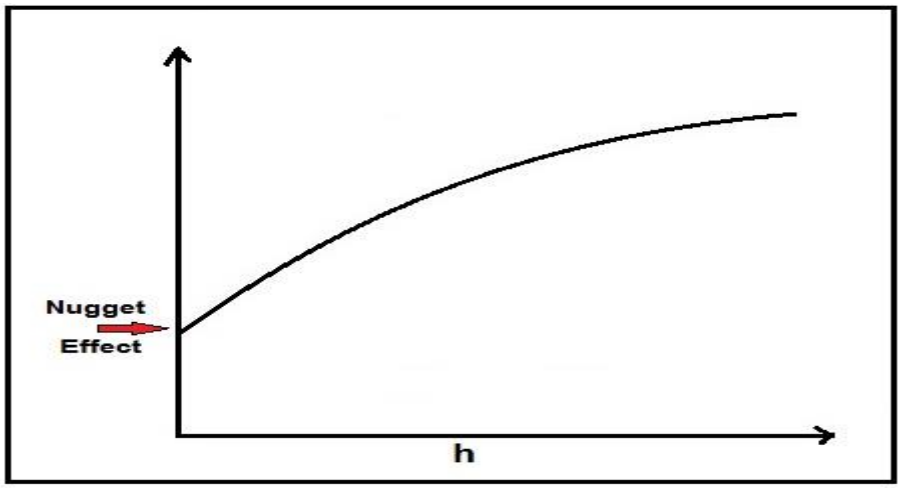
كما في الشكل رقم (5-24).



شكل رقم (5-24) Horizontal Model

5 - Nugget effect

نلاحظ من الشكل (5-25) أن المنحني لا يمر في نقطة الصفر دائما تكون نقطة البداية مع تقاطعه عند المحور (h) γ عند قيمة معينة اعلي من الصفر. نقطة التقاطع هذه تسمى Nugget effect

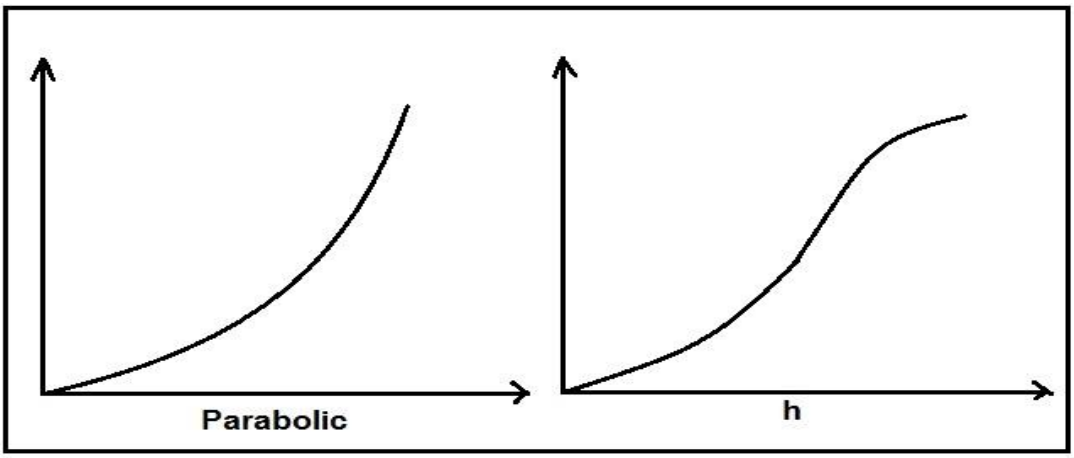


شكل رقم (5-25) Nugget effect

عندما تكون قيمة Nugget عالية، بهذه الحالة نستنتج من المنحني أن التأثير المتبادل بين قيم النماذج يكون شاذة ومختلفة وعلى مسافات قصيرة اقل من المسافات الفاصلة بين النماذج.

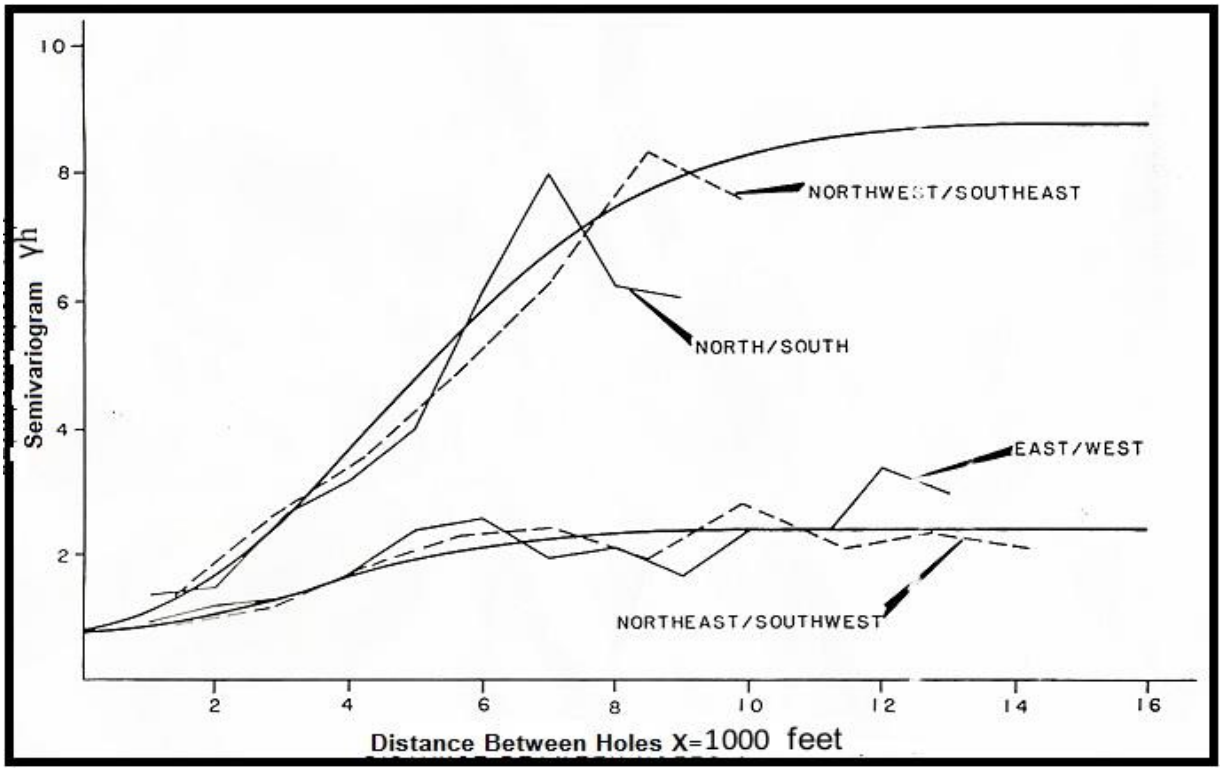
6- Parabolic Mode

هذا النموذج موضح في الشكل (5-26) ونستنتج من المنحني بان هناك علاقة تأثير متبادلة بصورة كبيرة بين مواقع النماذج ولمسافات كبيرة.



شكل رقم (5-26) Parabolic Model

بعد الاطلاع على إشكال ونماذج الـ Semivariogram نعطي مثال لزيادة الإيضاح في كيفية تفسير واستنتاج القراءات من شكل المنحني المستحصل من المعالجات ألإحصائية. نلاحظ من الشكل رقم (5-27) أن المنحني الذي في اتجاه E-W وكذلك في اتجاه NE-SW نستنتج منه وجود اختلاف بسيط في السمك في هذا الاتجاه وذلك لان قيمة γ (h) قليلة بالإضافة إلى إن المدى Range كبير مما يدل على وجود تأثير في القيم للنماذج على مسافات بعيدة. بينما شكل المنحني في الاتجاه N_S وكذلك NW_SE يعكس وجود اختلاف عالي في السمك بهذه الاتجاهات وذلك لوجود قيم عالية إلى Sill أو γ (h) وهذا يعني وجود قيم عالية للتباين σ^2 أو التشتت في القيم . من هذه الاستنتاجات يمكن أن نوجه نظام شبكة الحفر الاستكشافية في المراحل اللاحقة وتحدد المسافة بين النماذج أو مواقع الآبار لغرض الاستمرار في تنفيذ برنامج الاستكشاف المعدني بكلف اقتصادية قليلة واختصار الوقت، التوصية ممكن أن تكون باتجاه تقليل المسافة بين المواقع النماذج في الاتجاه N_NW، وتكون المسافة المقترحة بين الآبار كبيرة في اتجاه E_NE وذلك لوجود استمرارية في امتداد لترسبات ووجود علاقة تأثير متبادلة كبيرة بين النماذج في هذا الاتجاه، أي من الممكن أن تكون التوصية بالمسافة المقترحة بين المواقع النماذج هي 6000 قدم أو 4000 قدم في حين ممكن أن تتعدى المسافة بين المواقع عن 2000 قدم



شكل (27-5) أشكال مختلفة في اتجاهات متعددة إلى Semivariogram

المصدر: (Rendu, J. M. Application of Geostatistics, P.9)

في الاتجاه الآخر الذي هو N_NW وذلك لوجود اختلاف كبير في السمك بهذا الاتجاه.

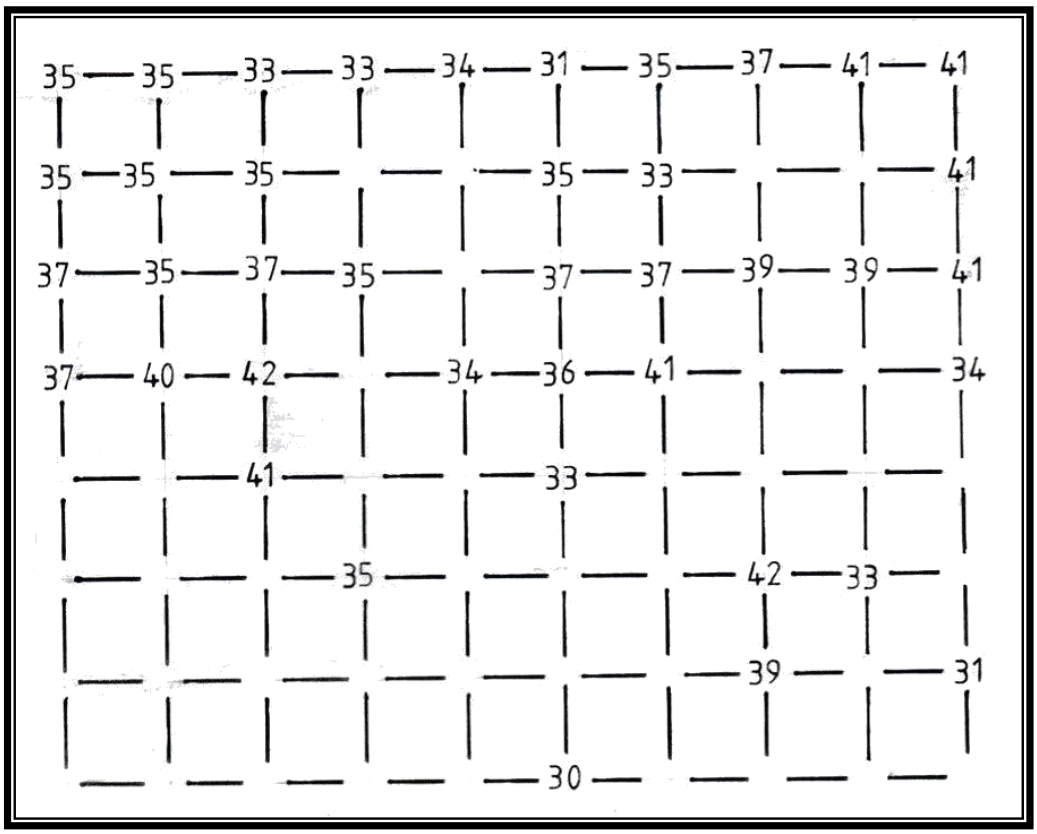
أن ظهور قيمة عالية إلى Nugget effect يدل على وجود ظواهر جيولوجية أو ظروف ترسيبيه سريعة التغيير والمسببة لظهور الترسبات، يجب أن تتوافق هذه الاستنتاجات مع دراسات جيولوجية المنطقة والظروف الترسيبية للمنطقة المستهدفة بالدراسة، ممكن أن تكون الزيادة في قيمة ألNugget الى وجود خطأ في التحاليل المختبرية أو في طريقة جمع النماذج بهذه الحالة نحتاج الى نحتاج الى مزيد من الدقة والضبط في إجراء القياسات والتحاليل المختبرية.

مثال رقم (18-5): تم تنفيذ برنامج حفر استكشافي في شبكة الآبار نظامية (100 × 100) متر شكل رقم (28-5) لتتبع دراسة تراكيز الرصاص %ضمن طبقة متمعدنة المستهدفة بالدراسة، القرارات كما مؤشر إزاء موقع كل بئر بالنسبة المئوية.

المطلوب

1- حساب قيمة Semivariogram في اتجاهين شرق – غرب وشمال – جنوب، جنوب شرق – شمال غرب مع الرسم.

2- ناقش النتائج.



شكل (28-5) قيم تراكيز الرصاص ضمن شبكة الابار

الحل :- نبدأ أولا بحساب قيمة أل Semivariogram باتجاه (شرق – غرب) ونبدأ بالمسافة الفاصلة هي (100) متر بين الأزواج من مواقع الآبار، ثم نحسب قيمة أل (γ) Semivariogram ثم نحسب قيمة (γ) للمسافة الفاصلة (200) متر، وهكذا لغاية أن نصل الى أقصى مسافة فاصلة يمكن ان نحصل منها على زوج نماذج وكما يلي:-

1- for h = 100 m from east to west direction.

$(41-41)^2 + (41-37)^2 + (37-35)^2 + (35-31)^2 + (31-34)^2 + (34-33)^2 + (33-33)^2 + (33-35)^2 + (35-35)^2 + (33-35)^2 + (35-35)^2 + (35-35)^2 + (41-39)^2 + (39-39)^2 + (39-37)^2 + (37-37)^2 + (35-37)^2 + (37-35)^2 + (35-37)^2 + (41-36)^2 + (36-34)^2 + (42-40)^2 + (40-37)^2 + (33-42)^2$

$= 0 + 16 + 4 + 16 + 9 + 1 + 0 + 4 + 0 + 4 + 0 + 0 + 4 + 0 + 40 + 0 + 4 + 4 + 4 + 25 + 4 + 4 + 9 + 81 = 179$

$\therefore \gamma h = \gamma(100) = \frac{197}{2\times 24} = 4.1(\%)^2$

2- for h = 200 m

$(41-37)^2 + (41-35)^2 + (37-31)^2 + (35-34)^2 + (31-33)^2 + (34-33)^2 + (33-35)^2 + (33-35)^2 + (35-35)^2 + (41-39)^2 + (39-37)^2 + (39-$

$37)^2 + (37 - 35)^2 + (35 - 35)^2 + (37 - 37)^2 + (41 - 34)^2 + (34 - 42)^2 + (42 - 37)^2 + (31 - 39)^2$

$= 16 + 36 + 36 + 1 + 4 + 1 + 4 + 4 + 0 + 4 + 4 + 4 + 4 + 0 + 0 + 49 + 64 + 25 + 64 = 320$

$$\gamma(200)=\frac{320}{2\times19}=8.4(\%)^2$$

3- for h = 300 m

$(41 - 35)^2 + (41 - 31)^2 + (37 - 34)^2 + (35 - 33)^2 + (31 - 33)^2 + (34 - 35)^2 + (33 - 35)^2 + (41 - 33)^2 + (35 - 35)^2 + (41 - 37)^2 + (39 - 37)^2 + (37 - 35)^2 + (37 - 37)^2 + (35 - 37)^2 + (34 - 41)^2 + (36 - 42)^2 + (34 - 40)^2 + (33 - 41)$

$= 36 + 100 + 9 + 4 + 4\ 1 + 4 + 64 + 0 + 16 + 4 + 4 + 0 + 4 + 49 + 36 + 36 + 64 = 435$

$$\gamma(300)=\frac{435}{2\times18}=12.08(\%)^2$$

4-for h =400 m

$(41 - 31)^2 + (41 - 34)^2 + (37 - 33)^2 + (35 - 33)^2 + (31 - 35)^2 + (34 - 35)^2 + (41 - 35)^2 + (33 - 35)^2 + (35 - 35)^2 + (41 - 37)^2 + (39 - 35)^2 + (37 - 37)^2 + (37 - 35)^2 + (41 - 37)^2 + (39 - 35)^2 + (37 - 37)^2 + (37 - 35)^2 + (34 - 36)^2 + (41 - 42)^2 + (36 - 40)^2 + (34 - 37)^2 + (42 - 35)^2 +$

$100 + 49 + 16 + 4 + 16 + 1 + 36 + 4 + 0 + 16 + 16 + 0 + 4$

$+ 4 + 1 + 16 + 9 + 49 = 341$

$$\therefore\gamma(400)=\frac{341}{2\times18}=9.47(\%)^2$$

5- for h =500 m

$(41 - 34)^2 + (41 - 33)^2 + (37 - 33)^2 + (35 - 35)^2 + (31 - 35)^2 + (33 - 35)^2 + (35 - 35)^2 + (39 - 35)^2 + (39 - 37)^2 + (37 - 35)^2 + (37 - 37)^2 + (34 - 34)^2 + (41 - 40)^2 + (36 - 37)^2 + (33 - 35)^2 +$

$= 49 + 64 + 16 + 0 + 16 + 4 + 0 + 16 + 4 + 4 + 0 + 0 + 1 + 1 + 4 = 179$

$$\therefore.\gamma(500)=0\frac{179}{2\times15}=5.96\ (\%)^2$$

6- for h = 600

$(41-33)^2 + (41-33)^2 + (37-35)^2 + (35-35)^2 + (33-35)^2 + (41-35)^2$
$+ (39-37)^2 + (39-35)^2 + (37-37)^2 + (41-37)^2$
$= 64 + 64 + 4 + 0 + 4 + 36 + 4 + 16 + 0 + 16 = 208$

$$\therefore \gamma(600) = \frac{208}{2\times 10} = 10.8(\%)^2$$

7- for h = 700

$(41-33)^2 + (41-35)^2 + (37-35)^2 + (41-35)^2 + (41-37)^2 + (39-35)^2$
$+ (39-37)^2 + (34-42)^2$
$= 64 + 36 + 4 + 36 + 16 + 16 + 4 + 64 = 240$

$$\therefore \gamma(700) = \frac{240}{2\times 8} = 15.0$$

8- for h = 800

$(41-35)^2 + (41-35)^2 + (41-35)^2 + (41-35)^2 + (39-37)^2 + (34-40)^2$
$= 36 + 36 + 36 + 36 + 4 + 36 = 184$

$$\therefore \gamma(800) = \frac{184}{2\times 6} = 15.0\ (\%)^2$$

9- for h = 900

$(41-35)^2 + (41-35)^2 + (41-37)^2 + (34-37)^2$
$= 36 + 36 + 16 + 9 = 97$

$$\therefore \gamma(900) = \frac{97}{2\times 4} = 12.1(\%)^2$$

الخطوة الثانية هي حساب قيمة ال Semivariogram باتجاه شمال – جنوب وكذلك نبدأ بالمسافة الفاصلة وهي (100) متر ثم نستمر بحساب قيمة (γ) كما في الحالة الأولى كما يلي:-

1- for h = 100 from North to south

$(41-41)^2 + (41-41)^2 + (41-34)^2 + (42-39)^2 +$
$(35-33)^2 + (37-36)^2 + (37-41)^2 + (31-35)^2 +$
$(35-37)^2 + (37-36)^2 + (36-33)^2 + (33-35)^2 +$
$(35-35)^2 + (35-40)^2 + (35-35)^2 + (35-37)^2 +$
$(37-37)^2$
$= 0 + 0 + 49 + 4 + 16 + 16 + 16 + 4 + 1 + 9 + 4 + 4 + 25 + 1 + 0 + 0 +$
$25 + 0 + 4 + 0 = 187$

$$\therefore \gamma(100) = \frac{187}{2\times 21} = 4.45(\%)^2$$

2- for h = 200 m

$(41-41)^2 + (41-34)^2 + (41-39)^2 + (37-39)^2 +$
$(35-37)^2 + (33-41)^2 + (31-37)^2 + (35-36)^2 +$
$(37-33)^2 + (33-35)^2 + (33-37)^2 + (35-42)^2 +$
$(37-41)^2 + (35-35)^2 + (35-40)^2 + (35-37)^2 +$
$(35-37)^2$
$= 0 + 49 + 4 + 4 + 4 + 64 + 36 + 1 + 16 + 4 + 16 + 49 + 16 + 0 + 25 + 4$
$+ 4 = 296$

$$\therefore \gamma(200) = \frac{296}{2\times 17} = 8.7(\%)^2$$

3- for h = 300 m

$(41-34)^2 + (34-31)^2 + (39-33)^2 + (39-42)^2 +$
$(35-41)^2 + (31-36)^2 + (35-33)^2 + (33-30)^2 +$
$(34-34)^2 + (35-35)^2 + (33-42)^2 + (35-41)^2 +$
$(35-40)^2 + (35-37)^2$
$= 49 + 9 + 36 + 9 + 36 + 25 + 4 + 9 + 0 + 0 + 81 + 36 + 25 + 4 = 323$

$$\therefore \gamma(300) = \frac{323}{2\times 14} = 11.5(\%)^2$$

4- for h = 400 m

$(41-31)^2 + (39-39)^2 + (31-33)^2 + (36-30)^2 + (33-41)^2$
$= 100 + 0 + 4 + 36 + 64 = 204$

$$\therefore \gamma(400) = \frac{204}{2\times 5} = 20.4(\%)^2$$

5- for h = 500 m

$(41-31)^2 + (41-33)^2 + (37-42)^2 + (37-30)^2 + (33-35)^2$
$= 100 + 64 + 25 + 49 + 4 = 242$

$$\therefore \gamma(500) = \frac{242}{2\times 4} = 30.25(\%)^2$$

6- for h = 600 m

$(41-31)^2 + (37-39)^2 + (35-30)^2$
$= 100 + 4 + 25 = 129$

$$\therefore \gamma(600) = \frac{129}{2\times 3} = 21.5(\%)^2$$

نحسب في الخطوة الثالثة قيمة الـ Semivariogram في الاتجاه جنوب شرق – شمال غرب والتي تكون فيها المسافات الفاصلة بين الأزواج تساوي $100\sqrt{2}$ و $200\sqrt{2}$ وهكذا لغاية أقصى مسافة فاصلة تود فيها ازواج نماذج وكما يلي:-

1- for h = $100\sqrt{2}$ = 141 m

$(41-41)^2 + (39-34)^2 + (31-33)^2 + (33-39)^2 + (34-35)^2 + (35-37)^2 +$
$(37-41)^2 + (35-35)^2 + (35-35)^2 + (35-34)^2 + (34-33)^2 + (35-35)^2 +$
$(35-37)^2 + (35-35)^2 + (35-42)^2 + (37-40)^2 + (40-41)^2 + (41-35)^2$
$= 0 + 25 + 4 + 36 + 1 + 4 + 16 + 0 + 0 + 1 + 1 + 0 + 4 + 0 + 49 + 9 + 1 +$
$36 = 187$

$$\therefore \gamma(100\sqrt{2}) = \frac{187}{2\times 18} = 5.19(\%)^2$$

2- for h = $200\sqrt{2}$

$(37-41)^2 + (35-39)^2 + (31-39)^2 + (34-37)^2 + (33-37)^2 + (41-33)^2 +$
$(36-42)^2 + (35-35)^2 + (35-34)^2 + (35-33)^2 + (35-39)^2 + (35-37)^2 +$
$(35-42)^2 + (37-41)^2 + (40-35)^2 + (35-30)^2$
$= 16 + 16 + 64 + 9 + 6 + 64 + 36 + 0 + 1 + 4 + 36 + 4 + 49 + 16 + 25 + 25$
$= 381$

$$\therefore \gamma\left(200\sqrt{2}\right) = \frac{381}{2\times 16} = 11.9$$

3- for h = $300\sqrt{2}$

$(35-35)^2 + (33-41)^2 + (37-33)^2 + (41-31)^2 + (33-36)^2 + (35-35)^2 +$
$(35-33)^2 + (34-39)^2 + (37-35)^2 + (41-30)^2$
$= 0 + 64 + 16 + 100 + 9 + 1 + 4 + 25 + 4 + 121 = 344$

$$\therefore \gamma\left(300\sqrt{2}\right) = \frac{344}{2\times 10} = 17.2$$

4- for h = $400\sqrt{2}$

$(37-31)^2 + (35-33)^2 + (35-39)^2 + (40-30)^2$
$= 36 + 4 + 16 + 100 = 156$

$$\therefore \gamma\left(400\sqrt{2}\right) = \frac{156}{2\times 4} = 19.5$$

5- for h = $500\sqrt{2}$

$(33-33)^2 + (33-42)^2 + (35-39)^2 + (37-30)^2$
$= 0 + 81 + 16 + 49 = 146$

$$\therefore \gamma\left(500\sqrt{2}\right) = \frac{146}{2\times 4} = 18.25$$

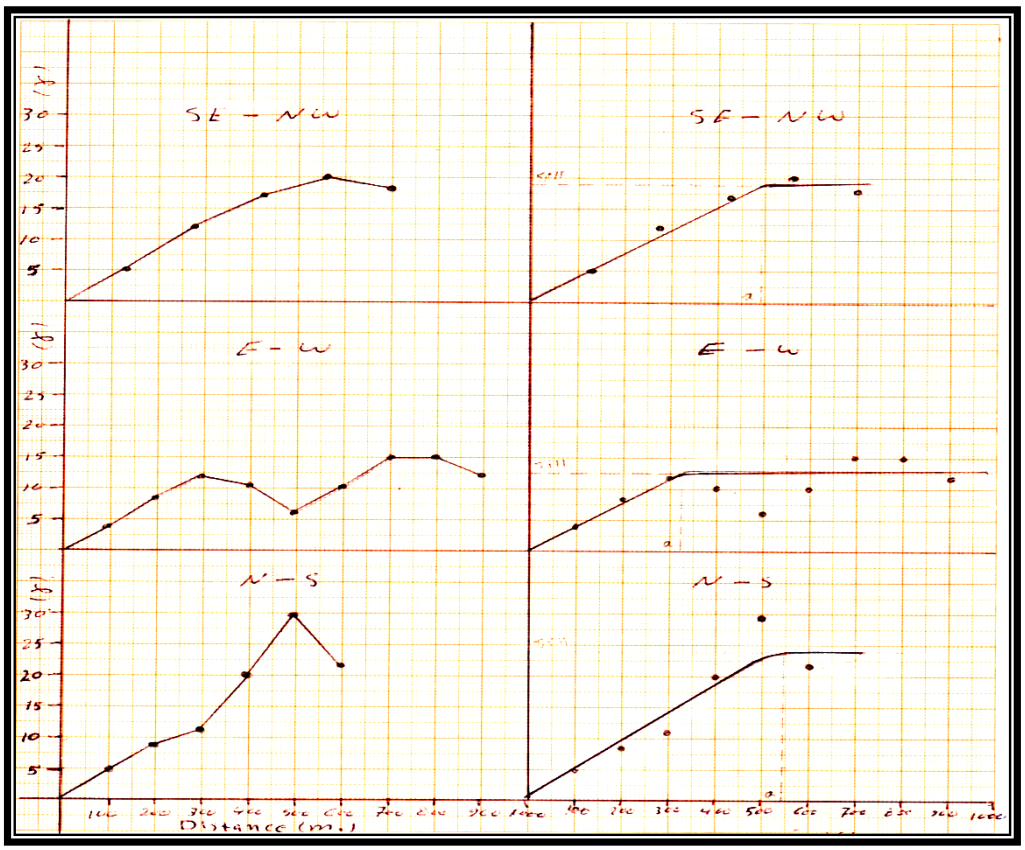
6- for h = $600\sqrt{2}$

No enough pairs

لا توجد فترة فاصلة أو مسافة فاصلة بين ازواج نماذج تكفي لحساب قيمة (γ)

الاتجاه ١ جنوب شرق- شمال غرب		الاتجاه ١ شرق-غرب		الاتجاه ١ شمال-جنوب	
(γ) (%)	المسافة الفاصلة بين الازواج (م)	(γ) (%)	المسافة الفاصلة بين الازواج (م)	(γ) (%)	المسافة الفاصلة بين الازواج (م)
5.19	$100\sqrt{2}$	4.1	100	4.45	100
11.9	$200\sqrt{2}$	8.4	200	8.7	200
17.2	$300\sqrt{2}$	12.08	300	11.5	300
19.5	$400\sqrt{2}$	9.47	400	20.4	400
18.25	$500\sqrt{2}$	5.96	500	29.75	500
No pairs	$600\sqrt{2}$	10.8	600	21.5	600
=	$700\sqrt{2}$	15.0	700	No pairs	700
=	$800\sqrt{2}$	15.0	800	=	800
=	$900\sqrt{2}$	12.1	900	=	900

بعد ذلك يتم رسم منحني ال Semivariogram للاتجاهات الثلاثة على ورق بياني عادي بين (γ) والمسافة بالامتار.



شكل رقم (29-5)

المناقشة: بعد رسم المنحنيات الثلاثة الى الSemivariogram كما موضح في الشكل (29-5)، المرتسم على جهة اليسار تمثل للاتجاهات الثلاثة بدون إجراء عمليات تسوية smoothing لشكل المنحني، اما الأشكال على جهة اليمين فهي تمثل المنحنيات بعد اجراء عملية تسوية لشكل المنحني وللاتجاهات الثلاثة.

نلاحظ من إشكال المنحنيات جميعا أنها تبدأ من نقطة الصفر وهذا يعني عدم وجود تأثير الى Nugget effect مما يدل على وجود تأثير متبادل بين قيم النماذج Correlation ضمن الجسم المعدني أو المنطقة المستهدفة بالدراسة. مدى التأثير (a) Range of Influence مختلف في الاتجاهات الثلاثة، في الاتجاه N – S يساوي 550 متر تقريبا، وفي الاتجاهين يساوي 325 متر اما في الاتجاه SE – NW يساوي 500 متر نستنتج من ذلك أن مدى التأثير (a) في الاتجاهين N – S و SE – NW متقارب ولمسافة 500 متر يمتد مدى التأثير بين النماذج ضمن هذين الاتجاهين في الطبقة المتمعدنة وهذا يعني وجود امتداد كبير للطبقة في هذين الاتجاهين، اما في الاتجاه N – S فأن مدى التأثير (a) قليل مما يدل على عدم وجود امتداد لهذه الطبقة بهذا الاتجاه وبذلك نحتاج الى مزيد من الآبار أو النماذج للتحقق من امتداد الطبقة بهذه الاتجاه.

من هذه المنحنيات ممكن ان نبني أو نستنتج فكرة عن مدى الاختلافات في تركيز الرصاص ضمن الطبقة المتمعدنة وتذبذبه في الزيادة أو النقصان وفي أي اتجاه وبالتالي توجيه برنامج الاستكشاف المعدني.

المرحلة الثانية بعد رسم وتصميم الSemivariogram واستخراج المعطيات التي Range of Influence و Sill و Nugget التي تدخل بصورة أساسية في حساب احتياطي الترسبات المعدنية بعد ان يتم تقسيم الجسم المعدني الى عدة قواطع منتظمة والتي تعتمد أبعاد هذه القواطع على عدة عوامل مثل عدد الآبار وتجانس توزيعها، خصائص ومميزات الجسم المعدني والمسافة الفاصلة بين الآبار، يتم حساب أو تقدير السمك، التركيز أو أي متغير يراد حسابه لكل قاطع من هذه القواطع على أساس قيم ال Semivariogram التي استحصلت من المرحلة الأولى، بعدها يتم حساب الاحتياطي الإجمالي من خلال حاصل جمع هذه القواطع باحدى الطرق التقليدية، الصفة المميزة لهذه الطريقة هي ان العملية الوزنية لاحتساب أي متغير لكل قاطع يعتمد على اكبر قدر من المتغيرات سواء كانت داخل أو خارج القاطع، تطبيق وحساب الاحتياطي بهذه الطريقة يتطلب حل قوانين احصائية للمصفوفات Matrices وبما انها صعبة وطويلة وبذلك لا بد من اللجوء الى برامج حاسوبية جاهزة مثل نظام Surfer أو Geoeas الى غير ذلك.

الفصـــــل السادس

جيولوجيا المناجم Mining Geology

(6-1) المقدمة Introduction

يتم رصد وتحديد موقع وامتدادات الترسبات المعدنية وفق سلسلة من المراحل المتعاقبة من العمل الجيولوجي والتي تبدأ من أعمال الاستكشاف المعدنية تتضمن دراسات استطلاعية وأعمال تحرٍ معدنية تعقبها دراسات تفصيلية وأعمال حفر لبابيه استكشافية مع جمع نماذج مختلفة والتي توفر معلومات مهمة حول طبيعة هذه الترسبات تنتهي بمعالجات وحسابات تقدير احتياطي الترسبات المعدنية وهي في موقع تواجدها ضمن القشرة الأرضية. إذا أعطت هذه الدراسات مؤشرات ايجابية حول الجدوى الفنية والاقتصادية لاستثمار هذه الترسبات عندئذ يمكن اتخاذ القرار المناسب للبدء بأعمال التعدين ألمنجميه والتي تتضمن استخراج هذه الترسبات من مواقعها ونقلها إلى حيث معامل الاستخلاص المعدني او استخدامها مباشرة في حالة مواد البناء الأولية والصناعية وبذلك تكون أعمال الاستكشاف والتقييم المعدني قد حققت أهدافها ونجحت في الوصول إلى نهاية السلسلة للبدء بأعمال الاستخراج ألمنجمي.

بدأت أعمال الاستخراج ألمنجمي للصخور الصناعية والمعادن منذ ظهرت حاجة الإنسان الى استخدام هذه المعادن او الصخور لأغراضه المعيشية او استخداماته الحياتية وبذلك بدأت هذه الأعمال باستغلال واستخراج الخامات السطحية وبطرق بدائية تعتمد على الخبرة البسيطة والممارسة العملية وتوفر الأيدي العاملة الرخيصة، مع تطور الاستكشاف المعدني والجيولوجي واستخدام الأجهزة المتخصصة في البحث والتنقيب، أدت الى اكتشاف خامات وتكوينات جيولوجية تحت سطح الأرض وبذلك استمر العمل ألمنجمي وبصورة متواصلة في استخراج الخامات والمعادن من المناجم على سطح الأرض. مع ازدياد حاجة الإنسان إلى المزيد من هذه الخامات والمعادن في استخدامها في الصناعات المختلفة أدت هذه الحاجة إلى التنوع في طرق الاستخراج ألمنجمي مع اختلاف الأساليب والوسائل المستخدمة والتي يكون هدفها هو تلبية حاجة المستهلكين لهذه المعادن. ان العمل المتواصل والمستمر عبر التاريخ في هذا النشاط أدى الى تراكم الخبرة وتطور الأساليب والمهارة المكتسبة في الاستخراج ألمنجمي، ان التحدي الصعب والمتواصل من المختصين والجيولوجيين السابقين وعمال المناجم وإزالة كافة العراقيل والعوائق الصعبة الطبيعية وغير الطبيعية التي كانت تقف بوجه الاستمرار في استغلال واستخراج هذه الخامات أدت الى امتلاك الخبرة العلمية والعملية عبر الزمن والمعرفة العلمية في كيفية التعامل مع أنواع المعادن والترسبات التي أدت إلى ظهور اختصاص جيولوجيا المناجم الذي يهتم بدراسة أنواع طرق الاستخراج ألمنجمي، من حيث تصميمها وأنظمتها وكذلك أساليب ووسائل استخراج هذه الترسبات بصورة علمية وسلمية وبدون مخاطر بما يتلائم طبيعة تواجد هذه الترسبات المعدنية واختلاف خصائصها ومميزاتها وأماكن تواجدها ضمن القشرة الأرضية. إن

طرق الاستخراج ألمنجمي التي سوف يتطرق لها هذا الفصل من الكتاب وفيما وصلت اليه من قوانين هندسية وتصميم هيكلي وأشكال مختلفة كل منها تختص بما يتلائم ونوع وخصائص الترسبات المعدنية هي خلاصة التجربة والمهارة والمعرفة العلمية التي أرست قواعد ونظام اختصاص جيولوجي المناجم.

في هذا الفصل تم التطرق الى طرق وأساليب استخراج الترسبات المعدنية من أماكن تواجدها بما يتلائم وطبيعة ترسبها، خصائصها ومميزاتها المعدنية والهندسية فضلاً عن دراسة العلاقة بينها وبين الصخور الحاضنة لها أو التكوينات المحيطة بها. إن الدراسات والأعمال الجيولوجية لا تتوقف الى حد اكتشاف وتقييم الترسبات المعدنية بل تستمر بدءاً من اختيار طريقة الاستخراج ألمنجمي الملائمة وخلال أعمال الاستخراج ألمنجمي لغرض السيطرة على أعمال القلع والاستخراج وتحديد وتوجيه هذه الأعمال نحو مواقع الخام ذات درجة التركيز المطلوبة والحجم الكبير الذي يضمن استمرار تجهيز المواد الخام الى المستهلك او الى معامل الاستخلاص والمعالجة. ان دور الجيولوجي مهم وأساسي في كافة المراحل للمشاريع التعدينية، هو الذي يحدد واقع تواجدات الخام والسيطرة على درجة التركيز المطلوبة وكذلك ضمان استمرارية جمع النماذج بمختلف أنواعها ودراستها ومتابعة أعمال الحفر والاستخراج ألمنجمي وثم السيطرة على طبيعة ومميزات الخام المطلوب إرساله الى معمل المعالجة.

إن كافة المصطلحات العلمية والمسميات المختلفة التي سوف ترد في فصل جيولوجيا المناجم هي تسميات خاصة تختص فقط في مجال أعمال الاستخراج ألمنجمي السطحية او تحت الأرض تمت الإشارة إليها في الفصل الأول من هذا الكتاب تم تعريفها وشرح معناها ليكون القارئ الكريم على اطلاع ودراية عن معناها وبماذا تختص عند ورودها في هذا الفصل. معظم المصطلحات الفنية والعلمية اشتقت من قبل المؤسسات والشركات المختصة في مجال استثمار الترسبات العدنية في البلد الذي تعمل فيه وبالرغم من كونها انكليزية الأصل ولكنها قد تعني في أُستراليا أو أمريكا معنى آخر أو معنى مرادفاً ولكن الحقيقة إنها تعطي جميعا معنى متشابه.

(6-2) العوامل التي تحكم اختيار الطريقة ألمنجميه

Factors Influencing Choice of Mining Method

إن الاختيار بين طريقة الاستخراج ألمنجمي السطحي وطريقة الاستخراج ألمنجمي تحت السطحي تحكمه عدة عوامل هي:-

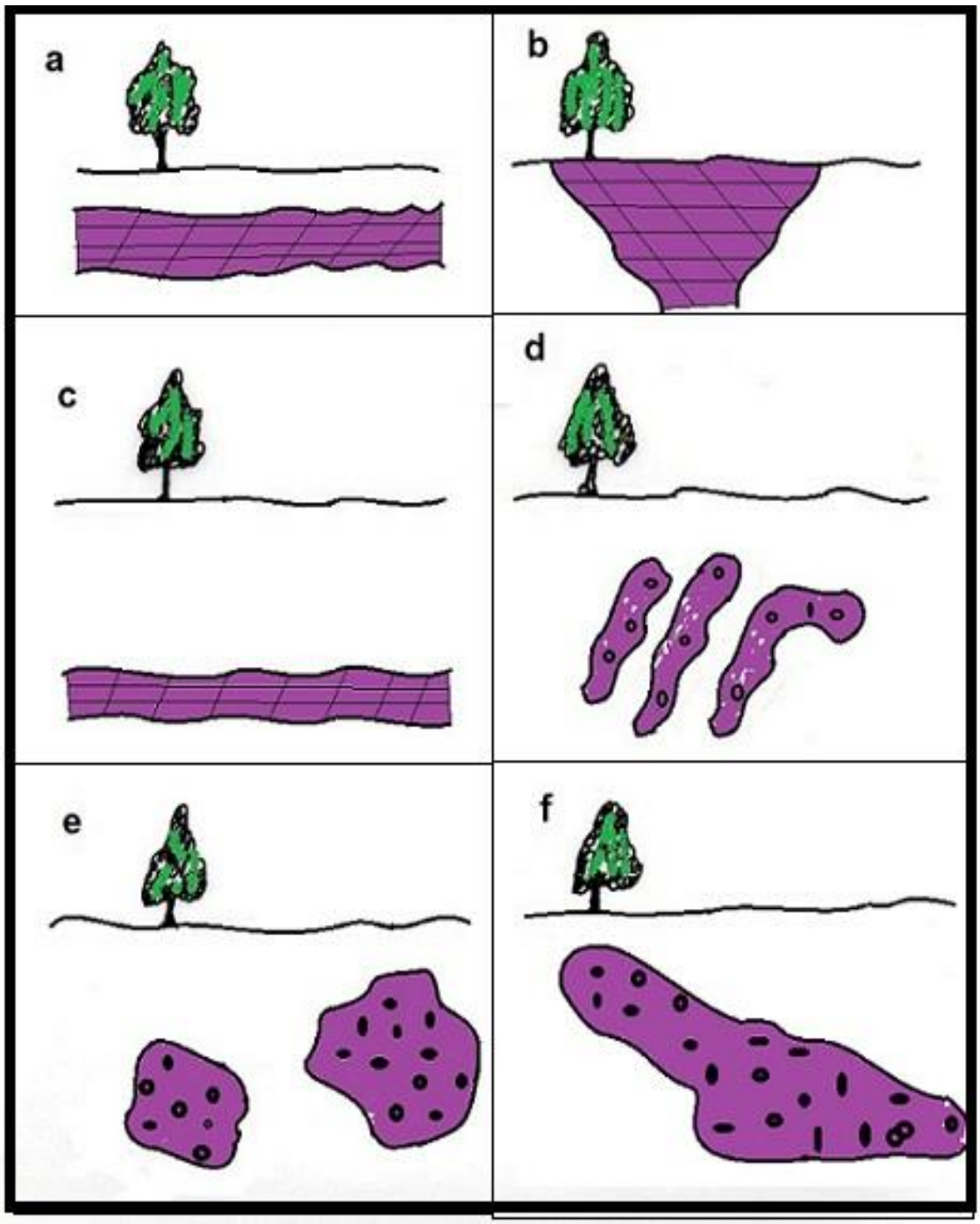
1- موقع الترسبات المعدنية في القشرة الأرضية، قربها أو بعدها عن سطح الأرض هي التي تحدد نوع ومواصفات المنجم وطريقة التعدين.
2- شكل الترسبات المعدنية وحجمها وامتداداتها هل هي طباقية،أي كتل متجانسة عرقية ام غير ذلك،كذلك نوع الترسيب. والتراكيب الجيولوجية المتواجدة في المنطقة تؤثر بصورة أساسية على اختيار الطريقة ألمنجميه.
3- يجب ان تكون الطريقة ألمنجميه المختارة ذات كفاءة وتلائم تطورات العمل ألمنجمي في كافة المراحل الاستخراجية والتعدينية.
4- نوع طبقة الغطاء الصخري وسمكها التي تعلو الترسبات المعدنية.
5- يجب أن تكون الطريقة المختارة ذات إنتاجية عالية، ذات مناورة سهلة عند تقدم سير العمل تسمح بتوسيع واجهات العمل في أكثر من مكان،وكذلك سرعة إجراء الأعمال الساندة فيما يتعلق بالتدعيم لسقف المنجم والنفق، سهولة تصريف المياه و إجراء أعمال التهوية وأعمال النقل.
6- قوة وصلابة الترسبات المعدنية وكذلك خصائص و مميزات الصخور المحيطة بها.
7- الطريقة المختارة يجب أن تتطلب اقل قدر من عمليات الإسناد والتدعيم خاصة بالأقواس الحديدية او الأخشاب التي تزيد من تكاليف الإنتاج و يفضل استخدام الطريقة التي تكتفي بالتحشية بالفضلات عند كونها غير مكلفة.
8- العوامل البيئية و الطبيعية التي توثر على أسلوب العمل و نوع طريقة الاستخدام المعدني.
9- وجود المياه الجوفية يحدد من اختيار نوع طريقة الاستخراج وطرق التصريف والتخلص منها.
10- وجود التشققات والصدوع والكسور التي لها دور مهم في تحديد نوع الطريقة ألمنجميه المستخدمة وكذلك في التحكم في حجم الفتحات ألمنجميه واتجاه الأنفاق ونوع الإسناد والتدعيم المطلوب.
11- حد القطع للتركيز وحد القطع للسمك فضلاً عن ثمن وقيمة المعدن المستخرج التي لها دور مهم في اختيار الطريقة المستخدمة.
12- يتم اختيار الطريقة التي تؤمن أقصى كمية من الإنتاج مع قابليتها للتغير وتناسب كافة الظروف ألمنجميه، ذات الكلفة القليلة لضمان زيادة الأرباح والموارد المالية.

13- طرق الاستخراج ألمنجمي السطحية دائما تكون مفضلة للاستخدام في الأعمال ألمنجميه والتعدينية ما لم تكن هناك كميات كبيرة من الغطاء الصخري التي يجب أن تزال كونها تمثل العائق أمام طرق الاستخراج ألمنجمي السطحية.

نلاحظ في الشكل رقم (1-6)، إن الشكل a و b دائما تستخدم طرق الاستخراج ألمنجمي السطحية لقرب الخام من سطح الأرض. الشكل c و d يتم استخراجها بطرق تحت سطحية كون الخامات بعيدة عن سطح الأرض أما الشكل e و f تحتاج إلى المزيد من الدراسات التقييمية التي تعطي مؤشر إلى إمكانية استخراج جزء من هذه الترسبات بطريقة الاستخراج السطحي والجزء الآخر البعيد عن سطح الأرض تستخدم فيه طرق الاستخراج تحت السطحي.

بناءا على النقاط السالفة الذكر يمكن تقسيم طرق الاستخراج ألمنجميه إلى ثلاثة أقسام :-

1- طرق الاستخراج ألمنجمي السطحي Surface Mining
2- طرق الاستخراج ألمنجمي تحت السطحيUnderground Mining
3- المقالع Quarry



شكل رقم (1-6) أنواع مختلفة من الترسبات المعدنية

(a) ترسبات طباقية. (b) ترسبات أنبوبية.

(c) ترسبات طباقية عميقة. (d) ترسبات عرقية.

(e) ترسبات غير منتظمة. (f) ترسبات غير منتظمة صلبة.

(3-6) نسبة القشط Stripping Ratio

في الطرق ألمنجميه السطحية يجب إزالة واستخراج الغطاء الصخري والصخور العقيمة بالإضافة إلى استخراج مواد الخام . إن النسبة بين حجم المواد المستخرجة من المواد العقيمة الى حجم المواد الخام المستخرجة تسمى بـ Stripping Ration نسبة القشط.

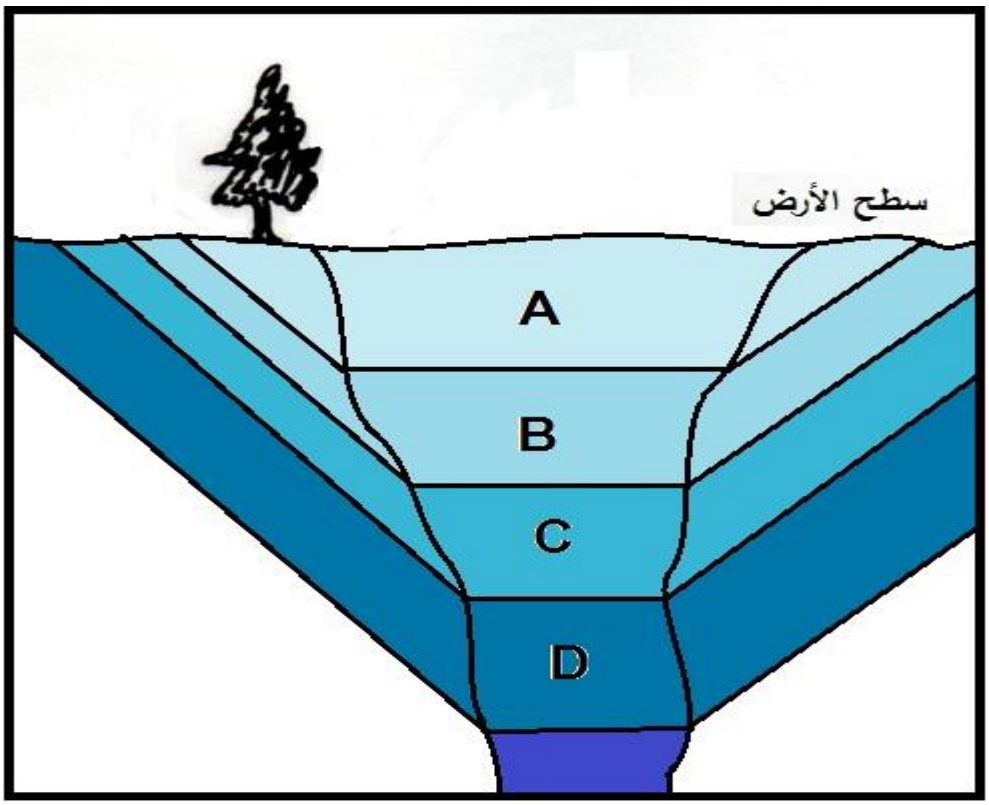
$$\text{Stripping Ration} = \frac{\text{Volume of Waste Rook Removed}}{\text{Volume of Mineral Removed}}$$

إن إزالة واستخراج الصخور العقيمة في طرق استخراج ألمنجمي السطحية تأتي من سببين :-

1- إزالة الغطاء الصخري الذي يعلو الترسبات المعدنية والتي يجب ان تزال قبل الشروع باستخراج مواد الخام.

2- بسبب وجود مخاطر انهيار الجدار الجانبي للمنجم أثناء أعمال الاستخراج.يجب ان يكون الجدار الجانبي للمنجم يميل بزاوية أمان معينة لمنع حدوث انزلاق أو انهيار.هذه الزاوية تختلف حسب صلابة الصخور وتماسكها، وجود مياه جوفية وكذلك عمق الأشغال ألمنجميه، ودائما تتراوح هذه الزاوية بين ْ(45-65). تزداد Stripping Ration مع زيادة العمق، تترتب على هذه الحالة زيادة في كلف استخراج الصخور العقيمة ونقلها وكذلك استخراج الخام من الأعماق البعيدة بالإضافة الى زيادة حجم صخور الغطاء الصخري التي يجب ان تزال لأنها تزيد من المساحة السطحية للمنجم السطحي مع زيادة العمق اعتمادا على زاوية الأمان للسفح أو لجدار المنجم إلى أن تصل الى حد معين يجب عنده أن تتحول الأعمال ألمنجميه الى أعمال تحت سطحية.

نلحظ في الشكل (2-6) إن stripping nation عند استخراج القاطع (A) تساوي صفراً لعدم وجود غطاء صخري. في القاطع (B) تزداد العلاقة الى (0.5) وتبدأ بالزيادة مع زيادة العرق عند استخراج القواطع (C) و (D) لتصل الى ال (1.0) و (1.8) على التوالي، معها تزداد كلف الاستخراج ألمنجمي مع زيادة العمق الى الحد الذي تصبح به عملية القلع السطحية غير ذي جدوى اقتصادية.



شكل رقم (2-6) تغير stripping Ratio مع العمق

مثال رقم (1-6)

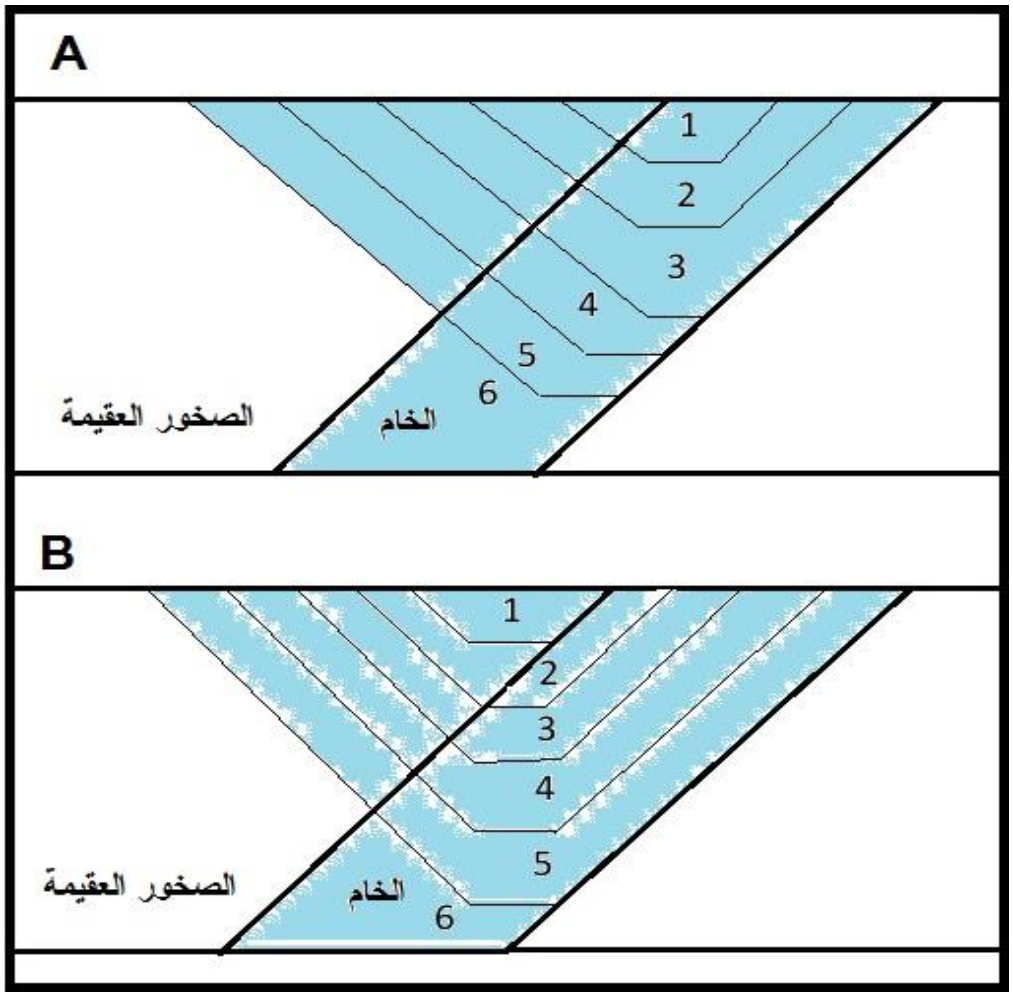
في الشكل رقم (3-6) (A) و(B) طبقة مائلة من الترسبات المعدنية، حصل القرار على استغلالها بطريقة المنجم السطحي. حصل القلع بواسطة سلسلة متعاقبة من خمس مراحل كما هو مؤشر من (1) الى (5). في كل مرحلة يجب ان تستكمل كافة إجراءات القلع واستخراج الخام قبل البدء في المرحلة التالية حتى يتم الانتهاء من المرحلة (5)فحينئذ تكون كمية الصخور والترسبات المستخرجة هي نفسها في الشكل (A) و(B). احسب stripping Ratio خلال كل مرحلة من مراحل العمل ولكل شكل من الأشكال (A) و(B) واعطِ مساوئ وفوائد كل طريقة. على افتراض ان حجم الخام والصخور المستخرجة يمثل المساحة السطحية على الورقة.

الحل:

$$\text{stripping Ratio} = \frac{\text{Volume of Waste Removed}}{\text{Volume of Mineral Removed}}$$

الحسابات للشكل (a)

Area No.	Mineral Removed	Over burden Removed	Stripping Ratio
1	175	25	0.14
2	325	75	0.23
3	475	125	0.26
4	400	400	1.00
5	400	600	**1.50**



شكل رقم (3-6) يوضح طريقتين مختلفتين في استخراج الخام

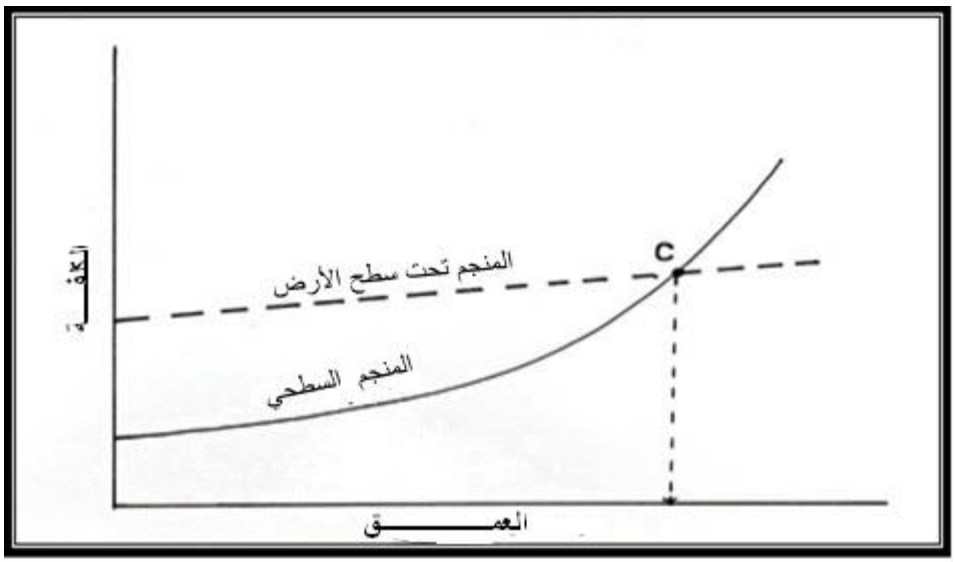
الحسابات للشكل (b)

Area No.	Mineral Removed	Over burden Removed	Stripping Ratio
1	0	200	
2	200	200	1.5
3	375	225	0.6
4	525	275	0.52
5	675	325	**0.48**

الفائدة من استخدام الطريقة في الشكل (a) هو البدء بعملية استخراج الخام في المراحل الأولية من العمل، وخلال تقدم العمل نلحظ زيادة في نسبة الصخور العقيمة المستخرجة نسبة إلى الخام المستخرج كما نلاحظ زيادة في علاقة stripping Ratio أما في الشكل (b) فنلحظ عدم المباشرة باستخراج الخام حتى الانتهاء من المرحلة الأولى ثم تحصل زيادة في كمية الخام المستخرج نسبة الى الصخور العقيمة المستخرجة إذ نلحظ انخفاض علاقة stripping Ratio.

Stripping Ratio and Cost (4–6)

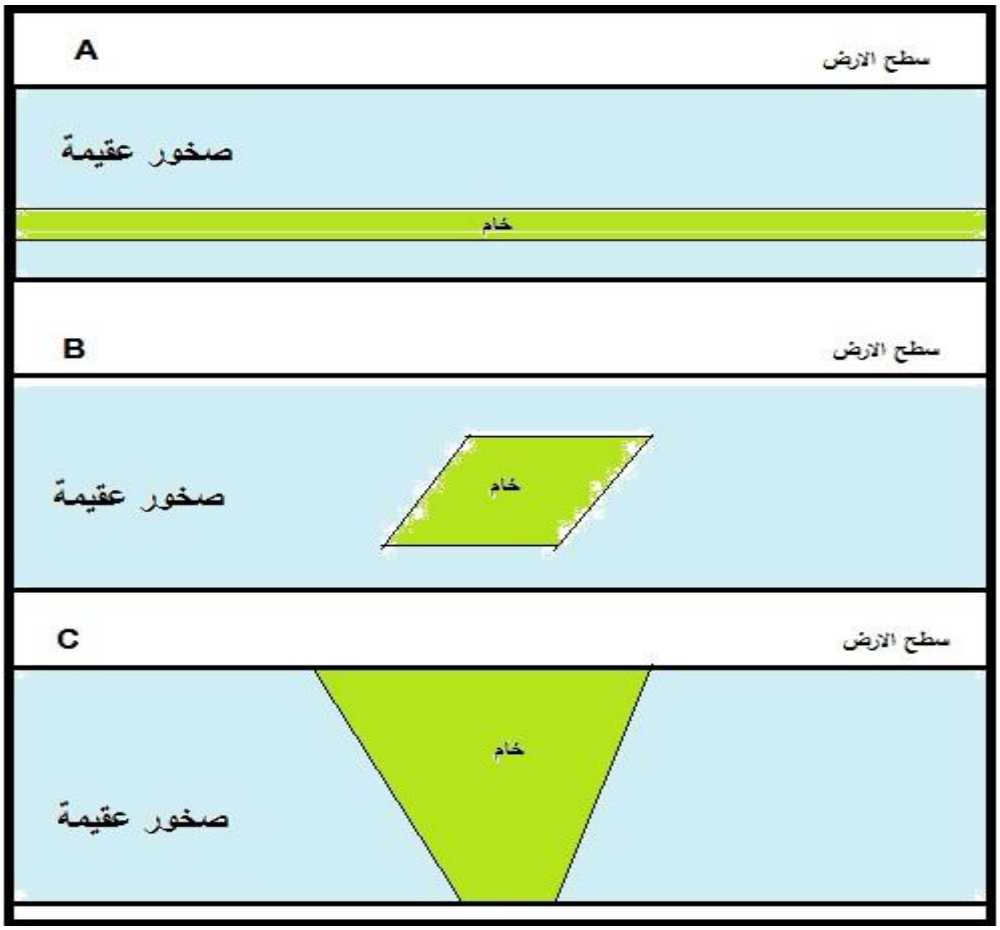
في المنجم السطحي دائماً تكون علاقة stripping Ratio قليلة في بداية العمل ألمنجمي وتزداد هذه النسبة مع زيادة عمق المنجم بسبب زيادة كمية الصخور العقيمة المستخرجة نسبة الى الخام، تكون كلف الاستخراج ألمنجمي للطن الواحد قليلة، كذلك لسهولة وسرعة استخراج هذه المواد ونقلها لقربها من سطح الأرض وتزداد كلفة استخراج ونقل الطن الواحد من الصخور سواء كانت خاماً او عقيمة كلما زاد العمق. على عكس المنجم تحت السطحي، دائما تبدأ عمليات الاستخراج ألمنجمي بطريقة المنجم تحت سطحي بكلف عالية، للصعوبات الفنية وقلة الإنتاج بسبب الظروف ألمنجميه تحت السطحية الصعبة. هذه ألكلف تزداد بصورة جزئية او قليلة مع ازدياد العمق بسبب ثبات مسلك الإنتاج مع تطور عمر المنجم ونلحظ في الشكل رقم (4-6) ان منحني الكلف المالي المعروفة مع زيادة العمق في كلا النوعين من المناجم، السطحي وتحت السطحي، نلحظ ان عمق (d) يتقاطع كلا المنحنيين في نقطة (C). العمق اقل من (d) يفضل العمل بطريقة الاستخراج ألمنجمي السطحي لأن العمليات تكون اقتصادية ومربحة اما العمق بعد النقطة (d) يجب أن تكون الأعمال ألمنجميه تحت سطحيــة .



شكل رقم (6-4) تغير كلف الاستخراج ألمنجمي مع العمق

مثال رقم (6-2)

تم احتساب إن أعلى قيمة اقتصادية الى stripping Ratio تساوي (5) الى جسم معدني C, B, A كما هو موضح في الشكل رقم (6-5).



شكل رقم (6-5) ثلاثة انواع مختلفة من الترسبات المعدنية

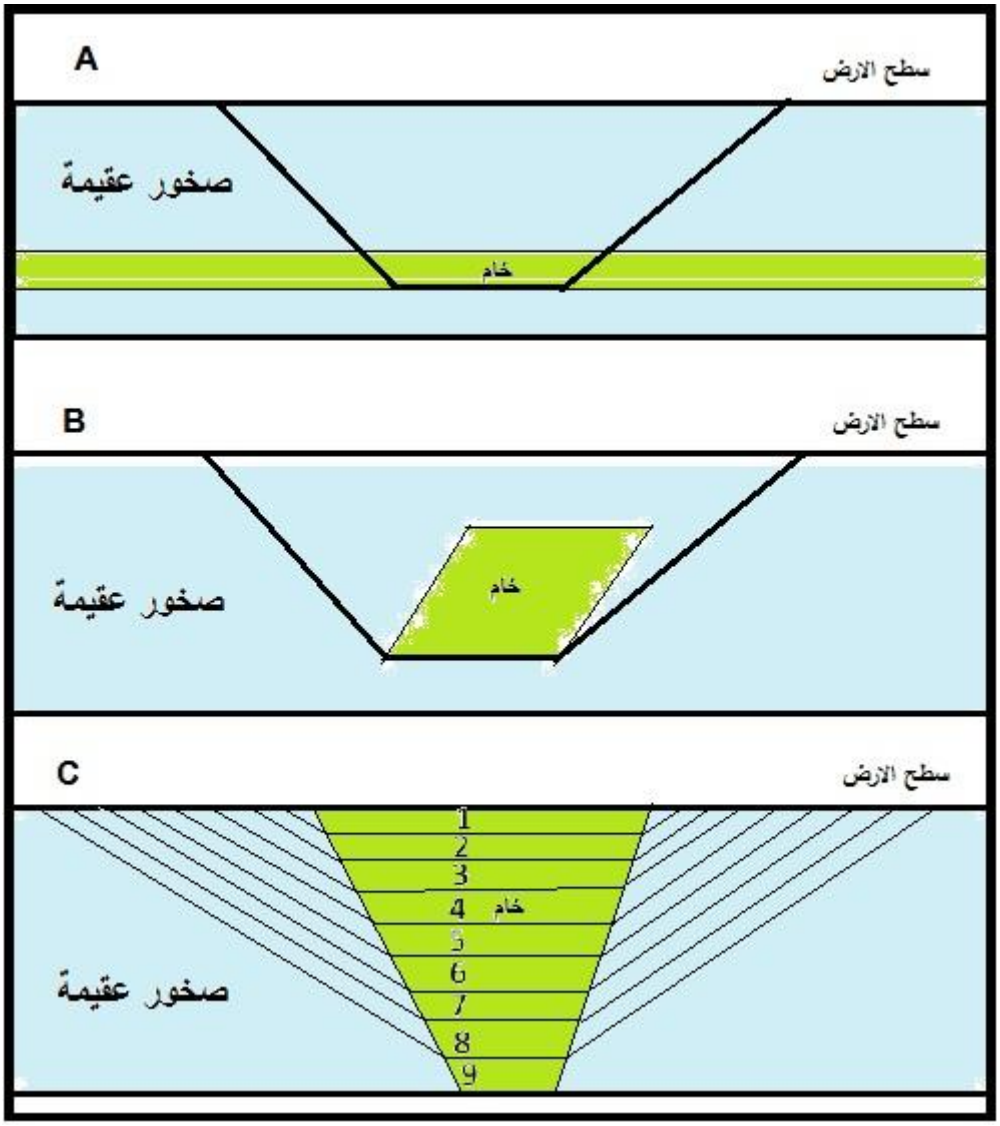
1- هل من الأفضل إجراء عمليات الاستخراج ألمنجمي للجسم المعدني في الشكل (A) و (B) بطرق منجميه سطحية او تحت سطحية؟

2- على أي عمق ممكن أن تتوقع إن الجسم المعدني في الشكل (C) ممكن أن تتغير فيه طريقة الاستخراج ألمنجمي من الطرق السطحية الى الطرق تحت السطحية.

ملاحظة:

أ- تم تخمين زاوية الرقاد تساوي ْ45.

ب-افترض ان مقياس الرسم للشكل هو 1mm = 1m



شكل رقم (6-6) طرق استخراج مختلفة لأنواع الترسبات

الحل : نرسم خطاً على جانبي الخام نحو السطح بزاوية تساوي 45° والتي تمثل زاوية الرقاد لسفح الخام المراد قلعه او استخراجه. المساحة في الداخل تمثل الصخور للغطاء الصخري الذي يجب ان يقلع لغرض الوصول الى الخام، ثم تجري حسابات stripping Ratio كما في الشكل رقم (6-6).

الشكل (A) مساحة منطقة الصخور العقيمة للغطاء الصخري = 3788 mm^2 = مساحة الخام الواجب قلعه واستخراجه

$$\text{stripping Ratio} = \frac{3788}{25} = 25\ mm^2$$

بما ان العمل بالعلاقة stripping Ratio تساوي (5) كما في شرط السؤال وبما ان النتيجة كبيرة جدا للشكل (A) فعليه يجب استخدام طريقة العمل ألمنجمي تحت سطحي.

الشكل (B)

مساحة منطقة الصخور العقيمة المستخرجة = 1912 mm^2

مساحة الخام الواجب قلع واستخراجه ، $\text{stripping Ratio} = \frac{1912}{900} = 900\ mm^2$

بما ان العلاقة هي اقل من (5) فان الطريقة المناسبة هي طريقة الاستخراج ألمنجمي السطحي.

الشكل (C): نرسم عدة مستويات للاستخراج كل مستوى على عمق 10م ونرسم خطوطاً نحو السطح بزاوية ميل (45^0) تمثل مستويات الاستخراج المعدني من المرحلة (1) الى (9) ثم نبدأ بحساب stripping Ratio لكل مستوى من هذه المستويات كما في الجدول (1-6).

جدول رقم (1-6) حسابات stripping Ratio

مستوى العمل	مساحة التمعدن	مساحة الصخورالعقيمة	Stripping Ratio
1	575	75	0.1
2	525	225	0.43
3	475	450	0.95
4	425	750	1.76
5	375	1125	3.00
6	325	1575	4.85
7	275	2100	7.64
8	225	2700	12.00
9	175	3200	18.28

من الواضح ان قيمة العلاقة stripping Ratio تتعدى الرقم (5) بعد المستوى رقم (6) كما مؤشر في السهم او على عمق 60 م بعد هذا العمق يجب ان يتحول العمل من طريقة الاستخراج ألمنجمي السطحي الى طريقة الاستخراج ألمنجمي تحت سطحي.

بعد النقطة (d) يفضل الاستخراج بطريقة المنجم تحت سطحي كونه ذات جدوى اقتصادية. نقطة التقاطع (c) لها أهمية كبيرة جدا في العمل ألمنجمي اذ يتم حساب قيمة stripping Ratio الحرجة التي بعدها تصبح عمليات المنجم السطحي غير ذا جدوى اقتصادية وتسمى Maximum economic stripping Ratio. وهي التي تحدد الاختيار بين العمل ألمنجمي السطحي والمنجم تحت سطحي.

كلف الإنتاج ممكن ان تتغير من جزء معين من الترسبات المعدنية الى جزء آخر تعتمد على الطبيعة الجيولوجية للترسبات وصلابة الصخور، وجود مياه جوفية، فضلا عن زيادة في أجور العمال والمعدات، تغير في الأرباح وسعر البيع للطن الواحد في الأسواق، تذبذب الإنتاج مع التغيرات المناخية، كل هذه العوامل تؤثر على حسابات stripping Ratio وقد تتغير من وقت لآخر.

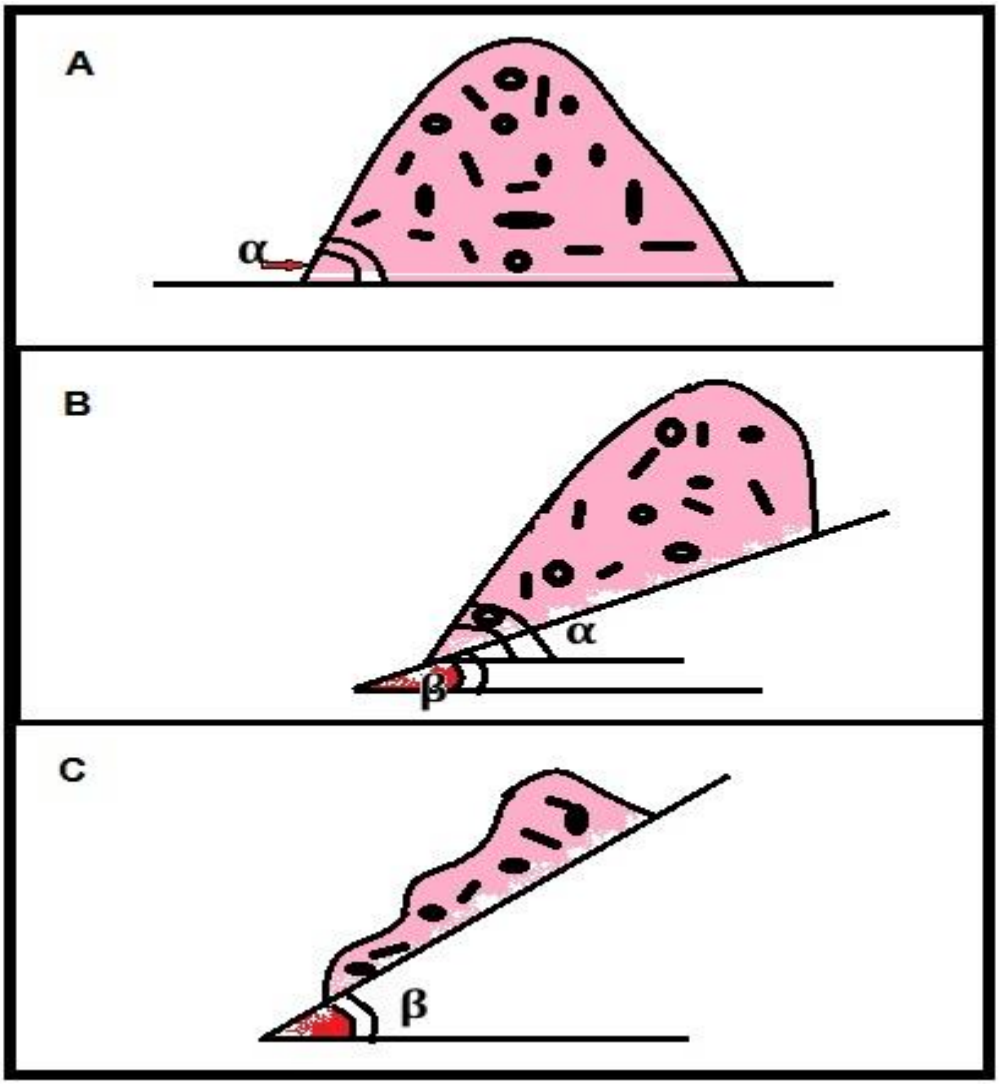
عدم التجانس والتغيرات في المكونات المعدنية للترسبات تؤدي الى تغير درجة تركيز الخام من مكان لآخر، وأحيانا لا يمكن وضع حد القطع للتركيز أو السمك بين الصخور الخام والصخور العقيمة، الأسعار المستقبلية أو تغيرها يؤدي الى انخفاض حد القطع للتركيز أو السمك واستخراج صخور خام ذات درجة تركيز واطئة كل هذه العوامل تؤدي إلى تغير في حسابات نسبة القشط stripping Ratio.

(6–5) زاوية الرقاد Angle of Repose

عندما يتم عمل ركام من مواد ناعمة غير متصلبة سفح الركام فإنه يميل الى الاستقرار بزاوية معينة مع سطح الأرض أو مع الأفق، زاوية الاستقرار هذه تسمى زاوية الرقاد **Angle of Repose** والتي تمثل أقصى زاوية يبقى عندها سفح الركام مستقر. هذه الزاوية لها قيمة كبيرة في الأعمال ألمنجميه السطحية وتتغير هذه الزاوية اعتمادا على نوعية المواد او الترسبات المعدنية، شكل وحجم الحبيبات والمحتوى من الرطوبة كما في الشكل رقم (6-7) A.

أهمية هذه الخاصية تتجلى في المواد الناعمة Loose Materials عندما ترمى على سطح مائل كما في الشكل (B) يمثل ركاماً على سطح مائل بزاوية قدرها β وهي اقل من زاوية الرقاد α عندها يكون الركام مستقراً أما إذا كانت زاوية ميل الشكل β اكبر من زاوية الرقاد α فان الركام سوف ينزلق الى الأسفل كما في الشكل (C).

عندما تكون الترسبات المعدنية في المنجم السطحي غير متصلبة فإنها تمتلك سفوحاً غير مستقرة عندها يجب المحافظة على درجة زاوية الرقاد أو ردم الحفر المتكون بعد استخراج الخام منها حفاظا على استقرارية السفوح.



شكل رقم (7-6) تغيير زاوية الميل مع درجة الرقاد

(6-6) الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للخامات والصخور

The Mechanical and physical characteristics of the Rock and Ore deposits

تتميز الترسبات المعدنية والتكوينات الصخرية المختلفة بامتلاكها خواص وصفات فيزيائية وميكانيكية تعتمد بصورة أساسية على الظروف الترسيبية والجيولوجية المعقدة التي أوجدتها العوامل الجيوتكتونية التي أثرت عليها عبر الزمن الجيولوجي الطويل التي أدت إلى امتلاك الأنواع المختلفة من الترسبات المعدنية والصخور المحيطة بها لصفات وخصائص تمتاز بها عن غيرها والتي تعتمد عليها كثيرا الدراسات التقييمية الجيولوجية وألمنجميه خلال المراحل المختلفة من الدراسات التي تؤدي الى استثمار واستغلال هذه الترسبات، هذه الخصائص هي:-

(6-6-1) التطبق Stratification

تتميز بعض الصخور الرسوبية بأنها تترسب على شكل طبقات Bedding منفصلة بعضها عن بعضها الآخر، تترسب بتأثير عمليات ترسيبية، فيزيائية، كيميائية بيولوجية، ... إلى غير ذلك وقد تنشا هذه الطبقات الترسيبية من دورة ترسيبية واحدة أو من عدة دورات ترسيبية متعاقبة ،الحدود الفاصلة بين الطبقات تمثل تغيير في الظروف الجيولوجية الترسيبية. إما انقطاع في الترسيب أو عمليات تعرية وإزالة لبعض هذه الطبقات. هناك عوامل عديدة تسيطر على الخصائص والصفات للطبقات الرسوبية منها العوامل الفيزيائية، التي تعمل على ترسيب الجزيئات والحبيبات بفعل سرعة جريان المياه، الرياح وكثافة الوسط الناقل لها حيث تعمل على إيجاد سطوح فاصلة بين الجزيئات على أساس الحجم الحبيبي الذي يحصل عند حصول أي تغيير في احد عناصر العوامل الفيزيائية،ومنها العوامل الكيميائية التي تؤدي الى ترسيب طبقات رسوبية منفصلة عن بعضها البعض اعتمادا على حصول تغيرات في درجة حرارة المياه، الضغط وتركيز الايونات. السطوح الفاصلة بين هذه الطبقات تمثل مناطق ضعف تؤثر أثناء أعمال حفر الأنفاق ألمنجميه ممكن أن تؤدي إلى حصول انزلاق او حركة على طول السطوح الفاصلة بين الطبقات إذا كان حفر الأنفاق ألمنجميه موازياً لهذه السطوح وعليه يجب مراعاة ذلك إذ يجب أن يكون حفر النفق ألمنجمي بصورة عمودية على مستويات السطوح الفاصلة بين الطبقات الرسوبية.

(6-6-2) مستويات الانفصال أو التفلع Cleavage

هي عبارة عن مستويات ضعف تنشأ بصورة طبيعية في التركيب البلوري للمعادن تؤدي الى تكسير الصخور او المعادن على طول مستويات أو أسطح منتظمة لها تأثير سلبي على متانة واستقرارية الصخور أثناء حفر الأنفاق والفتحات ألمنجميه في طرق الاستخراج ألمنجمي تحت السطحي، من فوائدها يمكن إزالة واستخراج الكتل الصخرية المعدنية على طول مستويات الضعف هذه.

(6-6-3) المسامية والفواصل Porosity and Jointing

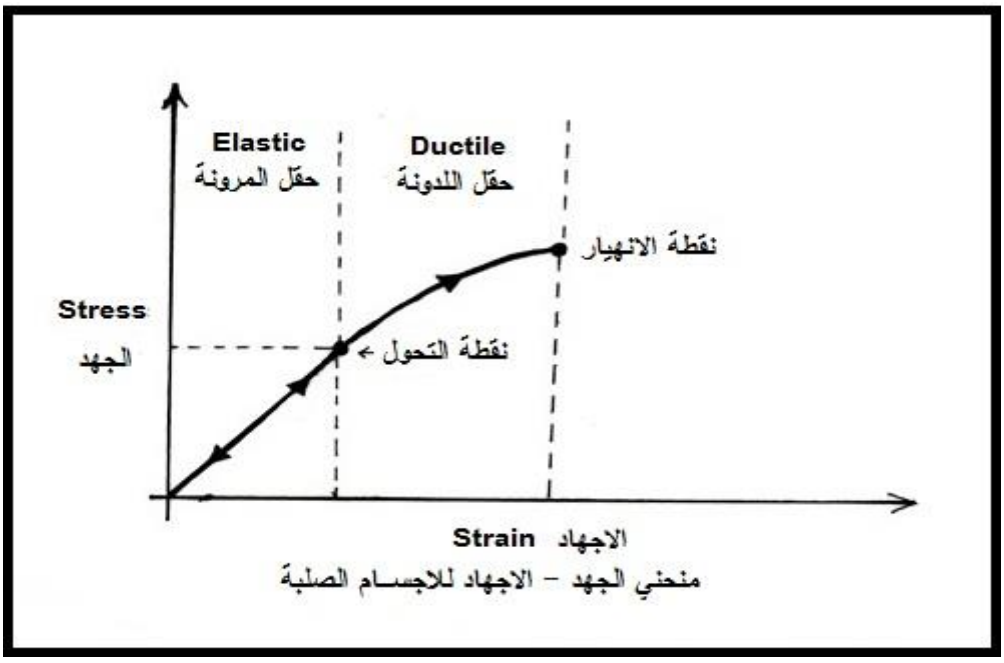
إن خاصية المسامية والفواصل أو الشقوق عند تواجدها في التكوينات الصخرية تزيد من عدم التجانس في التراكيب الصخرية وتؤدي إلى عدم الاستقرار إذ إن المسامية تأخذ شكل ممرات شعيرية (زيادة في الخاصية النفاذية) قد تكون هذه المسامات فارغة او مملوءة بالمياه أو أحيانا أخرى غازات، لابد من تحديد نسبة المسامية والنفاذية الصخرية مع كثافة الفواصل والشقوق واتجاهاتها لغرض تحديد حجم واتجاه الأنفاق ألمنجميه عند المباشرة بإنشاء المناجم تحت السطحية إذ ان وجود الماء في المسامات يؤدي إلى تقليل قوة تحمل الصخور للإجهادات المسلطة عليها.

(6-6-4) خاصية التشبع بالماء او الغازات Water Saturation or Gas Saturation

قابلية الصخور أو الترسبات المعدنية على احتواء او حفظ المياه في الكسور والمسامات هو ما يسمى بدرجة التشبع للصخرة، عادة ما يتم طرح هذه المياه أثناء قطع الصخور او فتح القنوات أو الأنفاق ألمنجميه وتكون هذه المياه ذات تأثير سلبي على عمليات الأشغال ألمنجميه خاصة إذا كانت تحت ضغط معين او تحت تأثير ضغط العمود الصخري.الصخور الحاوية على الغازات (Gas-Bearing capacity) والتي يقصد بها قابلية الصخور على احتواء غازات منجميه مثل غاز الميثان، أحادي اوكسيد الكربون، او الغازات الأخرى وخاصة إذا كانت مسامية والتي يتم تحريرها وتسربها الى الأنفاق أثناء الحفر ألمنجمي وتكمن أهميتها في كونها خطرة ومحظورة خلال العمليات والأشغال ألمنجميه تحت الأرضية وعليه يجب وضع منظومة تهوية كفوءة تؤمن إيجاد بيئة منجميه صالحة للعمل.

(6-6-5) خاصية المرونة Property of Elasticity

تعرف المرونة بأنها قابلية المادة أو ألصخرة في الرجوع وإعادة شكلها وحجمها الأصلي بعد إزالة الضغط المسلط عليها، القوة المسلطة على الصخرة تسمى بالجهد Stress والتشوه في المادة يدعى الإجهاد Strain. يمكن تمثيل العلاقة بين الجهد Stress والإجهاد Strain من خلا المنحني في الشكل رقم (6-8) إذ إن الإجهاد يتناسب طرديا مع الجهد ضمن حدود المرونة ويحكمها في ذلك قانون هوك Hook Law.



شكل رقم (6-8) منحني الجهد– الإجهاد للأجسام الصلبة

بعد زيادة الضغط المسلط على الصخرة الى حد معين فان المادة او الصخرة لا يمكن أن تستعيد أو ترجع الى شكلها أو حجمها الأصلي إذ يحصل لها تشويه عندئذ تدخل في حقل اللدونة

Ductile، عند زيادة الضغط المسلط أكثر بحيث يصل الى حد لا يمكن للصخرة ان تتحمل الضغط المسلط عليها فان المادة عندئذ تتكسر وتنهار.

هناك ثلاثة انواع من معاملات المرونة هي:-

أ- المرونة الطولية Longitudinal Elasticity

تعرف بأنها مقاومة المادة للقوة المبدلة للطول ويعبر عنها بمعامل يونك Young's Modulus (E)

$$E=\frac{\text{Longitudinal Stress Fl A (Force/Unit area)}}{\text{Longitudinal Strain } \Delta L/L \text{ (elongation or shortening)}}=\frac{F/A}{\Delta L/L}$$

كما موضح في الشكل رقم (9-6-a).

ب- المرونة ألحجميه Volume Elasticity

تعرف المرونة ألحجميه بأنها مقاومة المادة للقوى المبدلة للحجم ويعبر عنها بالرمز (K) Bulk Modulus وتمثل بالعلاقة التالية

$$K=\frac{Volume\ Stress\ P}{Volume\ Strain\ \Delta v/v}=\frac{F/A}{\Delta v/v}$$

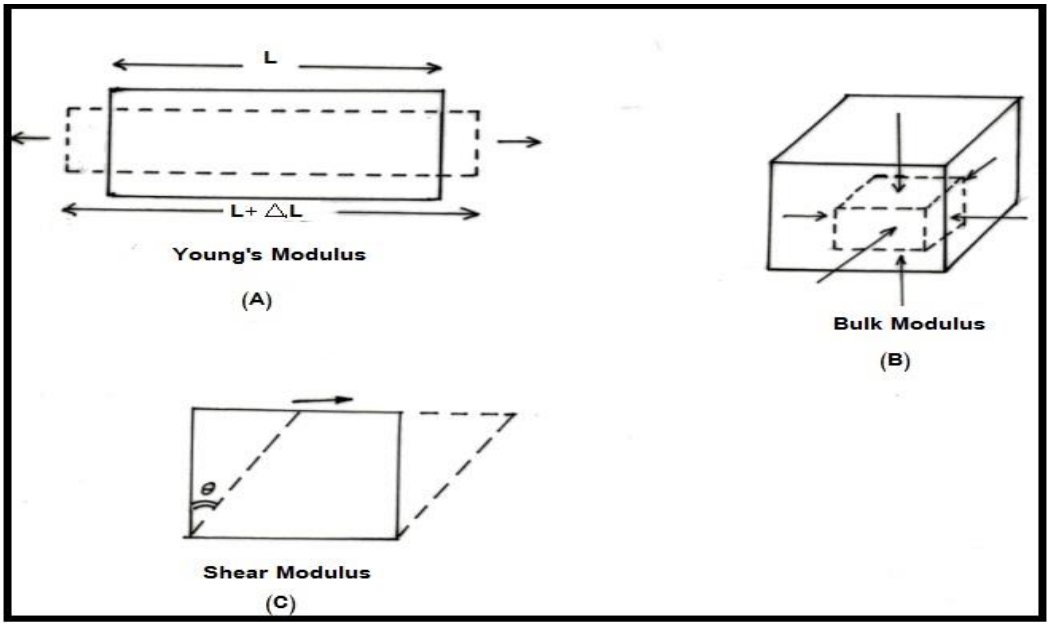
كما موضح في الشكل رقم (9-6-b)

ج- المرونة الشكلية Shear Elasticity

و تعرف بانها مقاومة المادة للقوى التي تبدل الشكل و تسمى بالمرونة القصية ويرمز لها بالرمز (μ

$$\mu=\frac{Shear\ Stress}{Shear\ strain \tan\theta}=\frac{F/A}{\tan\theta} \quad = \quad \text{shear Modulus}($$

كما موضح في الشكل (9-6-c)



شكل رقم (9-6) انواع المرونة في الاجسام الصلبة

(6-6-6) المتانة والصلادة Firmness and Stiffness

من مميزات الصخور الطبيعية عند تعرضها لاجهادات عالية تتجاوز حد المرونة . إنها تتعرض للانهيار والتصدع، متانة الصخور تعتمد بشكل كبير على نوع الاجهادات المسلطة على الصخور إذ تبلغ مقاومة الصخور أعلى حد في حالة التحميل ألانضغاطي (Compress ional Loading) ، أما عند تعرض الصخور الى الاجهادات القصية (Tensile strength) فإن مقاومة الصخور لهذه الاجهادات تعتمد بصورة أساسية على قوى التماسك والتلاصق الموجودة بين جسيمات المادة أما إذا كانت قوى الشد هذه تقع باتجاه مستويات التطبق للتكوينات الصخرية فان قوى التحمل للصخور تكون اقل ما يمكن وممكن ان تنهار بسهولة على العكس إذا كانت هذه الاجهادات والقوى القصية عمودية على مستويات التطبق إذ تكون مقاومة الصخور اكبر ما يمكن لتحمل هذه الاجهادات.

(6-6-7) الصلابة Hardness

تعرف الصلابة بأنها مقاومة الجسم الصخري للخدش أو ألاختراق من قبل جسم اخر دون حصول اية تشوهات عليه. يستخدم مقياس (موهو) للصلابة (Moh's scale of hardness) المتكون من عشرة معادن مرتبة حسب الصلابة إذ إن كل معدن يخدش الذي قبله وهكذا ولا ما يزال هذا المقياس يستخدم منذ عام 1812م ولحد ألان وهو كما يلي:-

مقياس موهو للصلابة

1-	**Talc**	**6-**	**Orthoclass Felspar**
2-	Gypsum	7-	**Quartz**
3-	Calcite	8-	**Topaz**
4-	Fluorspar	9-	**Corundum**
5-	**Apatite**	**10**	**Diamond (The hardness)**

(6-6-8) الهشاشة والتفتت Fragility and Friability

تعرف الهشاشة بأنها خاصية تهشم الصخور بصورة طبيعية إلى قطع مختلفة الأحجام تحت تأثير قوى التصادم أو التفجير، أما التفتت فيعرف بأنه خاصية الصخور الطبيعية لإشغال حيز اكبر من المكان في حالة تعرضها إلى التكسير أو التجزئة إلى قطع اصغر، إذ تعرف النسبة بين حجم الصخور المتكسرة إلى حجمها الأصلي عندما كانت كتلة واحدة بمعامل التفتت(Friability Factor) ويزداد هذا المعامل بزيادة مقاومة الصخور للتفتت أو بزيادة الصلابة.

(6-6-9) الاستقرارية Stability

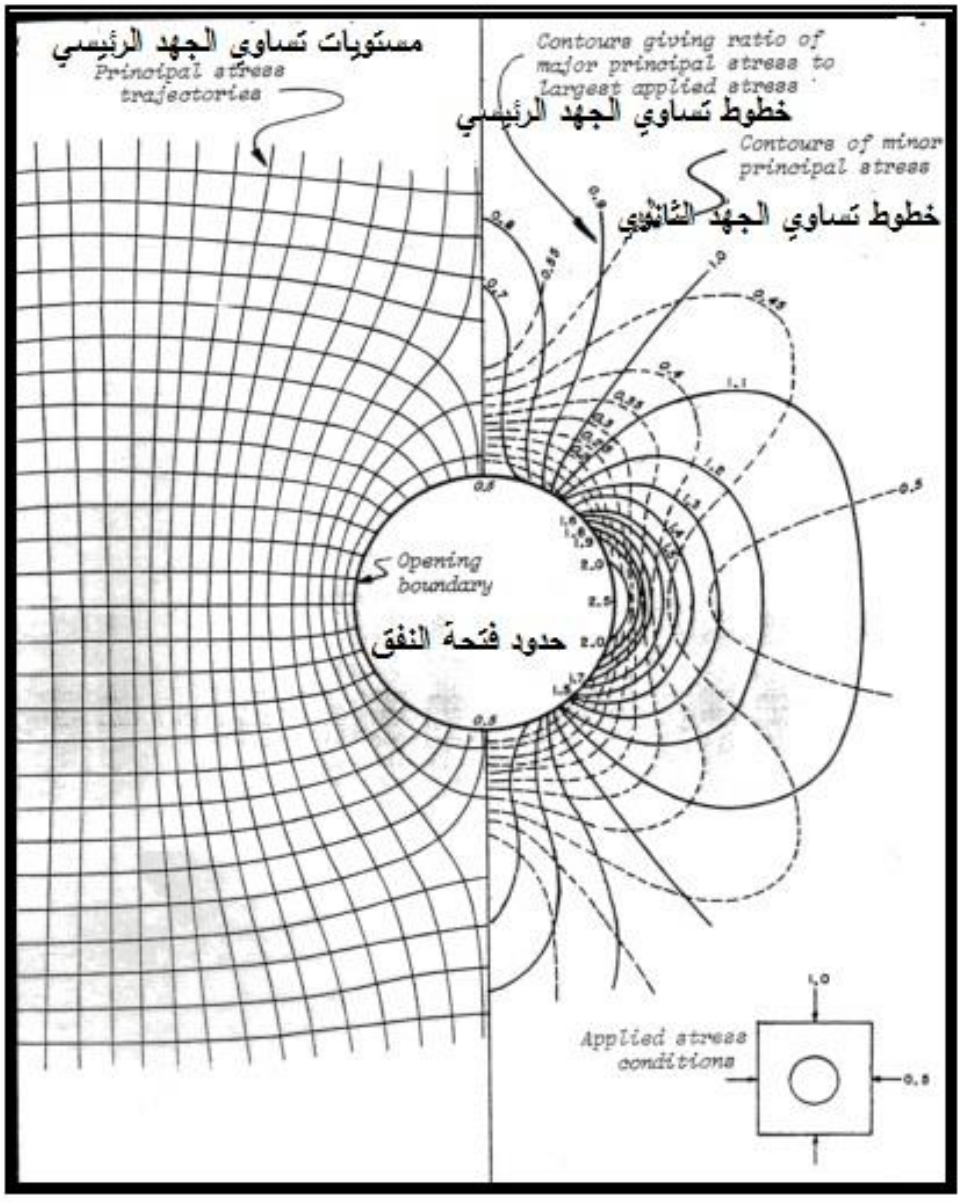
عادة ما تكون التكوينات والكتل الصخرية في حالة توازن واستقرار للقوى المسلطة عليها موقعياً وبصورة طبيعية، في حالة المباشرة بأعمال الحفر ألمنجمي وحفر الأنفاق ألمنجميه في المناجم تحت السطحية (Underground Mine) عندئذ يتعرض توازن القوى واستقرارية الصخور إلى الاختلال ينتج عنه إعادة توزيع لهذه القوى والاجهادات المسلطة على الكتل الصخرية (Stress Redistribution) إذ تتركز هذه الاجهادات حول الفتحة ألمنجميه أو النفق ألمنجمي، ان مقاومة الصخور والتكوينات الصخرية للتشوهات والانهيارات نتيجة لحفر الأنفاق هي ما تسمى بالاستقرارية (Stability)، في حالة وجود تشققات او صدوع في التكوينات الصخرية تحصل تشوهات وانهيارات لبعض القطع الصخرية في حالة عدم تحملها للإجهادات المسلطة عليها عندئذ يتطلب إجراء عمليات إسناد ومعالجة لهذه التشوهات والانهيارات.

من الجدير بالذكر هنا عندما يتم فتح و إنشاء الأنفاق ألمنجميه تحت سطح الأرض سوف يتم إعادة توزيع قوى الإجهاد حول الفتحة ألمنجميه بغض النظر عن قطر الفتحة أو النفق كما في الشكل رقم (9-6)، أي ان مستويات ألجهد ألمسلطة على جدار النفق ألمنجمي ذات قطر (1) متر هي نفسها وبنفس القيمة سوف تسلط على جدار النفق ألمنجمي ذات قطر(10) متر في نفس الصخور ذات مواصفات مرونة ثابتة. في السابق كان الاعتقاد السائد بان سعة أو كبر الفتحة ألمنجميه تؤدي إلى زيادة الاجهادات المسلطة عليها وبالتالي ممكن ان يؤدي ذلك إلى حصول تشوهات او انهيارات أما في الوقت الحاضر فان التجارب و البحوث دلت على إن الاجهادات المسلطة على جدار الأنفاق ألمنجميه ليس لها أية علاقة بحجم او قطر النفق او الفتحة ألمنجميه، كذلك إن استقرارية الفتحة ألمنجميه ليس لها أية علاقة بحجم او قطر النفق، هذه الحالة تحصل في الصخور المرنة بينما هذه الحالة من الاستقرارية لا تصلح في حالة وجود تشققات او صدوع في التكوينات الجيولوجية او الكتل الصخرية التي تحتوي على النفق ألمنجمي، ان وجود التشققات والصدوع في الكتل الصخرية لا تؤدي الى زيادة في مستويات الإجهاد المسلطة على جدار النفق ألمنجمي وإنما تؤدي إلى تقليل الاستقرارية في الصخور حول الفتحة ألمنجميه وبالتالي ممكن ان يؤدي ذلك الى حصول تشوهات أو انهيارات في الفتحة ألمنجميه، عليه بتوجب اتخاذ إجراءات أمان عالية بوساطة اتخاذ أعمال الإسناد والتدعيم لسقف وجدران الفتحة ألمنجميه. يجب التركيز عند فتح الأنفاق ألمنجميه على استقرارية الصخور التي توثر عليها كثيرا التشققات والكسور في الصخور المحيطة بالنفق وليس التركيز على خاصية مستويات الإجهاد التي ممكن أن تسلط على جدران النفق ألمنجمي لأنها هي الوحيدة المسؤولة عن حصول تشوهات او انهيارات منجميه.

نلحظ من الشكل رقم (10-6) و(11-6) أن مستويات الإجهاد تتوزع حول جدار الفتحة ألمنجميه إذا كانت دائرية أو شبه دائرية بغض النظر عن حجم الفتحة ألمنجميه في حين إن مستويات

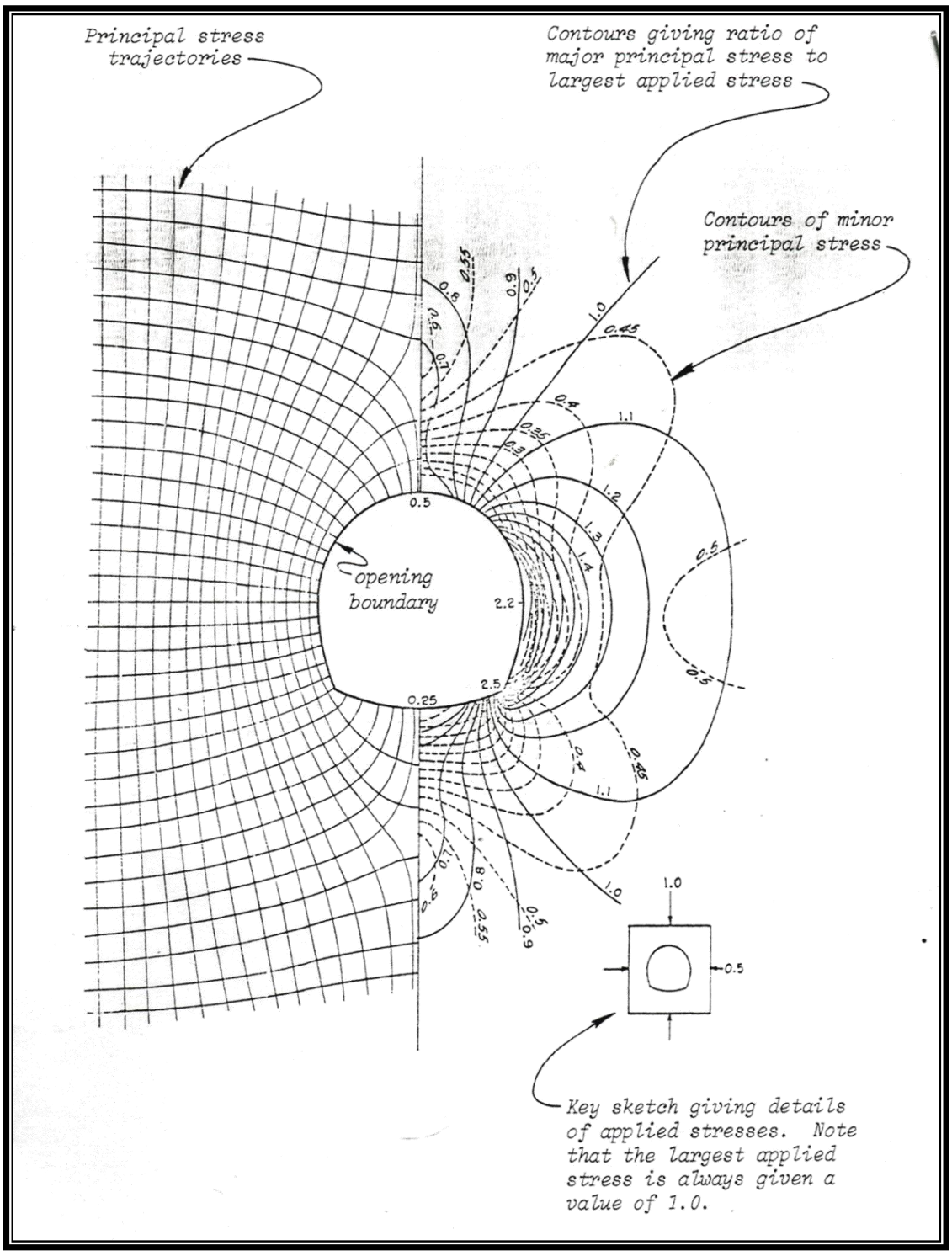
الإجهاد تتركز حول الأركان إذا كانت الفتحة ألمنجميه مربعة أو تحتوي على زويا حادة،كما في الشكل رقم (12-6).

الشكل رقم (13-6) يوضح هنا توزيع مستويات الإجهاد عند تقاطعات الأنفاق إذ تتركز الإجهادات حول الأركان والزوايا عند حدود تقاطع الأنفاق.



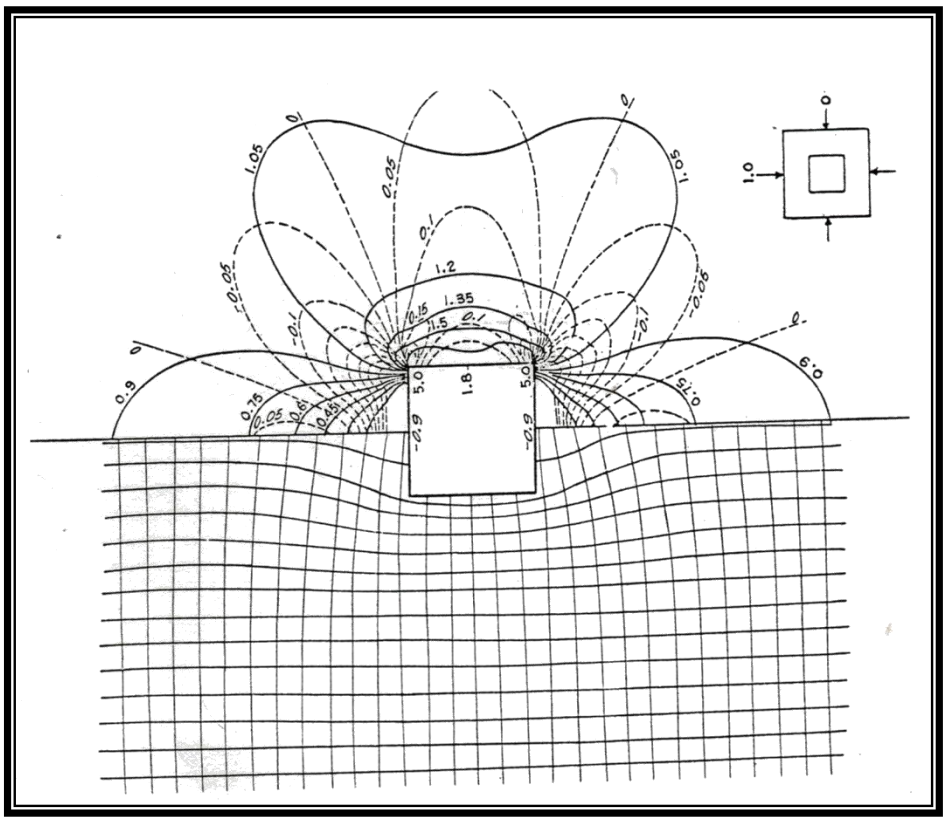
شكل رقم (10-6) خطوط تساوي الجهد الرئيسي مع مستويات توزيع الاجهاد حول الفتحة ألمنجميه

المصدر: (Hock and Brown, 1982, P.109)



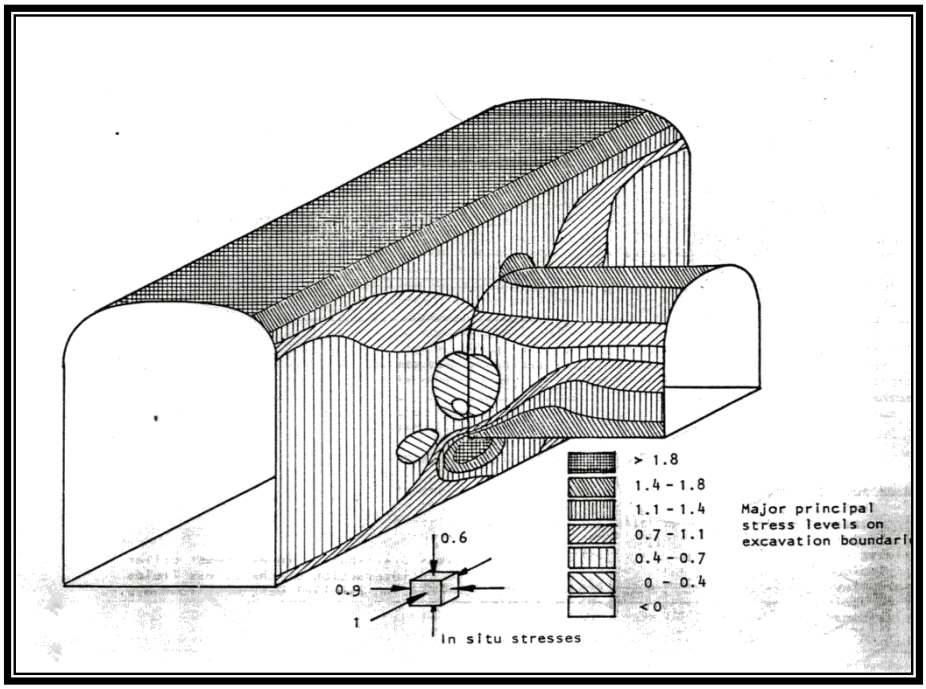
شكل رقم (6-11) خطوط تساوٍ مع توزيع مستويات الإجهاد حول الفتحة ألمنجمية

المصدر : (Hock & Brown, 1982, P.467)



شكل رقم (6-12) مستويات الجهد تتركز حول الزوايا الحادة في الفتحة ألمنجميه

المصدر : (Hock & Brown, 1982, P.473)



شكل رقم (6-13) توزيع مستويات الإجهاد حول حدود تقاطع الأنفاق ألمنجميه

المصدر : (Hock & Brown, 1982, P.124)

(6-7) مصادر عدم الاستقرارية في الصخور هي

Source of Instability in Rocks

1- التراكيب الجيولوجية التي تتواجد في الصخور الصلدة مثل التشققات، الصدوع ،الكسور أو وجود سطوح عدم توافق مائلة بزاوية معينة.

2- وجود مستويات عالية جدا من الجهد مسلطة على الكتل الصخرية وقد تكون كذلك مرتبطة مع الصخور القوية، هذه المستويات العالية جداً من الجهد تؤدي إلى حصول عدم إستقرارية في الفتحات ألمنجميه عندما يتم حفر هذه الأنفاق على أعماق بعيدة جدا من سطح الأرض أو حفر أنفاق ذات أقطار كبيرة على أعماق قريبة من سطح الأرض، إذ تحصل مثل هذه الحالات في المناطق الجبلية التي تحتوي على سفوح شديدة الميلان إذ يتم اللجوء في مثل هذه الحالة الى استعمال عمليات الدعم والإسناد.

3- عمليات التجوية أوعمليات الانتفاخ التي تحصل للتكوينات الصخرية تؤدي إلى تغيير مواصفات الصخور الفيزيائية والميكانيكية وحصول مناطق ضعف في تحمل هذه الصخور للإجهادات.

4- ضغط وحركة المياه الجوفية في التكوينات الصخرية تحت سطحية تؤدي إلى حصول عدم استقرارية في الصخور ويتم معالجة هذه الحالة بواسطة سحب المياه الجوفية الى الأعلى لتقليل الضغط مع تغير اتجاه حركة المياه الجوفية خارج منطقة الأشغال ألمنجميه.

(6-8) طرق الاستخراج ألمنجمي السطحي Surface Miming

الترسبات المعدنية التي يتم استخراجها بطريقة المنجم السطحي تقسم الى ثلاثة أقسام رئيسية:

1- الترسبات المعدنية الفتاتية او الترسبات الناعمة القريبة من السطح.

2- الترسبات المعدنية الطباقية او الترسبات المستوية.

3- الترسبات المعدنية الصلدة Massive، وغير المنتظمة أو التي تكون على شكل عروق معدنية مائلة أو ترسبات عدسية.

إن اختيار طريقة الاستخراج ألمنجمي السطحية لكي تتلاءم مع نوع الترسبات المستهدفة في العمل ألمنجمي تعتمد على عدة عوامل هي:-

أ- صلابة الترسبات المعدنية وصلابة الصخور العقيمة المحيطة بها.

ب- شكل وحجم الترسبات المعدنية هل هي طباقية ام عرقية.

ج- العوامل البيئية المتاحة مع توفر الإمكانيات التقنية والبشرية والخامات المعدنية.

د- كلفة الاستثمار المحدودة لإنجاز المشروع.

ه - حد القطع للتركيز وحد القطع للسمك.

هذه العوامل مجتمعة هي التي تحدد نوع الطريقة ألمنجميه المستخدمة التي توفر انجاز العمل بأسرع وقت ممكن مع ضمان أقصى أنتاج لتغطية كلف الاستثمار مع توفير ربح معقول لتطوير الأعمال ألمنجميه المستقبلية.

إن طرق الاستخراج ألمنجمي السطحية لم تتغير كثيراً عبر التاريخ منذ تأسيس العمل ألمنجمي في بداية عام 1860-1900 ولحد الوقت الحالي، ولكن التغير الذي حصل في التقدم التقني في عمليات الاستخراج من استخدام النقل بالعربات والحيوانات إلى استخدام المكننة الحديثة والمعدات والآليات المتقدمة.

(6-9) فوائد طرق الاستخراج ألمنجمي السطحي Advantages of surface Mining

1. إنتاجية عالية في استخراج الترسبات المعدنية.
2. حجم الأعمال ألمنجميه والتشغيلية كبيرة جدا.
3. انخفاض كلف الإنتاج للطن الواحد.
4. سهولة تتبع واستكشاف الجسم المعدني.
5. عدم وجود أية تحديدات في حجم الآليات والمعدات المستخدمة.
6. كفاءة الاستخراج المعدني عالية جدا.
7. طريقة عمل آمنة وعدم وجود مخاطر تشغيلية.
8. سهولة التخطيط والتصميم للأعمال ألمنجميه.

(6-10) التخطيط للأعمال ألمنجميه السطحية

Surface Mining planning and Layout

بعد ان يتم اتخاذ القرار المناسب والانتقال الى المرحلة اللاحقة وهي القيام بالأعمال ألمنجميه السطحية والمضي قدما باستخراج الترسبات المعدنية من موقعها ونقلها الى معمل الاستخلاص، يجب التخطيط للأعمال التشغيلية ألمنجميه بكل دقة ولكافة تفاصيل العمل ألمنجمي. الهدف من التخطيط لهذه الأعمال التفصيلية هو:-

1- معرفة وتثبيت العلاقة المقبولة الى economic stripping Ratio ثم معرفة شكل عملية الاستخراج وحدود المنجم السطحي.
2- ضمان توفير كمية كافة من الترسبات المعدنية المكشوفة طوال الوقت جاهزة للاستخراج لتغطية كمية الإنتاج المطلوبة.
3- توفير وصيانة طرق مواصلات ومساحة حركة مناسبة للآليات والمعدات المستخدمة.
4- في حالة الترسبات المعدنية غير المتجانسة يجب التأكد من إن واجهة الأشغال ألمنجميه تعطي دائما ترسبات معدنية ضمن معدل درجة تركيز الخام.

5- لمواجهة أي تغيير في شكل وحجم الترسبات المعدنية ضرورة وجود مرونة وحرية في تغيير شكل وحجم واتجاه المنجم السطحي بكل سهولة ليتناسب مع المتغيرات الجديدة للترسبات.

إن التخطيط لاختيار الطريقة ألمنجميه المناسبة تعتمد بصورة أساسية على نوع الترسبات المعدنية بعد ان يتم تصميم الشكل الهندسي لهذه الطريقة ومن أهم هذه التصاميم هي معرفة درجة ميل السفح للمنجم التي تؤثر كثيرا على stripping Ratio. تصميم طرق المواصلات ونقل الخام بالسيارات الخارجة المحملة بالخام والسيارات الداخلة الفارغة مع وجود مرونة للحركة، مساحة واجهة الأشغال ألمنجميه وارتفاع الواجهة الأمامية التي تعتمد على نوع المعدات والآليات المستخدمة.

في حالة الترسبات المعدنية الكبيرة واسعة الامتداد يجب التخطيط للأعمال الاستخراجية والتشغيلية لعدة عقود مسبقا وتقسيمها الى عدة مراحل للعمل، كل مرحلة يخطط لها بحدود خمس سنوات مثلاً، وهكذا لحين استخراج وقلع كل الترسبات المعدنية الهدف من التخطيط المستقبلي للعمليات الاستخراجية ألمنجميه هو:

1- زيادة وتضخيم استخراج الخام من موقعه إلى أعلى نسبة ممكنة.

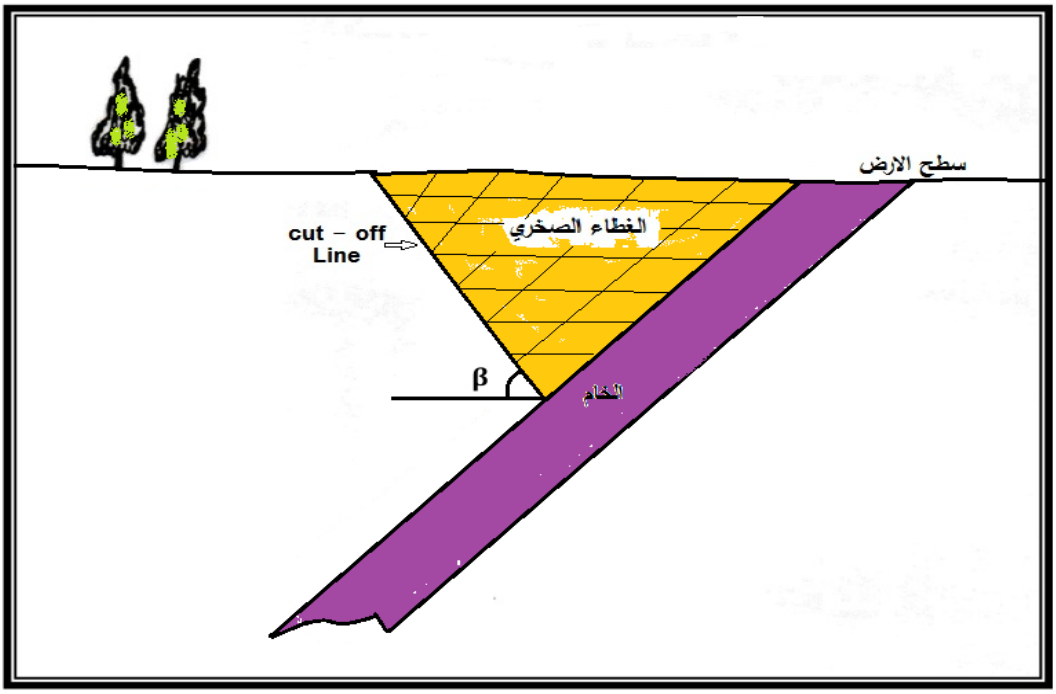
2- تقليل نسبة الصخور العقيمة الواجب قلعها الى اقل كمية ممكنة.

3- ضرورة الوصول إلى موقع الترسبات المعدنية بأسرع وقت ممكن وبأقل كلفة للبدء بمرحلة الإنتاج مبكرا لغرض الحصول على المردودات المالية. لتغطية كلف الاستثمار والأموال المصروفة لانجاز المشروع.

في بعض الأحيان يتم استخراج كامل الترسبات المعدنية بمردود اقتصادي جيد وبدون حصول أي فقدان أو ضائعات، ولكن في بعض الأحيان يتم قلع واستخراج الجزء الأكبر من الترسبات المعدنية ويتم ترك الجزء المتبقي في موقعه بدون استخراج اعتمادا على مبدأ حد القطع للتركيز أو السمك الذي يحدد الجزء الذي يجب أن يبقى في موقعه لضرورات اقتصادية أو فنية أو تقنية. يعتبر حد القطع دالةً أو تعريفاً إلى أقصى درجة economic stripping Ratio مع الوقت مع تغير كلف انتاج الطن الواحد من الترسبات وسعر البيع ممكن أن يزداد وأحيانا من الممكن أيجاد او استخدام طرق معالجات او تقنية متطورة تؤدي الى زيادة الإنتاج مع خفض كلف الاستخراج المعدني.

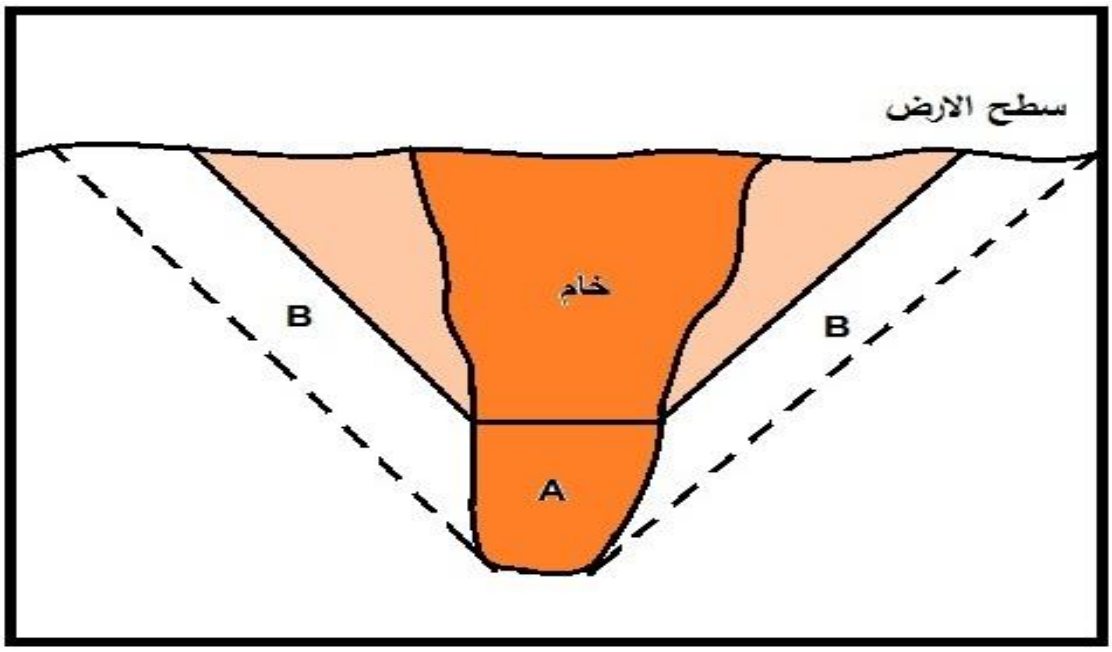
في بعض الترسبات المعدنية عندما تكون متجانسة في المكونات المعدنية ولا توجد اختلافات كبيرة في التوزيع المعدني لها فان نسبة القشط الإقتصادية Economic stripping Ratio هي التي تحدد حد القطع لأي متغير كان مثل السمك، الغطاء الصخري، ... الخ وكما نلحظ في الشكل رقم (14-6) هذه الحالة توجد طبقة مائلة من احد الترسبات المعدنية تمتد من السطح نحو الأسفل ويتم استخراج هذه الترسبات بطريقة المنجم السطحي بعد إزالة الغطاء الصخري الذي يقع فوق هذه الترسبات مع الحفاظ على درجة ميلان آمنة لسفح الغطاء الصخري Safe Angle of Repose إلى أن تصل مرحلة إزالة الغطاء الصخري لحد الـ Economic stripping Ratio هذا الحد يمثل حد

القطع للغطاء الصخري بعدها تصبح طريقة الاستخراج ألمنجمي السطحي غير ذي جدوى اقتصادية ويجب تحويل العمل بطريقة الاستخراج ألمنجمي تحت سطحي.



شكل رقم (6-14) تعيين حد القطع بواسطة العلاقة الاقتصادية لنسبة القشط stripping Ratio

في الترسبات المعدنية التي تمتلك عدم تجانس في المكونات المعدنية، كلُّ من درجة تركيز الخام و stripping Ratio لها أهمية مشتركة في تعيين حد القطع. الشكل رقم (6-15) الذي يوضح ترسبات معدنية ثم استخراجها بوساطة العمل ألمنجمي السطحي الى المستوى الأرضي الموضح بالخط المتصل، الذي يحدد زاوية الميل الآمنة لجدار المنجم مع stripping Ratio ، في حالة حصول القرار على استخراج المتبقي من الخام في القاطع (A) عندها يجب ازالة الغطاء الصخري للقاطع (B) المؤشر بالخط المتقطع ويتم إعادة احتساب stripping Ratio مع درجة تركيز الخام المتبقي او قيمة الخام اذا كانت ذات فائدة اقتصادية ومردود مالي جيد تستحق إجراء أعمال استخراجها.

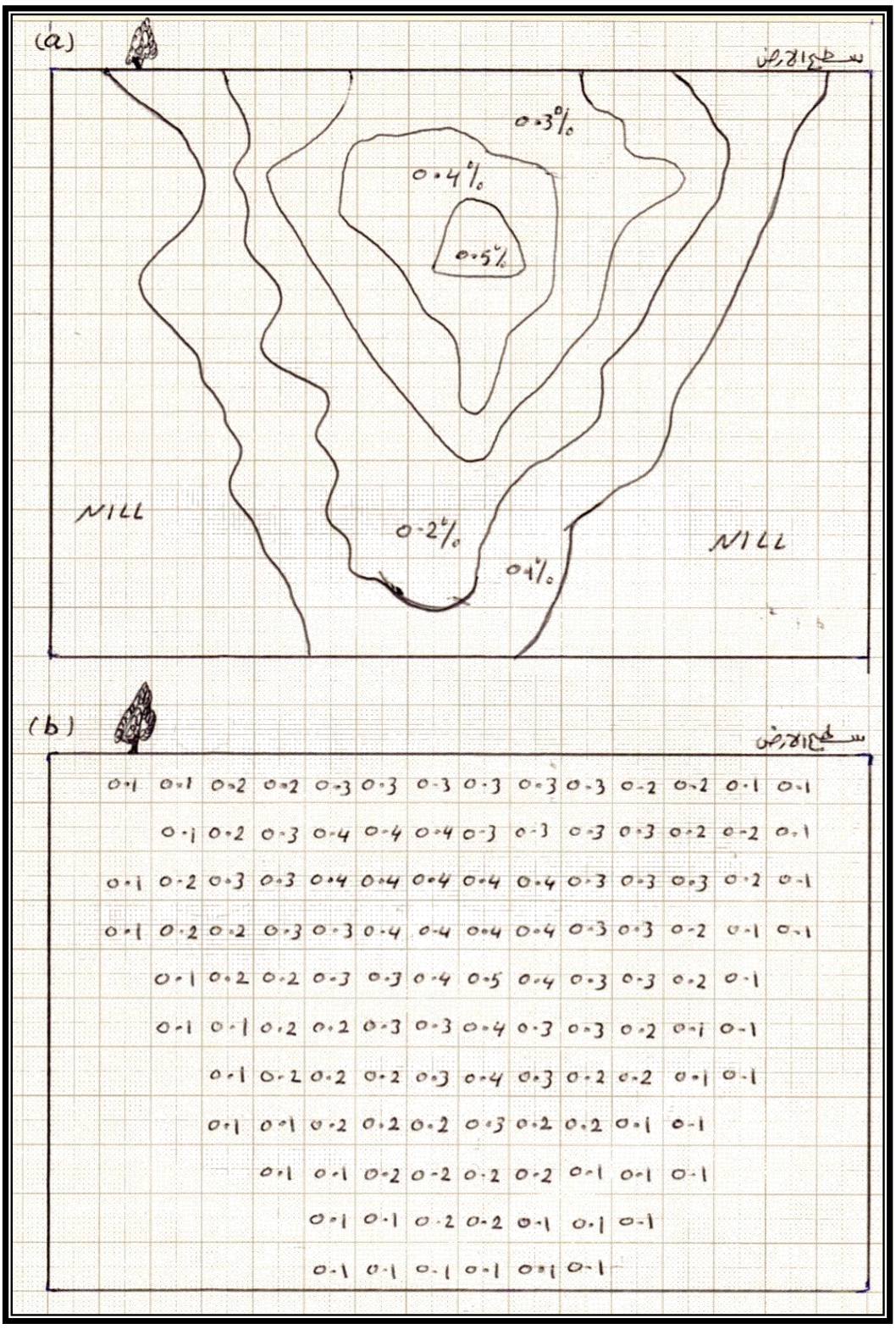


شكل رقم (15-6) تعيين حد القطع للترسبات متغيرة التركيز اعتمادا على درجة تركيز الخام و stripping Ratio

مثال رقم (3-6)

الشكل رقم (16-6) يمثل مقطعاً عرضياً لترسبات خام النحاس تم رسم الخطوط الكنتورية لامتدادات الخام (خطوط تساوي درجة تركيز الخام) تحت سطح الأرض، لأغراض البدء بعملية الاستخراج والتخطيط لبدء أعمال القلع والاستخراج ثم تحويل هذه الخطوط الكنتورية الى مجموعة او سلسلة من القواطع Blocks كما مبين في الشكل (b) ويمثل الرقم داخل القاطع مقدار درجة تركيز الخام. ثم تحديد ادنى درجة تركيز الخام تساوي 0.3% نحاس = Cut-off Grade، وزاوية ميل الجدار الجانبي للمقطع يجب ان لا تتعدى درجة 45^0.

1- كيف يكون شكل المنجم النهائي وشكل الجدار الجانبي اذا تم قلع واستخراج كامل للخام لحد القطع كثر من 0.3%؟
2- احسب مقدار Stripping Ratio اذا تحقق المطلوب في الفقرة (1) ؟
3- كيف يكون شكل المنجم اذا كان المطلوب رفع وقلع الخام فقط بدون قلع او استخراج اية كمية من الفضلات او الصخور ذات درجة تركيز اقل من 0.3%؟
4- افترض انه تم قلع (6) ستة قواطع سنوياً، ما هو عمر المنجم حتى ينتهي قلع كامل الخام؟



شكل رقم (16–6) مقطع عرضي لخطوط تساوي درجة تركيز الخام مع القواطع

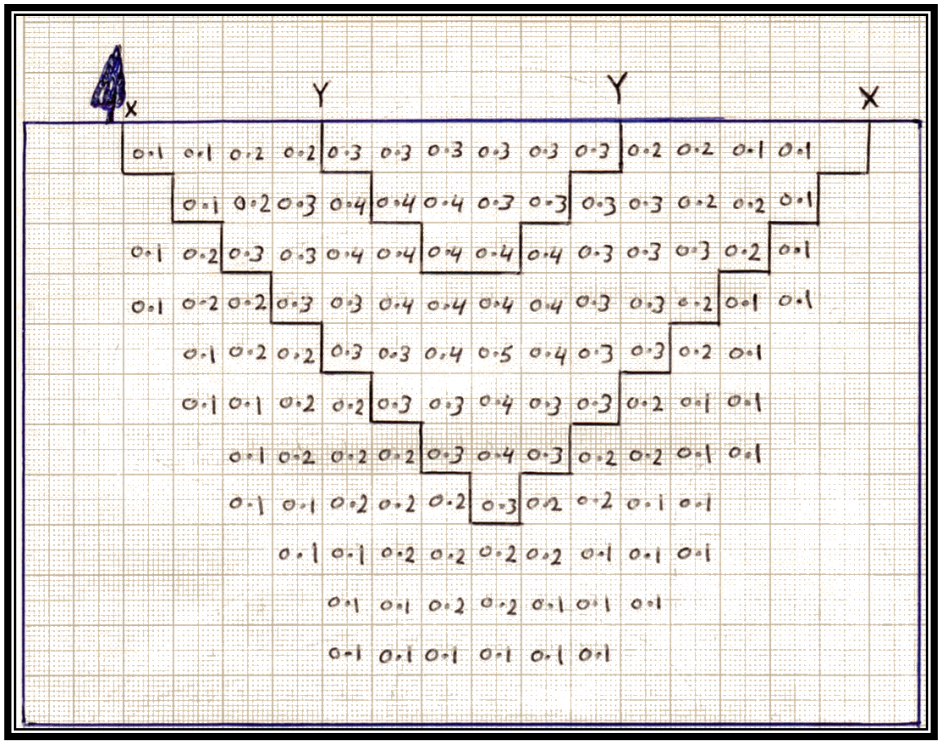
الحل:

1- حتى يتم استكمال قلع كامل للخام لحد القطع أكبر من 0.3% نحاس مع ضمان الانحدار الجانبي للجدار بدرجة ميل 45^0 وعلى شكل مدرجات او مصاطب تستخدم لتسهيل مرور المعدات والعجلات يكون الشكل النهائي كما موضح في الشكل رقم (17-6) المنحدر XX .

2- stripping Ratio = عدد القواطع التي يجب ان تقلع بدرجة خام اقل من 0.3% / عدد القواطع الكلية للخام التي يجب ان تقلع $= \frac{16}{48} = 0.33$

3- شكل المنجم عند استخراج الخام بدون قلع او استخراج أي كمية فضلات كما مبين في المنحدر YY

4- عمر المنجم النهائي = عدد القواطع الكلية / عدد القواطع التي تقلع سنوياً = 64 / 6 = 10.7 سنة



شكل رقم (17-6) شكل المنجم النهائي

(6-11) المعدات المستخدمة في المنجم السطحي

هناك مرونة عالية في اختيار نوع المعدات والآليات المستخدمة في عمليات الاستخراج ألمنجمي السطحي بسبب عدم وجود أية محددات في المساحة المطلوبة، لحركة الآليات والمعدات، وجود فضاء واسع مع وجود حرية تامة في إنشاء وتصميم الطرق والمنحدرات لتسهيل حركة مرور هذه الآليات، من الممكن عمل وإنشاء أكثر من واجهة للأشغال ألمنجميه لغرض زيادة الإنتاج واختيار المعدات الكبيرة او العملاقة التي تتمتع بالكفاءة وإنتاجية عالية في قلع ونقل كميات كبيرة من الخام لتحقيق إنتاجية عالية لتقليل كلف التشغيل مع إمكانية إنهاء العمل ألمنجمي بأقصر وقت ممكن مع زيادة المردود المالي.

(6-12) طرق الاستخراج ألمنجمي السطحية Surface Mining methods

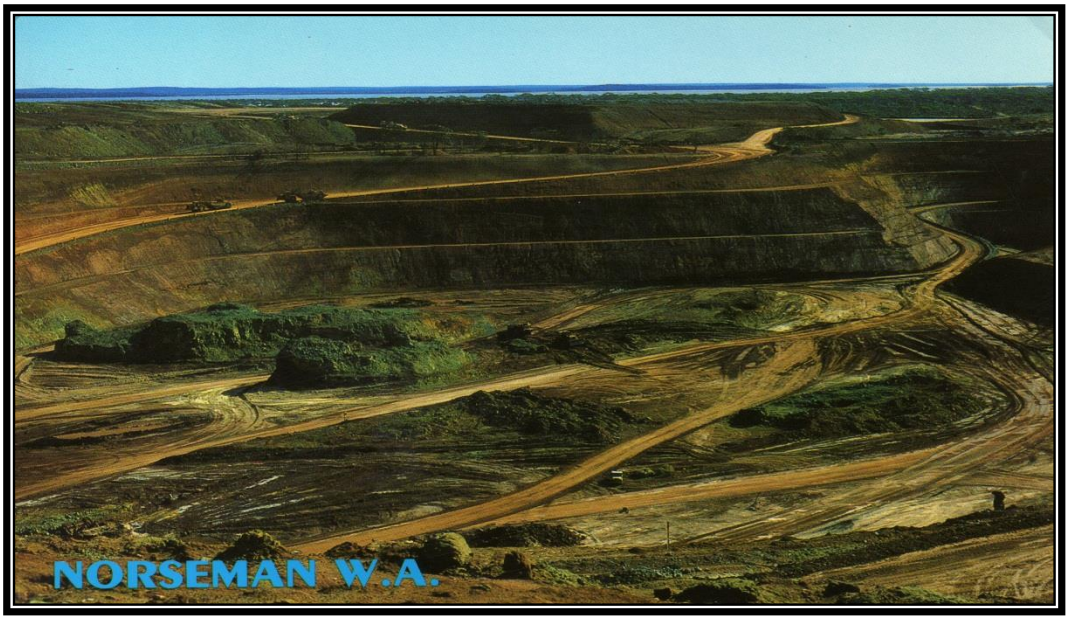
(6-12-1) المنجم المفتوح ذو المدرجات Open Pit Bench Mining

يستخدم هذا النوع من طرق الاستخراج ألمنجمي للترسبات الطباقية الأفقية أو المائلة، العروق المعدنية، الترسبات الأنبوبية، الترسبات المعدنية غير النظامية والصلدة. وعند قلع واستخراج الخام من موقعه لا يمكن إعادة ردم الفضلات والصخور العقيمة داخل الحفرة ألمنجميه بل يجب أن تنقل إلى مكان خارج حدود المنجم، تبقى في محلها لحين الانتهاء من الاستخراج كامل الترسبات المعدنية ثم تعاد هذه الفضلات إلى الحفرة ألمنجميه لردمها والتخلص منها بعدها تعاد التربة السطحية فوقها ويعاد ترتيب سطح الأرض لتتلائم مع الاستخدامات البشرية والحياتية والحفاظ على البيئة.

إن تصميم وتطوير المنجم مع مرور الوقت يعتبر من الأعمال السهلة والبسيطة بعد إزالة ورفع التربة السطحية ثم إزالة الغطاء الصخري لكشف الترسبات المعدنية للسطح تبدأ مباشرة الأشغال ألمنجميه في قلع واستخراج الخامات وبدأ الإنتاج لغرض الحصول على مردودات مالية تعطي تكاليف الإنتاج، تبدأ أعمال إنشاء طرق المواصلات التي تصل من الخام الى سطح الأرض وعمل شبكة من طرق الوصول او الخروج للحفاظ على حرية حركة الآليات والمعدات في نقل واستخراج الخام تتم أعمال قلع واستخراج الخام على مراحل نحو العمق على شكل سلسلة متعاقبة من المدرجات والمنحدرات او ما يسمى أحيانا (المصاطب) يتم تحديد ارتفاع كل مدرج وعرضه على ضوء نوع الآليات المستخدمة وغالبا ما يتراوح ارتفاع مدرج من (15-20) متر والعرض من (5-8) متر. يزداد عدد المدرجات كلما زاد العمق نحو الأسفل مع وجود زيادة في سعة أو قطر الحفرة ألمنجميه في الأعلى شكل رقم (6-18).

شكل (18–6) المنجم المفتوح ذو المدرجات Open pit bench mine

أكثر الترسبات المعدنية تمتلك أحجام وأشكال غير نظامية ومعقدة وعادة يتم قلع واستخراج الخام والصخور العقيمة والفضلات في وقت واحد ويجري، العمل ألمنجمي والأعمال التشغيلية على عدة مراحل ومستويات وعلى شكل مدرجات ومنحدرات ذو ميل يقع ضمن زاوية الرقاد مع تقدم سير اعمل نحو العمق في قلع واستخراج الجسم المعدني. شكل رقم (19-6) يوضح مراحل العمل ألمنجمي في منجم (Noresman) نورزمان في استراليا حيث يتم رفع وإزالة الغطاء الصخري Over burden بعدها تبدأ أعمال قلع واستخراج الخام



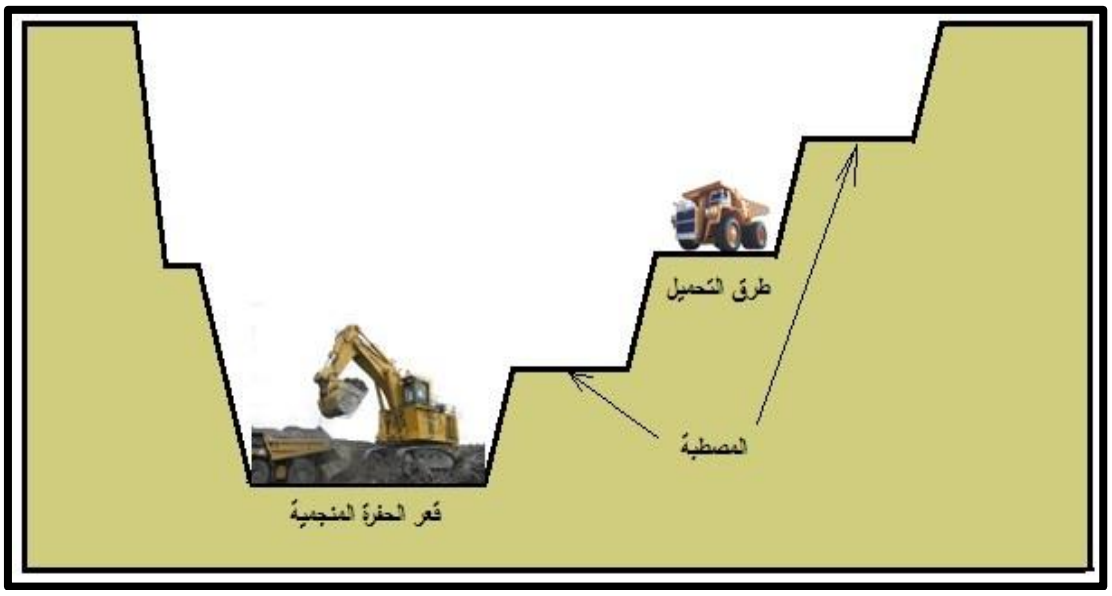
الشكل (19-6) منجم سطحي ذو مدرجات(منجم نورزمان للنحاس) استراليا

والخليط المعدني من قعر المنجم وتنقل خارج نحو معمل المعالجة بالإضافة إلى كون الأعمال مستمرة في أماكن أخرى لترتيب وتنظيم طرق الآليات والمسالك للمعدات وإدامتها لتكون صالحة للاستخدام طيلة فترة العمل.

تستمر أعمال إزالة ورفع الغطاء الصخري مع توسيع امتدادات المساحة السطحية للحفر ألمنجميه من اجل توسيع مساحة واجهة الأعمال ألمنجميه للجسم المعدني ومع زيادة العمق يتم ترتيب وعمل المدرجات وجعلها تميل بزاوية ميل بسيط لتسهيل حركة الآليات والمعدات المخصصة لنقل مواد الخام من مكان تواجدها داخل الحفرة ألمنجميه إلى الخارج مع الحافظة كذلك على زاوية انحدار مناسبة لجدار المنحدر (زاوية رقاد) Angle of Repose لمنع حصول انهيار للسفح أو الجدار ويستمر العمل بهذه الصورة وتزداد أعداد المدرجات مع زيادة العمق كما في الشكل (20-6) الذي يوضح عمل هذه المدرجات والشكل يمثل منجم ريو تنتو Rio tinto في اسبانيا الذي يصل فيه عمق الحفرة ألمنجميه إلى حوالي 200 متر هذا المنجم خاص لاستخراج المعادن الثقيلة (نحاس – رصاص – زنك). في بعض الأحيان يتم قطع عدد من المدرجات لتشكيل طريق مختصر لانجاز سرعة الوصول إلى واجهة الأشغال ألمنجميه.

شكل رقم (20-6) منجم ريو تنتو Rio Tinto في اسبانيا لاستخراج المعادن الثقيلة

عرض المدرج أو الطريق يجب أن يكون كافي لكي يستوعب حجم المعدات وتسهيل عملية المناورة والتحرك ضمن مساحة المنجم والطريق. الشكل رقم (21-6) يوضح الكيفية والأسلوب المستخدم في إنشاء وعمل هذه المدرجات وطريقة ترتيبها.في بداية العمل تكون زاوية الميل للجدار قليلة ثم تزداد زاوية الميل إلى حدود (45^0) تقريبا كما نلاحظ في المدرجات النهائية وهي رقم 4 و5 في حين إن اعمال حفر الابار



الشكل رقم (21-6) عمل المدرجات في المنجم المفتوح

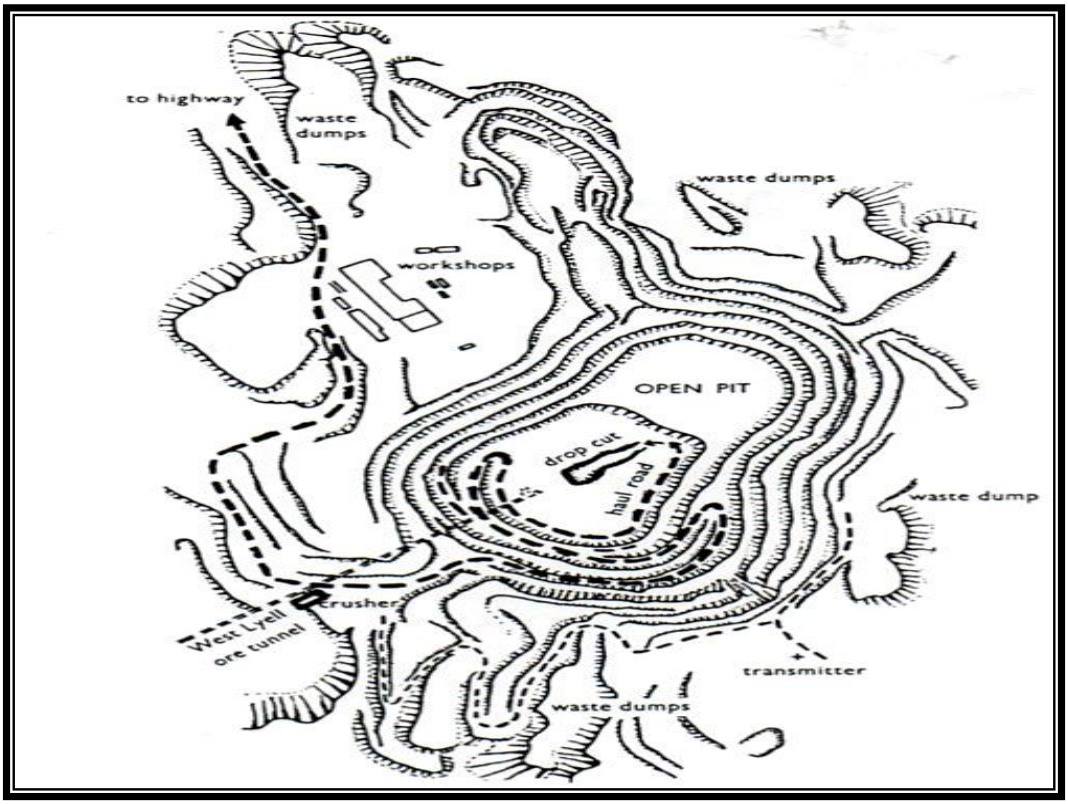
مستمرة في المدرج الثالث لإعدادها لغرض التفجير أما المدرج الرابع يتم فيه تحميل الصخور المهشمة لنقلها خارج المنجم.

حجم الإنتاج في هذا النوع من المناجم السطحية Open Pit mine يتراوح من (1000000) طن/سنة إلى حوالي نصف مليون طن/يوم في المناجم الكبيرة التي تتمتع بامتدادات واسعة ومثيرة. مثال على ذلك منجم Reocin Zn Mine في اسبانيا ويعتبر احد اكبر مناجم أوروبا من حيث حجم الإنتاج حيث يبلغ معدل الإنتاج السنوي بحدود (1500000) مليون طن من معادن الزنك، الرصاص والحديد يبلغ طوله 2 كم وعرضه 2-1 كم وعمقه بحدود 200 م. منجم Rio tinto كما في الشكل رقم (22-6) ويتكون من جزأين منجم مفتوح Open Pit والجزء الآخر تحت سطح الأرض يحتوي على ترسبات Massive Sulphide and gossan لعصر الكامبريان(Cambrian) إذ يبلغ الاحتياطي له تقريبا 500000000 طن ومعدل الإنتاج السنوي يبلغ 600000 من معادن Cu, Ag, Au, S, Zn .

شكل رقم (6-22) منجم Rio Tinto في اسبانيا

مثال على احد المناجم السطحية المفتوحة Open Pit هو منجم Mol ant Lyell في تسمانيا Tasmania استراليا، كما في الشكل (6-23) يحتوي على ترسبات الشيست schist الحاملة لخام النحاس كلما زاد عمر المنجم كلما زاد عمق واتساع الحفرة ألمنجميه مع تقدم واستمرار العمل ألمنجمي، هذا المنجم عمره 35 سنة طول حوالي 115 م وعرضه 61 م وعمق تقريبا 170 م، فلاحظ طريق نقل الخام من واجهة العمل ألمنجمي في أسفل الحفرة إلى السطح (الخط المنقط) يكون على شكل زكزاك يمر حول المدرجات واحد تلو الآخر إلى الأعلى حتى الوصول إلى الكسارة، يتم تكسير الصخور المعدنية الحاملة لمعدن النحاس ثم أحجام صغيرة ثم تنتقل بعد ذلك إلى معمل المعالجة بعيد عن موقع المنجم.

الفضلات والصخور العقيمة يتم ردمها خارج حدود الحفرة ألمنجميه ليس بعيدا على جوانب الحفرة لاختصار الوقت والمسافة.

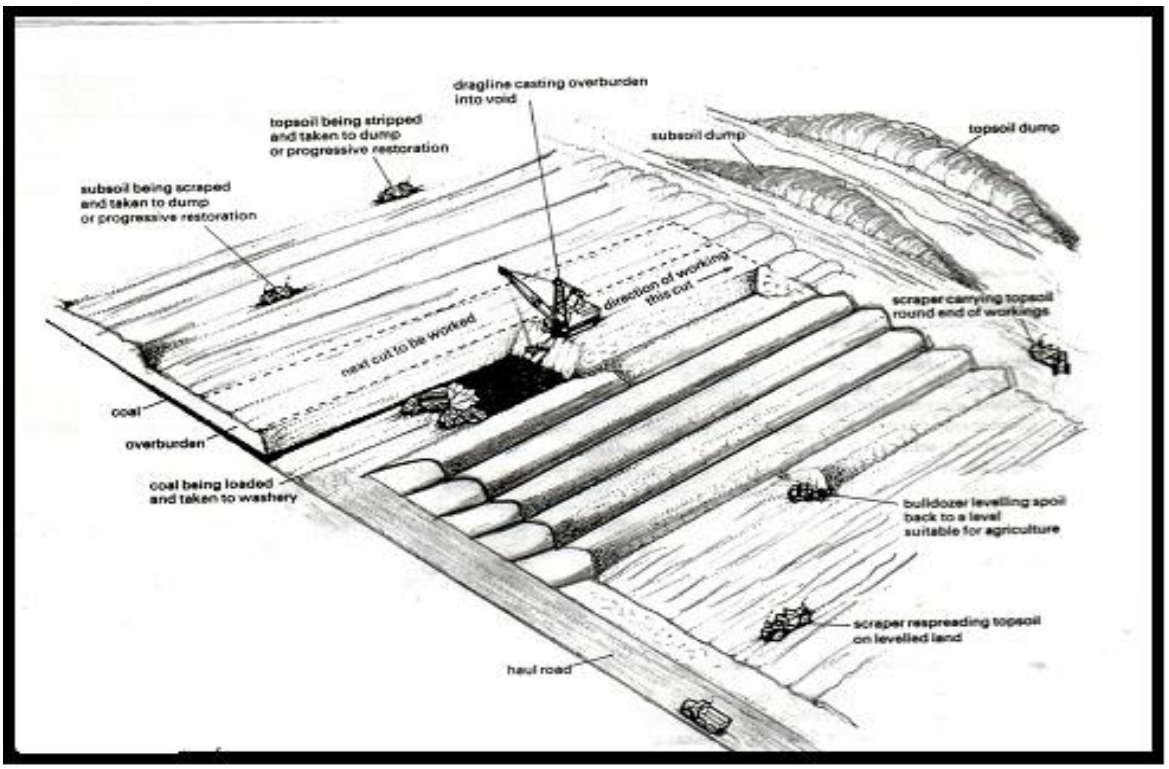


الشكل (23-6) منجم مفتوح (تسمانيا)

(6-12-2) طريقة التقشير على شكل أشرطة Open Cast or strip Mining

طريقة التقشير أو إزالة الترسبات المعدنية على شكل أشرطة متعاقبة نوع من أنواع طرق الاستخراج ألمنجمي السطحي التي يتم بها ردم أو إعادة ردم الفضلات والصخور العقيمة داخل الحفر ألمنجميه بعد قلع وإزالة الترسبات المعدنية. هذه الطريقة ملائمة للترسبات المعدنية الطباقية المستوية أو ذات الميل القليل التي تكون قريبة من سطح الأرض.

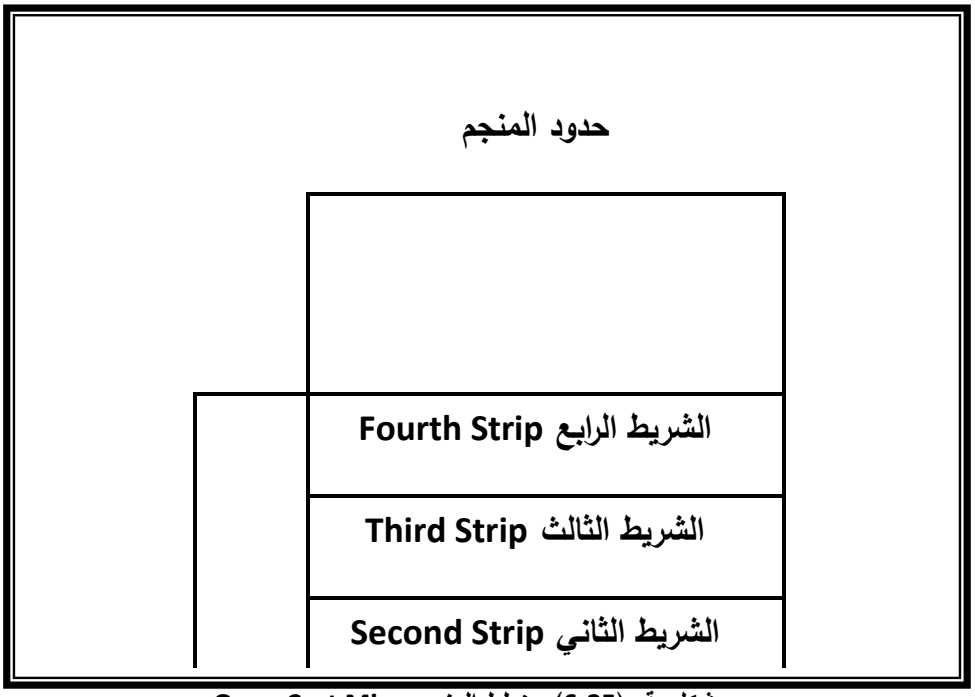
أُسلوب العمل بهذه الطريقة يتم أولا بإزالة ورفع الغطاء الصخري على شكل شريط طولي ضيق لحين الوصول إلى الترسبات المعدنية. الغطاء الصخري للشريط الأول يتم نقله خارج حدود المنجم السطحي بعيداً عن منطقة الأشغال ألمنجميه ويبقى في موقعه لغاية الانتهاء من رفع آخر شريط من الترسبات المعدنية، يتم ردمه وملأ آخر شريط من الأعمال ألمنجميه. شكل رقم (18-5). بعد قلع وإزالة الترسبات المعدنية من الشريط الأول، تبدأ أعمال قلع وإزالة الغطاء الصخري للشريط الثاني الموازي للشريط الأول وتدفن أو توضع لملأ الشريط الأول الذي تم الانتهاء من إزالة الترسبات المعدنية منه، وهكذا يستمر العمل بالنسبة لبقية الأشرطة لغاية الانتهاء من قلع وإزالة آخر شريط معدني ليتم ردمه من الغطاء الصخري المستخرجة من اول شريط في بداية العمل.



شكل رقم (24-5) مخطط يوضح مراحل سير العمل في منجم مفتوح نوع Open cast

العامل المهم في اختيار هذه الطريقة هو تصميم الأشرطة أو مناطق القلع لكي تكون متوازية ومتجاورة تتيح حرية العمل وحركة ألآليات والمعدات المستخدمة مع سرعة في انجاز العمل.هذه الطريقة تكون سهلة وسريعة عندما تكون المسافة بين قلع الركام الصخري والغطاء الصخري وبين مكان الردم قريبة تكون إنتاجية عالية وسرعة في انجاز العمل. العمل يتم عبر سلسلة من الأشرطة تنجز الواحد تلو الأخرى كما في الشكل (25-6) وفي حالة وجود غطاء صخري يجب استخدام أعمال تفجير وتكسير للصخور الصلبة ولكن غالبا ما تكون الترسبات القريبة من السطح ذات غطاء هش يسهل إزالته باستخدام المعدات والآليات المتخصصة المعدة لهذه الغرض. مساوئ استخدام هذه الطريقة هي عند زيادة العمق للترسبات إلى أكثر من 50 متر تحت مستوى سطح الأرض تصبح أعمال إزالة ونقل الغطاء الصخري صعبة وذات كلف عالية مع زيادة الوقت اللازم لإنتاج الطن الواحد حيث يجب أن تستخدم في هذه الحالة المدرجات.

بعد إكمال أعمال ردم الغطاء الصخري يجب إعادة التربة السطحية إلى محلها مع إجراء أعمال تسوية لها لإعادتها إلى طبيعتها من اجل المحافظة على طبيعة الأرض وجعلها صالحة للاستخدامات البشرية والزراعية والبيئية.



شكل رقم (6-25) مخطط المنجم Open Cast Mine

(6-12-3) طريقة الترسبات المعدنية الغرينية النهرية والترسبات رمال السواحل البحرية Alluvial and beach Sand Miming

إن مصدر الترسبات الغرينية ناتجة من تأثير عوامل التجوية وعمليات تكسير الصخور الصلبة والصخور الحاملة للترسبات المعدنية تتبعها عمليات نقل لنواتج التجوية بواسطة المياه الجارية وتصاريف مياه الوديان والأمطار لتترسب في قعر الوديان والبحيرات وعند مصبات الأنهار وربما تبقى رطبة حاملة للمياه طيلة فترة السنة أو تبقى هشة ومفككة على عكس الترسبات الأخرى المتصلبة التي تحتاج إلى عمليات ميكانيكية لتفتيتها ونقلها خارجا. أهم المعادن المتواجدة في الترسبات الغرينية هي المعادن الثقيلة التي تترسب تحت طبقات الرمال والمدملكات التي تنقل بواسطة مجاري المياه تترسب في بطون الأودية والأنهار بسبب كثافتها النوعية العالية ومن الأمثلة على ذلك كما في الجدول رقم (6-2)

جدول رقم (6-2) يوضح الوزن النوعي لبعض المعادن الثقيلة

Mineral	Specific Gravity
Gold	15.5-19.3
Platinum	14-22
Cassiterite (Tin)	6.6-7.1
Diamond	3.2-3.5
Garnet	3.15-4.3
Monozite	4.9-5.3
Magnetite	5.1
Zircon	4.2-4.7
Rutile	4.2
Ilmenite	**4.5-5.0**

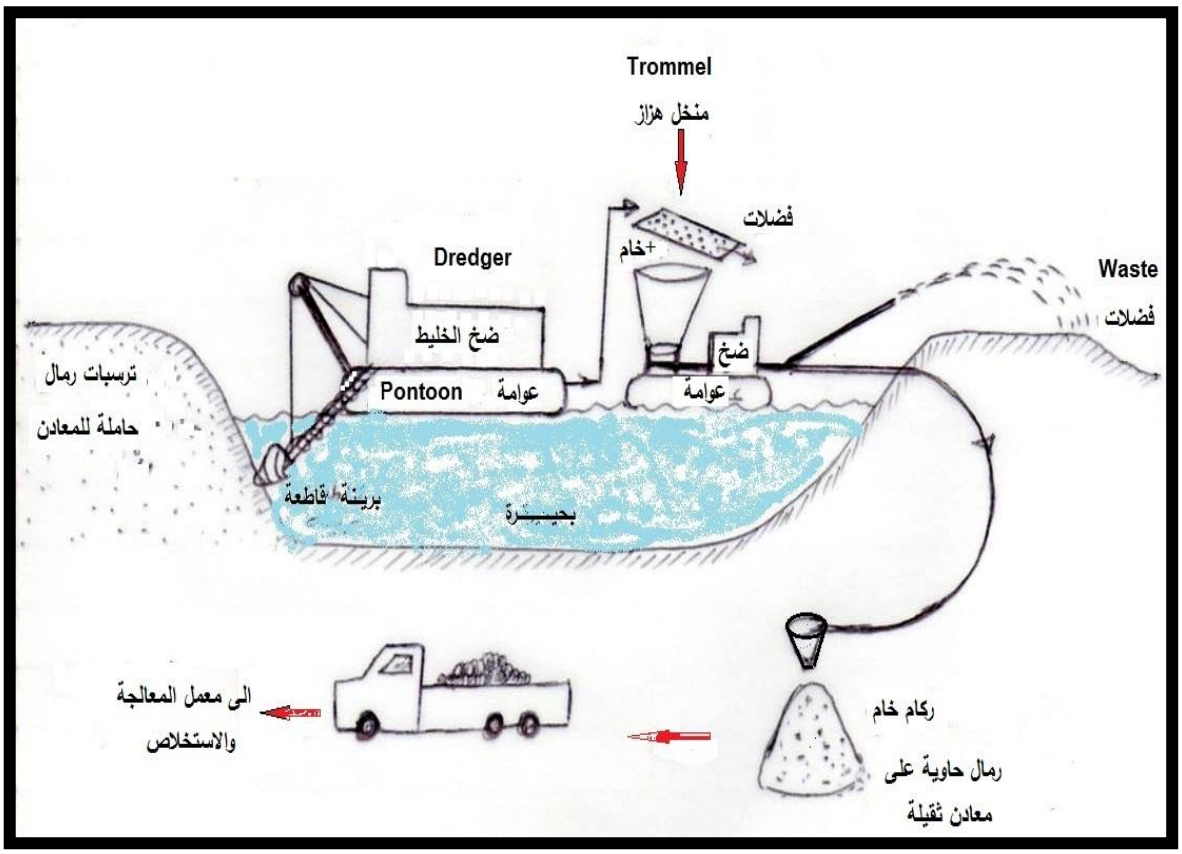
تواجد المعادن الثقيلة في الترسبات النهرية والغرينية تعتمد بصورة أساسية على الصخور المصدرية الحاملة لهذه الأنواع من المعادن. من الممكن ملاحظة أن المعادن الأثقل هي التي تترسب أولا ولذلك نلاحظ أن الذهب يترسب عند أقدام التلال بينما تترسب معادن الزركون والروتايل عند السواحل. ممكن أن تترسب المعادن الثقيلة في الشقوق والكسور للصخور الأم كمثال على ذلك ترسبات القصدير في الصخور الجيرية في ماليزيا على طول قعر النهر. ان اهم واضخم الترسبات الغرينية والنهرية هي ترسبات الرمال والمدملكات وغالبا تكون حاملة لمعادن القصدير، الذهب، البلاتين، تنكستن، كوبالت، التيتانيوم، والماس، يبلغ الإنتاج السنوي تقريباً 900×10^6 طن من المعادن التي تستخرج من هذه الترسبات.

تعتبر التصاريف النهرية من أهم المصادر التي تكون هذا النوع من الترسبات بسبب كفاءة وقابلية المياه الجارية على نقل وعزل وتركيز هذه المعادن بسبب اختلاف الوزن النوعي لها واهم هذه الترسبات هي الرمال البحرية.

إن اختيار طريقة الاستخراج ألمنجميه التي تتلاءم مع هذه الترسبات تعتمد على ظروف ترسيب وموقع هذه الترسبات في الظروف السطحية وأهمها هي:-

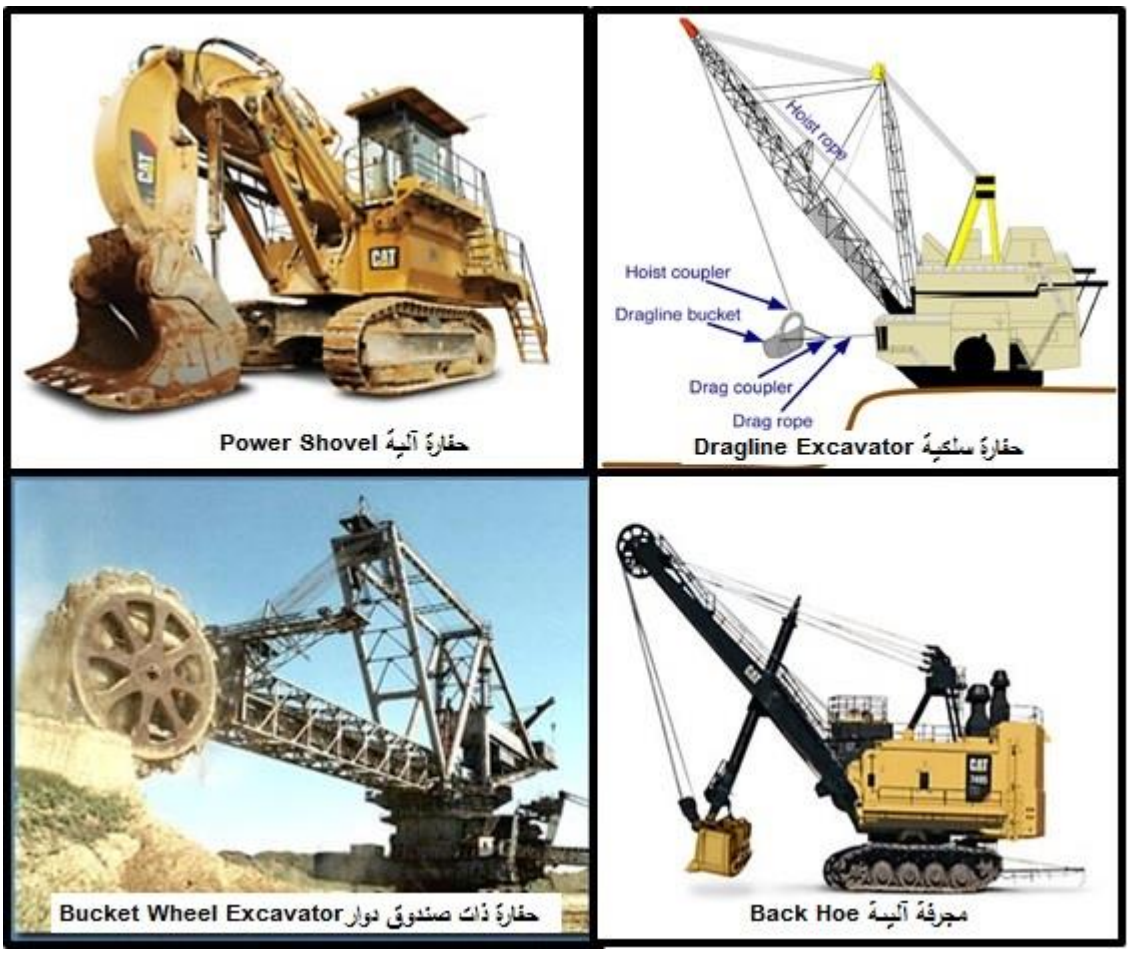
1- الترسبات الرملية الجافة يتم قلعها واستخراجها باستخدام معدات متحركة على سطح الأرض مثل، استخدام الشفل، حفارة سلكية، حفارة هيدروليكية، أحزمة ناقلة ...الخ . التي تلاءم ظروف ترسيب هذا النوع من الترسبات حيث تكون كلف تشغيلها واطئة وذات إنتاجية عالية.

2- الترسبات ذات الأحجام الكبيرة والقيمة العالية التي تحتاج إلى استثمار رأس مال كبير، يتم استخدام معدات عملاقة مثل بناء حفارة سلكية موقعيه معدات ثقيلة متخصصة لنقل الخام مع تشغيل مستمر طيلة أيام السنة وهي تشبه إلى حد كبير العمليات ألمنجميه السطحية في المنجم المفتوح، إذا كان الغطاء الصخري بسيط يتم خلطه وقلعه مع الخام لأنه لا يؤثر على عمليات تخفيف الخام.



شكل رقم (6-27) استخدام الكراكة في اشتخراج الترسبات النهرية

3- لترسبات الرطبة أو التي تقع ضمن نطاق المياه الجوفية أو التي تقع في قعر البحيرات أو عند الدلتاوات عادة ما يتم استخدام معدات متخصصة لضخ الترسبات بعد خلطها بالمياه إلى سطح الأرض الجاف مثل استخدام الكراكة (dredger) او طوافة (pontoon) لضخ الخليط الى سطح الأرض شكل رقم (6-26) او قد يستخدم حفارة سلكية عملاقة تقف على سطح جاف ومستقر مجاور للترسبات ويتم قلعها واستخراج هذه الترسبات الى السطح، غالبا ما يكون هذا النوع من عمليات الاستخراج ذات كلف عالي. كما في الشكل رقم (6-27).



شكل رقم (27-6) أنواع من الحفارات المتخصصة في استخراج الترسبات النهرية

(6-12-4) طرق التعدين البحرية Marine Mining

إن عمليات استغلال واستخراج الترسبات المعدنية البحرية فكرة قديمة جدا ثم استخدامها ولكن على نطاق ضيق وذلك لارتفاع كلف استثمار هذه الترسبات. هناك ثلاث أنواع من طرق التعدين البحرية وهي :-

1- استخراج المكونات المعدنية المذابة في مياه البحر مثل المغنيسيوم، ملح الطعام، بروتين والمياه الصالحة للشرب. هذا النوع من الأنشطة لا تنطبق علية مفهوم التعدين بالمعنى الجيولوجي الصحيح حيث يتم ضخ مياه البحر الى معامل معالجة على الأرض واستخدام طرق كيمياوية في الإنتاج.

2- استخراج ومعالجة الترسبات المعدنية الصلبة التي تتواجد في او تحت قاع البحار والمحيطات مثال على ذلك تواجد طبقات الفحم تحت قاع المحيط في مدينة كامبريا Cambria ودارهام Darham.والتي يتم استخراجها بواسطة إنشاء أنفاق تحت سطح الأرض من أماكن عمل اليابسة منذ القدم.

3- استخراج ومعالجة الترسبات المعدنية الهشة غير المتصلبة المتكونة على قاع البحار والمحيطات ويتم ذلك باستخدام تقنية ضخ هذه الترسبات بعد خلطها بالمياه الى سطح الأرض ثم معالجتها واستخلاص المعادن الثقيلة منها أهم المشاكل التي تواجه أعمال التعدين البحرية هي العمق

الكبير لهذه الترسبات تحت مستوى سطح البحر. نشاط حركة الأمواج البحرية وكذلك بعد المسافات عن اليابسة.

ألترسبات المعدنية البحرية لاتزال غير مستكشفة لحد الآن بالرغم من وجود دلائل مشجعة على وجود ترسبات مهمة للمعادن الثقيلة لهذه الأماكن واقتصرت أعمال الاستغلال واستخراج مثل هذا النوع من الترسبات على أعمال ضيقة في ضخ هذه الترسبات إلى سطح الأرض في الأعماق الضحلة القريبة من السواحل. ان القصور في أنشطة التعدين البحرية يعود الى الأسباب التالية:-

1- الحاجة الى إيجاد طرق استخراج جديدة تعتمد على تقنية متقدمة تسهل أعمال استغلال هذه الترسبات.

2- نقص في الأعمال الجيولوجية الاستكشافية لتحديد تواجد هذه الترسبات ومعرفة احتياطياتها وأنواعها وتراكيزها.

3- وجود هذه الترسبات في المياه العالمية التي تخضع الى قانون مؤتمر ادارة المياه البحرية العالمية ولا يحق لأحد استثمارها ولا تزال بدون حل لحد الان.

(6-13) طرق الاستخراج ألمنجمي تحت السطحية Underground Mining

إن طرق الاستخراج ألمنجمي تحت السطحية توصف بأنها ذات مرونة قليلة اذا ما قورنت مع طرق الاستخراج المنجم السطحية، الوقت اللازم للوصول إلى الخام وبدأ ألاستخراج المعدني يعتبر طويل نسبياً تصميم الأنفاق والفتحات والقنوات اللازمة للوصول الى الخام صعبة ومعقدة وذات مخاطر كثيرة.

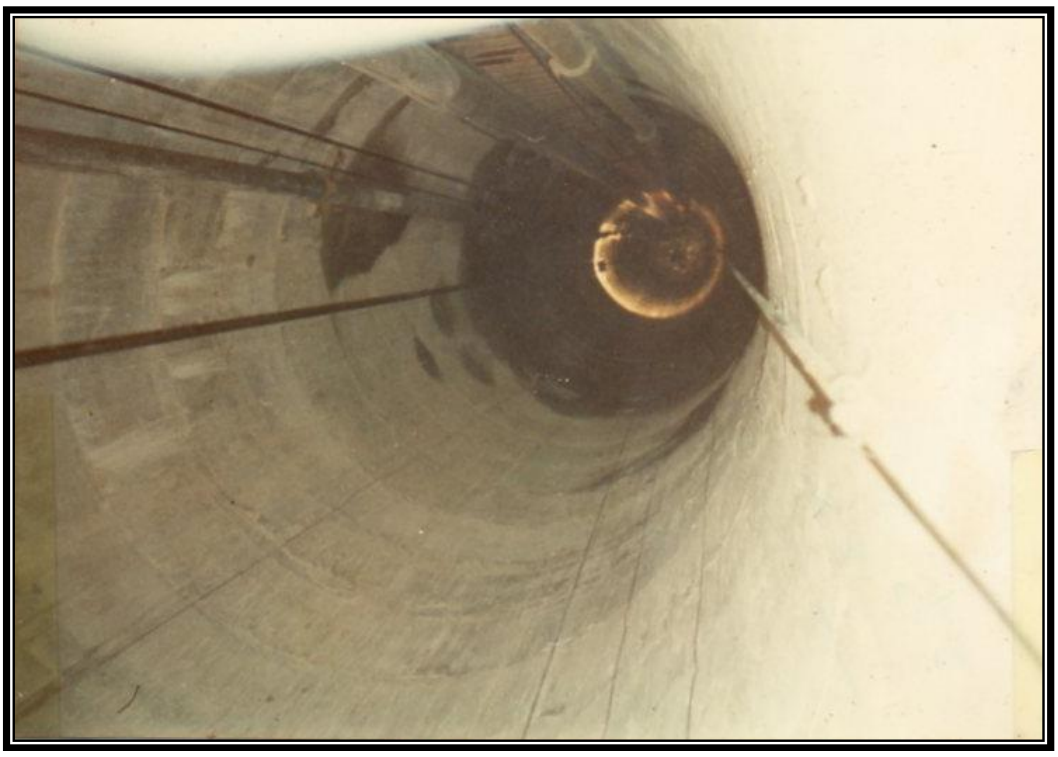
ألإنتاجية في طرق التعدين تحت السطحية قليلة ومحدودة بسبب محدودية مساحة واجهات الأشغال ألمنجميه وقلة عدد الأيدي العاملة بسبب ضيق مساحة العمل وصعوبة المناورة مع طول المساحة اللازمة لاستخراج المواد الخام. قبل البدء بعمليات الإنتاج المعدني يجب القيام بأعمال تهيئة أولية تتمثل في إنشاء واستحداث الفتحات ألمنجميه والأنفاق التي تستخدم كطرق للوصول الى الخام وفي عدة مناطق ومن عدة جهات لعمل عدة واجهات للحش ألمنجمي لضمان تجهيز مستمر لكميات المطلوبة من الإنتاج المعدني على مدار ساعات العمل وحساب مخطط الإنتاج وتصميم المنجم، أعمال التهيئة هذه ربما نستغرق عدة سنوات لانجازها والوصول الى الطاقة التصميمية الإنتاجية للمنجم.

(6-13-1) تهيئة الأعمال ألمنجميه

أول مرحلة يتم المباشرة بها هي عمليات الاستخراج ألمنجمي التحت سطحي هي عمل مدخل Access يمتد من سطح الأرض لغاية الوصول الى الجسم المعدني او واجهة الأعمال ألمنجميه وغالبا ما يتم عمل هذا المدخل خارج حدود الجسم المعدني وبمسافة أمان مناسبة بين الجسم المعدني والصخور التي حفر المدخل بها وغالبا ما تتراوح بين (15-50) متر لتجنب حصول انهيار او ضعف قد يحصل في المنطقة المحيطة بهذا المدخل من جراء الأعمال ألمنجميه.

فتحات او المداخل التي تصل الى الجسم المعدني تقسم الى ثلاث أقسام:-

1- فتحة عمودية تمتد من سطح الأرض الى اقرب مكان من الجسم المعدني وبقطر دائر يتراوح بين (3-5) متر تستخدم لنقل الأشخاص والعمال واستخراج المواد الخام والفضلات وكذلك تستخدم لمرور أسلاك الكهرباء وأنابيب المياه ومجاري الهواء وكافة الاستخدامات ألمنجميه الأخرى وتسمى هذه الفتحة Vertical Shaft كما موضح في الشكل رقم (6-28) والشكل (6-29).

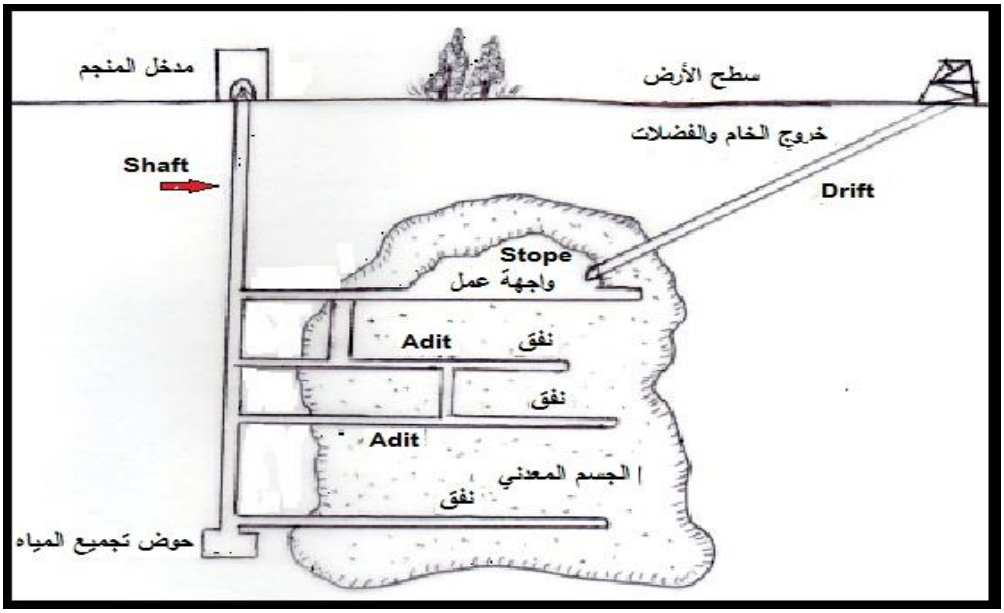


شكل رقم (6-28) فتحة دخول المنجم عمودية Vertical Shaft

شكل رقم (6-29) فتحة دخول المنجم عمودية Vertical Shaft

2- مدخل او نفق مائل بزاوية معينة تتراوح بين ($5-20^0$) درجة تستخدم لنقل المواد الخام والفضلات من داخل المنجم الى سطح الأرض تسمى مدخل مائل Declines Drifts.

3- مداخل او أنفاق أفقية تمتد من المدخل الرئيسي Shaft الى واجهات الأشغال ألمنجميه وتكون على عدة مستويات تسمى نفق افقي (Adit)، في كل مستوى عمل هناك نفق يوصل من المدخل الرئيسي الى واجهة العمل، المسافة العمودية بين كل مستويين تساوي تقريبا (15) متر والهدف لها هي أعطاء مرونة في العمل وزيادة الإنتاج مع استمرارية في التجهيز المواد الخام طيلة ساعات العمل. شكل رقم (6-30) مخطط يوضح مختلف أنواع الأنفاق والمداخل في المنجم تحت سطح الأرض



شكل رقم (6-30) مخطط لمنجم تحت سطح الارض

إن اختيار وعمل المداخل والأنفاق ألمنجميه تعتمد بصورة جزئية على شكل وحجم الجسم المعدني وموقعه بالنسبة إلى سطح الأرض والجزء الآخر يعتمد على كلفة عمل وإنشاء هذه المداخل والأنفاق. عمل وإنشاء الفتحة ألمنجميه الرئيسية (Shaft) تعتبر من أهم الأعمال التشغيلية للمنجم وتستخدم للأعماق القريبة والبعيدة على حد سواء. الأنفاق المائلة تستخدم لدخول وخروج المعدات وآليات نقل الخام والفضلات الى الخارج وحاليا تستخدم بصورة قليلة وتمت الاستعاضة عنها بالمعدات والعربات المدولبة التي تنقل خارجا عن طريق الفتحة ألمنجميه العمودية Shaft.

المداخل والأنفاق المستوية تستخدم في حالة وجود ترسبات معدنية في المناطق الجبلية يتم إنشائها من سفح الجبل نحو الجسم المعدني شكل رقم (31-6) وشكل رقم (32-6)، وتصمم بأقطار واسعة لتسهيل دخول وخروج المعدات المنجية ونقل الخام بهذه الطريقة يتم تجنب إزالة الغطاء الصخري فوق الخام.

شكل رقم (31-6) نفق افقي من سفح الجبل

شكل رقم (32-6) نفق افقي في اسفل الجبل

يفضل عمل فتحتين لكل منجم كل واحدة منهما يقع في طرف او نهاية المنجم لتسهيل عمل دورة الهواء داخل المنجم ولتحسين التهوية ومنع حصول التلوث وكذلك تعطي مرونة ومناورة عالية في دخول وخروج الخام والأشخاص من والى واجهات الأعمال ألمنجميه.

إن تصميم واختيار موقع الفتحة ألمنجميه Shaft تعتمد على عدة عوامل أساسية:

1- **الموقع:** إن اختيار موقع الفتحة ألمنجميه على سطح الأرض فوق او قرب منطقة ألترسبات ألمعدنية يجب ان يراعى فيها قربها عن خدمات طرق المواصلات، مركز الخدمة والصيانة وكذلك قربها من الجسم المعدني.

لتسهيل عمل ألأنفاق الثانوية التي تصل الجسم المعدني بالفتحة ألمنجميه. يجب ان يكون موقع الفتحة ألمنجميه (Shaft) خارج حدود الجسم المعدني للحفاظ عليها من تأثيرات الأعمال ألمنجميه والتشغيلية وتأثيرات ضغط الصخور عليها.

2- **حجم الفتحة ألمنجميه:** يتم اختيار حجم القطر وقطر الفتحة ألمنجميه لكي تتلائم مع نوع المعدات المستخدمة في تقل الخام وتستوعب الطاقة التصميمية للإنتاج مع مرور أنابيب الهواء والكهرباء وكذلك دخول وخروج الأشخاص.

3- الغرض من استخدام الفتحة ألمنجميه:

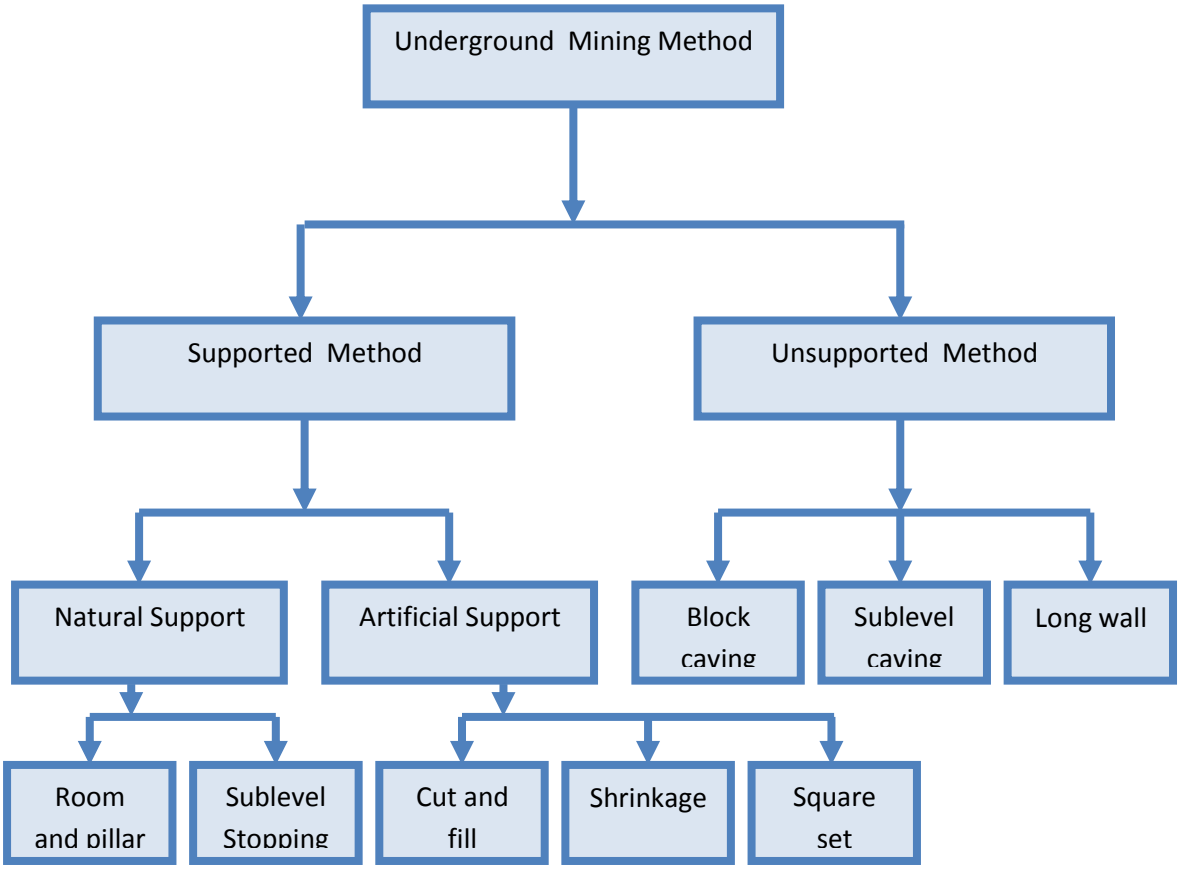
بعض الفتحات ألمنجميه تستخدم لأغراض الإنتاج فقط وتصمم على ضوء حجم معدات نقل الإنتاج المستخدمة وبعضها يصمم لكي تتلائم مع كافة الأعمال ألمنجميه والتشغيلية وبعضها لأغراض

التهوية فقط. بعض هذه الفتحات يجب تبطينها بالكونكريت المسلح إذا كانت واقعة ضمن صخور هشة والبعض الآخر قد لا يحتاج الى مثل هذه الأعمال الهندسية إذا كانت تقع ضمن صخور صلدة وقوية.

(6-13-2) تصنيف طرق الاستخراج ألمنجمي تحت سطحية

Classification of Underground Mining Method

نظرا لتواجد الترسبات المعدنية بأشكال وأحجام متعددة وارتباطها مع الصخور المحيطة بها بصور مختلفة وأشكال معقدة اعتمادا على الظروف الترسيبية المتباينة التي أدت إلى وجودها وظهورها، لا بد من السيطرة على سلوكيات الصخور المحيطة بالجسم المعدني أثناء أعمال القلع وإزالة الترسبات المعدنية كل حسب طبيعة تواجده، صلابة الصخور المحيطة به ونوع الاجهادات والقوى التي تسيطر على استقرارية هذه الترسبات، على هذا الأساس ظهرت الى الوجود أنواع عديدة من طرق الاستخراج ألمنجمي التحت السطحي تضف اعتمادا على نوع التدعيم المستخدم للصخور المحيطة بالجسم المعدني بعد قلعه وإزالته من مكان تواجده، بعض الطرق لا تحتاج إلى تدعيم أو إسناد اصطناعي وبعضها لابد من عمل واستخدام وسائل تدعيم صناعية للسيطرة على تساقط وهبوط الصخور المحيطة بالجسم المعدني والحفاظ على المداخل والأنفاق من أعمال الغلق والانهيار.، كما نلاحظ ذلك في الشكل (33-6) ، الذي يمثل مخطط لتصنيف طرق الاستخراج ألمنجمي تحت سطحي.



شكل رقم (6-33) تصنيف طرق التعدين تحت السطحية

هناك عدد كبير من التقنيات المتقدمة التي طورت في السنوات الأخيرة في أعمال الاستخراج ألمنجمي من اجل زيادة الإنتاج وتقليل الكلف المالية، وبالنظر لوجود اختلافات كبيرة في الترسبات المعدنية وفي صلابة الصخور المحيطة بها فان أي من هذه الطرق المستخدمة قد يتم تحويرها وتغييرها بما يتلائم ومتطلبات العمل الجديدة على ضوء مستجدات التغيرات الجيولوجية والهندسية بالاستفادة من التقنيات الحديثة المستخدمة. جدول رقم (6-3) يوضح كيفية تصنيف طرق الاستخراج ألمنجمي التحت سطحية على ضوء صلابة الترسبات المعدنية وصلابة الصخور المحيطة بها لكي يتلائم مع الخصائص الجيولوجية والهندسية الموجودة في منطقة العمل، هذه الخصائص والمميزات قد لا تتلائم مع الطريقة ألمنجميه المستخدمة مما يستدعي ظروف العمل الى تغييرها الى طريقة أخرى او تحويرها بشكل تستجيب لظروف العمل الجديدة.

جدول رقم (3-6)

تصنيف طرق الاستخراج المنمي التحت السطحية على ضوء صلابة الصخور

نوع الجسم المعدني	درجة الميل	صلابة الجسم المعدني	صلابة الصخور المحيطة	نوع طريقة التعدين الملائمة
جسم معدني نحيف قليل السمك	مستوى	قوي	قوي	Room & Pillar open stopes
		ضعيف	ضعيف	Long Wall
جسم معدني سميك	مستوي	قوي	قوي	Sub-level stopping room and pillar cut and fill
		ضعيف او قوي	ضعيف	Sub-level caving
		ضعيف	قوي	square set, cut & fill sub-level stopping
عرق معدني ضيق	ميل كبير جدا	ضعيف او قوي	ضعيف او قوي	Open stopes
عرق معدني سميك	ميل كبير جدا	قوي	قوي	Open stopes, sub-level stopping, cut of fill
	ميل كبير جدا	قوي	ضعيف	Cut & fill, sub-level caving
	ميل كبير جدا	ضعيف	قوي	Balock Caving, sub-level caving
	ميل كبير جدا	ضعيف	ضعيف	Square-set stopes sub-level caving
جسم معدني صلد Massive	لا يوجد	قوي	قوي	Shrinkage stop, sub-level stopping, cut and fill stope
	لا يوجد	ضعيف	ضعيف او قوي	Square-set stopes, sub-level caving block-caving

(6-13-3) طرق استخراج ألمنجمي التي تحتاج الى إسناد او التدعيم

Methods of Underground Supported Mining

هذه الأنواع من طرق الاستخراج ألمنجمي تحت السطحية التي تستخدم التدعيم والإسناد للصخور الواقعة حول الجسم المعدني لغرض المحافظة على سلامة التركيب الصخري الواقعة حول الإنفاق والمداخل المحفورة خلال العمليات التشغيلية المنجمة وحمايتها من الأنهار والسقوط وذلك عن طريق إعادة توزيع الاجهادات الصخرية حول سطح النفق بالتساوي وبالتالي حمايته من الانهيار أو الزحف والتكسر لضمان سلامة العاملين وسلامة الأعمال التشغيلية ألمنجميه.

إن استخدام الإسناد الطبيعي بواسطة التدعيم بالجدار الجانبي لواجهة الأشغال ألمنجميه أو بواسطة عمل دعائم Pillars من نفس الجسم المعدني تبقى محلها في مواقع مختارة لإسناد السقف العلوي لواجهة الأشغال ألمنجميه تحت السطح. من فوائد استخدام الإسناد الطبيعي كونها قليلة الكلفة، سهلة العمل ومرونة عالية في العمل والإنشاء. مساوئ هذه الطرق هي قلة نسبة الإنتاج المعدني ووجود ضياعات بسبب ترك قسم من الجسم المعدني كدعائم لإسناد سقف الحفرة ألمنجميه، صعوبة السيطرة على درجة تركيز الخام عند وجود تغايرات كبيرة في درجة التركيز ضمن الجسم المعدني.

عند وجود ترسبات معدنية قليلة الصلابة او تقع ضمن صخور ضعيفة بهذه الحالة تحتاج الى تدعيم وإسناد صناعي باستخدام وسائل أخرى من خارج حدود المنجم لأجراء أعمال التدعيم والإسناد. من هذه هي استخدامات جذوع الأشجار والأخشاب القوية لأجراء أعمال إسناد السقف او مداخل الأنفاق وتقاطعات الطرق داخل المنجم او استخدام أقواس ودعائم حديدية قوية بالرغم من كونها عالية الكلفة إذا كان العمل يستمر لفترة طويلة جداً فلا بد أن يكون التدعيم والإسناد دائمي. خلال السنين الماضية تم تطوير تقنية جديدة بإجراء الإسناد للفجوات والحفر ألمنجمي بواسطة عمل خليط من الصخور العقيمة والاسمنت وحقنها من على سطح الأرض الى الفجوات ألمنجميه لغرض ملأها ومنع حصول أي انهيار او هبوط، بعض الطرق تستخدم الفضلات ألمنجميه والصخور العقيمة لغرض ملأ الفراغات والفجوات الناتجة من أعمال القلع وإزالة الخام، في حالة عدم توفر تقنية حقن الخليط بالرغم من كونها طريقة تدعيم ذات كلف عالية وتستغرق وقت طويل لإنجازها.

(6-13-3-1) طريقة الغرف والدعائم Room and Pillar Method

تستخدم هذه الطريقة في حالة وجود ترسبات معدنية طباقية Stratified Deposits إما تكون مستوية او مائلة بصورة قليلة لاتتعدى (30^0) درجة ميل. يجب ان تكون التكوينات الجيولوجية او الترسبات الصخرية في سقف أرضية الحفرة ألمنجميه ذات صلابة متوسطة الى قوية، تستخدم هذه الطريقة بصورة كبيرة في حالة الترسبات غير المعدنية مثل ترسبات الفحم الحجري، الصخور الجيرية limestone وكذلك الترسبات الملحية.

تتم المباشرة بأعمال الاستخراج المعدني بعد اكتمال الأعمال الهندسية الخاصة بالوصول الى الجسم المعدني مثل عمل الإنفاق والفتحات ألمنجميه بعدها يتم قلع واستخراج الخام بصورة منتظمة تسمى الغرف Room بأبعاد (حجم الغرفة) تعتمد على قوة وصلابة السقف مع العمود الطبقي للطبقات الصخرية التي تقع فوق الترسبات الخام. يتم ترك جزء من الترسبات الخام في محلها كدعائم Pillars بأبعاد هندسية محددة تعتمد على صلابة وقوة صخور الخام لغرض إسناد ودعم سقف الحفرة ألمنجميه لمنعها من الانهيار مع الحفاظ على مرونة جيدة في إيجاد الطرق و المسالك الخاصة لاستخدامها في نقل واستخراج الخام ومن عدة أماكن وواجهات للحش ألمنجمي لتحقيق إنتاجية عالية كما موضح في الشكل رقم (34-6) الذي يوضح مرتسم تخطيطي للشكل الهندسي لاستخدام هذه

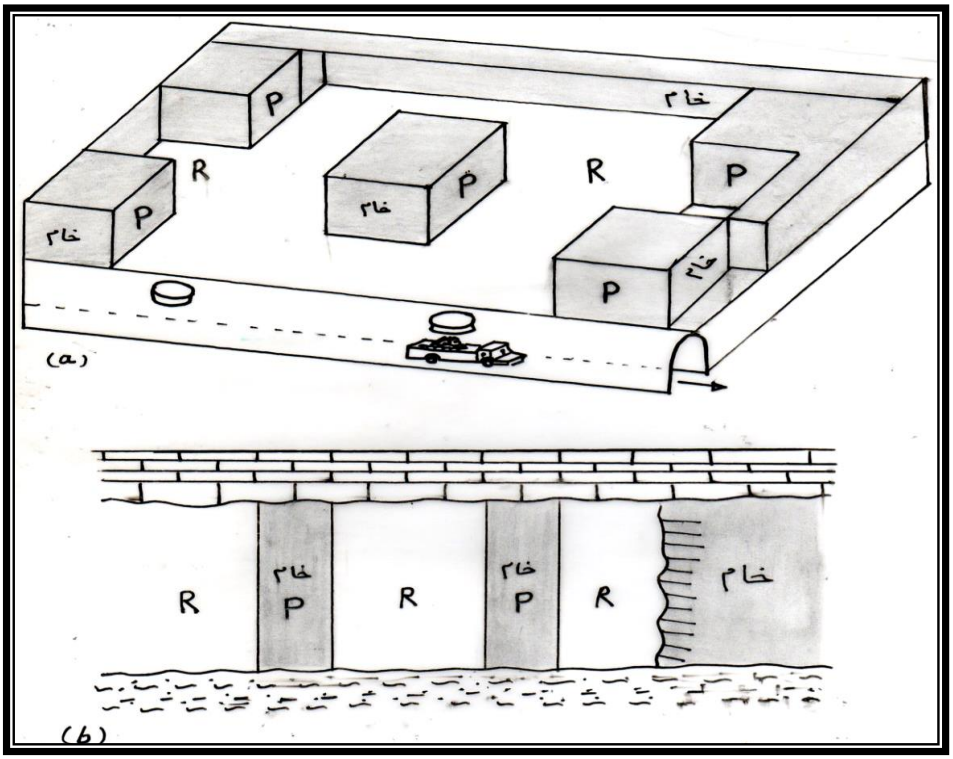
الطريقة والشكل (6-34-a) المرتسم مجسم لهذه الطريقة والمرتسم (6-34-b) يمثل مقطع عرضي لها. في حالة وجود ترسبات خام ذات سمك كبير أكثر من (30) متر يتم قلع واستخراج هذه الترسبات على عدة مراحل ومستويات مختلفة مع المحافظة على الدعامات ثابتة يزداد طولها مع تطور العمل ألاستخراجي لحين الوصول الى سقف وأرضية الحفرة ألمنجميه.

فوائد هذه الطريقة

1- مرونة عالية في قلع واستخراج الخام.
2- سهولة زيادة الإنتاج عند ازدياد الطلب على الخام وإمكانية التحكم بالإعمال التشغيلية واستعمال معدات تخصصية عالية الإنتاجية.
3- استخدام الغرف ألمنجميه في أماكن القلع كطرق مواصلات لنقل الخام والأشخاص.
4- سهولة إجراء أعمال التهوية وقلة التكاليف في إنشاء وبناء هذه المنظومات.

سلبيات هذه الطريقة

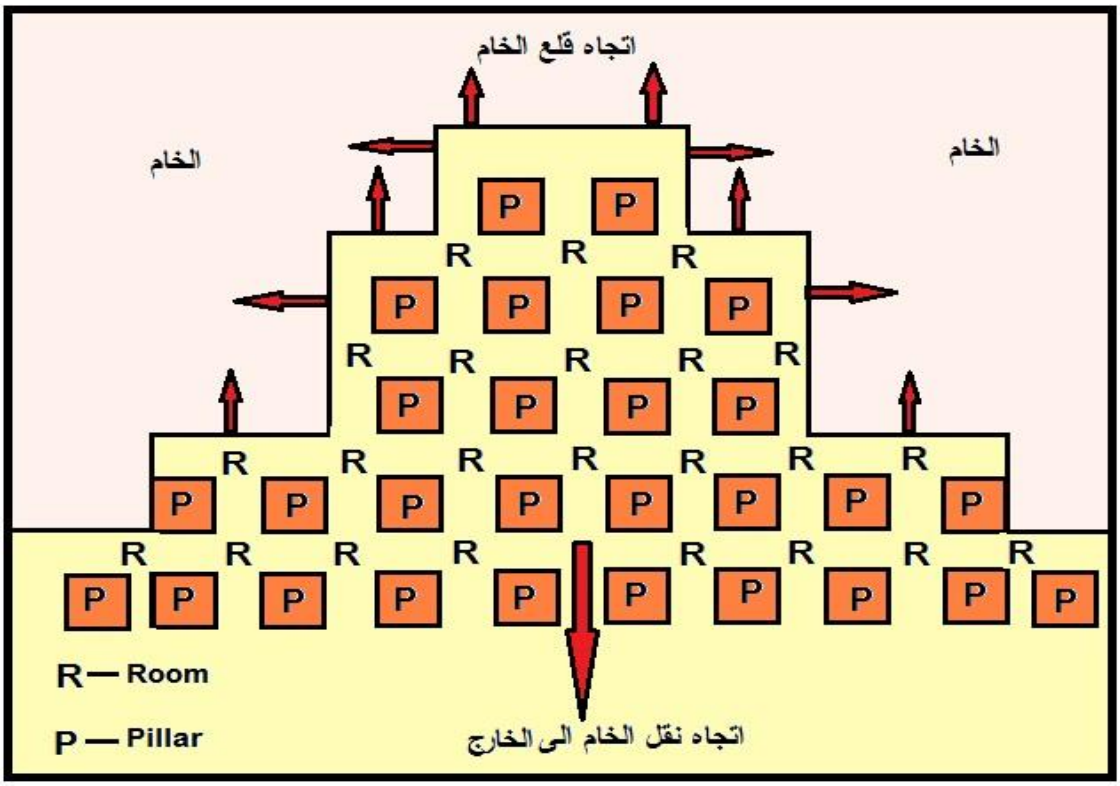
1- عند وجود ضعف في صلابة أرضية الحفرة ألمنجميه قد يؤدي إلى حصول انهيار في الدعائم او تشويه لها مما يستدعي إجراء تدعيم صناعي لها.
2- وجود ضياعات في الخام بسبب ترك جزء من الخام كدعائم تبقى في محلها.



شكل رقم (6-34) رسم تخطيطي لطريقة الغرف والدعائم

مثال رقم (6-4)

طبقة من الجبسم Gypsum سمكها (8) متر حصل القرار على استغلالها واستخراجها من تحت سطح الأرض باستخدام طريقة Room and Pillar، كما موضح في الشكل رقم (6-35). الدعامات pillars الخاصة لإسناد السقف المنجم وحمايته من الانهيار كانت بطولة وعرض (10×10) متر أما الغرف Room الخاصة بالاستخراج المعدني كانت بمساحة (10×10) متر. ثم ترك شريط من ترسبات الجبسم بسمك (1) متر في السقف وفي أرضية المنجم لمنع حصول أي إضافة من الفضلات وتخفيف الخام للحفاظ على درجة نقاوة عالية. احسب نسبة استخراج الخام إلى الحجم الكلي للخام؟ Percentage extraction by volume.



شكل رقم (6-35) مخطط لمنجم تحت الأرض نوع Room and Pillar

الحل:-

1- الحجم الكلي لكل قاطع من المنجم يتم استخراجه يتضمن غرفة ودعامة Room and Pillar ويكون بأبعاد وحجم

سمك الخام = 8 $20 \times 20 \times 8 = 32000\ m^3$

2- بعد الانتهاء من أعمال استخراج الخام فإن الدعامة Pillar المتروكة لإسناد سقف المنجم تكون بحجم:

$10 \times 10 \times 6 = 600\ m^3$

(6) متر تمثل ارتفاع الدعامة صافي لأنه تم ترك (1) متر في السقف وكذلك (1) متر في أرضية المنجم.

3- حجم الجبسم الذي تم تركه في سقف المنجم بحجم يساوي

$1 \times 20 \times 20 = 400\ m^3$

وكذلك حجم الجبسم الذي تم تركه في أرضية المنجم بحجم يساوي

$1 \times 20 \times 20 = 400\ m^3$

∴ الحجم الكلي للخام الذي تم تركه في المنجم بدون استخراج هو بحجم

$600 + 400 + 400 = 1400\ m^3$

∴ الحجم الكلي للخام الذي تم استخراجه من كل قاطع هو:

$3200 - 1400 = 1800\ m^3$

∴ نسبة الاستخراج هي

$$\text{Percentage Extraction} = \frac{\text{حجم الخام المستخرج}}{\text{حجم الخام الكلي}} \times 100 = \frac{1800}{3200} \times 100 = 56.25\%$$

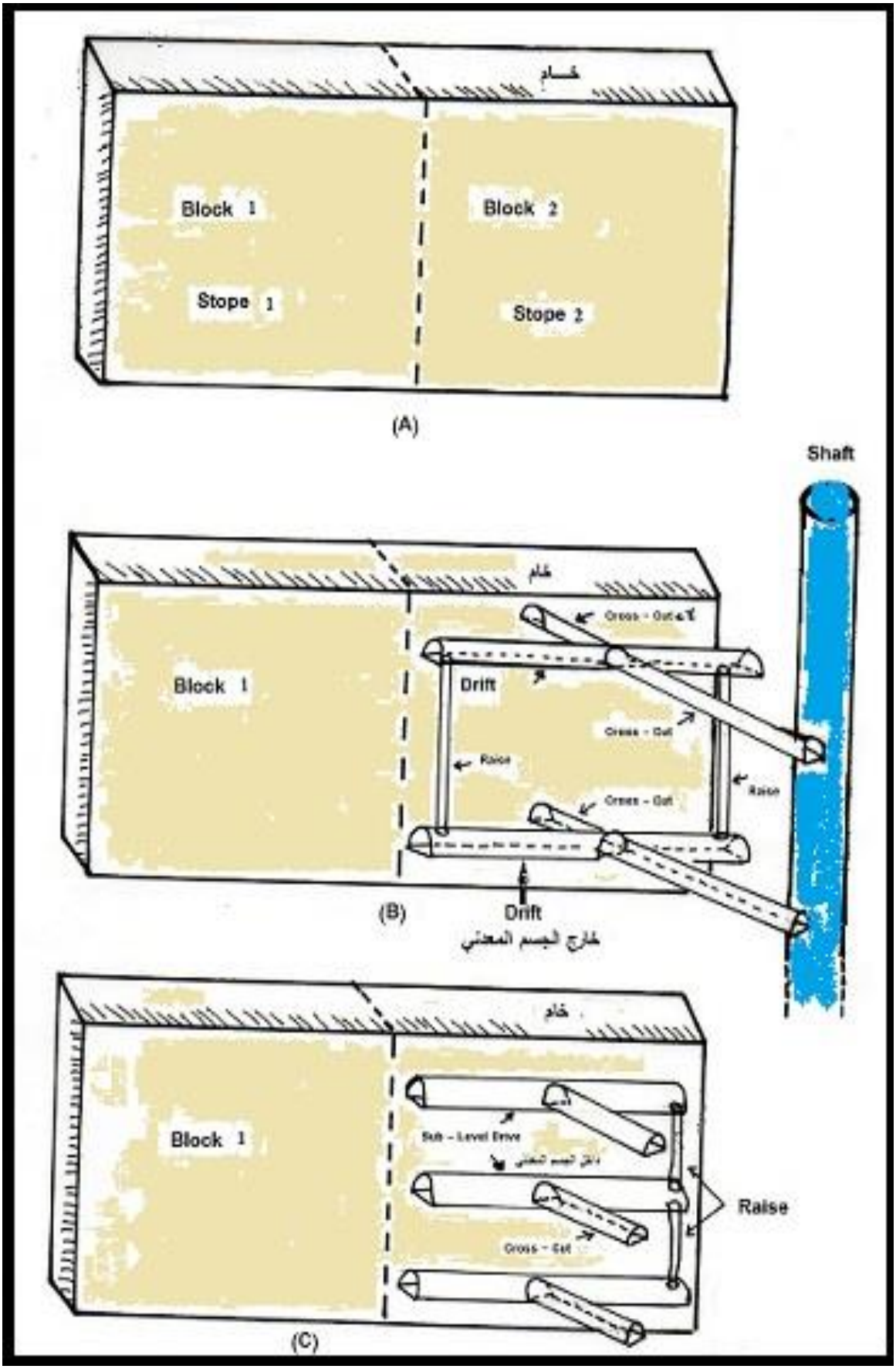
(6-13-3-2) طريقة الاستخراج ألمنجمي باستخدام حفر على مستويات متعددة Sublevel Stopping

يستخدم هذا النوع من طرق الاستخراج ألمنجمي للترسبات المعدنية ذات الأحجام الكبيرة الواسعة الامتداد وهي مناسبة للترسبات الصلبة وكذلك الترسبات التي لها درجة ميل عالية والتي تكون غير منتظمة الأشكال والحجوم. يتم استخدام هذه الطريقة بعد إجراء تحويرات على تصاميمها حينما تستخدم في العروق المعدنية الضيقة التي لها سمك بحدود (6) متر. الصخور العقيمة أو التكوينات الجيولوجية المحيطة بالجسم المعدني يجب ان تكون ذات صلابة عالية لكي يكون عائق أمام حدوث أي انهيارات او تخسفات. من الممكن ان تكون الحفرة ألمنجميه ذات حجم صغير لكي يستوعب كامل الجسم المعدني اذا كان صغيرا وفي حالة الترسبات المعدنية الكبيرة تكون الحفرة ألمنجميه في غالب الأحيان بأبعاد (30 × 120) متر وارتفاع (60) متر. لا يتم استخدام أي نوع من أنواع التدعيم Supporting باستخدام هذه الطريقة حيث تترك الفجوات والحفر ألمنجميه فارغة بدون إسناد. تجري أعمال تكسير وقلع الخام إما بواسطة الحفر اليدوية أو باستخدام المتفجرات ثم تنقل بواسطة عربات منجميه صغيرة bogger الى سيارات النقل ألمنجميه لنقل الخام الى الخارج.

غالبا ما تستخدم هذه الطريقة للترسبات المعدنية عالية الميل او العروق المعدنية العمودية ولفهم تقنية عمل وتطبيق هذه، نفترض ان هناك جسم معدني عمودي كما موضح في الشكل (6-36-A) حيث يتم تقسيم الجسم المعدني الى عدة قواطع للعمل، كل قاطع من هذه القواطع يتم قلعه واستخراجه على حدة ويسمى حفرة منجميه (Stope) وبعد الانتهاء منها يبدأ العمل في المرحلة التالية في الحفرة ألمنجميه الثانية ...وهكذا، حيث يكون العمل على مراحل ومستويات متعاقبة.

في بداية العمل يتم حفر نفق يسمى Crosscuts يمتد من الفتحة ألمنجميه الرئيسية Shaft باتجاه القاطع الأول العلوي (Block-2) ثم يتم حفر نفق في أسفل القاطع كما في الشكل (6-36-B) بعدها يتم عمل أو حفر قناة عمودية على هذا النفق خارج الجسم المعدني على طول القاطع الأول Block-2 تسمى (Drift) ومن خلال هذه الأنفاق Drift يتم عمل أنفاق باتجاه الجسم المعدني وتدخل ضمن الجسم المعدني بصورة أفقية أو مستوية بعدها تربط نهايات القناة العليا Upper-Drift وكذلك القنوات السفلي Lower-Drift بواسطة نفق عمودي يسمى (Raise) كما في الشك (6-36-C).

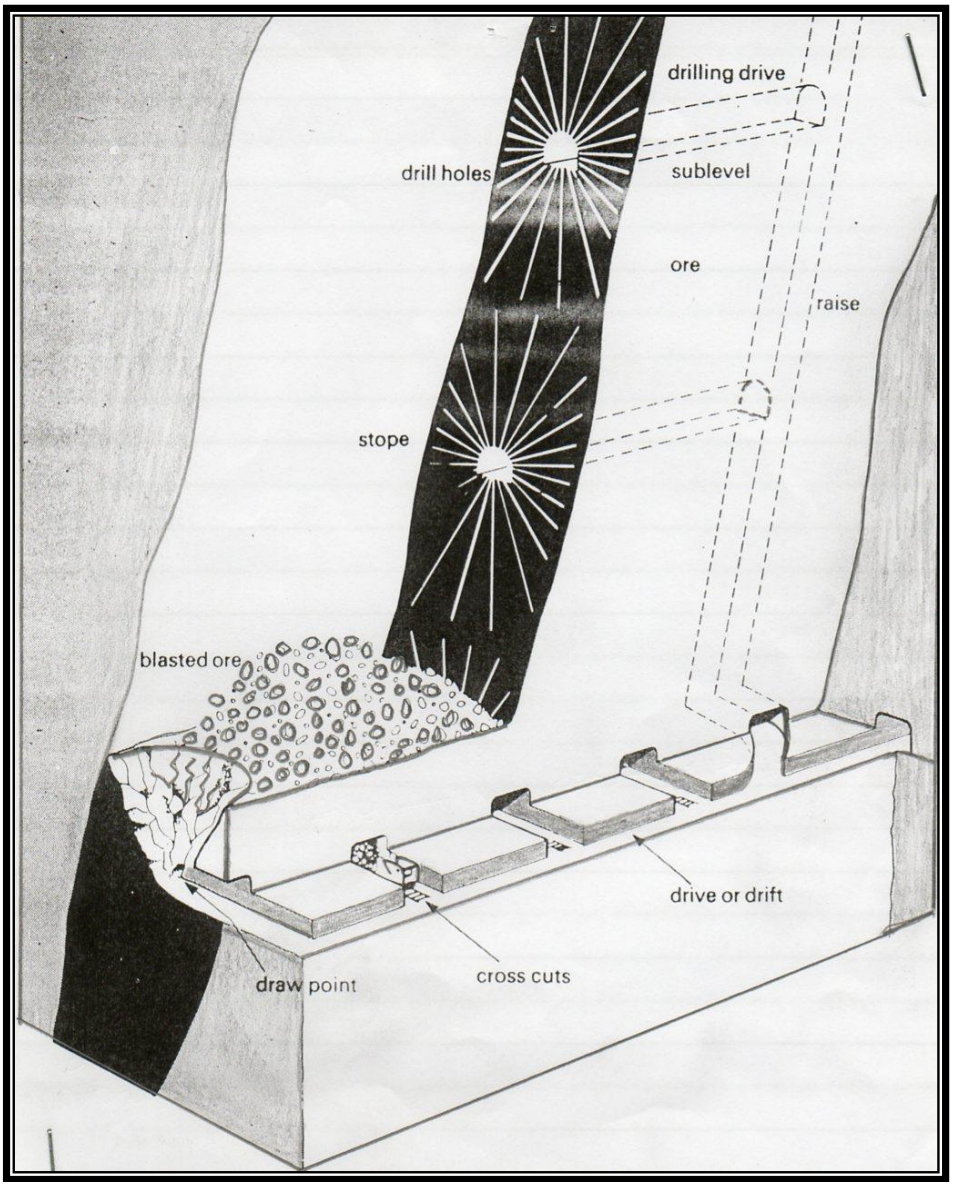
بعد الانتهاء من حفر الأنفاق العمودية التي تربط بين النهايات العليا والسفلى لكل مقطع Block يتم حفر أنفاق ثانوية جديدة في الجسم المعدني لذلك القاطع تربط بين كل نفقين عموديين Raise في ذلك القاطع تسمى (Sublevel Drive) بعد الانتهاء من حفر كافة الانفاق والقنوات لذلك القاطع يكون العمل ألمنجمي مهيئاً للمباشرة بعمليات استخراج الخام.



شكل رقم (36-6) تطور عمليات حفر الأنفاق في Sub-Level Stopping

يتم تكسير الخام بواسطة القيام بأعمال التفجير بعد حفر آبار تفجير خاصة من خلال الأنفاق الثانوية خلال الجسم المعدني ويبدأ العمل من الأعلى نحو الأسفل، يسقط وينزلق الخام المهشم نحو

المستوى الأسفل من القاطع بالاستفادة من الجاذبية من خلال الأنفاق العمودية ليتم استلامه من النفق من المستوى الأسفل الى Drift. يتم عمل ترتيب هندسي يشبه القمع لغرض جمع الخام ثم تحميله بسيارات خاصة نحو الخارج . يستمر تقدم العمل من المستويات في الأنفاق العليا نحو الأنفاق في المستوى الاسفل لحين الانتهاء من استخراج كامل الخام في القاطع الأول Block-2 وهكذا كما في الشكل رقم (37-6)، تترك الحفرة ألمنجميه بعد استخراج الخام فارغة بدون أي إسناد او تدعيم وفي بعض الأحيان يم عمل مساند Pillar لتدعيم جوانب الحفرة اذا كانت ذات حجم كبير.



شكل رقم (37-6) مخطط يوضح الاستخراج ألمنجمي Sub-Level Stopping

فوائد هذه الطريقة Advantages

1- قليلة التكاليف وسهلة التطبيق والاستخدام.

2- عمليات التحميل تتم مباشرة بعد سقوط الخام نحو الاسفل.

3- إنتاجية عالية واستمرارية بالعمل.

4- توفر عوامل السلامة والأمان للعاملين والمعدات كونها تتواجد خارج الموقع العمل.

5- إمكانية توفير تهوية جيدة من خلال الأنفاق.

سلبيات هذه الطريقة Disadvantages

1- تحتاج الى فترة زمنية طويلة لبدء الإنتاج.

2- حصول عمليات تخفيف وتلوث للخام اذا كان الجسم المعدني غير منتظم.

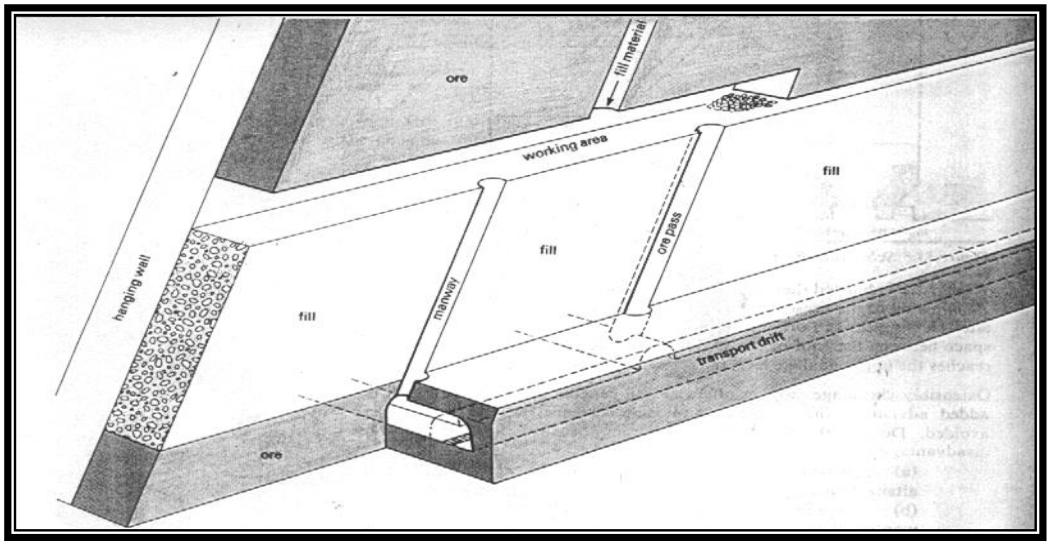
3- عدم إمكانية السيطرة على درجة تركيز الخام.

4- ضرورة استخدام معدات منجميه خاصة ذات كلف عالية.

(6-13-3-3) طريقة الاستخراج ألمنجمي بواسطة الحفر والردم Cut and Fill

تستخدم هذه الطريقة للترسبات المعدنية العرقية ذات الميل الشديد تستخدم للترسبات الصلدة (Massive) يعد إجراء بعض التحويرات على أسلوب العمل. يتم تقسيم الجسم المعدني الى عدة قواطع عمودية يتراوح عرض القاطع الواحد بين (30-100) متر تفصل بينهما سلسلة من الطرق والمداخل والأنفاق التي تستخدم للإنتاج وحركة العاملين.

التهيئة لأعمال الاستخراج المعدني تتم بداية بانتشاء نفق يمتد من الفتحة ألمنجميه العمودية الرئيسية (Shaft) باتجاه الجسم المعدني تستخدم هذا النفق لنقل العاملين والمعدات واستخراج الخام، بعد ذلك تتم أعمال إنشاء أنفاق ثانوية (Cross-Cut) من النفق الرئيسي لتصل الى داخل الجسم المعدني. تبدأ أعمال إنتاج والاستخراج المعدني على شكل صفائح او شرائح (Slices) على طول المستوى كل قاطع كما موضح ذلك في الشكل رقم (38-6) باستخدام الحفر اليدوي أو أعمال التفجير بعدها يتم نقل الخام الى الخارج عن طريق النفق الرئيسي. تملا الفجوات والفراغات المتكونة من جراء قلع الخام بواسطة الفضلات والصخور العقيمة والمنقولة من الخارج والتي تستخدم لأعمال الإسناد والتدعيم لجوانب الفجوات وكذلك تكون ارضية لوقوف العاملين والمعدات ألمنجميه المستخدمة في تكسير الصخور في الشريحة التالية حيث تبدأ أعمال القلع من الاسفل نحو الأعلى لغاية انتهاء القاطع للجسم المعدني.



شكل رقم (6-38) مخطط يوضح طريقة الاستخراج ألمنجمي Cut and Fill

في هذه الطريقة هناك أنفاق عمودية يتم إنشاؤها ضمن الصخور العقيمة المستخدمة في الردم وملئ الفراغات التي تستخدم لمرور الخام المستخرج من محله نحو الاسفل باتجاه نفق جمع وتحميل الخام، هذه الأنفاق يجب ان تكون مبطنة بواسطة أنابيب حديدية أو كونكريتة ويتم إدامتها وصيانتها بصورة مستمرة ويزداد طولها نحو الأعلى مع تقدم سير العمل ضمن الفضلات المالئة للفجوة ألمنجميه. سمك كل شريحة Slice يتراوح بين (2-4) متر وتمتد طولها ليشمل كامل طول العرق المعدني. تمتاز هذه الطريقة بمحدودية المساحات المتوفرة وضيق المسافات المستخدمة في أعمال الإنتاج ولذلك فإن المعدات المستخدمة تكون ذات أحجام صغيرة أو تستخدم لهذا الغرض اعمل نقل يدوية كالعربات او الحاويات المحمولة يدويا لنقل الخام من أماكن القلع إلى النفق الرئيسي لغرض جمع الخام وتحميله بمعدات كبيرة مدولبة، أو عربات القطار الكهربائي لتنقل الى خارج المنجم ثم يسمح بعد ذلك بمرور الفضلات والصخور العقيمة من طريق اخر من خارج المنجم نحو الفجوات والفراغات من اجل ردمها وملئها لأغراض الدعم والإسناد.

فوائد هذه الطريقة

1- تستخدم التدعيم والإسناد الصناعي بالاستفادة من الفضلات ألمنجميه.
2- سهولة وتتبع الأجسام المعدنية الغير منتظمة واستخراجها.
3- حرية ومرونة في انتقاء الخامات ذات درجة التركيز العالية وترك الفضلات في محلها لأغراض الإسناد والدعم.
4- استخدام جيد وامن للأراضي بسبب عدم ترك فجوات وبذلك لا توجد خطورة بعد تركها مستقبلاً عند انتهاء الأعمال ألمنجميه إذ تحافظ على سلامة ونظافة الشكل الطبيعي للأراضي السطحية

مساوئ هذه الطريقة

1- الإنتاجية قليلة بسبب ضيق المكان واستخدامه الأعمال اليدوية.

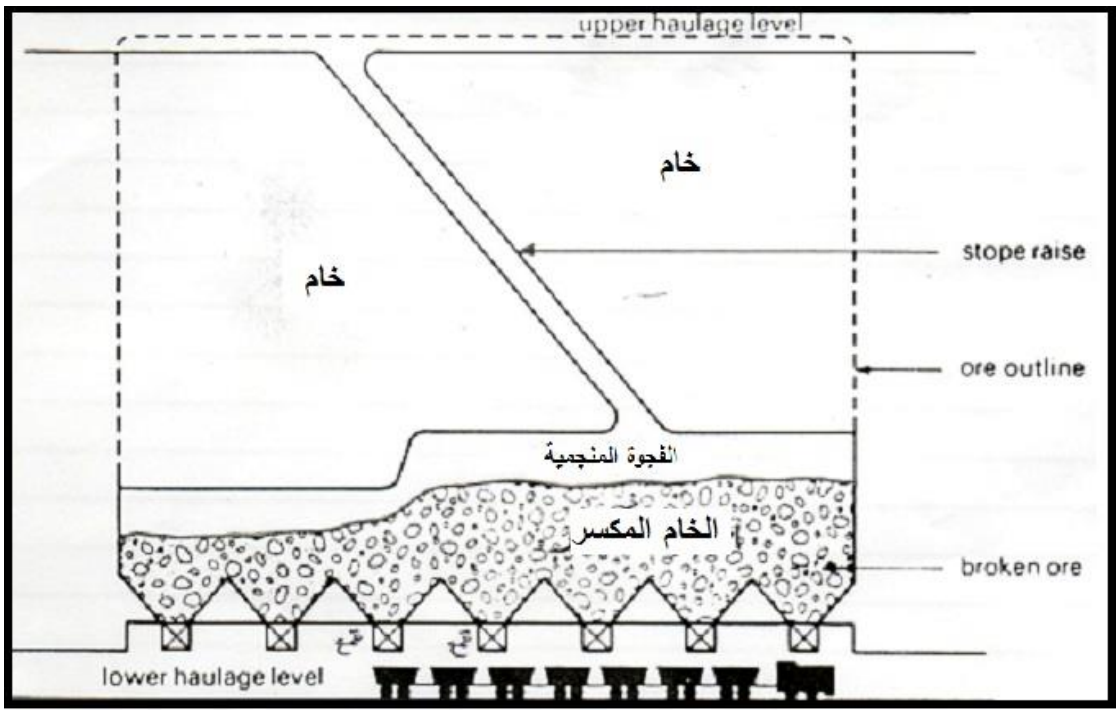
2- كلف الإنتاج عالية بسبب استخدام أعمال الردم بالفضلات ألمنجميه التي تأخذ وقت وجهد وأعمال إضافية.

طريقة Cut and fill تستخدم بصورة واسعة من مناجم استراليا وتعتبر من أهم الطرق التي يتم اختبارها خاصة أثناء فترة دراسات الجدوى الاقتصادية كونها تتلاءم مع أكثر الترسبات المعدنية تعقيداً وصعوبة وبالإمكان تحويرها وتغيير أسلوب العمل لأنها طريقة متعددة الجوانب ذات مرونة تتقبل التغيير في طريقة العمل لكي تتلاءم مع التغيرات والمستجدات الذي تتواجد في الترسبات المعدنية. بالإمكان ترتيب الأنفاق والمداخل وطرق نقل الإنتاج لتكون متعددة الاستخدام مع إعطاء المرونة الكافية في دخول وخروج العاملين ونقل الخام والفضلات والصخور العقيمة وكذلك استخدامها لأغراض التهوية وتحسين ظروف العمل.

مثال على استخدام وتطبيق هذه الطريقة هو منجم كوبر Cobar في المقاطعة الجنوبية في استراليا والخاص باستخراج خامات النحاس والزنك حيث يمتاز الجسم المعدني بزاوية ميل شديدة تساوي 70^0 تقريبا وعرض يتراوح بين (21 - 4.5) متر.

(6-13-3-4) طريقة الاستخراج ألمنجمي المتضائلة Shrinkage stopping

طريقة الاستخراج ألمنجمي هذه مشابهة الى الطريقة السابقة cut and fill والأعمال التمهيدية متطابقة الى طرق الاستخراج ألمنجمي الأخرى، بهذه الطريقة يتم عمل او إنشاء سلسلة من الأقماع Cones واحد تلو الآخر وبصورة متعاقبة جنبا الى جنب بمسافات محدودة يتم عملها في سقف النفق المخصص لنقل الخام او نفق Cross-cut ومن الجهة العليا في القاطع العلوي من الواجهة المقابلة لهذه الأقماع تبدأ عمليات قلع وتكسير الخام ليسقط مباشرة في هذه الأقماع ، بعدها تبدأ عمليات تحميل الخام المكسر مباشرة بواسطة سلسلة من عربات النقل الواقعة أسفل فتحات الأقماع حيث ينقل بعدها خارج المنجم. الخام المكسر او المهشم الذي يهيئ للاستخراج يسقط مباشرة داخل الفجوة او الحفرة ألمنجميه التي تم تكسير الخام منها ليستخدم كذلك بصيغة دعم وإسناد الى الجدران لجانبية للفجوات ألمنجميه وكذلك يستخدم كأرضية يقف عليها العاملين ومعدات الحفر لغرض الاستمرار بالحفر نحو الأعلى في سقف الفجوة، إن حجم الخام المهشم والمكسر يحصل له زيادة في الحجم بحدود % (30-50) حيث امكن الاستفادة من هذه الزيادة في الحجم لتحميل واستخراج الكميات الفائضة عن حجم الحفرة ألمنجميه ونقلها الى الخارج. وعند الانتهاء من تكسير وقلع الخام من كامل الحجم المخصص للفجوة ألمنجميه والوصول الى المستوى العلوي عندها يجب إفراغ واستخدام الخام جميعا من هذه الفجوة كما موضح ذلك في الشكل التخطيطي رقم (39-6) الذي يوضح طبيعة وأسلوب عمل الطريقة.



شكل رقم (6-39) مخطط يوضح طريقة الحفر ألمنجمي Shrinkage stoping

فوائد هذه الطريقة

1- كلفة الإنتاج قليلة.

2- كفاءة إنتاجية جيدة تستجيب لكافة متطلبات العمل.

3- بالإمكان خزن المواد الخام في الحفرة ألمنجميه لحين الطلب على مواد خام.

4- عدم وجود عمليات تحميل يدوي للخام الى عربات النقل.

مساوئ وسلبيات الطريقة

1- الإبقاء على كمية من الخام داخل الحفرة ألمنجميه لا يمكن استخراجها لحين الانتهاء من تكسير وقلع كامل القاطع ألمنجمي.

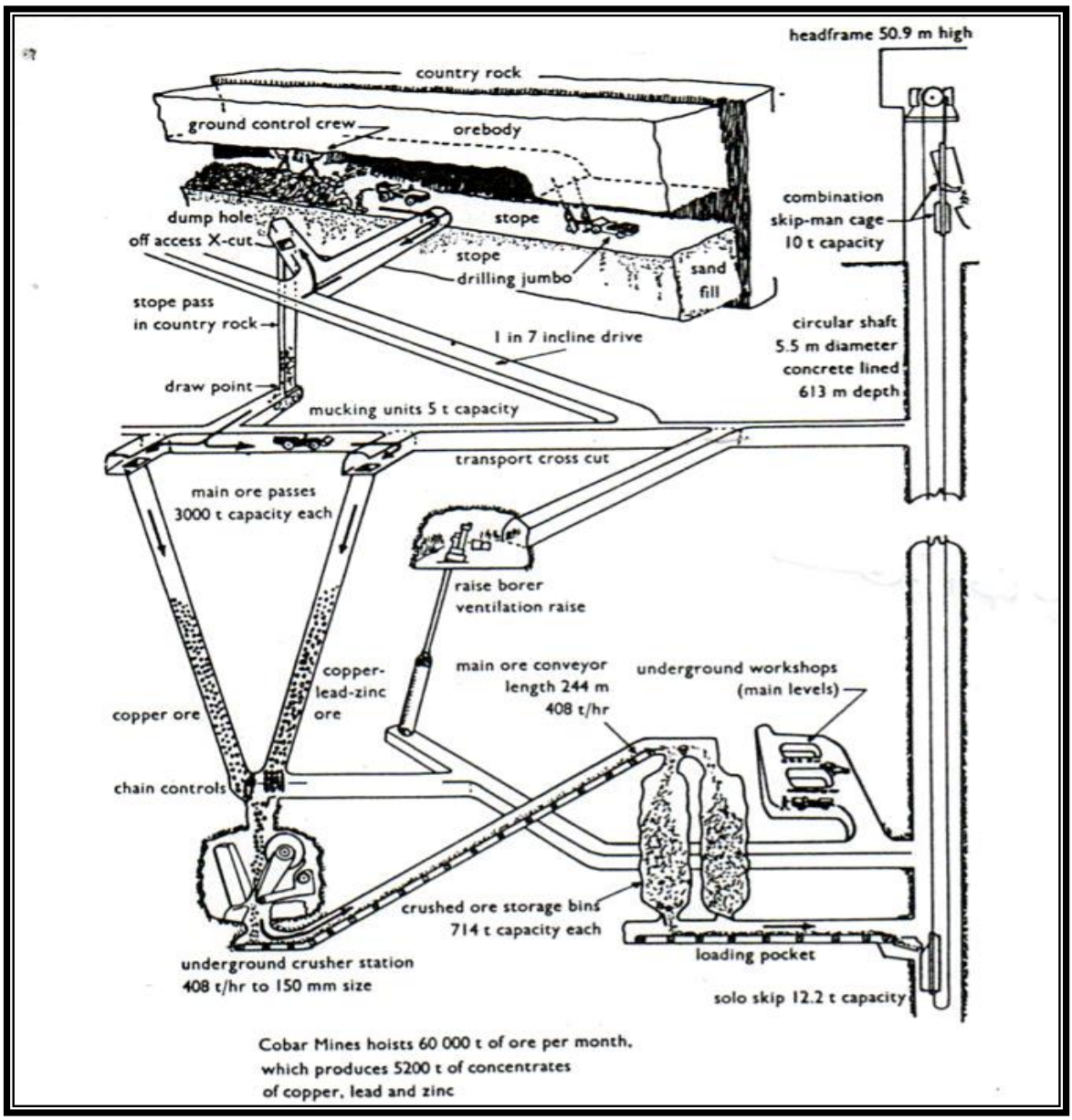
2- حصول عمليات تخفيف للخام اذا كانت صخور الجدار ضعيفة.

3- ألفجوات ألمنجميه تترك فارغة بعد انتهاء العمليات ألمنجميه مما يهدد المنطقة بحدوث أعمال تخسف وهبوط.

4- طريقة بطيئة ولا يمكن تحويرها أو تغيير أسلوب العمل عند تغيير عوامل الاستخراج ألمنجمي.

بعد الانتهاء من العمليات ألمنجميه في أي قاطع ربما تظهر الحاجة إلى إجراء عمليات إسناد أو ردم للحفر والفجوات ألمنجميه المتخلفة بعد عمليات الاستخراج ألمنجمي لمنح حصول عمليات تخسف او هبوط ارضي، في بعض الحالات يتم ترك أعمدة pillars لنفس الخام لإسناد جداري الحائط للعرق المعدني للحفاظ على سلامة العاملين والعمليات الاستخراج من حوادث الهبوط والزحف الصخري او حصول انسداد لأماكن طرق الإنتاج.

في بعض العمليات التشغيلية ألمنجميه لغرض تقليل كلف الإنتاج يتم إجراء بعض مراحل معالجة الخامات بعد إجراء عمليات القلع للخام من أماكن تواجده تحت سطح الأرض اختصارا للوقت والكلفة المالية مثلا انجاز أعمال تكسير المواد الخام تحت سطح الأرض الى أجزاء صغيرة لغرض تسهيل مهمة نقله خارجاً بكميات اكبر والحفاظ على سلامة البيئة بالإضافة الى بناء وحدات الصيانة ووحدات التهوية تحت سطح الأرض لغرض تقليل المساحة السطحية في ما لو عملت هذه الوحدات على سطح الأرض كونها تشغل مساحة سطحية كبيرة اذا كان موقع العمل ألمنجمي محدد بمساحة ضيقة شكل رقم (40-6) مخطط يوضح مثالا على هذه الحالة لمنجم تحت سطح الأرض يستخدم طبقة Shrinkage Stopping. حيث يتم انجاز معظم مراحل العمل تحت سطح الأرض، بعد قلع الخام من محل تواجده ينقل إلى الكسارة الموجودة تحت سطح الأرض لتكسيره الى أجزاء معينة ثم ينقل بعدها خارجا إلى سطح الأرض بالإضافة إلى وضع معظم الخدمات ألمنجميه أيضا تحت سطح الأرض مثل غرفة الصيانة، محطة توليد الكهرباء محطة ضخ الهواء النقي للتهوية ... الخ، فيما يوفر الوقت والجهد وتقليل الكلف المالية في العمليات التشغيلية ألمنجميه.



شكل رقم (6-40) مخطط للعملية الاستخراجية ألمنجميه

المصدر: L. J. Thomas, An Introduction to mining

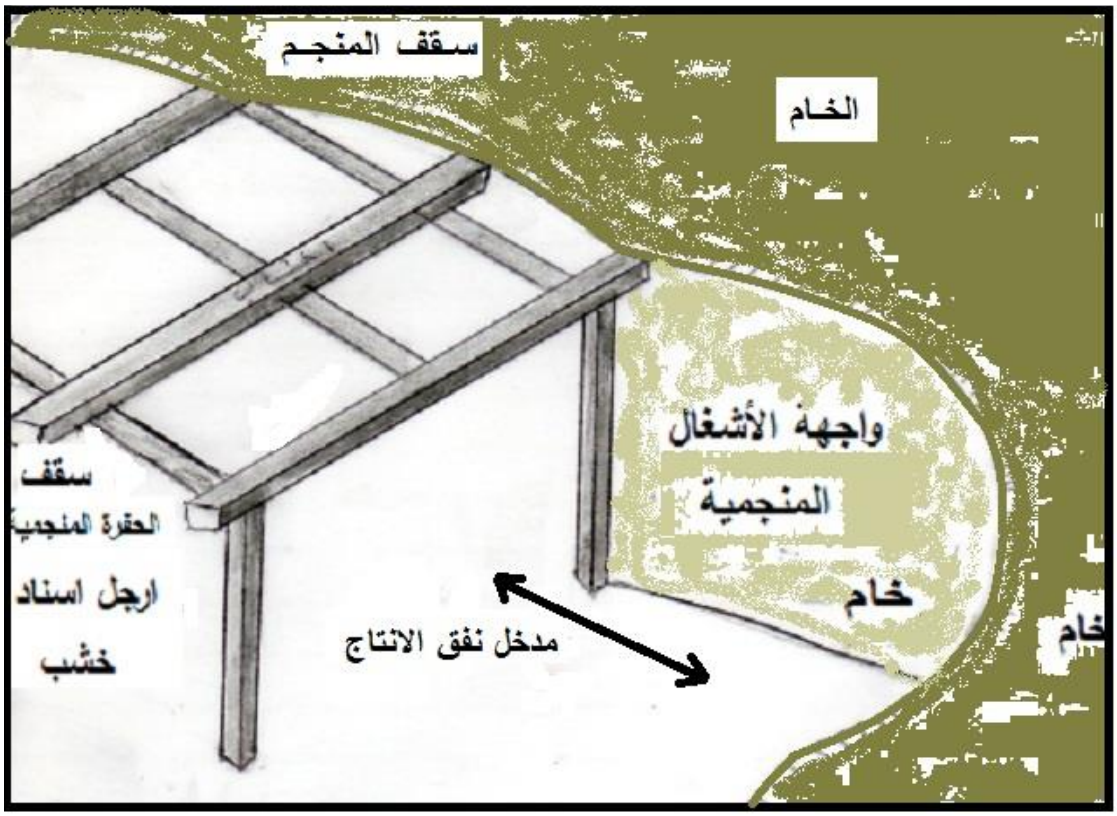
(6-13-3-5) طريقة الاستخراج ألمنجمي بواسطة القواطع ألمنجميه التربيعية

Square set stopping

طريقة الحفر والاستخراج ألمنجمي هذه تستخدم نفس أسلوب وتقنية الحفر ألمنجمي المستخدمة في طريقة Cut & Fill ما عدا إن هذه الطريقة تستخدم أسلوب الإسناد والتدعيم باستعمال جذوع الأشجار والأخشاب كما موضح في الشكل (6-41)، إذ يتم إسناد سقف وجوانب نفق الإنتاج والفجوة ألمنجميه بشبكة هيكلية من الأخشاب وسيقان الأشجار هذه الطريقة ملائمة للاستخدام في الترسبات المعدنية الضعيفة او الترسبات التي تمتاز باحتوائها على تشققات وكسور كثيرة وعليه تظهر الحاجة الى إجراء عمليات تدعيم وإسناد سقف الفجوة ألمنجميه لمنعها من الانهيار او سقوط كتل صخرية نحو الأسفل.

فوائد هذه الطريقة

1- ملائمة للاستخدام في الترسبات المعدنية الضعيفة الحاوية على تشققات وكسور.
2- لا تحتاج الى معدات وآليات معقدة في أعمال قلع ونقل الخام.



شكل رقم (6-41) Square set stopping method

سلبيات الطريقة

1- زيادة في تكاليف الإنتاج بسبب استخدام جذوع الأشجار والأخشاب في التدعيم.
2- تحتاج إلى أيدي عاملة كثيرة.
3- إنتاجية قليلة ومتدنية بسبب ظهور الحاجة إلى عمليات التدعيم مع تقدم سير العمل.
4- مقيدة في الترسبات المعدنية عالية التركيز وغالية الثمن لان العوائد المالية المستحصلة منها تغطي تكاليف الإنتاج والتشغيل ألمنجمي.

(6-13-4) طرق الاستخراج ألمنجمي التي لا تحتاج إلى إسناد او تدعيم

تقسم طرق الاستخراج ألمنجمي التي لا تحتاج أو لا تستخدم أية أعمال إسناد أو مواد للتدعيم الى ثلاث طرق رئيسية كل منهما له أسلوبه الخاص وطريقة العمل في التعامل مع الترسبات المعدنية طبقا إلى ظروف تكونها وتواجدها وخصائص الجيولوجية والهندسية، باستخدام هذه الطرق تكون أعمال قلع وتكسير الخام من مكان تواجده في الفجوة ألمنجميه يسمح لهذا الخليط المعدني أو الخام المهشم بالسقوط بحرية بفعل الجاذبية او إجباره على الهبوط نحو الأسفل إلى مناطق مهيأة مسبقا لاستقبال هذا الخليط المعدني لغرض تحميله ونقله الى الخارج مع ترك أماكن قلع الخام على شكل كهوف وفجوات فارغة ،غالبا ما تستخدم هذه الطرق في الترسبات المعدنية الضعيفة وغير المتماسكة

التي من الممكن قلعها وإزالتها بسهولة من أماكن تواجدها. لا يمكن استعمال هذه الطرق في حالة وجود مياه جوفية تعلو الترسبات المعدنية، في بعض الحالات يسمح بحصول هبوط أو تخسف للعمود الطبقي الواقع فوق الطبقات ألمنجميه والحالات الأخرى تجري أعمال ردم و دفن لهذه التكهفات والفجوات لمنع حصول تخسف مفاجئ لسطح الأرض لغرض المحافظة على استقرارية سطح الأرض واستخداماته الطبيعة.

(6-13-4-1) طريقة الاستخراج ألمنجمي بالقواطع التكهفية Block Caving

هذا النوع من طرق الاستخراج ألمنجمي ملائم للاستخدام في الترسبات المعدنية الصلبة Massive وكذلك إلى الأجسام ذات الميلان الشديد والصلابة المتوسطة. تعتبر أحد طرق الاستخراج ألمنجمي الرخيصة الثمن وغير المكلفة وسهلة من حيث التطبيق والاستخدام، كما هو موضح بالشكل (42-6) الذي يمثل الرسم التخطيطي لهذه الطريقة. يتم تقسيم الجسم المعدني الى عدة قواطع كبيرة الحجم وعلى عدة مستويات متوازية تمتد الى مساحة بحدود (1000) م ^{2}، بعد ذلك تنشأ عدة إنفاق ثانوية متوازية في مستوى يقع تحت القاطع المطلوب المباشرة بأعمال الاستخراج المعدني منه، ترتبط انفاق الاستخراج الثانوية هذه بواسطة نفق رئيسي يؤدي الى الفتحة الرئيسية لخروج الخام (Shaft). بصورة موازية لهذه الأعمال هناك أعمال أُخرى تنشأ معها وهي عمل عدة فتحات قمعية الغرض منها استقبال الخام المهشم والمكسر من الفجوات ألمنجميه يتم عملها بأسقف الأنفاق الثانوية هذه. أعمال إزالة وقلع الخليط المعدني أو المواد الخام من أماكن تواجده في القاطع ألمنجمي تتم إما بإعمال يدوية أو بواسطة تفجير وعلى شكل أشرطة او شرائح (Slices) تبدأ مباشرة من المستويات فوق الأقماع وباتجاه الأعلى ويسحب الخليط المهشم من خلال النفق الثانوي تحت الأقماع حيث يتم تحميله بالعربات ألمنجميه نحو الخارج. بهذه الطريقة يسمح للصخور العقيمة او العمود الطبقي الصخري الذي يقع فوق الفراغات ألمنجميه أو الفجوات بالهبوط وملأ هذه الفجوات بعد الانتهاء من أعمال الاستخراج.

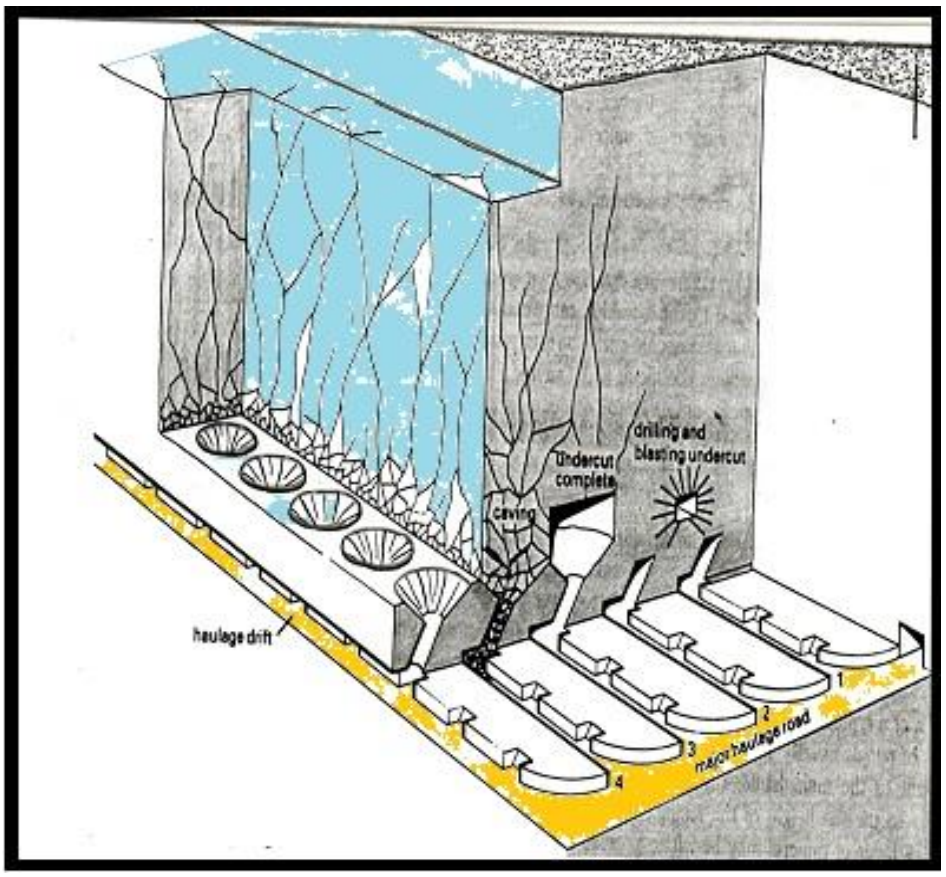
أثناء عمليات تكسير وتفجير الخام يجب السيطرة على عمليات السماح بهبوط الخليط المعدني المكسر أو المهشم حتى وان كانت وقتية لأنها قد تنهار بصورة مفاجأة أثناء أعمال الحفر أو التحميل وتؤدي إلى حصول انهيارات او دفن للعاملين والمعدات في هذا القاطع. تحتاج هذه الطريقة إلى وقت طويل لإغراض التهيئة وإنشاء الأنفاق والمداخل من فتحة المنجم الرئيسي ولغاية الوصول إلى الجسم المعدني. ضرورة تجنب المياه الجوفية ان وجدت او تسبب انسدادات أو تكتلات صخرية عند مرورها من فتحات التحميل وعليه يجب تهيئة وتوفير مضخات متخصصة تكفي لسحب ودفع هذه المياه إلى الخارج. من الصعب تجنب حصول حالات تخفيف للخام (Dilution) بواسطة الفضلات ألمنجميه وخاصة عند حصول تخسف وهبوط للعمود الطبقي داخل التكهفات ألمنجميه وعادة ما تستخدم هذه الطريقة للترسبات ذات درجة التركيز الواطئة.

فوائد هذه الطريقة

1- طريقة ذات كلفة استخراج قليلة وسهلة الاستخدام.

2- إنتاجية منجميه عالية.

3- طريقة استخراج منجمي أمينة وكفوءة.



شكل رقم (42-6) رسم تخطيطي لطريقة الاستخراج ألمنجمي Block Caving

سلبيات هذه الطريقة

1- تحتاج الى وقت طويل لانجاز وتهيئة للأعمال ألمنجميه مع كلف استثمار عالية في بداية أعمال المباشرة بالمشروع.

2- حصول أعمال تخفيف للخام أثناء العمليات الاستخراجية.

3- فقدان كمية من الخام عند سقوف القواطع وقرب الحافات مع الصخور العقيمة.

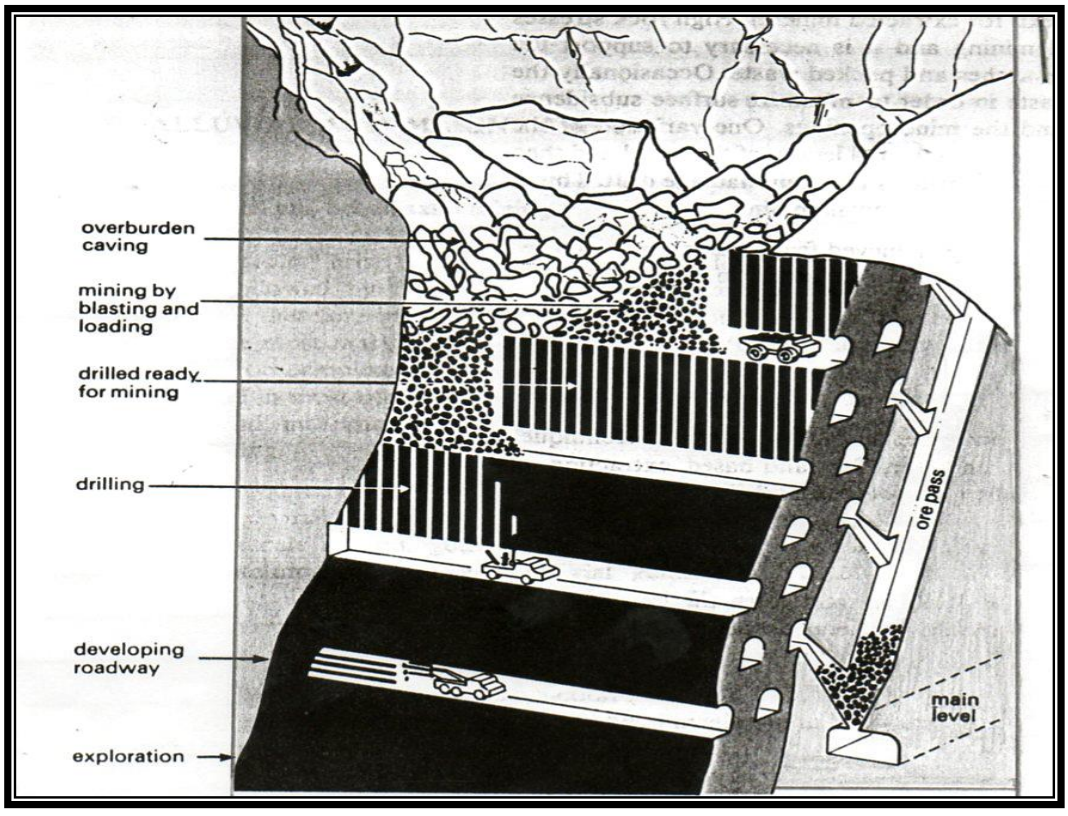
4- طريقة غير كفوءة في انتقاء وعزل الخام ذات درجة التركيز العالية عن الخام ذات درجة التركيز الواطئة.

طرق الاستخراج المعدني الحديثة تقترح استخدام أعمال التفجير النووي المحدود تحت سطح الأرض ليكون في الأجسام المعدنية الصلبة وبذلك يؤدي إلى تكسير وتفتيت الخامات الصلبة بأقصر وقت ممكن وبالتالي استخراجها بنفس هذه الطريقة الى الخارج.

(6-13-4-2) طريقة التكهفات على مستويات ثانوية Sublevel Caving

هذه الطريقة مشابهة في أسلوب العمل إلى طريقة Sublevel Stopping، وتستخدم لنفس النوع من الترسبات المعدنية التي تتميز بصلابتها العالية وميلانها الشديد والعروق المعدنية ذات الصلابة المتوسطة والشديدة، ما عد إن هذه الطريقة تستخدم في حالة وجود او وقوع الجسم المعدني ضمن صخور ضعيفة أي ان الصخور المحيطة بالجسم المعدني ضعيفة التي لا يمكن بقاءها في محلها بدون تدعيم بعد قلع واستخراج المواد الخام، عليه يجب السماح للصخور العقيمة المحيطة بالترسبات الخام بالهبوط وحصول تخسفات سطحية لغرض ملأ التكهفات والفجوات ألمنجميه.

إن أسلوب العمل وكافة الأعمال المدنية وأعمال إنشاء القنوات والأنفاق المنجمية مشابهة إلى أسلوب العمل في طريقة Sublevel Stopping كما في الشكل رقم (43-6). يتم إجراء العمل في قاطع الاستخراج ألمنجمي على عدة مستويات بعد حفر أنفاق ثانوية Sub level ضمن القاطع للخام حيث يكون تقدم سير العمل ألمنجمي بها متسلسل، بينما يتم استخراج ونقل الخام في المستوى العلوي والسماح بحصول تخسف وسقوط للصخور



شكل رقم (43-6) مخطط لطريقة الاستخراج ألمنجمي Sublevel Caving

العقيمة لكي يكون العمل مهيأ لأعمال التفجير، بينما يكون العمل في المستوى الأدنى مستمر في إكمال آبار التفجير وهكذا لضمان استمرارية وانسيابية تجهيز الخام من الأنفاق الثانوية نحو النفق العمودي المشترك Raise بين هذه المستويات ليصل الخام الى النفق الرئيسي لينقل بعد ذلك الى خارج المنجم.

إن من أهم الأعمال ألمنجميه التي يجب المحافظة عليها عند استخدام هذه الطريقة هي تصميم الأعمال الهندسية للإنفاق والمسافات بين مستويات الإنتاج وتعاقب الأعمال ألمنجميه مرحلة بعد الأخرى ليكون العمل مشترك ومتسلسل في كافة مراحل سير العمل ألمنجمي، إن حصول أي خلل او تأخير ممكن أن يؤدي إلى حصول تخفيف للخام بإضافة فضلات او صخور عقيمة او عدم القدرة على السيطرة على درجة تركيز الخام وممكن ان يحصل انقطاع لفترة زمنية في أعمال تجهيز الخام.

فوائد هذه الطريقة

1- طريقة انتقائية جيدة في عزل الخام الجيد عن الصخور العقيمة .
2- إنتاجية عالية.
3- قليلة الكلفة.
4- العمل تحت ظروف منجميه أمينة وسليمة.
5- استخدام معدات منجميه ذات إنتاجية عالية.
6- ممكن لهذه الطريقة العمل في ظروف منجميه صعبة مثل وجود مياه جوفية او خامات لزجة او رطبة.

سلبيات هذه الطريقة

1- تستغرق وقت طويل لتهيئة وإعداد العمل لأغراض بدا الإنتاج.
2- لا يمكن السيطرة على نقاوة الخام من أعمال التخفيف في الصخور الضعيفة او التكوينات المتشققة.
3- صعوبة إجراء أعمال التهوية وإيصال الهواء إلى مواقع الأشغال ألمنجميه لوجود مواقع عمل ذات النهاية المغلقة(Dead End) .
4- حصول هبوط وتخسف سطحية يؤدي الى تغير طبيعة سطح الأرض للمنطقة.

(6-13-4-3) طريقة الاستخراج ألمنجمي ذات الجدار الطويل

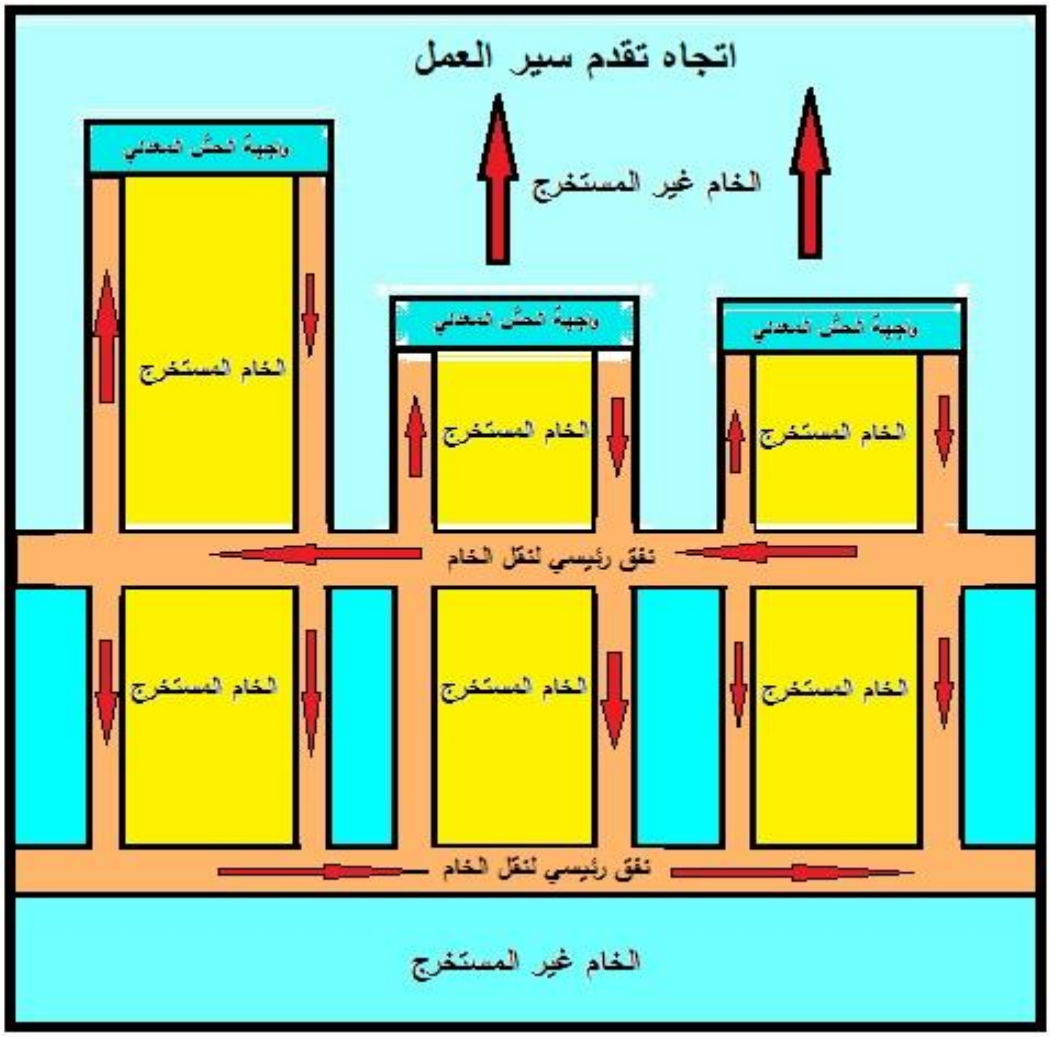
long wall mining method

هذه الطريقة ملائمة جدا للاستخدام في حالة وجود ترسبات معدنية طباقية stratified deposits ذات سمك يتراوح من (2.5 - 0.5) متر. الترسبات المعدنية يجب ان تكون ذات صلادة ضعيفة الى متوسطة في حين يجب ان تكون ترسبات العمود الطبقي او طبقات الغطاء الصخري ذات صلابة ضعيفة لكي يحصل هبوط او تخسف ذاتي او بمساعدة أعمال التفجير وإجبارها على الهبوط

لملأ التكهفات والفجوات ألمنجميه، غالبا ما تستخدم هذه الطريقة في قلع واستخراج ترسبات الفحم الحجري في معظم بلدان أوروبا ومنذ قديم الزمان وحتى الوقت الحاضر.

الشكل رقم (44-6) يوضح مخطط الاستخراج ألمنجمي وتقدم سير العمل لهذه الطريقة يتم تقسيم الجسم المعدني الى عدة ألواح معدنية مستوية طول كل لوح معدني تتراوح من (100-200) متر. يتم عمل أنفاق للإنتاج حول كل لوح معدني وتستخدم كذلك لأعمال التهوية ودخول وخروج العاملين. تبدأ أعمال الإنتاج والاستخراج ألمنجمي في واجهة الأشغال ألمنجميه مجاورة لنفق الإنتاج وعلى كامل عرض اللوح المعدني وتستمر في التقدم نحو الخلف بعيدا عن نفق الإنتاج ويكون القلع على كامل سمك الترسبات لحين الانتهاء من كامل استخراج هذا اللوح. إذا كانت الصخور الموجودة في سقف الحفرة ألمنجميه ضعيفة وغير قادرة على الاستناد لوحدها

يتم استخدام احد أنواع الإسناد والتدعيم للسقف لمنع حصول تخسف وهبوط.



شكل رقم (44-6) مخطط يوضح طريقة الاستخراج ألمنجمي بطريقة long wall

شكل رقم (45-6) معدات متخصصة لقلع الخام ونقله

مع استمرار أعمال الإنتاج والاستخراج المعدني بعيدا عن نقق الإنتاج يتم إنشاء التدعيم وإسناد دائمي لأنفاق نقل الإنتاج والمعدات لمنعها من الانسداد والغلق اما بقية المساحة المكشوفة او الفجوات يسمح للسقف بالهبوط وإملاء الفجوات المتكونة من جراء استخدام الخام. ثم تطوير معدات ميكانيكية وكهربائية متخصصة في أعمال الإنتاج ألمنجمي من قبل الشركات العاملة في قطاع تعدين الفحم الحجري شكل رقم (45-6) لغرض زيادة الانتهاج وتقليل الأيدي العاملة تجنبا لمخاطر العمل تحت الأرض في التعدين الفحم الحجري. من الممكن إنتاج 1000 طن/يوم من الفحم الحجري عند استخدام معدات متخصصة للإنتاج ونقل الخام عادة ما يتم بواسطة احزمة ناقلة كهربائية او قطار عربات الى الفتحة الرئيسية للمنجم، ويتم العمل بنفس أسلوب وتقنية هذه الطريقة.

شكل رقم (46-6) معدات متخصصة لقلع الخام من اماكن تواجده

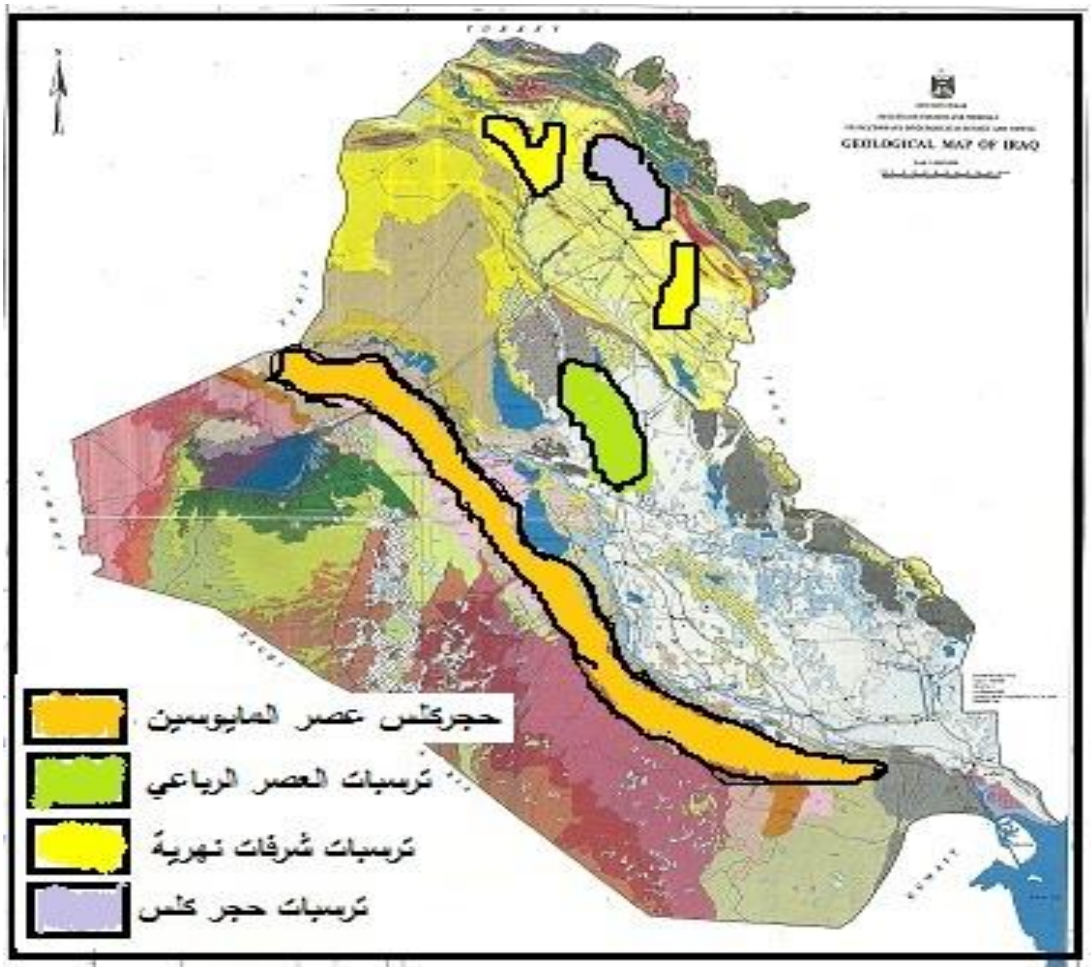
(6-14) المقالع Quarries

تعتبر المقالع طريقة من طرق الاستخراج ألمنجمي السطحية ولكنها على مقياس صغير او ذات مساحة محدودة. يختص بالتعامل فقط مع مواد البناء الأولية مثل الرمال، الحصى، الأطيان، الأحجار، المدملكات التي غالبا ما تتواجد على السطح أو قريبا منه ذات غطاء بسيط من التربة.

مواد البناء الأولية عبارة عن ترسبات فتاتيه ناتجة من دورة ترسيبية واحدة او عدة دورات ترسيبية وهي من نواتج أعمال التجوية والتعرية الميكانيكية عند تساقط او تدحرج الأحجار في مناطق الجبلية إلى الأسفل ثم تجري عليها عمليات نقل ثانية بواسطة تصاريف الأنهار والجداول لتتحول إلى أشكال صغيرة مختلفة الأحجام ويحصل لها إعادة ترتيب وفرز حسب الحجم الحبيبي اعتمادا على سرعة تصريف الأنهار الناقلة لها. تترسب الأحجار الكبيرة قرب أقدام الجبال Foothills بينما تترسب الفتاتيات الأقل حجما عندما تقل سرعة الأنهار او في البحيرات و الدلتاوات. معظم ترسبات مواد البناء الأولية توجد على ضفاف الأنهار وعند المنخفضات قرب المناطق الجبلية والبعض الأخر يتواجد في المناطق الصحراوية والجافة اعتمادا على الظروف الترسيبية المشابهة التي أوجدتها في وقت التكوين.

تتوفر في العراق كميات كبيرة ومهمة من مواد البناء الأولية وبمختلف الأنواع ويعتبر قطاع المقالع في العراق من القطاعات الرئيسية المهمة التي تدعم المشاريع المدنية والهندسية في العراق، بسبب سهولة الحصول على هذه المواد وبكلف قليلة وانتشارها على مساحة واسعة من الشمال الى الجنوب في القطر العراقي مما يقلل من تكاليف نقلها من أماكن تواجدها إلى المستهلك.

الشكل رقم (47-6) يوضح خارطة توزيع مواد البناء الأولية وتواجدها وانتشارها في العراق واهم ترسبات حجر الكلس التي تعود الى تكوين الفرات في العصر المايوسيني التي تمد على طول نهر الفرات خاصةً من منطقة القائم باتجاه جنوب العراق حيث يتوفر حجر الكلس لمختلف الصناعات مثل صناعة الاسمنت والطابوق الجيري وأحجار البناء. أما الترسبات الفتاتية إذ ان أهم تواجداتها تمتد من بغداد الى جنوب محافظة صلاح الدين وتمثل ترسبات الرمال والحصى أهمها مقالع النباعي التي تسد حاجة العراق من مواد البناء الأولية كاستخدام مباشر لدرجة النقاوة العالية التي تتميز بها. في شمال العراق في منطقة السليمانية ونينوى تتوفر ترسبات فتاتيه تتمثل ترسبات بشرفات نهرية عالية النقاوة وكذلك توفر حجر الكلس لتكوين الشيرانش والبلاسبي وهي ذات نوعية جيدة جدا.



شكل رقم (47-6) توزيع الترسبات الفتاتية في العراق مع حجر الكلس

(6-14-1) الاستكشاف الأولي عن مواد البناء الأولية

يمكن تعريف الاستكشاف الجيولوجي عن الترسبات المعدنية بأنها مجمل العمليات الجيولوجية بمختلف مراحلها التي تنتج عنها تعيين أماكن تواجد هذه الترسبات والتي تعتبر القاعدة الأساسية لانطلاق بقية المراحل التي تهتم بالدراسات التفصيلية ودراسات الجدوى الاقتصادية والتقييم المعدني.

مرحل الاستكشاف الأولي تتضمن ما يلي:

1- دراسة الخرائط الجيولوجية والصور الفضائية وتحديد الأماكن التي من الممكن ان تتواجد فيها ترسبات اقتصادية على ضوء الوضع الجيولوجي والتكوينات الصخرية المتواجدة في المنطقة.
2- إجراء أعمال مسح وتنقيب عملي وحقلي في الأماكن المرشحة لتواجد ترسبات اقتصادية وتحديد أماكن تواجدها وتكوين فكرة عن الصخور والمواد الصالحة للاستخدامات الهندسية والمدنية.
3- حفر الآبار الاستكشافية وخنادق لتحديد الامتدادات الجانبية مع تحديد السمك لهذه الترسبات.
4- تقدير نوعية الترسبات ومدى صلاحيتها ومطابقتها للمواصفات الهندسية المطلوبة والمعتمدة في الاستخدامات.
5- إجراء حسابات لتقدير الاحتياطي لهذه الترسبات مع تحديد سمك الغطاء الصخري، وتحديد شكل وحجم هذه الترسبات.

6- في حالة نجاح دراسات الجدوى الفنية والاقتصادية يتم تحديد موقع المقلع وأماكن بداية واجهات الأشغال الاستخراجية قدر تعلقها بتوفر وسائل وطرق المواصلات وأماكن استخدام هذه المواد.

إن البحث والتحري عن مواد البناء الأولية تعتبر عمليات سهلة وسريعة ومن السهولة التعرف على أماكن تواجد هذه المواد بدون استخدام طرق ووسائل معقدة خاصة اذا كانت التكوينات الصخرية او الترسبات الفتاتية مكشوف على سطح الأرض او إمكانية التعرف عليها من خلال التحقق بالمشاهدات النظرية أو مدى قربها أو بعدها عن المقالع المشخصة او المستخدمة مسبقاً.

هذه الدراسات تعتبر من المراحل المهمة والأساسية التي تعتمد عليها مراحل تطوير وتشغيل المقلع المقترح وقاعدة بيانات أساسية تستخدم مستقبلا من اجل تقديم معلومات قيمة عن مراحل تطور العمل في منطقة الترسبات، ويتم ذلك بواسطة رسم خرائط طبوغرافية بمقياس 1:1000 او 1:5000 لتحديد مناطق تواجد المقالع ثم تتبعها رسم خرائط جيولوجية تشمل على تحديد امتدادات الترسبات مع درجة الميل وسمكها مع سمك الغطاء الصخري او سمك التربة الواقعة فوق هذه الترسبات تحديد مواقع النمذجة سواء كانت آبار او خنادق، يضاف الى ذلك دراسات هيدرولوجية عن مستوى المياه الجوفية واتجاه حركتها ومدى تأثيرها على عمليات القلع والاستخراج للمواد الأولية من المقلع.

إن متطلبات تحديد موقع المقلع وحجمه وشكله تعتمد بالأساس على الغرض التي يستخدم من اجله المقلع ونوعية المواد المتوفرة فيه، طبيعة الأرض المستخدمة ومتى صلاحيتها لأعمال القلع والاستخراج ألمنجمي حتى يمكن فتح المقلع بكفاءة عالية وتحقيق استفادة قصوى من كافة المواد المتوفرة فيه طيلة عمر المقلع.

(6-14-2) حساب الاحتياطي في ترسبات مواد البناء الاولية

يعتبر موضوع حساب الاحتياطي المعدني من المواضيع الأساسية والمهمة في عمليات تقييم الترسبات الاقتصادية. تعتبر دراسات تقدير الاحتياطي خلاصة للجهود الاستكشافية والجيولوجية وعمليات التنقيب عن الثروات المعدنية المخزونة في باطن الأرض وكيفية استثمارها والاستفادة منها لتلبية المتطلبات الصناعية من توفير مواد البناء الأولية او المعدنية لسد الاحتياجات البشرية والصناعية منها يمكن القول ان ترسبات مواد البناء الأولية حالها حال الترسبات المعدنية الأخرى التي أوجدتها الظروف الترسيبية الجيولوجية تشكل أجسام ذات أشكال هندسية غير منتظمة ثلاثية الأبعاد حيث يمثل الامتداد الجانبي لها هو الطول والعرض. اما البعد الثالث فيمثل السمك لهذه الترسبات، الذي أمكن قياسه والتعرف عليه اما بواسطة نتائج حفر الآبار الاستكشافية او من نتائج النمذجة القناتية.

إن ترسبات مواد البناء الأولية في عدة مناطق في العراق متواجدة بأشكال وأحجام كبيرة جدا وتم تحديد تواجد وانتشار هذه الترسبات في عدة مناطق في العراق كما في الشكل السابق التي تمت الإشارة إليه وتم تحديد احتياطات هذه الترسبات من قبل دوائر متخصصة في العمل الجيولوجي في

العراق ومن أهمها الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين التي لها الحق في ألبحث واستثمار الترسبات المعدنية في العراق، ونظرا لعدم وجود شركات اخرى متخصصة في العمل الجيولوجي ألاستخراجي لاستثمار كامل لهذه الترسبات ثم تقسيم مناطق تواجد ترسبات المواد البناء الأولية الى قواطع متعددة صغيرة الحجم وأحيلت إلى استثمارها الى القطاع الخاص حسب الأنظمة والقوانين السائدة في البلد حول استثمار هذه المواد لغرض تسهيل مهمة قلع واستخراج ونقل هذه المواد وسد حاجة الشركات الهندسية والسوق المحلي من مواد البناء الأولية.

بناءا على هذه القوانين وتحديد القواطع المستثمرة مسبقا ضمن الترسبات يعتبر كل مقلع ذات شكل هندسي منتظم تم تحديد الامتدادات الجانبية له (الطول والعرض) شكل رقم (48-6) أما السمك فيتم استخراج وقلع كامل لسمك الترسبات الفتاتية المتواجدة في المنطقة ويمكن تحديده من معلومات ودراسات سابقة او من نمذجة فتاتيه او خلال توفير معلومات عن سمك الترسبات في المقالع او المكاشف القريبة.

ان حساب الاحتياطي لمواد البناء الأولية عادة ما تحسب الكمية بالحجم ($م^3$) لان كافة العمليات ألمنجميه ابتداء من أعمال القلع والاستخراج الى أعمال التسويق إلى المستهلك او إرسال المواد المستخرجة الى معمل التكسير والتصنيف يتم حسابها على أساس الحجم وليس بالوزن.

حجم الاحتياطي ($م^3$) = الطول × العرض × السمك

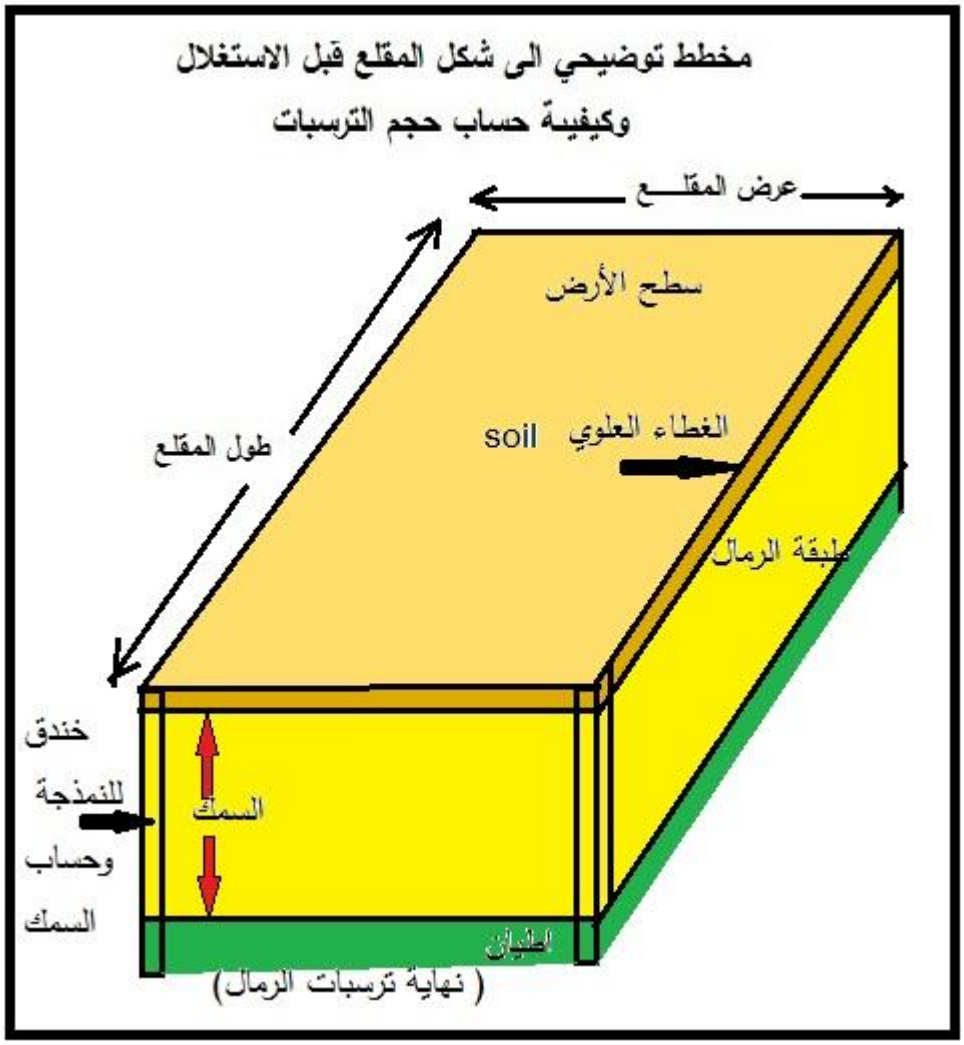
نلاحظ من الشكل رقم (48-6)، إن الطول والعرض للمقلع تم تحديده مسبقا اما السمك فيتم حسابه من المعلومات المتوفرة من الدراسات السابقة أو من المقالع أو المكاشف المجاورة للمقلع.

(6-14-3) طريقة الاستخراج في المقلع

إن اختيار شكل طريقة الاستخراج وأسلوب العمل بالنسبة الى المقلع تحددها عدة عوامل هي:-

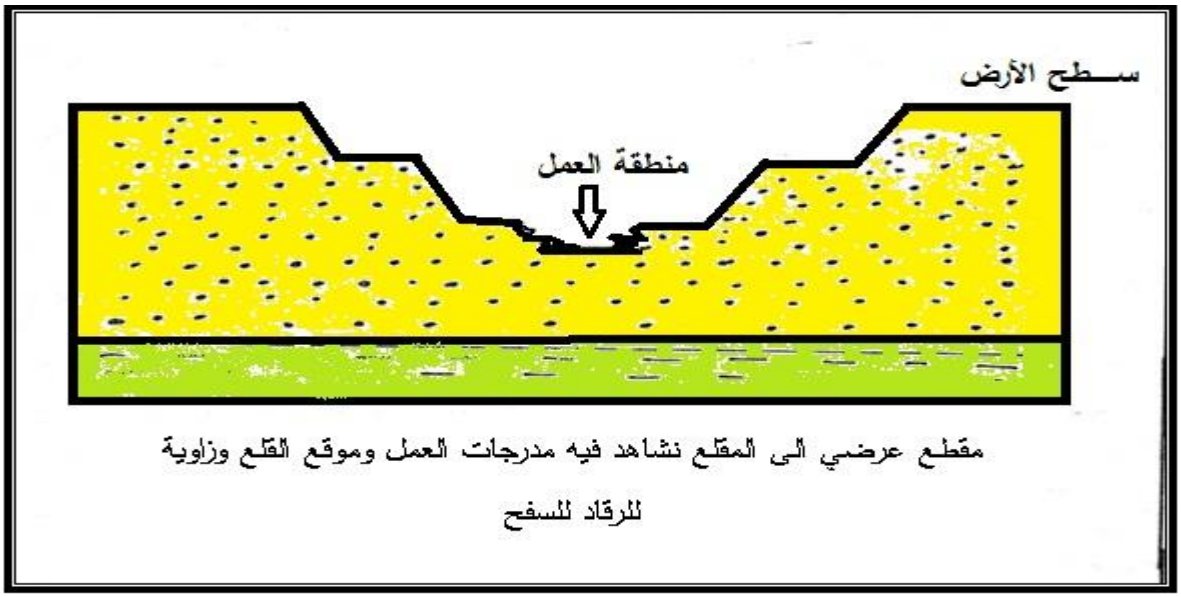
1- شكل وحجم وامتدادات الترسبات. تعطي حرية وإمكانية لحركة المعدات والآليات داخل المقلع.

2- السمك، اذا كان سمك الترسبات كبير يتحتم عمل مدرجات على عدة مراحل لغرض توفير طرق لحركة المعدات ونقل المواد خارج المقلع وتزداد عدد المدرجات مع تقدم وازدياد عمق الحفرة داخل المقلع.

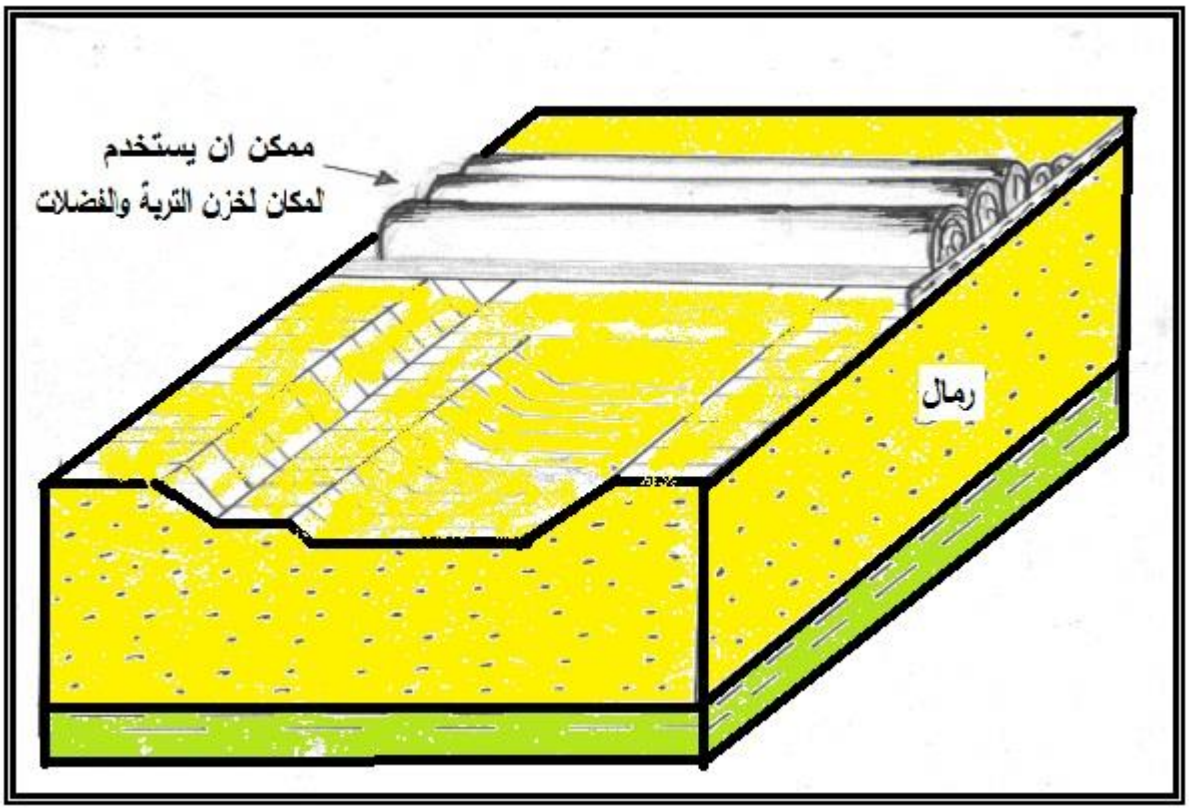


شكل رقم (6-48) الأبعاد الهندسية للمقلع

3– درجة صلابة او نعومة الترسبات، هي التي تحدد درجة ميل او زاوية الرقاد للسفح او المنحدر للمقلع الذي يتم عمله على شكل مدرجات كما في الشكل رقم (6-49-A) و (6-49-B)



الشكل رقم (6-49-A) مقطع عرضي الى المقلع



شكل (6-49-B) مقطع مجسم لعمل مدرجات المقلع

4- سمك غطاء التربة يعتبر عامل غير مهم وغير حاكم في عمل المقالع وذلك لصغر سمك غطاء التربة التي تعلو ترسبات مواد البناء الأولية ويسمح باختلاطها بنسبة معينة من هذه المواد الشكل رقم (6-50).

شكل رقم (6-50) احد المقالع يظهر طريقة العمل مع سمك الغطاء صخري بسيط

5- وجود المياه الجوفية يعتبر من أهم عوائق الاستخراج في المقالع لأنها تحد من حرية استخراج هذه المواد ويستلزم بهذه الحالة استعمال معدات متخصصة لهذا العمل مثل الحفارة السلكية، عجلات وشفلات مسرفة، معدات آلية.

الشكل رقم (6-51) والشكل رقم (6-52) يبين احد المقالع الصخرية حيث يوضح واجهة الأشغال مع مدرجات المنحدرة والأرضية الواسعة المستخدمة في تحرك المعدات والمناورة لتسهيل عمل الآليات والمعدات.

شكل رقم (6-51) احد المقالع الحجرية مع مدرجات المنحدر

شكل رقم (6-52) احد مقالع حجر الكلس

(6-14-4) المبادئ الأساسية للعمل في المقالع

بعد ان تم تحديد مكان المقلع والهدف من استخراج المواد والغرض من استخدامها كل هذه العوامل تفرض شرطا معينا على نوعية وخواص المواد المستخرجة وطريقة استثمارها، والتي بدورها كذلك تعتمد طريقة الاستخراج على التضاريس الأرضية في المنطقة. هناك خطوات ومراحل عمل الواجب إتباعها لغرض المباشرة بخطوات صحيحة من اجل فتح المقلع وكما يلي:-

1- تهيئة مكان عمل الكادر المشرف والعاملين مع توفير كافة وسائل المعيشة المطلوبة.
2- تهيئة المكائن والمعدات المطلوبة واللازمة للقيام بأعمال القلع والاستخراج.
3- البدء بإزالة الغطاء الصخري او إزالة غطاء التربة ان وجد ويفضل خزنها في مكان محدد خارج حدود المقلع للاستفادة منه لاحقا في أعمال إعادة الدفن وردم الحفر داخل المقلع لغرض الحفاظ على البيئة الطبيعية للمنطقة.
4- العمل يجب ان يكون نظامي وبشكل متسلسل وتتم المباشرة من إحدى حدود المقلع.
5- في حالة وجود المقلع على إحدى المرتفعات او التلال يستحسن بدء العمل من أعلى قمة سطح التربة حيث سمك الغطاء قليل ويسمى هذا المقلع بالمقلع ألرفي Shelf quarry.
6- في حالة وجود المقلع في الأراضي المنبسطة او الوديان ، يجب إجراء أعمال إزالة الغطاء الصخري ثم المباشرة بأعمال الحفر نحو العمق باستخدام إحدى وسائل الحفر سواء كانت بالمعدات المتخصصة او استخدام أعمال التفجير.
7- إيجاد وتهيئة مساحات مناسبة مع توفير طرق سهلة لغرض حركة ومناورة المعدات والعجلات داخل المقلع.
8- الحفاظ على درجة ميل واستقرار للسفح الجانبي للمقلع يعتمد على نوع وصلابة المواد الموجودة والالتزام بزاوية الرقاد لمنع حصول أي انزلاق او انهيار للجدار الجانبي.
9- مع تقدم سير العمل وازدياد حجم الحفرة الداخلية للمقلع ومع استمرار استخراج المواد يجب عمل مدرجات على مراحل متتابعة والمحافظة على زاوية انحدار السفح الجانبي لكل مدرج من اجل إنشاء وتوفير طرق مناسبة لحركة الآليات والمعدات.
10- يجب أن يكون معمل المعالجة من غسل وتكسير وتصنيف الرمال والحصى في مكان قريب من المقلع لغرض تقليل التكاليف.
11- الحفاظ على نظام نمذجة ثابتة مع تقدم سير العمل، تؤخذ النماذج من واجهات العمل، من العجلات أو من مناطق مهيأة للقلع لغرض السيطرة على توفير نوعية جيدة من المواد حسب شروط الاستخدام.
12- عدم السماح بحصول أي تجاوز على الأراضي المجاورة للمقلع او السماح بإجراء عمليات قلع من آماكن خارج المقلع باعتبار ذلك تجاوز غير قانوني.

13- الاستغلال الأمثل لهذه الترسبات باعتبارها ثروة وطنية ناضبة يجب الاستفادة منها بصورة جيدة والى أقصى حد ممكن.

14- الحفاظ على تجهيز الجهات والشركات المستفيدة من هذه المواد بمواصفات قياسية جيدة لضمان عدم حصول أي فشل في الإنشاءات المدنية والبنايات والطرق التي تستعمل هذه المواد.

15- التكرار المنتظم لإعادة احتساب احتياطي هذه الترسبات بعد كل فترة تجهيز سواء كانت سنوية او نصف سنوية للوقوف على الخزين المتبقي والصالح للاستخدام واشعار الجهة المستثمرة للمقلع حول عمر القلع وفترة انتهاء الترسبات.

16- الجيولوجي الشرف على القلع تقع على عاتقة مسؤولية التخطيط وتوجيه أعمال القلع والاستخراج على ضوء نتائج النمذجة والمسؤول عن مدى صلاحية المواد المستخرجة للاستخدام ويجب ان تكون لديه الخبرة الكافية في اتخاذ القرارات وإبداء النصيحة والتوصية حول مطابقة المواد المستخرجة للاستخدام ضمن الحدود المسموح بها في المنشآت المدنية والهندسية.

(6-15) دراسة موقع/ منجم جبل عوام /المغرب

(6-15-1) الموقع والطبوغرافية

يقع منجم جبل عوام في القطر المغربي في الجبال الأطلس المتوسط على مسافة 115كم جنوبي مدينة فاس ضمن إقليم خنيفرة في وسط المغرب تقريبا. المنطقة عبارة عن سلسلة جبال تسمى بالأطلس المتوسط وعرة من الناحية الطبوغرافية، يصل ارتفاعها إلى حوالي (1200) متر فوق مستوى سطح البحر. تتساقط على منطقة أمطار طيلة موسم الشتاء وتتساقط عليها الثلوج على قم الجبال في شهري كانون الأول وشباط. درجة حرارة في المتوسط تتراوح بين (3 الى 28) درجة مئوية، يغطي سطح الأرض غطاء نباتي قليل عبارة عن أعشاب صغيرة وقد تم تشجير المنطقة من قبل الشركة المستثمرة للترسبات المعدنية وزراعتها بأشجار اليوكالبتوس للزينة وكذلك الاستفادة من أخشابها في أعمال الإسناد والتدعيم في أنفاق وفجوات المنجم.

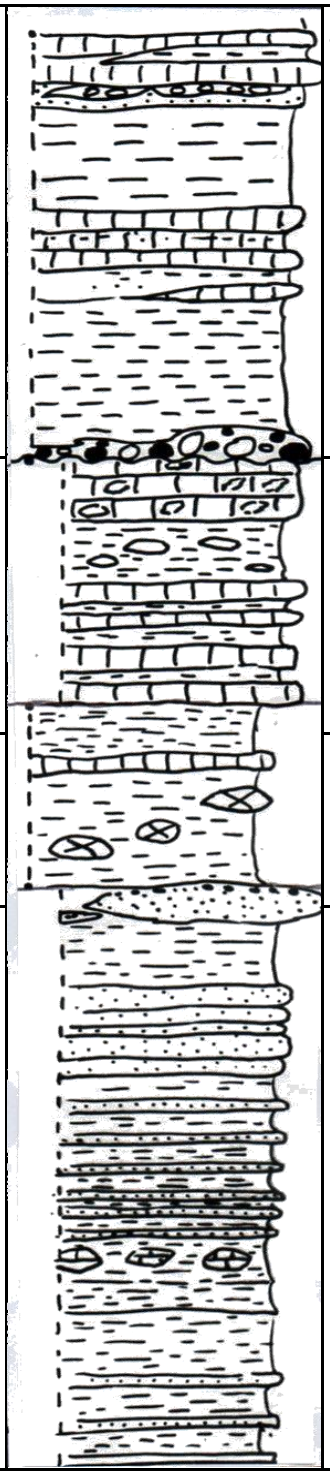
يعتقد ان أول اكتشاف للمعادن في المنطقة كان في القرن الثاني عشر حيث تم العثور على الكالينا على السطح، تم استغلال الجزء الجنوبي من منطقة التمعدن في بداية اعمال استغلال المنجم حيث ثم عمل سياج من الطين حول هذه الترسبات وأنشأت دور للعاملين جواره لا تزال آثارها موجودة لحد الآن، ويعتقد إن أول من سك نقود الفضة كان في هذه المنطقة.

(6-15-2) جيولوجية المنطقة

الصخور التي تظهر على سطح الأرض في منطقة الترسبات المعدنية وعلى سفوح وأعالي الجبال Cliffs هي صخور عصر الكربوني Carboniferous وهي صخور متحولة من صخور

Schist تعلو طبقة من صخور المد ملكات (Conglomerates) بصورة عدم توافقية والتي تكون سهلة التأثير بعوامل التعرية مما أدى إلى حصول ما يشبه الـ(Mesa)، بعض صخور الشيست Schist سقط من أعلى سفوح الجبال على شكل كتل حجرية نحو اسفل الوديان. الميل لهذه الصخور يتراوح بين (80-70) درجة باتجاه جنوب- غرب والمضرب Strike لها يكون باتجاه شمال – شرق.

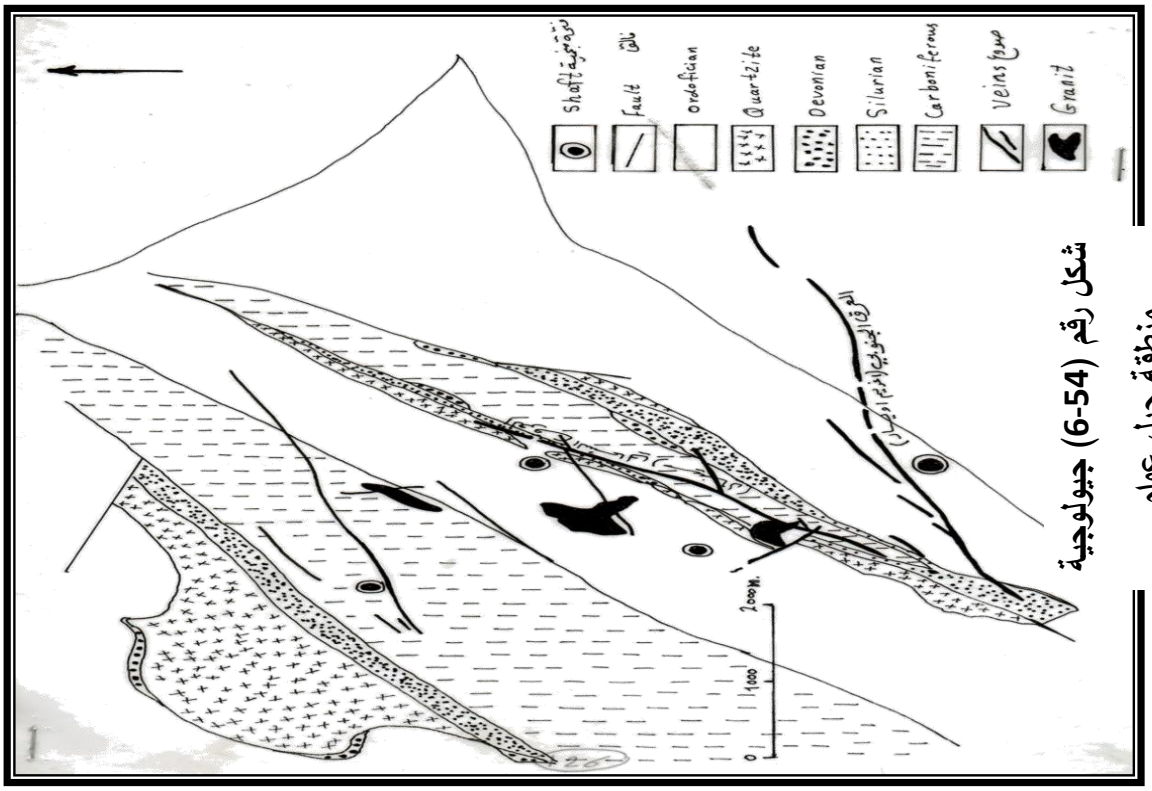
يبين لنا الشكل رقم (53-6) التتابع الطبقي للمنطقة ويلاحظ فيه وجود عدم توافق Unconformity يعزى إلى إزالة وتعرية الصخور خلال عمليات تكوين الجبال. توجد في المنطقة صخور نارية من الكرانيت (Granite) ويفسر سبب وجودها هو حصول تدفق للسائل الصهيري Magma نحو الأعلى خلال الكسور والشقوق التي حصلت في الصخور أثناء حصول عملية شد خارجي للصخور (Extension) ويلاحظ وجود كذلك صخور متحولة وهي صخور الشيست Schist ويلاحظ تكونها على شكل طبقات متعاقبة Stratification وتوجد كذلك صخور رسوبية هي صخور الدولومايت Dolomite Calcareous والتي لم تحصل لها أية عمليات تحول. (Metamorphism)، وبقيت على حالها عبارة عن صخور هشة تسبب مشاكل عديدة أثناء عمليات الاستخراج ألمنجمي. يلاحظ بالإضافة إلى ذلك ان صخور الكرانيت التي يمر بها العرق المعدني أصبحت هشة وغير صلبة وتتغير صلابته بمسافات قصيرة جدا مما يعني ذلك ان وجود العرق أدى الى حصول تجوية كيمياوية للكرانيت وأصبح هش ويظهر وجود الكالسايت في الشقوق والكسور، تغير صلابة الكرانيت تؤدي الى حصول مشاكل في الإسناد والتدعيم.

Carbonifereus		Shist interbeded with Conglomerates Shist Calcareous Schist Conglomerates (Unconformity)
Devonian		Calcareous Schist, Nodules of Schist Calcareous interbeded with Schist
Silurian		Schist Calcareous Schist Schist
Ordovician		Quartizite Schist Hard Schist Interbeded With Quartizite

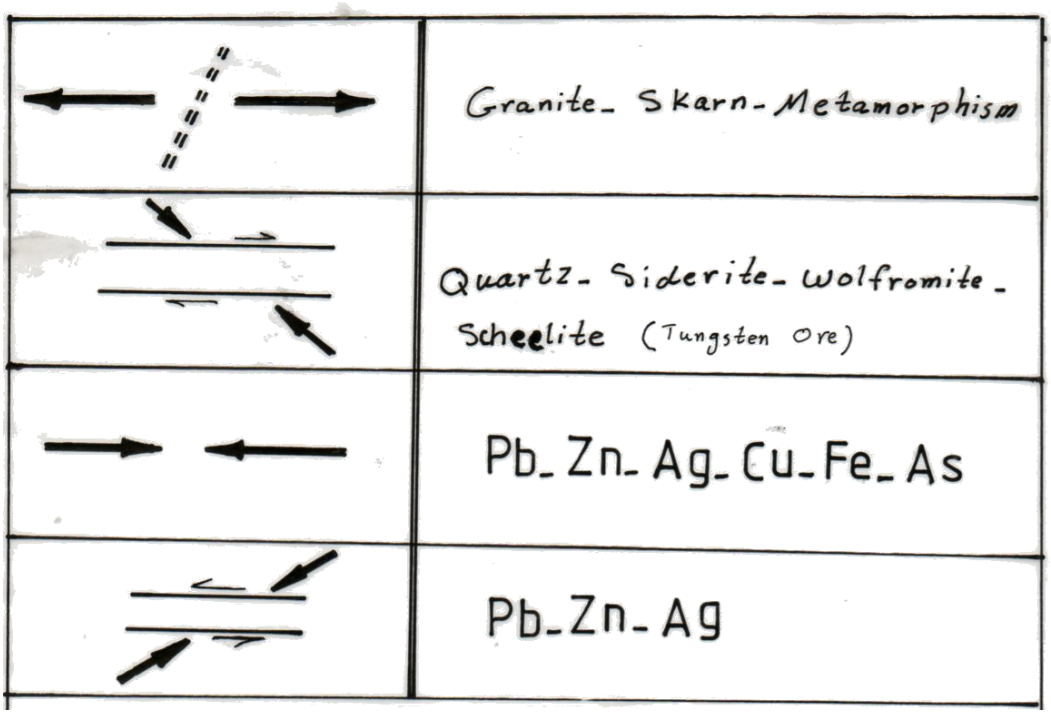
شكل (6-53)

توجد في منطقة الترسبات المعدنية كسور وشقوق عديدة Faults and Fractures وبكثافة واتجاهات عديدة بسبب حصول عمليات ضغط وشدة أثناء الحركة البانية للجبال التي سببت حصول هذه التشققات ويعتقد إن الصدع الرئيسي Main Fault الذي حصل فيه إقحام وتغلغل للمواد الصهيرية وبسبب وجود الضغط والحرارة أدى إلى ظهور هذه التجمعات المعدنية المختلفة، والتي تختلف نسبة وكمية وجودها الى مقدار الحركة ونوعية الصخور الحاضنة لها، كما في الشكل (6-54) الذي يوضح الصخور الظاهرة على سطح مع اتجاهات عدة عروق وصدوع معدنية موجودة في المنطقة حاملة للترسبات المعدنية .

الشكل (6-55) يوضح التتابع الزمني للحركة واتجاها وكيفية حصولها، حيث يعتقد حصول شد خارجي أولا Extension هو الذي ادى الى حصول إقحام للصهير Magma والذي كان سبب في ظهور الكرانيت Granite، في المرحلة الثانية حصل ضغط Compresion باتجاه (شمال شرق–جنوب غرب) مع وجود إزاحة على طول هذا الاتجاه هي التي ادت الى ظهور بعض المعادن على طول الصدع الرئيسي وهي معدن الكوارتز (Quartz)، السيديرايت (Siderite)، وولفرومايت (Walfromite) وكذلك معدن الشيللايت (Schellite) في المرحلة الثالثة تغير اتجاه الضغط الى(شرق–غرب) سبب ظهور المعادن التي هي رصاص(pb)، زنك (Zn)، فضة(Ag)، نحاس(Cu)، حديد(Fe) ومعدن ارسينك As. في المرحلة الرابعة تغير اتجاه الضغط الى (شمال غرب – جنوب شرق) مع تغير اتجاه الحركة ظهرت كسور وصدوع في هذه الاتجاه وأدت الى ظهور معادن الفضة (Ag)، الخارصين(Zn) والرصاص (Pb).



شكل رقم (6-54) جيولوجية منطقة جبل عوام



شكل رقم (55-6) التتابع الزمني للحركة مع تسلسل ظهور المعادن في منجم جيل عوام/المغرب

يستنتج من هذا وبسبب تغير اتجاه الضغوط Compression عدة مرات وباتجاهات مختلفة ادى الى ظهور وتكوين شقوق وكسور عديدة وكثيفة وباتجاهات متباينة بعضها ثانوي والآخر رئيسي واختلاف الصخور الحاضنة للصهير المقحم يفسر الى احتواء العرق على كميات كبيرة من المعادن وبالأخص Galena.

يقسم العرق الرئيسي للتمعدن الى جزئين هو العرق الشمالي المسمى (سينيال) والعرق الجنوبي ويسمى (أغريم– اوسار) وكلاهما تحت الاستغلال ويقعان في العصر الكاربوني شكل رقم (54-6).

العرق الشمالي (سينيال) مرتبط بصورة كبيرة بجيولوجية المنطقة ومتأثر جدا بالصدوع والكسور حيث يختلف سمكه وبدرجة كبيرة من مكان الى آخر وكذلك ظهور المعادن متباين وفي احيان كثيرة تكون المعادن مختلطة مع الصخور العقيمة Gangue materials طول العرق الشمالي يتراوح بين (1500–2000) متر ويمتد في اتجاه (NE–w) ذو ميل بين Nw ^{0}(70-78) . يمكن تقسيم العرق سينيال الى ثلاث أجزاء هي:–

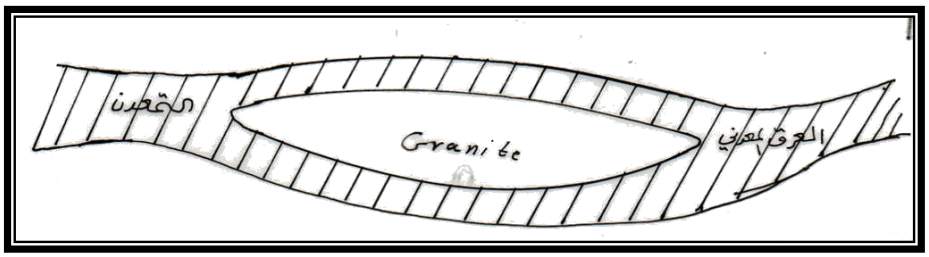
أ– الجزء الاول الذي يبلغ طوله تقريبا (1000) متر، وسمكها يتراوح بين (30-80) سم تتميز بكونها مختلطة مع المواد العقيمة حيث يمتد العرق من صخور الشيست Schist.

ب–الجزء الوسطي من العرق الذي يبلغ طول (300-500) متر متكون من صخور الكرانيت Cranite ويتجه نحو الشرق. حيث ينقسم الى قسمين ويصبح شكله (عدسي) كما في الشكل رقم (56-6) سمك كل جزء منها حوالي (40) سم.

ج– الجزء الثالث من العرق يبلغ طوله تقريبا من (300-500) متر وسمكه يساوي (1-5) متر متكون من صخور رسوبية Calcareous Dolomite الأصل غير متحولة بصورة جيدة حيث تكون

هشة وتتساقط بسهولة أثناء عمليات الاستخراج ألمنجمي وبهذه الحالة تستخدم عمليات الإسناد والتدعيم بالأخشاب لهذا الجزء.

جميع الكسور في المنطقة العرق الشمال ممتلئة بصخور الكوارتزايت Quartizite وفي جميع الاتجاهات وتتميز باحتوائها كذلك على معادن بارايت Barite، سيديرايت Siderite، فلدسبار Feldspare، بايوتايت Biotite وكذلك شيللايت Schellite جميعها لم تستغل بصورة اقتصادية.



شكل رقم (56-5) الشكل العدسي للعرق المعدني الشمالي

(6-15-3) الاحتياطي المعدني في منجم جبل عوام

تبلغ كمية الاحتياطي المعدني المؤكد في العرق الشمال (سينيال) بحدود (1245000) طن مليون ومائتان وخمسة وأربعون الف طن، يحتوي على (43267) طن احتياطي مؤكد من معدن الرصاص وكذلك يحتوي على (7668) طن احتياطي مؤكد من معدن الزنك. الاحتياطي المحتمل يبلغ حوالي 1.465.000 مليون طن، بزيادة قدرها (600.000) ستمائة الف طن.

يبلغ تركيز المواد المعدنية (درجة تركيز الخام) كما في الجدول رقم (6-4):-

جدول رقم (6-4)

تراكيز المواد المعدنية الخام في المنجم جبل عوام

اسم المعدن	العرق الشمالي	العرق الجنوبي	تركيز المعادن بعد عملية المعالجة	الملاحظات
	تركيز المعادن في المادة الخام	تركيز المعادن في المادة الخام		
الرصاص (Pb)	6%	(7.5-8)%	77%	
الزنك (Zn)	1.5%	2.5%	55%	
الفضة (Ag)	90%	130%	1400g/t	

يتم إرسال المواد الخام الى معمل استخلاص واحد حيث نلاحظ ان العرق الجنوبي أهم من حيث تراكيز المواد المعدنية الموجودة فيه ولكن الاحتياطي الموجودة قليل اذا ما قورنت مع العرق الشمالي .

يبلغ مجمل الإنتاج السنوي للعرق الشمالي من كافة المواد المعدنية بحدود (160000) طن في حيث يبلغ الإنتاج السنوي في العرق الجنوبي من كافة المواد المعدنية (80000) طن.

(6–15–4) عمليات الاستخراج ألمنجمي في منجم جبل عوام

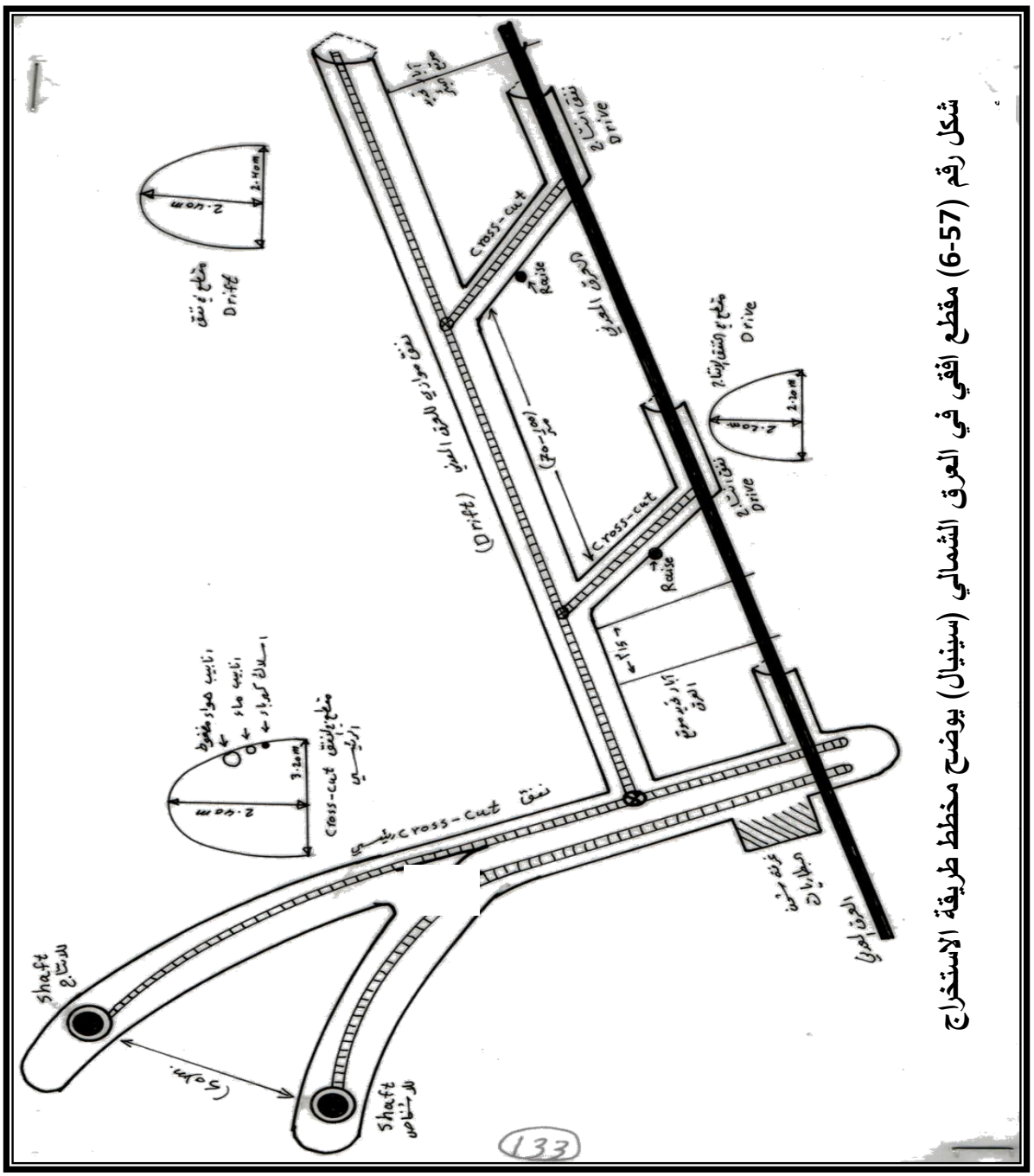
القسم الشمالي من منجم جبل عوام (سينيال) يمتد لمسافة طويلة قدرها (2000) متر تقريبا وبسمك يتراوح بين (0.3-5.0) متر، وهو عبارة عن عرق معدني ذو ميل شديد كما ذكرنا سابقا متكون، بصورة أساسية من معادن الرصاص، الزنك، الفضة، بالاضافة الى الكبريتيدات (Sulphide) يمتد العرق في العمق حوالي (600) متر تحت سطح الارض.

تتم عملية الاستخراج المعدني في العرق الشمالي بطريقتين هما طريقة (Sublevel Stoping) وبدون إجراء أية أعمال إسناد او تدعيم، والطريقة الأخرى هي طريقة محورة خاصة بمنجم جبل عوام تتلائم مع الخصائص الهندسية للصخور الهشة حيث تستخدم الأخشاب وجذوع الأشجار في أعمال الإسناد والتدعيم. تم تقسيم العرق المعدني الى عشرة مستويات رئيسية للإنتاج، المسافة بين مستوى وآخر هي (50) متر. في بداية العمل ألمنجمي تم حفر النفق العمودي (Shaft) أولا بقطر (0-5) متر عدد (2) وبدون إجراء اية أعمال إكساء او تبطين عليه لانه يقع في الصخور القوية الصلدة ويمتد في العمق لمسافة (600) متر ليقطع كافة مستويات الإنتاج نحو الأسفل وفي نهاية النفق تم عمل حفرة عميقة واسعة تستخدم لتجمع المياه الجوفية النازلة من كافة مستويات الإنتاج ليتم ضخها فيما بعد الى الأعلى. يبعد النفق العمودي (Shaft) عن العرق المعدني مسافة (150) متر من الأسفل عند عمق (600) متر ومن الأعلى يقطع العرق المعدني كون العرق المعدني مائل نحو الجنوب .

بعد اكتمال حفر النفق الرئيسي العمودي (Shaft) تم حفر انفاق رئيسية اخرى تمتد من النفق العمودي باتجاه العرق المعدني تسمى cross-cut أي انفاق قاطعة الطبقات بعرض (3.20) متر وارتفاع (2.40) متر لحين قطعها للعرق المعدني للتاكد من مكان تواجده. هذا النفق مزودة بسكة حديد مزدوجة كبيرة الحجم يعبر عنها بالوزن وهي من نوع (26Kg/m). تستخدم هذه السكة في مستويات الإنتاج لتسهيل أعمال نقل الخام والمناورة لمنع او تجنب حصول اية أعمال اختناق في نقل الخام من مستويات الاستغلال نحو الخارج اما الأنفاق الأخرى فتستخدم سكة مفردة من وزن (15Kg/m). الشكل رقم (57-6) مقطع افقي لجزء من منجم يوضح الأنفاق الرئيسية Cross-cut مع مخطط توضيحي للعرق المعدني مع أنفاق الاستغلال Drift.

بعد اكتمال حفر أنفاق Cross-cut في كل مستوى انتاج تم حفر انفاق أخرى في مستويات الإنتاج كافة تمتد بموازاة العرق المعدني وعلى طول امتداد العرق والمسافة (2000) متر تسمى انفاق (Drift) ،عرض هذه الأنفاق هو (2.40) متر وبارتفاع (2.40) وتبعد عن العرق بمسافة (10) متر تقريبا، يتم ضبط الاتجاه بواسطة حفر آبار صغيرة على طول جانب النفق الموازي للعرق المعدني لمعرفة بعد المسافة بين العرق المعدني وبين النفق وهكذا مع استمرار الحفر على طول جدار النفق، تبلغ المسافة بين بئر وآخر حوالي (15-20) متر وقطرها (3-5) سم. هذه الأنفاق يتم حفرها بواسطة المتفجرات لان الصخور قوية وصلبة وبدون أعمال تدعيم ما عدا وضع أقواس حديدية في ألاماكن

الحجرية التي فيها تشققات كثيرة للحد من احتمالية سقوطها داخل النفق، مزودة بأسلاك الكهرباء والإنارة وتحتوي على ابواب تفتح وتغلق يدويا للمحافظة على مسار التيار الهوائي داخل المنجم. يتم عمل حفر على شكل فجوات او غرف في احد جوانب نفق Cross-cut تستخدم لشحن البطاريات الخاصة بالانارة الشخصية لعمال الإنتاج وبطاريات القطارات الكهربائية ومخزن لحفظ المتفجرات والعدد اليدوية وكذلك كافة مواد ومستلزمات الإنتاج.

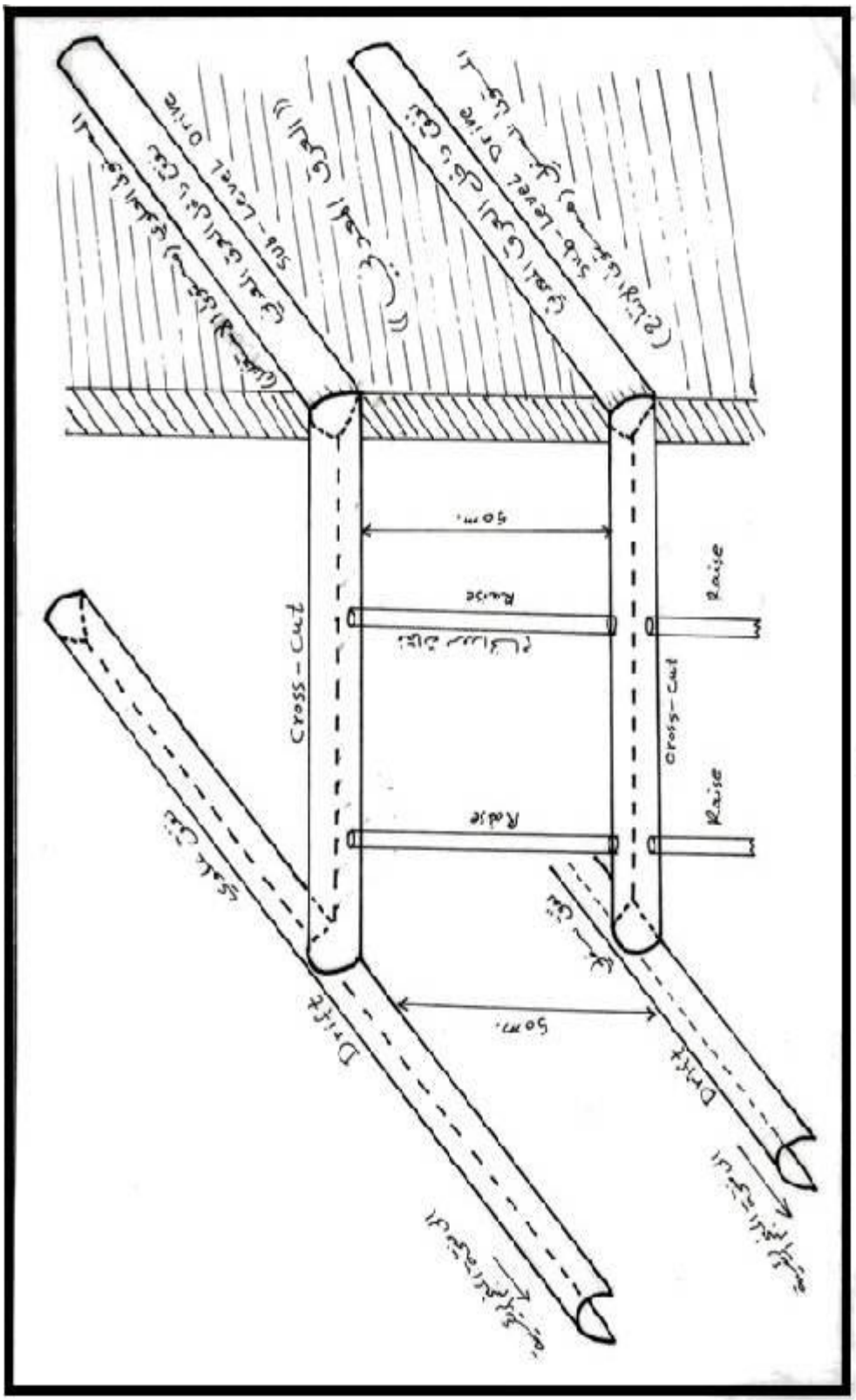


شكل رقم (6-57) مقطع افقي في العرق الشمالي (سينيال) يوضح مخطط طريقة الاستخراج

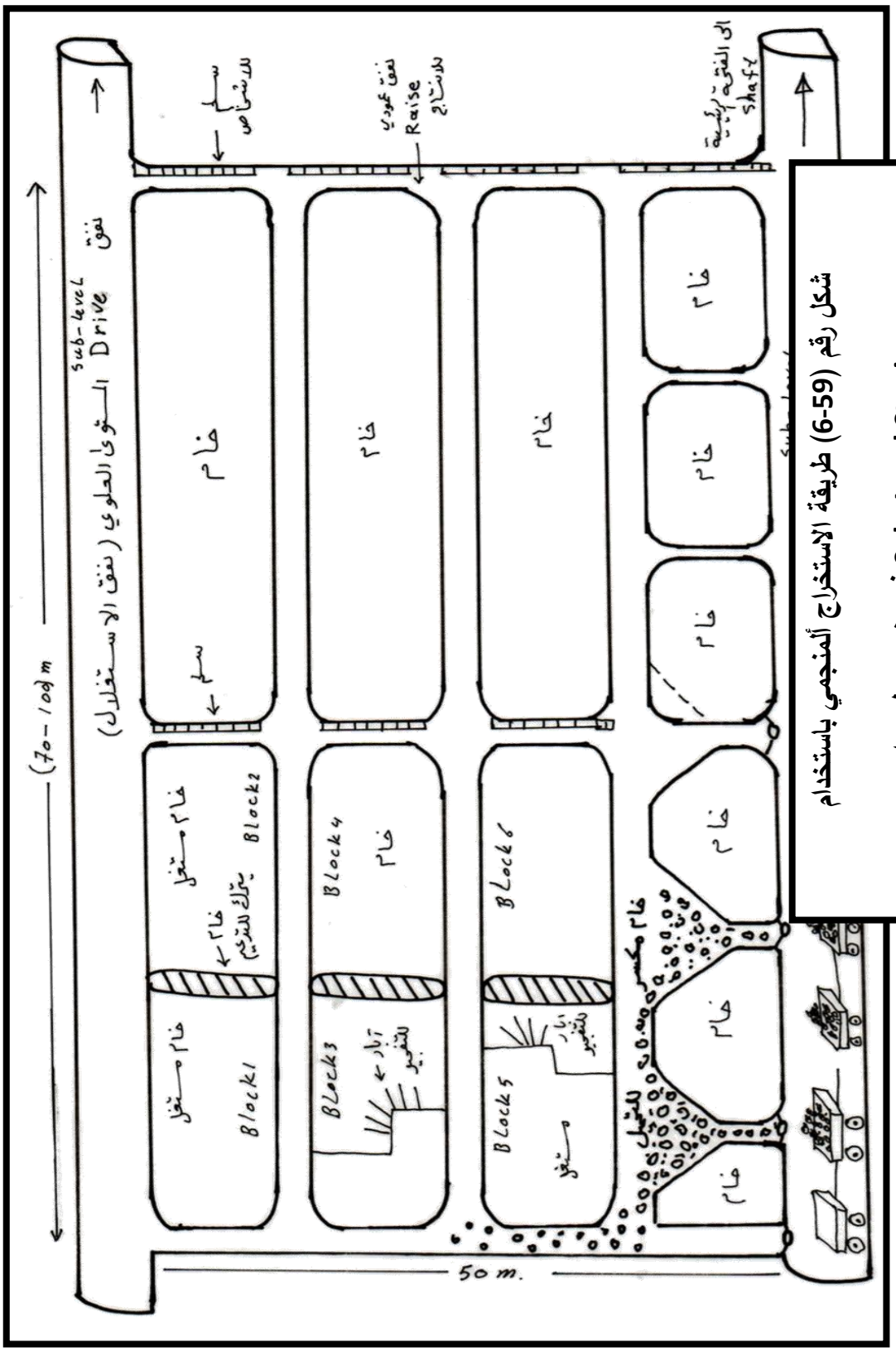
بعد اكتمال حفر الأنفاق الموازية للعرق المعدني المسماة Drift يتم حفر أنفاق باتجاه العرق المعدني وتكون عمودية عليه تسمى كذلك Cross-cut لغاية تقاطعها مع العرق المعدني. بعد ذلك تتم عملية حفر أنفاق داخل العرق المعدني تسمى Sub- level Drive وتسمى كذلك أنفاق الإنتاج تتميز بان حجمها اقل حيث تكون بأبعاد (2.20) × (2.20) متر مزودة بسكة حديدية مفردة تمتد مع امتداد هذه الانفاق وقد تقصر او تطول وتلتقي هذه الأنفاق مع بعضها البعض لتسهيل عملية التهوية والتواصل مع بقية الانفاق (الشكل رقم (58-6)). يتم حفر انفاق عمودية تمتد من أنفاق Cross-cut في المستوى العلوي الى انفاق Cross-cut في المستوى السفلي تسمى Raise ذات قطر تقريبا (2.20) متر تستخدم لنقل الخام باسقاطه من المستوى العلوي نحو المستوى السفلي لتحميله بواسطة العربات نحو الخارج وتستخدم لنقل الفضلات والاشخاص بواسطة السلالم وكذلك للتهوية. تحفر هذه الأنفاق بواسطة معدة خاصة تسمى (Alimak) تسير على سكة حديدية خاصة بها تربط مع الجدار عموديا تعمل بواسطة الهواء المضغوط والماء، تبلغ المسافة بين كل نفق Cross-cut وآخر حوالي (70-100) متر وهكذا على طول امتداد العرق المعدني، وممكن إيقاف العمل في أي مستوى اذا تدنى او اختفى وجود العرق المعدني.

تبدأ أعمال الاستخراج المعدني بتقسيم العرق المعدني إلى عدة قواطع بين كل نفقين من أنفاق Cross-cut لمسافة تتراوح بين (30-50) متر حيث يتم استخراج المواد الخام من المستوى العلوي ويتم إسقاط المواد نحو المستوى السفلي وهكذا لحين انتهاء من كل قاطع مع ترك جزء من الخام بين كل قاطعين لغرض التدعيم والإسناد كما في لشكل رقم (59-6).

تجدر الإشارة هنا إلى ان جميع عمليات الحفر أعلاه يجب ان يصاحبها مد خطوط الهواء المضغوط لعمل أجهزة الحفر وكذلك للتهوية والتنفس ومد خطوط أنابيب الماء المستخدم في الحفر ومد خطوط الكهرباء للإنارة وعمل السلالم وتثبيتها جيدا في الجدار وإقامة بعض أنواع التدعيم إن تطلب الآمر ذلك في الصخور الحاوية على الشقوق والكسور.



شكل رقم (6-58) مخطط لطريقة الاستخراج المعدني
في منجم جبل عوام (العرق المعدني)



شكل رقم (6-59) طريقة الاستخراج المنجمي باستخدام Sub- Level Stoping في منجم جبل عوام

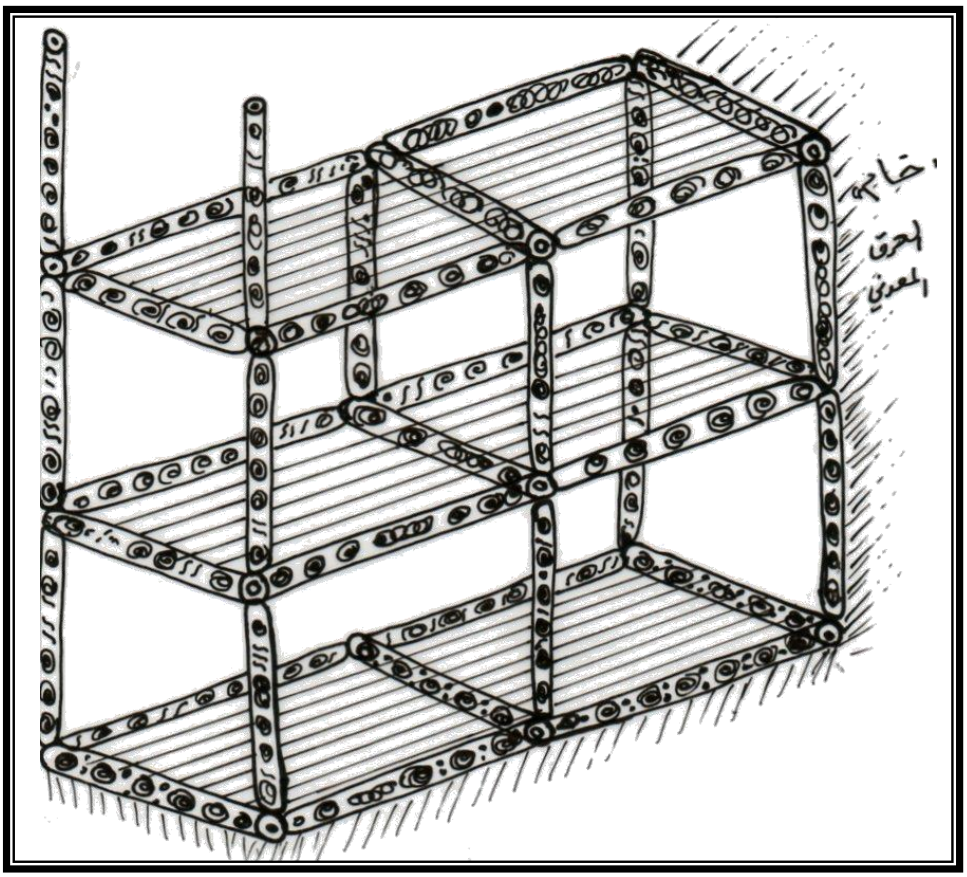
(6-15-5) طريقة الاستغلال بالتدعيم

طريقة الاستغلال هذه لا تختلف كثيرا عن طريقة Sub- Level Stopping من حيث تهيئة الأعمال الأساسية والبدائية مثل حفر نفق Cross-Cut وكذلك أنفاق Drift وأنفاق Sub- Level Stopping، التي تنشأ في كل مستوى من مستويات الإنتاج بالإضافة إلى حفر الأنفاق العمودية Raise بين المستوى العلوي والمستوى السفلي التي تستخدم لسقوط الخام نحو المستوى الأسفل لغرض نقله الى الخارج بالعربات.

تستخدم هذه الطريقة في الصخور الهشة عندما يحتوي العرق المعدني على كسور وشقوق كثيرة بالإضافة الى احتواءه على الصخور الهشة الغير متماسكة حيث يستوجب اجراء عمليات الإسناد والتدعيم لجداري العرق المعدني Hanging and foot wall بالإضافة إلى السقف للصخور المعدنية، ابتكرت هذه الطريقة واستخدمت في منجم جبل عوام ومن مميزاتها انها تتسم بالانتقائية حيث يتم عزل المعدن الخام تماما عن الصخور الغثة والعقيمة يدويا، ثم يتم رمي الخليط المعدني الخام في الأنفاق العمودية Raise لنقلها الى الخارج في حين تبقى الفضلات في أرضية النفق فوق الأخشاب والجسور المستخدمة في التدعيم. من مساوئ هذه الطريقة انها بطيئة وتستخدم أيدي عاملة كثيرة ويتم إجراء أعمال الحفر واستخراج الخام بواسطة المطرقة الميكانيكية (جك همر) بالإضافة الى استهلاكها أخشاب كثيرة لأغراض التدعيم وتستغرق وقت كبير لأغراض إنشاء وتهيئة هذه الإعمال، من فوائدها انها تستخدم في الأماكن الخطرة بصورة أمينة عندما تكون المكونات المعدنية جيدة وذات تركيز عالي لا يمكن الاستغناء عنها أو تركها بدون استخراج.

الاستغلال يبدأ باستخدام هذه الطريقة بين كل مستويين من مستويات الإنتاج وذلك بواسطة إنشاء نفق عمودي (Raise) داخل العرق المعدني يربط بين النفق (Sub-Level Drive) في المستوى العلوي مع النفق (Sub-Level Drive) في المستوى السفلي في نفس العرق المعدني. يتم حفر عدة أنفاق عمودية مشابهة وعلى مسافات محددة تبلغ (50) متر بين نفق عمودي وآخر، من خلال الأنفاق العمودية هذه يتم حفر نفق ثانوي آخر داخل العرق المعدني بعد ترك مسافة عمودية قدرها (2) متر تقريبا في الخام لأغراض الإسناد حيث يبدأ العمل من المستوى العلوي باتجاه المستوى السفلي. بعد إنشاء النفق الثانوي واستخراج الخام من خلال الأنفاق العمودية يتم إنشاء جسور أفقية من الخشب مغطاة بالألواح الخشبية على أرضية النفق تربط مع جداري العرق المعدني وعلى طول النفق الثانوي كما في الشكل رقم (60-6) وهي من الأخشاب المتواجدة في الغابات والمزارع القريبة لكي لا تسمح بسقوط أي أحجار الى الأسفل عند المبادرة باستخراج الخام الذي تحتها وبعد ذلك يتم توسيع النفق نحو الأعلى بتكسير الخام بواسطة جك همر وعمل فجوة إنتاج بعرض العرق المعدني ليسقط الخليط المعدني على أرضية النفق الخشبية، ثم يتم انتقاء الخام يدويا ليرمى في النفق العمودي نحو الأسفل وتبقى الفضلات في مكانها الى النهاية، عرض النفق يجب ان لا يتعدى (1.20) متر ويجب ان يكون العرض بمقدار يسمح للعامل للاستغلال فقط. بعد اكتمال الإنتاج في هذه الفجوة يتم الانتقال الى

الأسفل من خلال النفق العمودي Raise وتبدأ المباشرة بحفر نفق ثانوي آخر تحت النفق السابق. بحيث يكون النفق الجديد هو أرضية للنفق القديم العلوي ومع اكتمال حفر النفق الجديد يتم تدعيم أرضية النفق الجديد كما في النفق العلوي مع إقامة دعائم خشبية تربط بين الجسور الخشبية في أرضية النفق الجديد وأرضية النفق القديم التي أصبحت بمثابة السقف للنفق الجديد وهكذا يستمر العمل لحين الانتهاء من استخراج المواد المعدنية الواقعة بين كل مستويات الإنتاج.



شكل رقم (60-6) مخطط لطريقة الاستخراج بالتدعيم باستخدام الأخشاب في العرق الشمالي

العمل يتم على يسار ويمين النفق العمودي Raise للاستفادة منها في اكبر قدر ممكن من التهوية ونقل الإنتاج المعدني.

في بعض الأحيان يتم استخدام طريقة مشابهة وهي ان يترك الخام مع الفضلات والصخور العقيمة في أرضية النفق الثانوي ولحين اكتمال تكسير وحفر كل فجوة منجميه stope بين كل (10) متر يتم إزاحة الأعمدة الخشبية السفلي لتسمح بسقوط جميع ما موجود فوقها في الأنفاق العمودية ثم تزاح الأخشاب باستمرار وهكذا.

(6–15–6) ضخ المياه

نظام ضخ المياه المستخدم في جبل عوام يتم بواسطة تجميع المياه الجوفية المتجمعة في كل نفق من أنفاق الإنتاج وفي كل أربع مستويات (لكل200) متر يسمح لها بالسقوط الى الأسفل عبر أنابيب خاصة بها ويتم تجميعها في خزان خاص لكل أربع مستويات يتم عمله قرب النفق الرئيسي Cross-

cut الموصل نحو النفق العمودي (shaft) ثم تستخدم مضخات كهربائية تضخ مياه الحوض الى سطح الارض عبر النفق العمودي (shaft).

وهكذا بالنسبة للمستويات الدنيا حيث يتم جمع المياه لكل (200) في خزان ويضخ الى الخزان في المستوى الأعلى الذي بدوره يضخ الماء الى السطح حيث تبدأ هذه العملية من ادني مستوى (12) على عمق (600) متر تحت سطح الأرض ليتم ضخ الماء على مراحل كل مرحله ذو ارتفاع (200) متر إلى ان يصل سطح الأرض.

المضخات المستخدمة هي من نوع المضخات الغاطسة (sub-mersible) حيث توجد مضخات لكل حوض واحد في الخدمة والأخرى احتياط جاهزة للعمل عند الحاجة. المياه المتجمعة في النفق الذي يحتوي على خزان ضخ المياه يتم جمعها في خزان ارضي صغير يقع تحت مستوى الحوض الرئيسي لتجميع المياه يحتوي على مضخة صغيرة تعمل بواسطة طوافة كهربائية وأوتوماتيكيا الى الخزان المياه.

(6–15–7) العرق الجنوبي (اغرم– او يسار)

يرتبط وجود هذا العرق المعدني بصورة كلية بنفس عوامل ظهور العرق الشمالي حالة كحال بقية العروق المعدنية الثانوية الاخرى الموجودة في المنطقة من ناحية الجيولوجية والتكتونية، له نفس المكونات المعدنية ماعدا ظهور الانهيدرايت ($CaSo_4$) بدلا من ظهور الكالسايت ($CaCo_3$) الذي يوجد في العرق الشمالي حيث يختفي معدن الكالسايت في العرق الجنوبي وتبقى المعادن الأخرى كما هي.

من مميزات هذا العرق هو امتلاكه سمك كبير حيث يصل في بعض الأماكن إلى حوالي سبعة أمتار تتخلله صخور الشيست (Schist)، الكوارتزايت (Quartzite)، البرايت (Barite) والانهيدرايت(Anhydrite) مع زيادة في تركيز المعادن الأخرى وخصوصاً الكالينا (PbS) (Galena) والفضة (Silver) (Ag) وكذلك يمتاز هذا العرق بوجود تفرعات ثانوية كثيرة وعلى مقياس صغير مع وجود تغيرات في اتجاهه بحدود (30^0)

يعتقد بان ظهور الانهيدرايت في العرق الجنوبي هو بعد المسافة عن مكان ظهور الكرانيت، حيث يظهر الكرانيت بصورة مقحمة (Intrusive) في وسط المنطقة التي يوجد فيها العرق الشمالي، بعد المسافة عن العرق الجنوبي وحسب نظرية تكوين وظهور المعادن حيث تكون الحرارة اقل ويظهر بخار الماء في المراحل المتأخرة من الصهير الناري الذي يؤدي الى ظهور الانهيدرايت، اما الكالسايت فانه يظهر في المراحل المتقدمة عندما تكون الحرارة عالية جدا كما ي الحال في العرق الشمالي عند وجود كتلة الكرانيت.

(6–15–8) الاستخراج ألمنجمي في العرق الجنوبي

طريقة الاستخراج ألمنجمي الرئيسية المستخدمة في العرق الجنوبي(إغرم – اويسار) هي طريقة (Cut and fill) نظرا للتكلفة الاقتصادية القليلة في التطبيق وسرعتها وبساطتها وسهولة التهيئة

للأعمال الاستخراجية. أسلوب تهيئة الأعمال ألمنجميه هي تماما كما في العرق الشمالي حيث تم إنشاء نفقين عموديين (two shaft) واحد للاستخراج ألمنجمي والآخر للأشخاص وكذلك تم حفر أنفاق Cross- Cut من هذه الأنفاق العمودية باتجاه العرق المعدني ثم تم حفر نفق آخر رئيسي يسمى Drift موازي للعرق المعدني بعدها تم حفر أنفاق أخرى Cross- Cut باتجاه العرق المعدني حتى تتقاطع معه عندما يتم حفر إنفاق ثانوية تسمى إنفاق الإنتاج Drive داخل العرق المعدني على مسافات معينة وعلى طول امتداد العرق هذا العمل يتم على كافة مستويات الإنتاج والبالغة (12) مستوى الإنتاج المسافة بين مستوى إنتاج وآخر هي (50) متر كما هو الحال في العرق الجنوبي.

بعد اكتمال هذه الأعمال يبدأ عندئذ بحفر نفق عمودي يسمى (Raise) داخل العرق المعدني من احد أنفاق الإنتاج Drive السفلي وتحفر أنفاق Raise نحو الأعلى باتجاه مستوى الانتاج العلوي وبعد ارتفاع عمودي قدره (10-5) متر تبدأ أعمال فتح نفق ثانوي داخل العرق المعدني باتجاه امتداد العرق وبطول (30) متر من كل جهة على جانبي النفق العمودي (Raise) حيث تكون مساحة قاطع الإنتاج هذا (Block) هي (60 × 50) على اعتبار ان النفق العمودي (Raise) سوف يستمر صعودا نحو المستوى الأعلى بعد ذلك تتم أعمال المباشرة بقلع الخام وتكسيره ونقله خارجا عبر الأنفاق العمودية (Raise) حيث يسقط نحو المستوى الأسفل لتحميله بالعربات مباشرة نحو الأعلى، إما الفجوات والفراغات المتكونة من جراء قلع الخام فانها تملأ بالمواد العقيمة (الفضلات) التي يجب ان توضع في أرضية النفق تستخدم كأرضية جديدة يقف عليها العمال حتى يتسنى لهم حفر وقلع السقف العلوي وهكذا مع تقدم سير العمل باتجاه المستوى العلوي وكذلك تستخدم هذه الفضلات للإسناد والتدعيم لجداري العرق المعدني. لا توجد فضلات كناتج عرضي إثناء عمليات الاستخراج المعدني حيث يتم استغلال كل المكونات المعدنية للعرق المعدني وبعرض (1.5) متر ونقلها الى الخارج، بهذه الحالة يتم جلب الفضلات من خارج المنجم ونقلها عبر الأنفاق العمودية (Raise) لكي تملا بها أرضية النفق الخاص بالإنتاج.

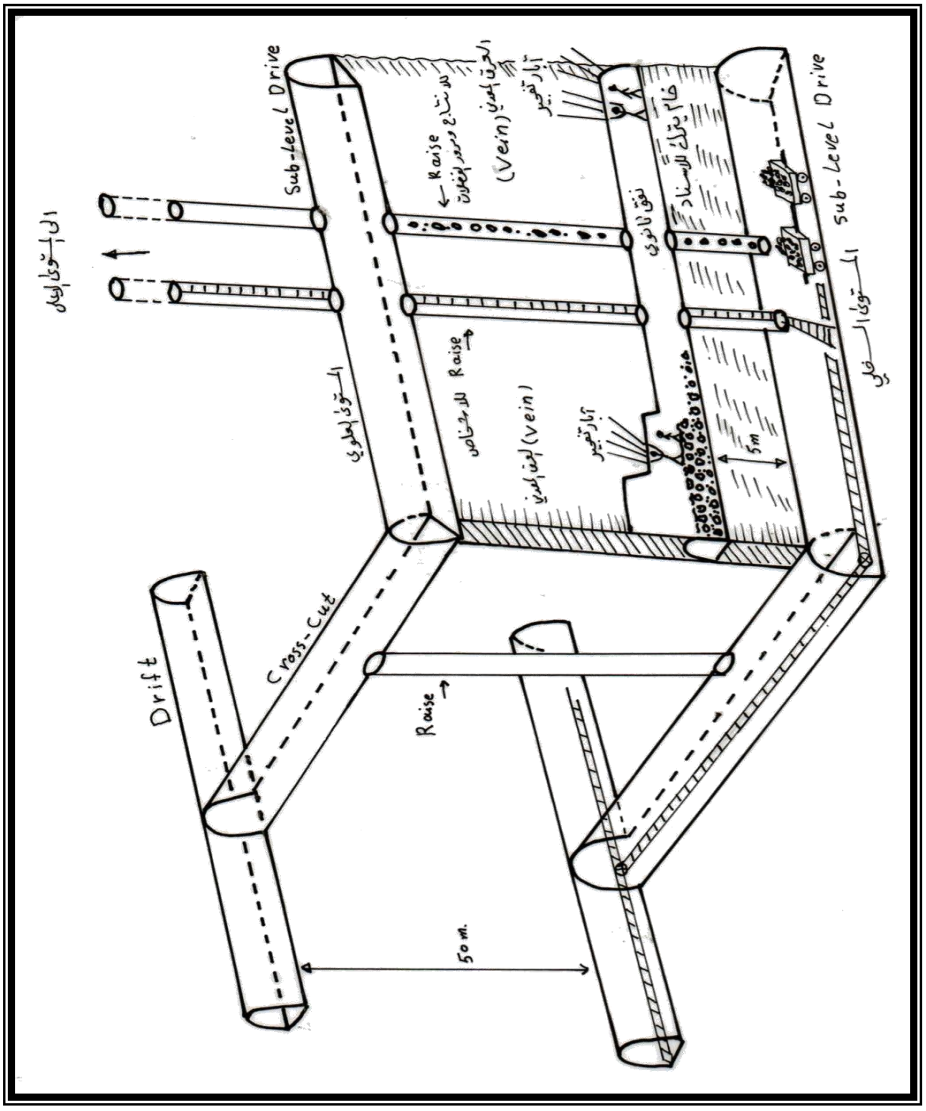
تم حفر نفق عمودي (Shaft) ثالث بعمق (50) متر مبطنة بالاسمنت بقطر (3) متر بجانب البئرين السابقين يتصل هذا النفق بالإنفاق العمودية (Raise) المخصصة لنقل الفضلات إلى الأسفل حيث يملا هذا النفق العمودي (Shaft) بالفضلات لتمر عبر أنفاق Raise نحو الأسفل الى إنفاق الإنتاج لغرض الإسناد ويتم التحكم بمرور هذه الفضلات بواسطة بوابات يدوية وضعت على طول تقاطعات انفاق Raise مع كل المستويات لضمان سلامة نقل الفضلات وعدم تبعثرها. شكل رقم (6-61) مخطط توضيحي لكيفية الاستخراج المعدني باستخدام هذه الطريقة .

(6–15–9) تلوث البيئة Impact of the mine

جميع الأعمال ألمنجميه السابقة ابتداء من أعمال الاستغلال ثم الاستخراج المعدني وبعدها أعمال المعالجة والاستخلاص لا تسبب أي تلوثات بيئية في منطقة جبل عوام سواء كانت تحت سطح الأرض أو على السطح، ما عدا المياه الجوفية المصاحبة للعرق المعدني التي تضخ الى الخارج (الى

سطح الأرض) حيث تحتوي على نسبة ضئيلة من الرصاص، لا توجد ملوثات أخرى مثل البكتريا او الفطريات.

هذه المياه تضخ الى الأعلى على مرتفع عالي بحدود (800) متر فوق مستوى سطح البحر ويجمع في خزان كبير يتم تصفيتها وتمرر عبر فلتر خاص للتنقية، بعدها يتم توزيع هذه المياه الى القرية ألمنجميه ويوزع مجانا حيث يستفاد منه للاستخدامات الصحية وزراعة الحدائق فقط



شكل رقم (6-61) الاستخراج المعدني Cut and Fill في العرق الجنوبي

الغازات الملوثة الوحيدة في الأنفاق هي تلك المصاحبة لعمليات التفجير مثل غازات (Co_2, Co, No_2, No) ويتم السيطرة عليها بواسطة التهوية حيث يتم إزاحتها خارج المنجم، مع ذلك هناك أجهزة خاصة متحسسة لتراكيز هذه الملوثات لمعرفة تراكيزها يتسنى للعمال المباشرة باستخراج المواد الخام بعد الانتهاء من اعمل التفجير.

توجد فضلات تخرج من قسم المعالجة وهي عبارة عن فضلات مطحونة تحتوى على نسب ضئيلة من الزنك والرصاص تم اختيار منطقة محصورة بين جبلين (وادي) لردم وتخزين هذه الفضلات ومنع انتشارها مع مياه الأمطار وتصريف الوديان إلى الأنهار والسواقي القريبة.

(6–15–10) قسم المعالجة Processing

استلام الخام من قبل معمل المعالجة بواسطة شاحنات كبيرة، يتم إفراغ الخام مباشرة في خزان كبير خاص للكسارات الحجرية. الخام المستسلم يكون بحجم (400) تقريبا يحتوي على مكونات التالية كما موضحة في الجدول رقم (5-6).

جدول رقم (5-6)

المكونات المعدنية المستلمة من المنجم جبل عوام

التسلسل	المواد المعدنية	النسبة المئوية للتركيز %
1-	Galena (PbS)	(60) of Pb
2-	$PbCo_3$	(20-30)
3-	$PbSo_4$	(20-30)
4-	Arsenite (As)	غير متوفرة النسبة المئوية
5-	Molybdenite (Mos)	غير متوفرة
6-	$ZnSo_4$	(90)
7-	ZnO	(10)$
8-	Silver (Hg)	(90)

الفضة توجد على شكل حبيبات مغطاة بالرصاص بنسبة حوالي (90%) بالإضافة إلى احتواء المكونات المعدنية على المواد لها قيمة قليلة. مثل(SeO_2, Schist, Dolomite, Pyrite, $BaSo_4$) يتم إمرار هذه المكونات والخليط المعدني على كسارة فكية نوع Jaw Crusher لغرض تكسير الصخور الى حجم (80) مليمتر ثم تمرر على غربال(Sieve) حيث يتم عزل الحبيبات ذات حجم (25) مليمتر لتذهب الى مخزن المواد المعدنية إما الأحجام الكبيرة فتذهب إلى كسارة أخرى قمعية Con Crusher لغرض تكسير الحبيبات الى حجم (25) مليمتر ضمن دائرة تكسير مغلقة.

هذه المكونات المعدنية تمتلك جميعا حجم حبيبي اصغر من(25) مليمتر تمرر على مرحلة الغربلة الرطبة باستخدام المياه حيث تفصل الحبيبات التي هي اقل من (6) مليمتر لتذهب الى مرحلة الطحن (Milling) مباشرة أما الحبيبات الأكبر التي يتراوح حجمها من (25-6) مليمتر يتم إمرارها على سائل ثقيل يسمى (Ferro Silicon+Magnetite) ذات كثافة نوعية قدرها(6.8) حيث يتم فصل الحبيبات الخفيفة والتي تمثل الفضلات (Waste) وتطرد خارجا عن الحبيبات الثقيلة التي تحتوي على مكونات معدنية. الفضلات تمثل تقريبا %(50-40) من الوزن ثم يمرر هذا الخليط على فلتر خاص لغرض فصل السائل الثقيل عن الحبيبات ثم إعادة تركيزه ومعالجته ليكون صالح للاستخدام مرة ثانية.

تمرر الحبيبات المعدنية الثقيلة الحاوية على المعادن الى مرحلة الطحن (Milling) هذه المرحلة تستهلك اكبر قدر من الطاقة والكلفة والوقت وتخرج الحبيبات المعدنية حجم اقل μ(270) ما يكرون وبنسبة (80%) من الخام.

بعد مرحلة الطحن تمرر الحبيبات المعدنية الى مرحلة المعالجة بالخلايا التعويم او التطويف حيث يتم فصل خام الرصاص الكبريتي أولا (PbS) باستخدام المحلول الثقيل نوع (AXK) (Amel Xametal Potassium) بتركيز (60) غرام/طن. بعد هذه المرحلة يستخدم محلول ثقيل اخر (MIBS) (Metal Isobetal Carbonel) بتركيز (30) غرام/طن لغرض ترسيب كبريتات الزنك ($ZnSo_4$) وكذلك ترسيب (Na_2CN) بعد ذلك يتم استخدام كبريتات النحاس ($CuSo_4$) لغرض تنشيط كبريتات الزنك لكي تطفو الى السطح أما السائل الثقيل(AXK) يتم فصله الى الخارج. بعد ذلك يتم فصل كبريتيد الرصاص باستخدام(Na_2S) كما في المعادلة:

$$PbCo_3 + Na_2S \longrightarrow pbS + Na_2Co_3$$

تذهب المواد التي يتم فصلها للتجفيف حيث تخزن في أحواض خاصة منفصلة احدهما للرصاص، والآخر للزنك ثم تمرر على حوض كبير يحتوي على فلتر دوار يقوم بامتصاص الماء عبر الفلتر ويبقى المعدن لوحده ليعزل الى الخارج بنسبة ماء تقدر بحدود (7%) فقط. يمكن فصل الفضة عن المكونات المعدنية الأخرى حيث تبقى مرتبطة مع الرصاص ومع الزنك ويباع الناتج النهائي على هذا الأساس لعدم توفير أفران حرارية للصهر خاصة بذلك الشكل رقم (62-6) يمثل مخطط انسيابي الى معمل المعالجة والاستخلاص في المنجم جبل عوام .

من الإعمال المرافقة لقسم المعالجة هو المختبر حيث يتم اخذ نماذج كل تصف ساعة وعلى مدار ساعات العمل من كل مرحلة من المراحل التالية:

أ- نموذج قبل السائل الثقيل.

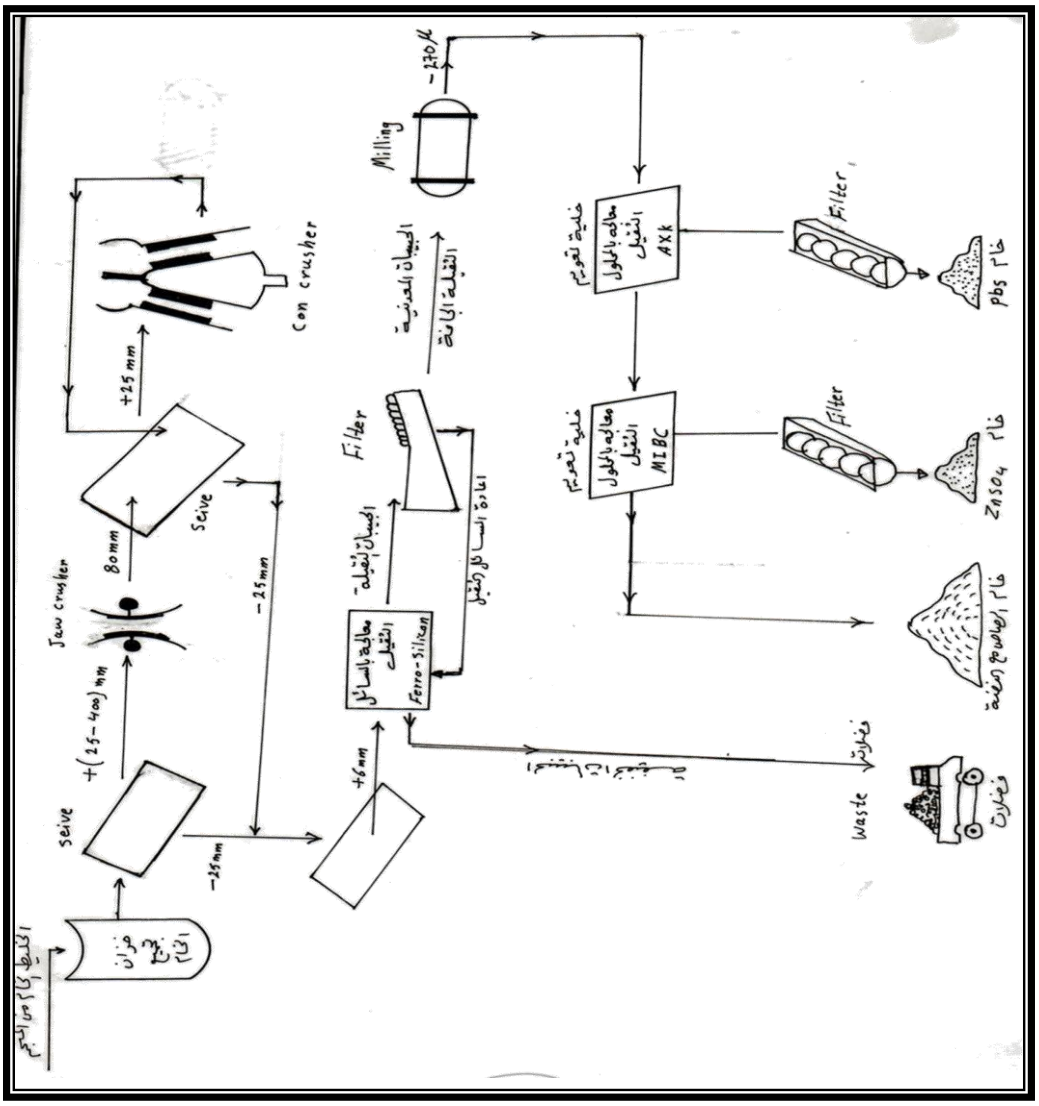
ب- نموذج بعد السائل الثقيل

ج- نموذج قبل الطحن

د- نموذج بعد الطحن

هـ- نموذج من كل مرحلة من مراحل التعويم Flotation

و- نموذج من النتائج النهائي



شكل رقم (6-62) مخطط انسيابي يمثل معمل المعالجة في

كل نوع من النماذج ولكل مرحلة يخلط مع بعضه البعض لليوم الكامل ثم يجفف لطرد الرطوبة، بعدها يطحن الى حوالي (80) مايكرون، ثم يؤخذ منه كمية (200) غرام يتم إذابتها في حامض HNO_3 بعد ذلك تفحص بواسطة جهاز الامتصاص الذري (Atomic Absorbtion) لمعرفة تركيز كل معدن للوقوف بصورة دقيقة على حسن سير عمليات الفصل المعدني وتركيز الخام.

الفصل السابع

المعالجة والاستخلاص المعدني

Mineral processing and dressing

(7-1) المقدمة

يعرف الاستخلاص ألمعدني بأنه مجمل العمليات والمعالجات التي تجري على المواد ألخام المستخرجة والقادمة من المناجم لأغراض إنتاج المعادن أو الفلزات من هذه المواد الخام. إن مشاريع التعدين المنجمية تعتمد بصورة أساسية على العامل الاقتصادي والتي تعبر عن مدى توفر الإمكانيات التقنية والمعرفة العلمية الخاصة بإنتاج واستخلاص المكونات المعدنية من المواد الخام. إن زيادة العوائد المالية وتضخيم الأرباح تعتمد بالدرجة الأساس على الطاقة العالية في قابلية المعدات التقنية المستخدمة في إنتاج المعادن مع زيادة معامل الاستخلاص المعدني في معالجة الخامات المعقدة او ذات درجة التركيز الواطئة.

ألمعادن بمختلف أنواعها سواء كانت فلزية أو لا فلزية تستخدم بمختلف الأنشطة الصناعية والحياتية والبشرية مثال على ذلك الفوسفات يستخدم كأسمدة زراعية، الأطيان والحجر الجيري ومواد البناء الأولية تستخدم في المشاريع الهندسية والمدنية وإنشاء الأبنية والطرق، الماس يستخدم في صنع المجوهرات، الذهب والفضة والنحاس والنيكل يستخدم في صنع الحلي واعمال الزينة وسك العملات، المعادن الحاملة لفلز الألمنيوم تستخدم في صنع السبائك الخاصة في صنع الطائرات والسيارات، ومختلف الأغراض الهندسية، اليورانيوم والفحم الحجري يستخدمان كمواد أولية لإنتاج الوقود.

في بداية نشوء أعمال التعدين المنجمية وعبر تاريخ تطور البشرية تم استغلال ومعالجة الترسبات المعدنية ذات التراكيز العالية والقريبة من سطح الأرض باستخدام وسائل يدوية بدائية اعتماداً على المعرفة المتراكمة وتوارث التجارب والحاجات المتزايدة لمتطلبات الحاجة البشرية. إن نجاح هذه الطرق تحقق بفعل التواجدات الكبيرة للتراكيز العالية للمكونات المعدنية، إن نمو واستمرار مشاريع التعدين الكبيرة، أدت الى استنزاف مثل هذه الترسبات على مر الزمن وبذلك تحول الاستثمار نحو الترسبات الأكثر تعقيدا ذات درجة التراكيز الواطئة، مثل هذه الترسبات تمتلك كمية اكبر من المواد العقيمة غير ذات القيمة الاقتصادية وكميات قليلة من المكونات المعدنية ذات القيمة الاقتصادية التي تستهدفها عمليات الاستخلاص المعدني.

إن تواجد المكونات المعدنية يكون مرتبط مع الصخور العقيمة الحاضنة لها بأشكال وأنواع متعددة وبصيغ معقدة وغير نظامية تعتمد بالدرجة الأساس على الظروف الجيولوجية والترسيبية المعقدة التي أوجدتها، وبذلك تحتاج عمليات استخلاص هذه المكونات المعدنية الى طرق وتقنيات معقدة وأساليب علمية مبتكرة تتعامل مع كل مكون معدني اعتمادا على الخصائص والمميزات التي يمتلكها كل معدن او فلز، كأن يكون الاختلافات في الوزن النوعي، الصفات الكيماوية والفيزيائية لكل

منهما أو الصفات التي تقوم على أساس الحجم الحبيبي للمعادن حيث تقوم على أساس كل منهما تقنية إنتاج واستخلاص هذه الفلزات او المعادن.

معظم المعادن تتواجد في الطبيعة بصيغة مركبات معدنية معقدة تكون الجزء الأساسي من مكونات الصخور الصلبة، هذه الصخور تحتاج الى معالجات وعمليات معينة لغرض فصل هذه المعادن عن مكونات الصخور الأخرى. الصخور الصلبة تحتاج إلى معدات خاصة لغرض تكسيرها وتحويلها الى أجزاء او حبيبات صغيرة بالإضافة إلى الجهد والوقت المستغرق لإتمام هذه العملية، أي انها تحتاج الى استهلاك طاقة، كلف مالية ،وجهود كبيرة لتحقيق هذه الغاية، في حين إن التربة أو الترسبات الغرينية والرمال الساحلية الحاوية على ترسبات معدنية ترتبط مع المكونات الناعمة لهذه الترسبات حيث يكون من السهل تكسيرها وتحرير الحبيبات المعدنية لوحدها وبالتالي تكون عملية معالجتها واستخلاصها من هذه الترسبات سهلة وبسيطة وغير مكلفة.

إن طرق معالجة واستخلاص المكونات المعدنية من الترسبات المعدنية تختلف حسب نوع الصخور او طبيعة تواجد الترسبات المعدنية، لا توجد في الطبيعة ترسبات معدنية، أو مكونات صخرية متشابهة من حيث نوع وطبيعة التواجد الجيولوجي والتركيب المعدني وبذلك لا توجد طرق معالجة واستخلاص معدني متشابهة من الناحية التقنية او المسلك التكنولوجي أو أُسلوب العمل ينطبق على معظم الترسبات المعدنية، لكل تكوين جيولوجي ومكون صخري هناك طريقة استخلاص خاصة بها تعتمد على الخصائص والمميزات التي يمتلكها كل مكون صخري، إضافة الى طبيعة التقنية المتوفرة والقابلة للاستخدام، نوع المعدات والأجهزة المستخدمة التي تعطي مسار تقني للاستخلاص خاص بها، إضافة الى ذلك يجب ان يكون المعدن أو الفلز المنتج ذات مواصفات مطابقة لشروط البيع ويحقق رغبات وحاجات المستهلك وبالتالي تحقيق الهدف المنشود من الاستثمار المعدني وهو تحقيق عوائد مالية تغطي كلف المعالجة المعدنية والإنتاج مع تحقيق هامش ربح مالي مجزي للمستثمر.

(7-2) موقع معمل المعالجة والاستخلاص المعدني

Where should Rock and Ores be processed?

إن موقع المنجم سواء أكان منجماً سطحياً أو تحت سطح الأرض يتم اختياره بناءاً على الظروف الجيولوجية وموقع تواجد الترسبات الخام،وإن موقع الأسواق الخاصة بشراء وتصريف منتجات معامل الاستخلاص من المعادن أو الفلزات أو الصخور الصناعية وإيصالها إلى المستهلكين يتم تعيينها والتعامل معها على ضوء الظروف الجغرافية والعوامل الاقتصادية، وعليه فان اختيار موقع معمل المعالجة والاستخلاص المعدني تحكمه بذلك عدة عوامل هي:-

1- توفر الموقع المناسب لإنشاء مثل هذا المعمل الخاص بمعالجة الخامات.

2- قريب من موقع المنجم حيث يتم استخراج مواد الخام.

3- قربه من مصادر المياه المستخدمة في المعالجة.

4- قربه من مصادر الطاقة الكهربائية قدر الإمكان.

5- سهولة الوصول الى أسواق التصريف والاستهلاك.

6- إمكانية ربط الموقع بشبكة المواصلات البرية ، البحرية أو الجوية.

7- توفر الخبرة والأيدي العاملة القادرة على إدارة ألعمل بكلف إنتاج مناسبة.

8- يجب أن لا يؤثر على البيئة، مع توفر الإمكانية بمعالجة المحاليل الصناعية والفضلات وجعلها صديقة البيئة.

9- وجود القدرة والإمكانية في التخلص من الفضلات المنجمية الكبيرة وردمها في الأماكن المناسبة.

في كثير من الحالات نلحظ وجود مواقع المناجم الصغيرة او المقالع الخاصة بالمشاريع الهندسية المدنية ومواد البناء الأولية قرب مراكز الاستهلاك الصناعي والبشري عندما تكون كلف نقل منتجات هذه المقالع باهظة الثمن إذ تتواجد معامل التكسير والفصل ألحجمي والحبيبي جوار هذه المقالع نظرا للكميات الهائلة والكبيرة التي يتم قلعها ومعالجتها بعدها يتم نقل النواتج المستخلصة الى مراكز الاستخدام والعمل، كذلك نلحظ إن عمليات معالجة واستخلاص ترسبات الذهب مثلاً تجري قرب موقع المنجم او في مكان تواجد هذه الترسبات بسبب قلة تراكيز الذهب في الترسبات الحاوية له والتي تقارب (10) جزء بالمليون (10ppm) وتكون الطاقة التشغيلية لمثل هذا النوع من المناجم (10000) طن/باليوم تقريباً إن هذه الكميات الهائلة من ترسبات الخام من الصعب نقلها بعيدا عن موقع الاستخراج نظراً للكلف الإضافية الناتجة من عمليات النقل فضلاً عن الكميات الكبيرة من فضلات الإنتاج الناتجة من عمليات المعالجة والاستخلاص التي تلفظ خارجاً على شكل نفايات، من اجل الحصول على كمية بسيطة من الذهب.

إن الهدف المهم والرئيسي من كل عملية استخلاص معدني هي ضرورة الاستفادة القصوى من كافة المكونات المعدنية الموجودة في المواد الخام، يجب المحافظة على ضرورة استخلاص وفصل كافة المكونات الفلزية والمعادن الموجودة في الخام فضلا عن المعدن أو الفلز الرئيسي المستهدف في

عمليات المعالجة والاستخلاص وذلك لغرض زيادة الموارد المالية مع تغطية كلف الاستخراج والإنتاج إضافة الى سد النقص في الأسواق المستهلكة لهذا النوع من المواد. مثال على ذلك اذا كانت هناك مواد خام حاملة لمعدن القصدير تبعد مسافة (500) كم عن أسواق الاستهلاك فان طريقة معالجة سوف تقتصر فقط على استخراج معدن القصدير، في حين لو كان موقع معمل المعالجة قريب من المراكز الصناعية المختلفة، فان العملية تحتم تغيير طريقة المعالجة الى استخلاص وفصل مواد ومعادن أخرى التي تكون مصاحبة لتواجدات معدن القصدير الخام وذلك لغرض استخدامها في الصناعات المختلفة مثلا إنتاج الكوارتز والفلدسبار الذي يستخدم في صناعة الزجاج والسيراميك. إن موقع معمل المعالجة والاستخلاص، قربه أو بعده عن مراكز الصناعة وأسواق الاستهلاك هي التي تحدد اتجاه العمليات الإنتاجية ومدى الاستفادة الاقتصادية منها والتي تؤدي الى تغيير أسلوب المعالجة لتستجيب لكل هذه المتطلبات.

مثال تطبيقي رقم (1-7)

ترسبات معدنية حاملة للذهب بدرجة تركيز (10ppm) وكانت طاقة المنجم الاستخراجية هي (10000) طن/يوم. اذا كان هناك معمل معالجة قادر على استخلاص كامل هذه النسبة من الذهب من المواد الخام، احسب كمية الذهب وكمية الفضلات الناتجة باليوم الواحد؟ ثم احسب كلفة النقل كمية الخام الكافية لإنتاج الطن الواحد من الذهب؟

الحل: كل 10000 طن من المواد الخام تحتوي على 100 كغم من الذهب ولغرض إنتاج 100 كغم من الذهب يومياً نحتاج الى استخراج فضلات بكمية 10000 طن/يوم.

نفترض ان المواد الخام يتوجب نقلها الى معمل المعالجة الذي يبعد مسافة 50 كم عن موقع المنجم بشاحنات حمولة (20 طن) لكل رحلة ذهاباً وإيابا من المنجم الى معمل المعالجة هي (100 كم) وان كلفة النقل هي 0.40 $ طن/كم.

نحتاج الى كمية خام قدرها 100000 طن لغرض إنتاج طن واحد من الذهب

كلفة النقل لكل 100000 طن من المواد الخام بواسطة الشاحنات تساوي

$$\$10^6 \times 0.2 = \$\ 0.40 \times \text{كم} \times 100 \times \frac{100000}{20}$$

نلحظ إن كلفة النقل عالية جدا وإنها تمتص كافة الأرباح والمواد المالية المخصصة لتغطية نفقات المشروع وهي عملية غير اقتصادية إذا كان سعر بيع الطن الواحد من الذهب في الأسواق العالمية هو 3×10^6 $. من هذه الدراسة نستنتج بان موقع معمل المعالجة يجب ان يكون في مثل هذه الحالة قرب موقع منجم استخراج المواد الأولية الخام لغرض التخلص من كلف النقل العالية.

(7-3) الخصائص المعدنية للترسبات

Mineralogical properties of the Deposits

إن عمليات المعالجة والاستخلاص المعدني تتعامل بصورة أساسية في فصل المعادن أو الفلزات واحدة عن الأخرى وكذلك عن المواد الغثة والعقيمة وهي في الحالة الصلبة، ولذلك لابد من توفر المعرفة والخبرة العلمية الكافية في الإلمام بالمميزات والخصائص المعدنية، الفيزيائية والكيميائية لكافة أنواع المعادن، وحتى تنجح عمليات الفصل المعدني يجب معاملة كل معدن حسب نوع هذه الخصائص والمميزات ومعرفة مدى استجابتها لنوع طريقة الفصل او الاستخلاص المعدني المتبعة. ان اغلب عمليات الفصل المعدني تعتمد على نسبة التراكيز المعدنية،ألمتمثلة بالحجم الحبيبي وكذلك طبيعة تواجدها وارتباطها مع المكونات الصخرية الأخرى، في حين إن التركيب الكيمياوي للمعادن والفلزات لا تد دليلاً على نجاح عمليات الفصل الكيمياوي، لعدم إمكانية التنبؤ بتحقيق معامل استخلاص عالي مع وجود كلف اقتصادية عالية لهذه المعالجات. لذلك لا توجد طريقة معالجة او استخلاص معدني قياسية ممكن أن تكون صالحة للاستخدام في فصل واستخلاص معدن معين أو عدة أنواع من المعادن في ترسبات معدنية متعددة ذات تكوينات جيولوجية مختلفة. كل معدن يمتلك نوعاً من التواجد في الترسبات المعدنية يختلف عن تواجد المعدن نفسه في ترسبات معدنية أُخرى بسبب نوع وطبيعة نشوء هذه الترسبات وطبيعة الترابط مع المكونات الصخرية المصاحبة وامتلاكها مميزات وخصائص تختلف تماماً عن الترسبات المعدنية الأخرى، ولذلك لابد ان يُعامل كل مكون معدني او كل من الترسبات المعدنية خلال عملية الاستخلاص المعدني معاملة خاصة ووحيدة تتميز به وحسب استجابة هذه الترسبات لعمليات الفصل والاستخلاص المعدني.

كان_ في السنوات السابقة_ يتم تحديد المكونات والخصائص المعدنية للترسبات في المختبر باستخدام شرائح صخرية رقيقة (Thin Section) التي يتم فحص وتعيين المكونات المعدنية باستخدام المجهر، وفي الوقت الحاضر تم استخدام أجهزة متخصصة وطرق حديثة لتعيين المكونات المعدنية والفلزية للصخور مباشرة مثال على ذلك أجهزة الامتصاص الذري Atomic Absorption Spectroscopy التي تحدد محتوى العناصر في الصخور والمعادن وكذلك جهاز التصوير الطيفي spectrophotometry وأجهزة الفحص بالأشعة السينية الحائدة X-Ray Diffraction و الأشعة السينية المنكسرة X-Ray refraction التي تحدد المحتوى المعدني في الصخور واستخدام مجهر الماسح الالكتروني Scanning electron microscopy لنفس الغرض فضلاً عن أجهزة قياس المساحة السطحية Surface Area التي تعين الحجم الحبيبي للمعادن.

الخصائص المعدنية التي تحتاج الى دراسة وتعيين لأغراض عمليات المعالجة. الفصل المعدني هي:-

1- تعيين نوع المكونات المعدنية في الصخور Mineral Identification.

2- تعيين نسبة المكونات المعدنية Mineral Proportions.

3- تعيين الحجم الحبيبي وحجم الجزيئات المعدنية وطبيعة انتشارها وتوزيعها Particles and Size distribution.

(7-4) النمذجة لإغراض الاستخلاص المعدني Sampling for Mineral processing

إن المعلومات الضرورية الواجب توفرها حول مميزات وخصائص المكونات المعدنية للترسبات المعدنية تظهر الحاجة إليها أثناء فترة الدراسات والتخطيط في التهيئة لعمليات المعالجة والاستخلاص المعدني في ثلاث مراحل من مراحل الاستثمار ألمنجمي والمعدني التي يجب خلالها استحصال نماذج من الترسبات المعدنية لكل مرحلة من هذه المراحل وهي:-

1-**المرحلة الاولى:-** قبل البدء بأعمال الاستخراج ألمنجمي تظهر الحاجة الى معرفة خصائص ومميزات المواد التي سيتم استخراجها من المنجم لغرض التخطيط لمرحلة الاستخراج ألمنجمي وإبداء التوصية حول استخدام طريقة الاستخراج ألمنجمي الملائمة.

2-**المرحلة الثانية:-** خلال مرحلة الاستخراج ألمنجمي تظهر الحاجة الى معرفة صفات وطبيعة المواد المعدنية التي سوف ترسل ويتم تغذيتها الى معمل المعالجة لغرض وضع الدراسة والتخطيط لطريقة وعمليات الاستخلاص المفضلة.

3-**المرحلة الثالثة:-** النموذج الثالث تظهر الحاجة إليه خلال عمليات المعالجة والاستخلاص المعدني لغرض معرفة نوع المعادن التي يتم استخلاصها وبكفاءة عالية ومعرفة نسبة الاستخلاص المعدني.

ان التوصية ونتائج الدراسة المستحصلة من هذه النماذج وكذلك فحص العمليات التجريبية خلال المراحل الثلاثة هذه تعتمد بالدرجة الأساس على النموذج المستحصل في كل مرحلة وعلى هذا الأساس يجب الاهتمام كثيراً بطريقة وأسلوب جمع النماذج وان يكون النموذج المستحصل ممثلاً لكل حجم الترسبات المعدنية Representative Sample.

ألنتائج المستحصلة من الدراسة التجريبية في هذه المراحل الثلاث تعتمد في كافة العمليات التشغيلية التي تجرى على الترسبات المعدنية، وبذلك يجب ان تتطابق هذه النتائج مع كافة النتائج والقراءات المستقبلية فيما لو تم اتخاذ القرار في معالجة واستخلاص هذه الترسبات كاملاً.

يجب اختيار النموذج من ناحية الحجم والمكان اختياراً جيداً وبكمية كافية وان لا يتم انتقاء نوع ومكان النموذج انتقاءاً مسبقاً من أماكن ذات نوعية جيدة أو أماكن رديئة بل يجب أن يكون النموذج ممثلا وشاملاً لكافة حجم الترسبات بحيث يحمل الخصائص ومميزات المعدنية الرئيسية نفسها، إن ألحصول على نموذج ممثل ليس بالأمر السهل،إذ إن هناك صعوبات في إمكانية جمع نموذج ممثل تتمثل في الحالات والأسباب التالية:-

1- وجود تدرج حجمي كبير في المعادن المكونة للترسبات المعدنية.
2- الاختلافات الواسعة في شكل الحبيبات المعدنية.
3- وجود اختلافات في الكثافة والوزن النوعي بين الجزيئات.
4- عدم تجانس توزيع المكونات المعدنية في الترسبات.

5- وجود تشققات وانقسامات في الأشكال البلورية للمعادن غير متجانسة.

مثال على ذلك الأحجام الحبيبية في الرمال الساحلية تتراوح بين (1) ملم إلى (1) مايكرون وتمتلك إشكالا مختلفة، وكثافة الجزيئات تتراوح بين (6200-7000) كغم/م^3 وهذا ينطبق على مختلف الترسبات المعدنية، هذه الاختلافات والمتغايرات تؤدي الى حدوث خلل او قصور في عمليات المعالجة والفصل المعدني وتؤثر كثيرا على معامل الاستخلاص Recovery Factor لذلك لا بد من الاعتناء وإعطاء أهمية كبيرة لاختبار وجمع النماذج الممثلة التي تجرى عليها فحوصات أعمال الاستخراج والتقييم والاستخلاص المعدني.

(7-5) مراحل معالجة واستخلاص المعادن Stages of Mineral Processing

ثلاث مراحل يجب أن تمر بها عمليات المعالجة والاستخلاص المعدني هي:-

1- تحرير المعدن من الصخور المحيطة به Mineral liberation

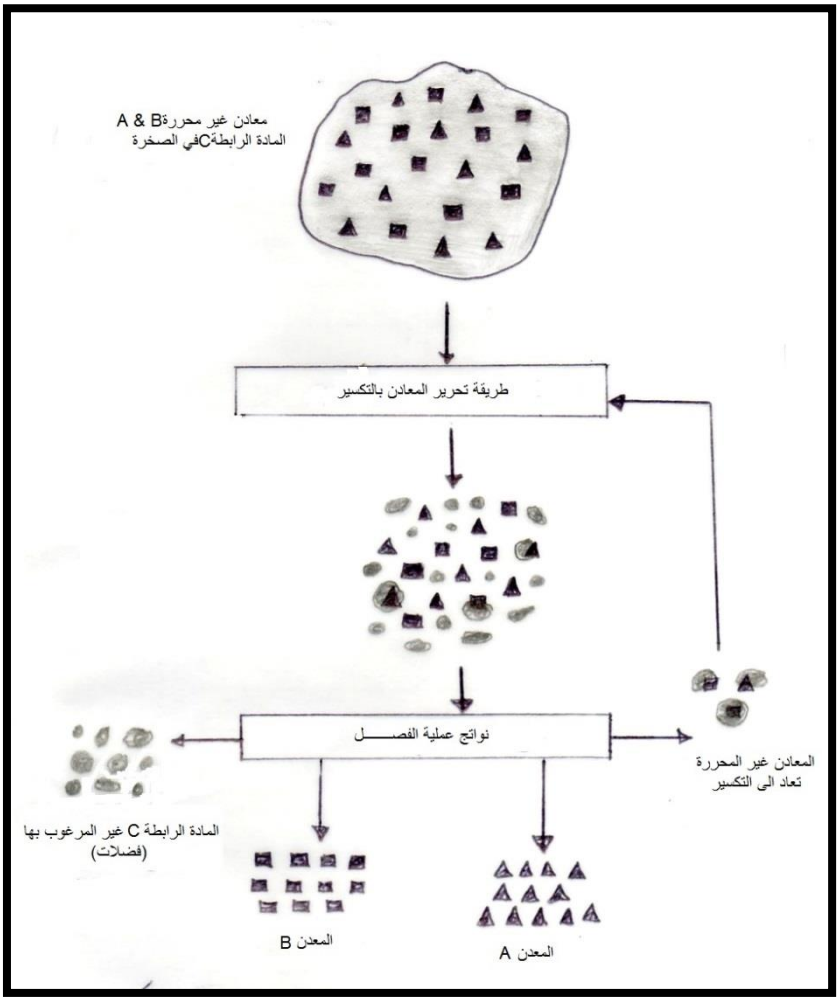
إن ألهدف من هذه المرحلة هي تحرير أو فك ارتباط ألمعدن ألمطلوب وفصله من الصخور والمواد الغثة المرتبطة أو المحيطة به. تتم هذه العملية بإجراء أعمال تكسير الصخرة الى أجزاء صغيرة الحجم بحيث تصل الى اقل من الحجم الحبيبي للمعدن المطلوب، هذه المرحلة يتم الحصول منها على حجم حبيبي لمعدن واحد او خليط من عدة معادن اعتماداً على المكونات المعدنية الموجودة في الصخور.

2- الفصل المعدني Mineral Separation

تتم أعمال الفصل المعدني للنواتج المستحصلة من المرحلة الأولى الى عدة مجاميع كل مجموعة تحتوي على نوع واحد من الحجم الحبيبي الذي يختص بأحد أنواع المعادن، تتم هذه العملية بواسطة إجراء عمليات فصل ومعالجة بإحدى الطرق، الميكانيكية، الكيميائية او الفيزيائية على المكونات الصخرية الخارجة من المرحلة الأولى.

3- التخلص من الإنتاج والفضلات Product disposal

يتم تصريف نواتج عمليات المعالجة والاستخلاص بواسطة بيعها إلى المستهلكين وتسويقها الى الأسواق العالمية أما الفضلات يجب التخلص منها عن طريق إيجاد أماكن مناسبة للردم والدفن لضمان عدم تثيرها على البيئة أما بعض النواتج غير المكتملة المعالجة يجب إعادتها Recycling إلى مراحل المعالجة الأولية لغرض إتمام أعمال الفصل المعدني عليها بنسب عالية. الشكل رقم (7-1) مخطط يوضح ابسط أعمال الفصل المعدني.



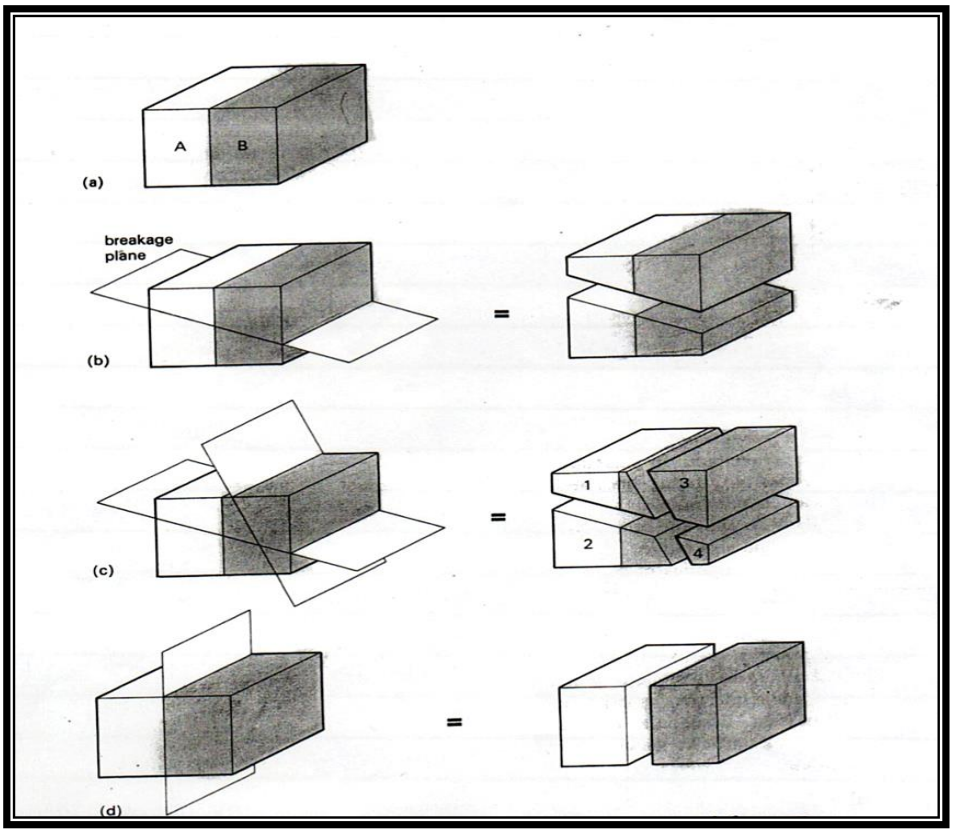
شكل رقم (7-1) مخطط يوضح عمل فصل المعادن بالتكسير

(7–5–1) تحرير المعادن Mineral Liberation

معظم ألمعادن تتواجد بصورة صلبة على هيئة تجمعات معدنية معقدة مع المكونات الصخرية الأخرى، إن عملية تحرير وفك ارتباط هذه المعادن مع المواد الغثة والعقيمة في الصخور عملية صعبة تتطلب وجود تقنية فنية مناسبة بالإضافة الى توفر كميات كبيرة من الطاقة لانجاز هذه الأعمال. معظم عمليات فك الارتباط وفصل المعادن تنجز بواسطة عمليات التكسير للصخور وتحويلها الى أجزاء صغيرة، في حالات أخرى تتواجد المعادن على شكل معادن حرة أو على شكل حبيبات منفصلة عن بعضها البعض.

نلحظ في الشكل رقم (7-2–a) يمثل جزيئه صخرة معينة حاملة لنوعين من المعادن هما A و B ومن خلال عمليات التكسير للصخرة نلاحظ إذا تم كسر هذه الجريئة على طول المستوي المبين في الشكل (7-2–b) فسوف نحصل على جزيئتين صغيرتين من الصخرة كل منها تحتوي على المعدنين A و B والتي لا تزال غير منفصلة عن بعضها البعض، أما إذا تم كسر الجريئة في الشكل (a) الى عدة أجزاء على طول المستويات المبينة في الشكل (7-2–c) فسوف نحصل على أربع أقسام من الجزيئات اثنان منها يملان المعدن B الذي تم تحريره وفك ارتباطه من المعدن A والقسمين الآ

خرين لا يزال الارتباط موجود بين ما تبقى من المعدن B والمعدن A.



شكل رقم (2-7) سطوح الانكسار في الصخور

عمليات تكسير الصخور إلى أجزاء صغيرة لا يمكن ان تغطي نتائج ايجابية عالية بسبب وجود معادن لا تزال مرتبطة مع المواد العقيمة، ممكن في حالات كثيرة إجراء عملية عزل وتركيز للمعادن على ضوء الحجم الحبيبي لها ويتم عزلها بواسطة منخل مناسب للأحجام الحبيبية مع ذلك لا تزال توجد أحجام حبيبية تمر وتعبر من خلال فتحات المنخل وتحتوي على معادن لا تزال مرتبطة مع المواد العقيمة.

يجب فحص كفاءة عمليات تكسير الصخور مع كفاءة عمليات العزل على ضوء الحجم الحبيبي أو المساحة السطحية للحبيبات المعدنية لمعرفة كفاءة عمليات الاستخلاص وتقدير نسبة الاستخلاص المعدني.

(7-5-2) تكسير الصخور Breaking Rocks

هناك استخدامات عديدة ومختلفة للصخور بعضها يستخدم لإكساء الطرق وسكك الحديد والبعض الآخر يستخدم في خليط الخرسانة الكونكريتية، البعض الآخر لاستخراج المعادن. هذه الصخور يجب تكسيرها الى أجزاء صغيرة بحيث تتلائم مع الهدف من استخدامها.

إن أول مرحلة من مراحل معالجة الترسبات المعدنية هي إجراء عمليات تكسير لهذه الترسبات الصخرية لغرض فك ارتباط المعادن وتحريرها عن المعادن الغثة والمكونات الصخرية العقيمة الأخرى الموجودة في الصخور التي تربط بين هذه المعادن. من الصعب جدا والنادر انجاز كامل لتحرير

المعادن الموجودة في الصخور بعضها عن البعض الآخر إلا في حالة إجراء أعمال تكسير وطحن الصخور الى مواد ناعمة جدا لكي يتم الوصول الى الحجم الحبيبي للمعادن. على هذا الأساس يجب تصميم كيفية انجاز مرحلة تحرير المعادن وأسلوب المعالجة والتقنية التي يجب ان تستخدم لانجاز كفاءة تحرير المعادن بدرجة عالية.

ألمعادن في الصخور الناعمة أو الهشة مثل التربة لكل أنواعها والأطيان تكون مترابطة مع بعضها بواسطة جزيئات الطين الناعمة او من الممكن لهذه المعادن ان تترسب مع الأملاح مثل ملح كلوريد الصوديوم(NaCl). إن تواجد المكونات المعدنية في مثل هذه المواد من الممكن تحريرها وفك ارتباط المعادن من الجزيئات او المواد الغثة بواسطة إجراء عمليات الغسل باستخدام المياه والتخلص من المواد الرابطة وفصل الجزيئات المعدنية عنها بكفاءة فصل عالية. من الممكن في بعض الحالات عندما تتواجد المكونات المعدنية في الصخور الصلدة أحيانا يتم تكسير هذه الصخور بإحدى الطرق الحرارية او الكيميائية، مثال على ذلك في الصخور الجيرية أو الكربونية الحاوية على مكونات معدنية، حيث يتم تعريض هذه الصخور الى درجة حرارة عالية لكي تتحلل الى اكاسيد مع تحرير غاز ثاني اوكسيد الكربون. إن تحليل وتكسير الصخور بهذه الطريقة يسمح بتحرير وفك ارتباط المعادن عن المواد الغثة بدون اللجوء الى إجراء عمليات تكسير ميكانيكية للجزيئات المعدنية. في حالات كثيرة في الصخور الصلدة الحاملة للمعادن يتم تحرير الجزيئات المعدنية بواسطة إجراء عمليات تكسير بسيطة ميكانيكية والتي تؤدي الى تكسير الصخور على طول مستويات كسر عشوائية (شكل 3-7)ألتي تؤدي إلى تصغير حجم الجزيئات المعدنية الى أحجام اصغر من حجم تواجدها الطبيعي. إن تكسير الصخور الى اجتزاء ناعمة الحجوم اقل من الحجم الطبيعي للمعادن تسمى عملية السحق او السحن (Comminuation). هذا نوع من طرق التكسير يؤدي الى استهلاك طاقة كبيرة لانجاز العمل والذي يؤدي الى رفع كلف إنتاج المعادن. إن انجاز أعمال تحرير المعادن من الصخور عملية معقدة بسبب احتواء الصخور على عدد مختلف من المعادن كل منها يمتلك خصائص ومميزات خاصة به، تواجد المعادن مع بعضها البعض تمتاز بقوة تحمل مختلفة بأعمال التكسير وبالتالي من الصعب انجاز طريقة تحرير المعادن بكفاءة عالية.

(7-5-3) سحق الصخور Comminuation

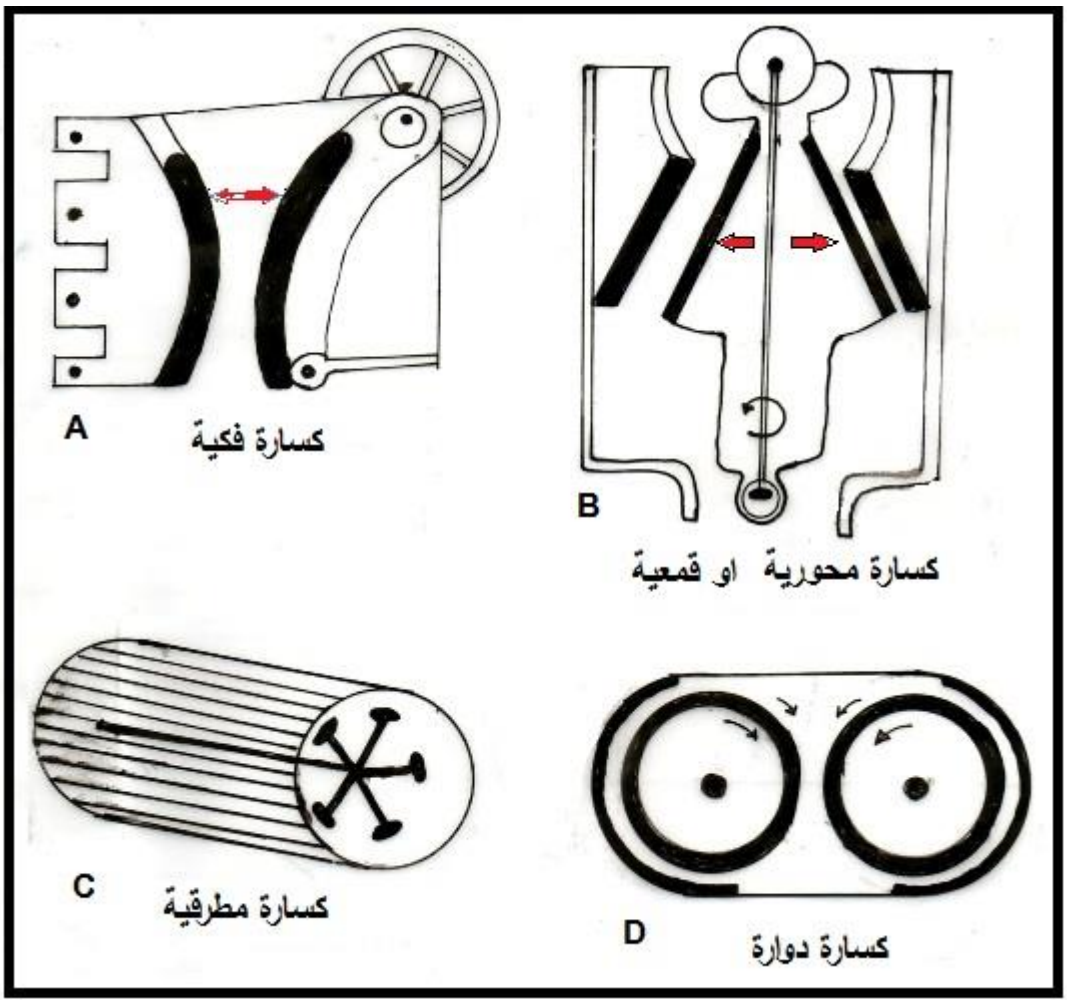
إن عملية سحق الصخور في مرحلة المعالجة والاستخلاص المعدني تعني تكسير الأجزاء أو القطع الصخرية من الحجم (1) او (2) متر الى أجزاء ذات حجوم تتراوح بين (1) او (2) سم، هذه العملية تسمى ايضا عملية تكسير الصخور (Crushing). ألغرض من هذه العملية هي تحرير الجزيئات والحبيبات المعدنية من المواد الرابطة لها وكذلك تعريض هذه الحبيبات أو السطوح المعدنية العائدة الى المعادن المتواجدة في الصخور لكي تتفاعل مع المواد الكيماوية بهدف فصلها وعزلها من الصخور أو المواد الرابطة لها.

إن كميات الطاقة المستهلكة خلال هذه المرحلة كبيرة جدا تصل نسبتها في كلف إنتاج المعادن الى حوالي 50% من مجموع الاستخلاص المعدني.

عند تصميم معمل المعالجة والاستخلاص المعدني، يكون الهدف الرئيسي هو تحرير المعادن من المواد الصخرية الحاضنة لها وبذلك تتضمن المرحلة الأولى عملية تكسير الكتل الصخرية الكبيرة الى أجزاء صغيرة، ثم تليها مرحلة طحن هذه الأجزاء الصغيرة الى جزيئات ناعمة لضمان تحرير الجزيئات المعدنية من المواد الرابطة لها، في بعض الحالات مثلاً عند إنتاج خليط من الجزيئات الصخرية في حالة استخدامها لرصف الطرق او سكك الحديد يكون الهدف من عمليات التكسير هو إنتاج جزيئات صخرية كبيرة وبكميات كبيرة وأعمال التكسير هذه تتم ضمن مرحلة واحدة فقط أما المواد الناعمة فتكون ناتج عرضي لا يستفاد منها اما في حالة الصناعات الخراسانية يكون الهدف من تعميم مرحلة تكسير الصخور هو إنتاج مواد ناعمة بكميات كبيرة بأقل كلفة ممكنة لتلبية متطلبات هذه الصناعة، أما الأحجام الخشنة تعتبر ناتج عرضي لا يستفاد منها ويجب ان يعاد طحنها الى مواد ناعمة في مرحلة ثانية.

(6-7) مكائن ومعدات تكسير الصخور Crushing Machines

يتم أثناء عمليات الاستخراج ألمنجمي، قلع وإزالة الترسبات المعدنية من مكانها بأشكال وحجوم مختلفة تعتمد على أسلوب العمل، المعدات، التقنيات المستخدمة في إجراء أعمال الاستخراج ألمنجمي. إن أحجام الكتل الصخرية التي ترسل الى مكائن التكسير في المراحل الأولى تتراوح أحجامها تقريباً من متر واحد الى عدة سنتمترات، معدل حجم الجزيئات الصخرية الناتجة من هذه المرحلة تتراوح تقريبا من (10-20) ملم. إن كمية المعادن التي يتم تحريرها من هذه الحجوم تكون قليلة جدا وبنسب ضئيلة لا تفي بمتطلبات الإنتاج، لذلك تظهر الحاجة الى اللجوء الى إجراء واعتماد مرحلة ثانية من أعمال تكسير الجزيئات الصخرية الى حجوم اصغر من الحجوم المنتجة في المرحلة الأولى. ان مرحلة تكسير الصخور من الأحجام الكبيرة جدا (1) متر^3 الى أجزاء صغيرة عادة ما تتم على عدة مراحل وباستخدام معدات وكسارات حجر خاصة ومناسبة للعمل في كل مرحلة، ان مرحلة تكسير الكتل الصخرية الأولى الذي يسمى Primary Crushing يتم استخدام كسارات مصممة ومتخصصة في تكسير الأحجار الكبيرة تسمى الكسارة الفكية (Jaw Crusher) وكذلك الكسارة المحورية (Gyratory Crusher) شكل رقم (3-7). هذا النوع من الكسارات تكون حركتها بطيئة ولها طاقة أداء بقوة ضغط عالية للتكسير بأقل ما يمكن من الطاقة الاستهلاكية اللازمة لتشغيلها حيث تستهلك طاقة كهربائية تتراوح بين Kwh/Ton (0.2 - 2.0). ألمرحلة الثانية من أعمال تكسير الصخور Secondary Crushing تتضمن استخدام معدات تكسير خاصة تقوم بتكسير الأجزاء الصخرية وتصغير حجمها من حجم (100) ملم إلى حجم (10) ملم مثل هذا النوع من الكسارات يسمى Cone Crusher الكسارة القمعية وكذلك الكسارة المطرقية شكل (3-7).



شكل رقم (3-7) بعض أنواع الكسارات

إن عمليات تكسير الصخور تعتبر من العمليات الصعبة والمعقدة حيث تدخل فيها متغيرات كثيرة حسب نوع وخصائص الخامات المستخدمة لذلك يجب استخدام عدة أنواع من الكسارات تلائم الصخور الداخلة الى الكسارات وذلك لان سوء اختيار نوع المعدة أو الكسارة يؤثر كثيرا على نواتج عملية الطحن بالإضافة الى تأثيره على كفاءة الماكنة وقد يؤدي إلى تلفها وتأكلها بصورة سريعة.

عند تصميم الخطوط الإنتاجية لعمليات تكسير الصخور لمادة ما يتم وضع منخل (مصنف) مناسب لغرض فصل الأحجام الحبيبية الناعمة الخارجة من عمليات تكسير الصخور في المرحلة الأولى وجمعها بعيدا وعدم السماح لهذه الحجوم بإعادة تكسيرها مرة ثانية وذلك لغرض تقليل الكميات المجهزة الى المرحلة الأولى وتقليل الكلف وتجنب إعادة طحن المواد مرة ثانية، بالإضافة الى ذلك وأثناء أعمال التصميم يتم عمل تصميم، يسمى بالدائرة المغلقة حيث يوضع منخل مناسب بعد أعمال التكسير في المرحلة الثانية لغرض فصل الأحجام الكبيرة وإعادتها ثانيةً الى الكسارة ليعاد طحنها مرة ثانية وإيصالها الى الحجم الحبيبي المطلوب.

(7-7) مكائن ومعدات طحن الصخور Grinding Machines

مرحلة طحن الصخور تتضمن عمليات طحن الأحجام الحبيبية التي تتراوح أحجامها من (10-20) ملم وتحويلها الى اصغر حجم حبيبي ممكن يتم به تحرير المعادن من المواد المرتبطة بها

وإيصالها الى حجم (**0.1**) ملم تقريباً، مع العلم لا توجد هناك إمكانية انجاز كفاءة تحرير المعادن بصورة كاملة تماما.

إن عمليات الطحن تحتاج او تستهلك طاقة كهربائية عالية وكلما كان الحجم الحبيبي المطلوب ناعم كلما زادت كميات الطاقة المستهلكة. لغرض انجاز طحن جزيئات الصخور من حجم (1) ملم الى حجم (0.1) ملم تحتاج هذه العملية الى استهلاك طاقة قدرها 0.3 kwh/Ton بينما نحتاج الى طاقة كهربائية قدرها 82 kwh/Ton لغرض انتاج وطحن الحجم الحبيبي من حجم (0.01) ملم وتحويله الى حجم (0.001) ملم. تستخدم في اعمال طحن الصخور طواحين معدنية أو حديدية اسطوانية الشكل ذات حركة دورانية وتكون على أنواع حسب نوع الصخور أو المعادن المستخدمة في الطحن وهي كما يلي:-

1- طاحونة القضبان Rod Mills

عبارة عن اسطوانة حديدية تدور حول محورها بسرعة بطيئة نوعا ما تحتوي في داخلها على قضبان من الحديد الصلب حرة الحركة ذات طول اقل بقليل من طول الاسطوانة وتتحرك داخل الاسطوانة الدوارة بحرية يتراوح طول الاسطوانة من (1.5-2.0) متر وقطرها يتراوح من (1-1.5) متر، عادة تعمل هذه الطواحين بشكل دائرة مفتوحة يتم فيها استخدام اسلوب الطحن الرطب لكفاءة وسرعة الاداء.

2- طاحونة الكرات الحديدية Ball Mills

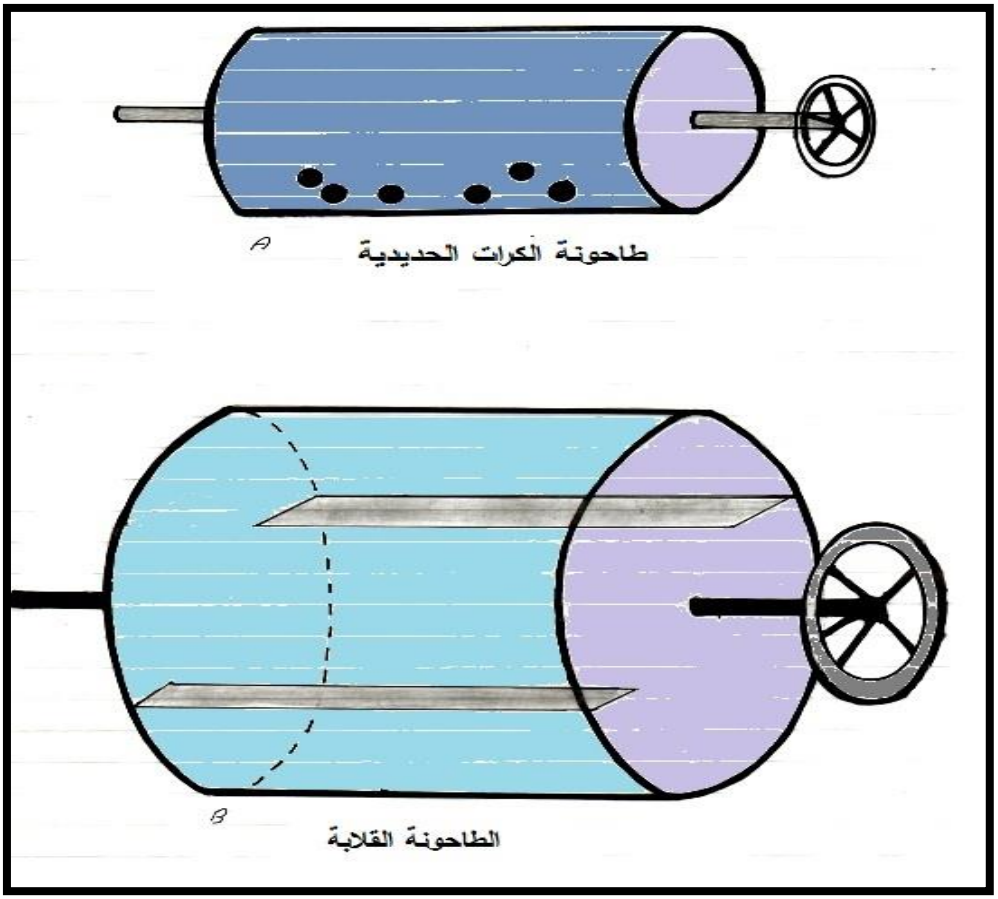
عبارة عن اسطوانة حديدية تدور حول محورها بسرعة بطيئة نسبياً كما في الحال في طاحونة القضبان تحتوي في داخلها على كرات حديدية مصنوعة من الفولاذ الصلب وهي التي تقوم بعمليات الطحن تدور في داخل اسطوانة بصورة حرة أثناء الحركة الدورانية للاسطوانة. هذ النوع من الطواحين شائع الاستخدام وبشكل واسع في عمليات التعدين وعمليات تحرير المعادن وغالبا ما تتم العمليات بالحالة الجافة أو الرطبة وتعمل بشكل دائرة مغلقة حيث تعاد الحجوم الكبيرة مرة ثانية الى الطاحونة لإتمام أعمال تحويلها إلى الحجم الحبيبي المطلوب. كما في الشكل (4-7-a).

3- الطاحونة القلابة Tumbling Mills

هي عبارة عن اسطوانة حديدية دوارة ذات حجم كبير جدا يصل الى حوالي (500) م^3 في السعة تعمل بنفس أسلوب عمل الطواحين السابقة ما عدا إنها لا تحتوي في دخلها أي مواد حديدية الطحن حيث تتم عمليات الطحن تحت تأثير تصادم حبيبات الخام بعضها مع البعض الآخر وتسمى أحياناً بالطاحونة الذاتية. أثناء الحركة الدورانية للاسطوانة تتم عملية رفع جزيئات الصخور بواسطة رفوف حديدية توضع على الجدار الداخلي للاسطوانة مهمتها رفع الخام إلى الأعلى لتسقط سقوط حر نحو قعر الاسطوانة باتجاه الجزيئات الصخرية ويوضع، أحيانا كتل صخرية من الخام نفسه تساعد

على انجاز عمليات الطحن، هذه الحركة المستمرة تتسبب في طحن الجزيئات الصخرية الى حبيبات ناعمة. شكل (5-7–B).

بما إن مرحلة طحن الجزيئات الصخرية الى حبيبات ناعمة تستهلك طاقة عالية وكبيرة تؤدي الى رفع الكلفة الاقتصادية



شكل رقم (4-7) بعض انواع الطواحين

للمعالجة المعدنية، لذلك من المهم فصل وإخراج الحبيبات المطحونة من دائرة مرحلة الطحن التي تصل الى حجم الطحن الحبيبي المقرر حسب التصميم مباشرة وذلك لتجنب عملية طحنها الى حجوم اصغر من الحجم الحبيبي المطلوب وتقليص الكلف الاقتصادية والاستهلاك في الطاقة، بالإضافة الى ان المواد الناعمة تؤدي إلى أن تكون مواد لزجة تلتصق بجدار الطاحونة الداخلي وبالتالي يصعب معالجتها وإخراجها من دائرة الطحن. الجزيئات الصخرية ذات الحجوم الحبيبية الكبيرة يجب ان تعاد ثانية الى دائرة الطحن لغرض استكمال أعمال طحنها الى الحجم الحبيبي المطلوب في دائرة مغلقة وعدم السماح لها بالمرور نحو المراحل اللاحقة.

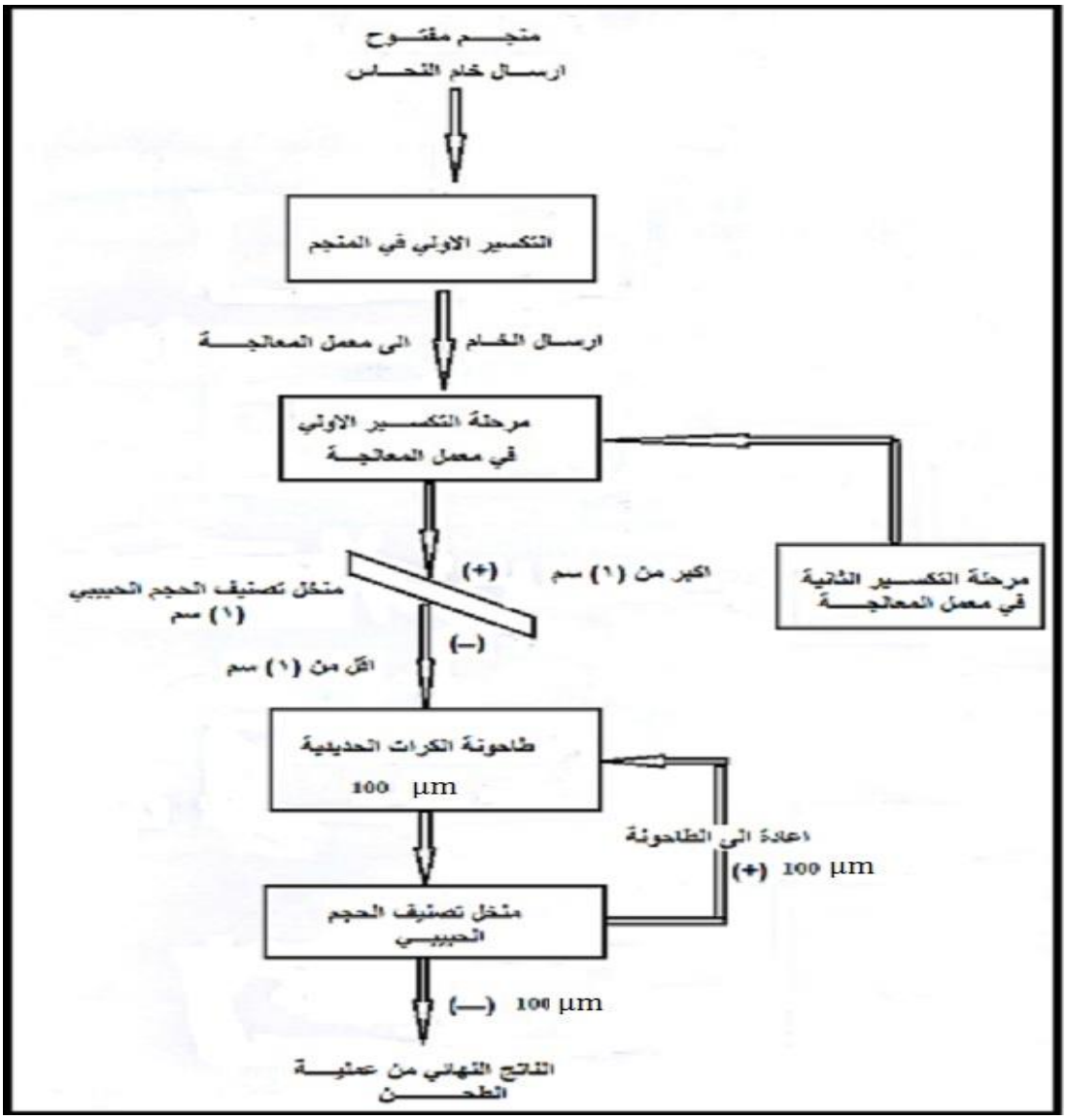
مثال (1-7)

في إحدى مشاريع التعدين المنجمية يتم قلع واستخراج خام النحاس بطريقة المنجم المفتوح. يتم تكسير الخام تكسير أولي في نفس موقع المنجم. نواتج عملية التكسير ترسل الى معمل المعالجة. يخضع الخام الى مرحلة تكسير ابتدائي Primary Crushing ثم الى مرحلة تكسير ثانوي

Secondary Crushing، بعدها ترسل نواتج عملية التكسير الثانوي الى مرحلة الطحن الأولي والتي يجب ان تطحن حبيبات الخام الى حجم (1) سم. ترسل نواتج عملية الطحن الأولي الى مرحلة الطحن الثانوي باستخدام طاحونة الكرات الحديدية لغرض الوصول الى حجم حبيبي um (100) مايكروملیمتر.

ارسم مخطط هذه العملية ابتداءاً من عمليات الاستخراج ألمنجمي في المنجم الى نهاية عمليات الطحن.

الحل:- كما موضح في الشكل رقم (5-7)



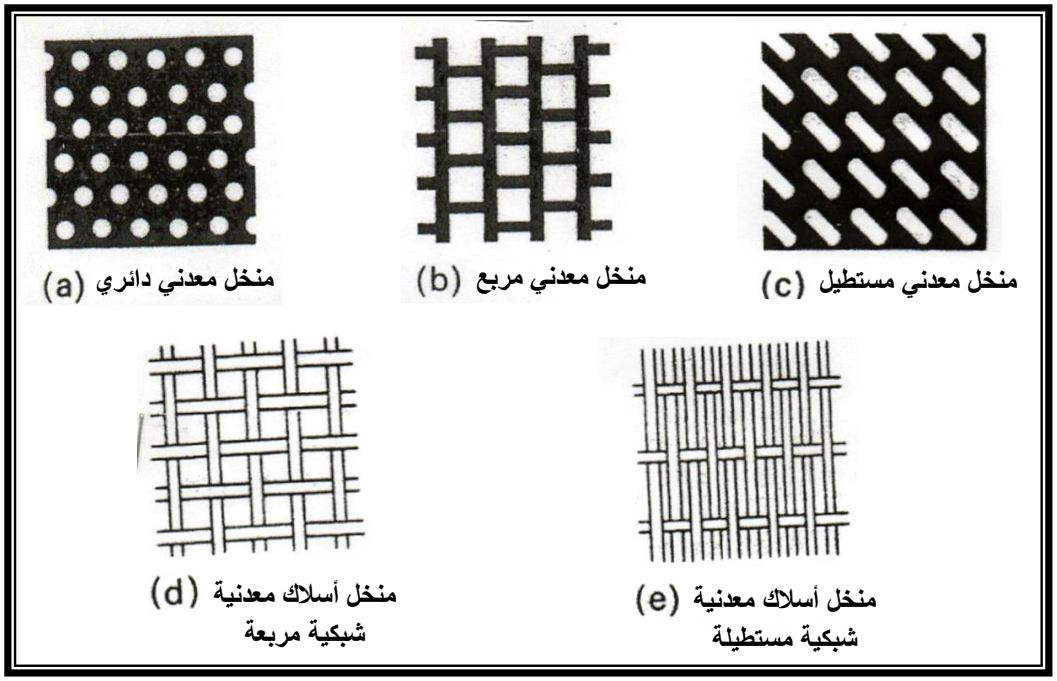
شكل رقم (5-7) مخطط عملية تكسير الخام

(7-8) التصنيف او النخل Sieving

تعرف عمليات تصنيف الحجم الحبيبي للجزيئات المعدنية باستخدام معدات وتقنية النخل والتصنيف هي السماح للجزيئات المعدنية بالمرور من خلال فتحات محددة ومعرفة الأبعاد في الشكل والحجم. لكل حجم حبيبي هناك منخل خاص به يسمح بمرور الجزيئات او الحبيبات المعدنية من

خلاله على ضوء الأبعاد الهندسية لهذه الفتحات، اما الحبيبات الكبيرة الحجم لا يتم السماح لها بالمرور وتسمى (Over Size) أي الأحجام الحبيبية الأكبر حيث تجمع وتطرح خارجا في الأماكن المخصصة لها من عملية التصنيف. شكل رقم (6-7) يوضح مختلف أنواع وأحجام فتحات المصنفات او المناخل.

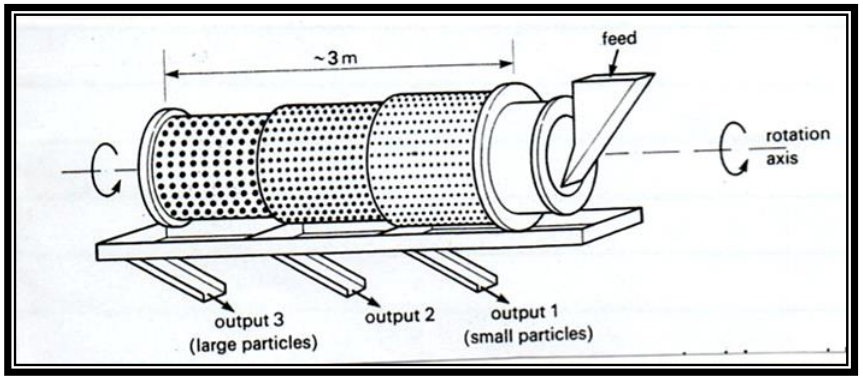
في معمل المعالجة المعدنية وخلال مراحل التكسير وسحق الصخور يتم تصنيف الحجم الحبيبي من (15) سم الى حدود (1) ملم، هذه هي التقنية المتوفرة في تصنيع وتهيئة المناخل المخصصة لهذا الغرض وحسب متطلبات العمل. في عمليات النخل الجاف Dry Screening هناك مشكلة الالتصاق، وهي حصول التصاق للجزيئات الصغيرة مع الجزيئات الكبيرة ، أما في حالة النخل الرطب أي عند إضافة المياه مع عمليات النخل فان ذلك يساعد على فصل الحبيبات عن بعضها البعض وعدم السماح بحصول عمليات الالتصاق، بالإضافة الى عملية الطحن الرطب تكون اكثر كفاءة واقل كلفة اقتصادية من الطحن الجاف ويستخدم الطحن الجاف عند الضرورة مع بعض المواد التي تتأثر خواصها الفيزياوية والكيماوية عند اضافة الماء لها.



شكل رقم (6-7) انواع المناخل

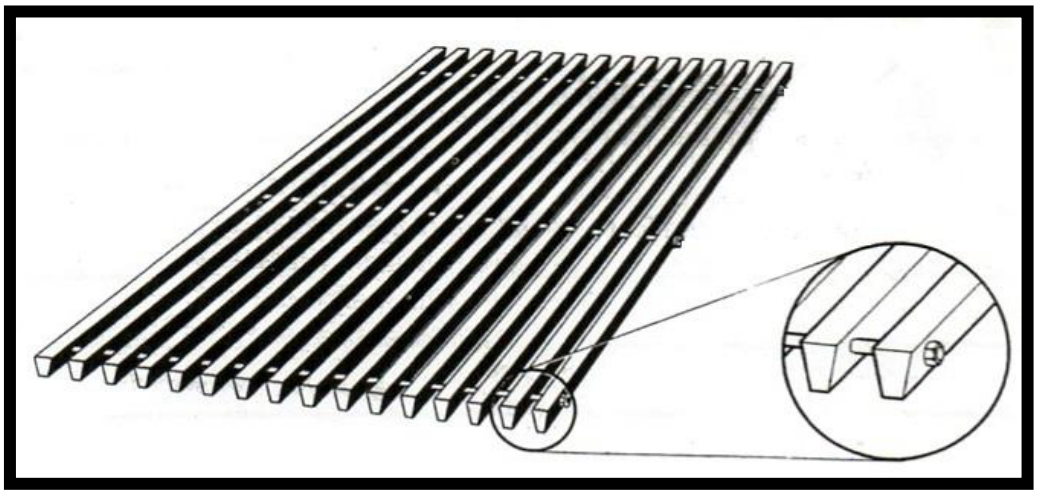
لغرض تحديد أحجام أو فتحات المصنفات او المناخل هناك العديد من المواصفات القياسية التي وضعت عالمياً ومن أهمها مقياس (ASTM) وكذلك (BS)، وهي مواصفات الجمعية الأمريكية لاختبار المعادن والمواصفة البريطانية لاختبار المعادن على التوالي. ان الأساس المعتمد في التدريج ألحجمي الذي تعتمد عليه هاتان المواصفتان هما المتتالية الهندسية ل($\sqrt{2}$) حيث تبدأ من منخل ذو فتحة (74) مايكرون صعوداً أو نزولاً أما المعيار البريطاني فيعتمد على المتتالية الهندسية للأساس (1.26) حيث يبدأ من غربال فتحته هي 1 ملم. أما التصنيف القياسي لنظام (ISO) فيعتمد على فتحة منخل مقدارها (1) ملم الملحق رقم (2) والملحق رقم (3) يوضح أوجه المقارنة بين هذه التصانيف.

إن المنخل الذي يكون على شكل حاجز شبكي (Screen) عادة يصنع من أسلاك معدنية صلدة مقاومة للصدأ على شكل حياكة خيوط متداخلة أو من صفائح حديدية مثقبة بأشكال وأحجام مختلفة ذات كفاءة عمل جيدة مثل المصنف الاسطواني الدوار .شكل (7-7) الذي يمتلك كفاءة فصل عالية حيث نحصل على ثلاث أحجام حبيبية في نفس الوقت



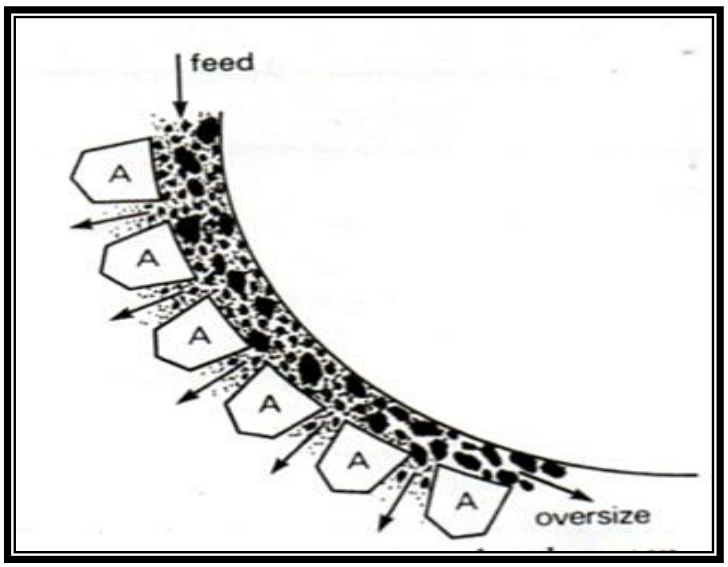
شكل (7-7) مصنف اسطواني دوار ذات ثلاث مراحل

ألنوع الآخر من المناخل هو المنخل أو المصنف الوتري او القضيبي والذي يكون على شكل قضبان حديدية متوازية مع بعضها البعض تفصل بينهما فتحات ذات حجوم مختلفة تتناسب والحجم الحبيبي المطلوب بحيث يمكن تصغيرها وتكبيرها حسب الحجم الحبيبي المطلوب. شكل رقم (7-8).



شكل رقم (7-8) المصنف الوتري

هناك مشكلة تظهر عند استخدام هذه الأنواع من المصنفات والمناخل وهي قابليتها على الانسداد وانغلاق الفتحات (الإعماء) عند حشو فتحاتها بواسطة الحبيبات غير منتظمة الشكل مما يؤدي الى تقليل كفاءة فصل الحبيبات، هذه المشكلة يمكن التخلص منها باستخدام المنخل الوتري كما في الشكل (7-8) السابق حيث نلاحظ إن المسافة بين القضبان أو الأوتار تتسع وتزداد في المساحة تحو الخارج لتسمح بنزول الحبيبات بحرية التي تمر من حافة الأوتار من الداخل ذات الفتحات حسب الحجم الحبيبي المطلوب وعدم السماح لها بغلق الفتحات أو حصول انسداد. هناك نوع آخر من المناخل هو المنخل الوتري المنحني كما في الشكل (9 - 7) الذي يمتلك كفاءة أداء جيدة.



شكل رقم (9-7) المصنف الوتري المنحني

تحسب عادة كفاءة أداء المصنفات أو المناخل حسب المعادلة التالية:

$$\text{كفاءة المنخل} = \frac{\text{كمية المادة التي تمر خلال فتحات المنخل عملياً}}{\text{كمية الحبيبات المفروض أن تمر خلال فتحة المنخل (تحسب مختبرياً)}} \times 100$$

تصنف المناخل سابقة ألذكر إلى مناخل ثابتة وغرابيل متحركة وحسب الهدف من الاستخدام، وعادة تستخدم المناخل المتحركة في تصنيف الحصى والصخور ولغرض تسريع وزيادة كفاءة عمليات التصنيف ألحجمي تعد المناخل المتحركة ذات الحركة الترددية Vibrating Screen من أهم أنواع المناخل الشائعة الاستخدام في عمليات التعدين والفصل ألحجمي للصخور والمعادن وغالباً ما تكون اتجاه حركة المنخل ألهزاز إما بصورة عمودية على سطح المنخل او تكون عكس اتجاه جريان المواد وعادةً ما يكون مستوى المنخل ذو درجة ميل معينة لتسهيل حركة المواد وكذلك لمنع غلق فتحات المنخل وزيادة كفاءة عملية التصنيف.

(7-9) التصنيف Classification

ألتصنيف مصطلح يستعمل دائماً عند إجراء عمليات فصل او ترتيب الحبيبات أو الجزيئات المعدنية باستخدام السرعة عند وضع هذه الحبيبات في محيط مائع. ويكون الماء أو الهواء هو المائع المستخدم في اغلب الحالات وفي بعض الحالات يتم استخدام سائل ذو كثافة معينة في عزل دقائق المعادن. إذا تم وضع مجموعة مختلفة الحجم من الحبيبات المعدنية تعود الى نفس المعدن في سائل ذو لزوجة معينة وتم تحريكه لفترة زمنية محددة ثم تركت هذه الجزيئات لتركد تلقائياً نلاحظ إن الجزيئات الكبيرة تسقط وتتحرك نحو الاسفل بسرعة اكبر من الجزيئات الصغيرة لتسقط أولا في قاع الإناء. تعتمد سرعة سقوط الجزيئة المعدنية في السائل على عدة قوى تؤثر فيها ومن هذه القوى هي وزن الحبيبة الساقطة، مقدار الفقدان في الوزن (نتيجة غمرها في السائل) وكذلك مقاومة السائل وهي أهم عامل يؤثر في هذه العملية حيث ان لها علاقة مباشرة مع سرعة سقوط ألجزيئه المعدنية.

حركة ألجزيئه في السائل بهذه الحالة تعتمد على أهم ثلاث خواص وهي:-

1-**<u>قوة الجاذبية (G)</u>**:- أو التعجيل الأرضي، هذه القوة تعمل على سحب الجزيئات المعدنية الى الاسفل وتعتمد على وزن ألجزيئه (الحجم والكثافة).

2-**<u>قوة الدفع الى الاعلى (U)</u>**:- وهي القوة اتي تمثل قوة الطفو نحو الأعلى باتجاه سطح السائل والتي تعتمد على حجم الجزيئات المعدنية وكثافة السائل.

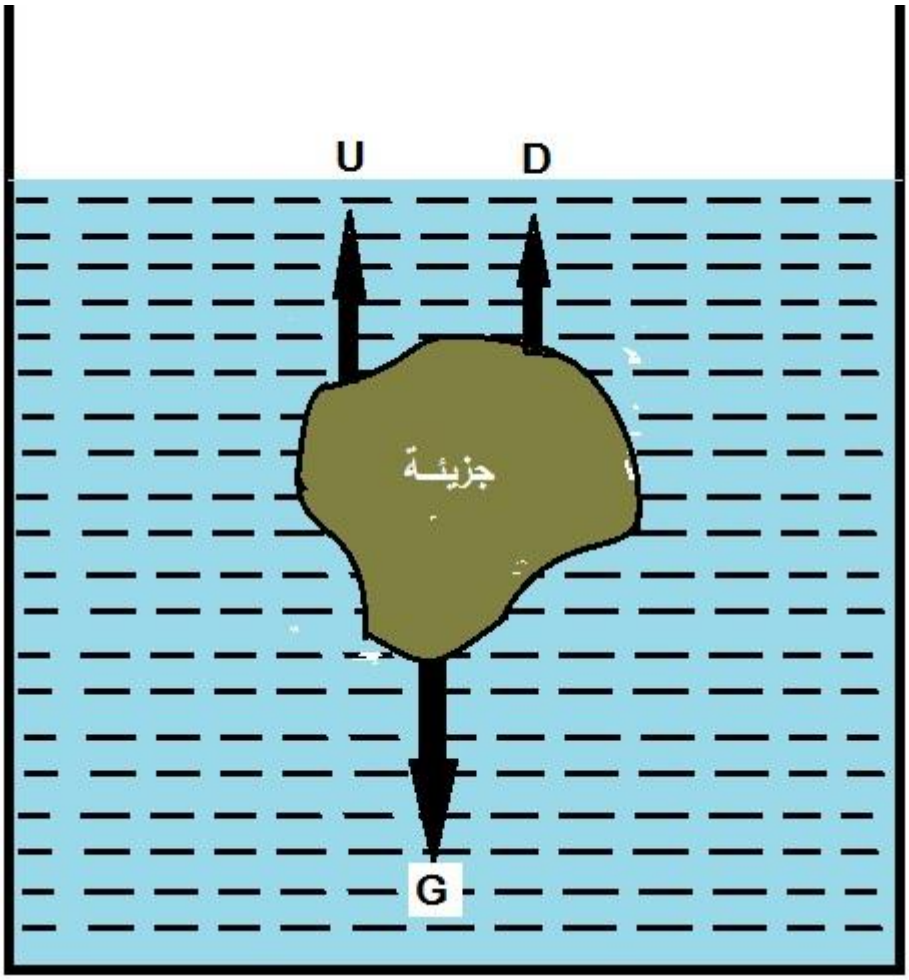
3-**<u>لزوجة السائل (D)</u>**:- وهي عبارة عن مقاومة السائل لحركة الجزيئات وتعتمد على شكل الجزيئات المعدنية، لزوجة السائل، وكذلك سرعة الحركة للجزيئات داخل السائل.

ألقوى الثلاثة هذه التي تؤثر على حركة الجزيئات داخل السائل تقع جميعاً على خط مستقيم لذلك فان محصلة هذه القوى تساوي:-

$$F= G - U - D$$

كما في الشكل (7-10)

لنفترض انه لو تم وضع جزيئه ومعدنية داخل السائل ووصلت بعدة فترة زمنية معينة الى حالة الاستقرار، وان السائل عديم الحركة ووصل الى حد السكون عندئذ تكون قوة دفع اللزوجة للسائل نحو الأعلى تساوي صفر (D = 0) وبذلك فان ألجزيئه المعدنية سوف لا يتأثر توازنها بفعل قوة اللزوجة وتبقى عالقة في مكانها في حالة استقرار. عند إزالة تأثير قوة دفع اللزوجة للسائل نحو الأعلى فسوف تكون محصلة قوى توازن ألجزيئه هي (G – U) وتكون قوة الجاذبية في سحب ألجزيئه الى الاسفل اكبر من قوة الطفو إلى الأعلى وبذلك فان ألجزيئه تميل الى الحركة والاستقرار نحو الاسفل.



شكل رقم (10-7) يمثل القوى المؤثرة على حركة الجزيئة في السوائل

عندما تتحرك ألجزيئه المعدنية يؤدي ذلك الى تفعيل قوة اللزوجة نحو الأعلى، كلما زادت سرعة ألجزيئه نحو الاسفل تزداد معها قوة اللزوجة (D) نحو الأعلى، وفي النهاية تصل سرعة ألجزيئه الى الصفر وتستقر عندما تكون G – U = D وهكذا تبدأ ألجزيئه بنفس العملية مرة ثانية وتعاد نفس الحركة وتستمر بالهبوط على شكل مراحل وبسرعة ثابتة الى أن تستقر في قاع الإناء، هذه السرعة تسمى Terminal Velocity أي السرعة المرحلية.

سرعة هبوط الجزيئات او السرعة المرحلية Terminal Velocity تعتمد بصورة أساسية على وزن الحبيبات المعدنية (الحجم والشكل) وبما إن الحبيبات المعدنية تحتوي على أشكال وأحجام مختلفة تتراوح من (300 – 10) مايكروميليمتر، لذلك لا يمكن الوصول الى حالة توازن داخل السائل وتكون الجزيئات في حالة اضطراب إما صعوداً أو نزولاً داخل وعاء السوائل وكلما كان حجم الحبيبات كبير كلما كانت السرعة المرحلية كبيرة وبذلك تكون سرعة هبوط الجزيئات نحو الاسفل كبير.

من خلال تطبيق القانون السابق على التصنيف باستخدام الحجم الحبيبي يمكن ان نستنتج الملاحظات التالية:-

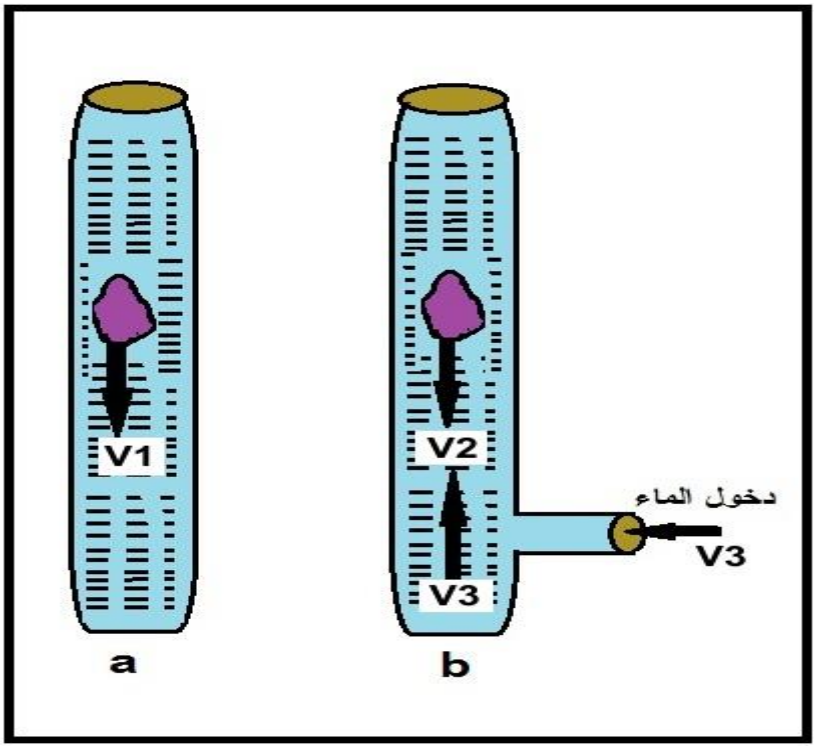
1- في حالة تساوي كثافات الحبيبات المعدنية فان الحبيبة الكبيرة تترسب أسرع من الحبيبة ذات القطر الصغير.

2- في حالة تساوي أقطار الحبيبات المعدنية فان الحبيبات التي تمتلك كثافة عالة تسقط أسرع من الحبيبات ذات الكثافة القليلة.

3- في حالة تساوي كل من الكثافة والحجم للحبيبات المعدنية فان الحبيبات ذات الأشكال المنتظمة تسقط أسرع من الحبيبات ذات الأشكال غير المنتظمة.

يمكن الاستفادة من هذه الخاصية في عمليات المعالجة والفصل المعدني وهي في حالة وجود مختلف أنواع الكتل والحجوم والأشكال للجزيئات أو الحبيبات المعدنية داخل السوائل والتي تعطي مختلف السرع المرحلية وذلك بإمكانية فصل الجزيئات المعدنية عن المكونات الأخرى داخل السائل حسب الحجم الحبيبي لها. عملية الفصل بهذه الطريقة يجب ان تكون مستمرة وبدون انقطاع لغرض انجاز عملية فصل حبيبي كفوء.

لمزيد من الاستيعاب ولغرض توضيح طبيعة عمل طريقة الفصل باستخدام السوائل، لنفترض ان لدينا عمود من الماء في أنبوب زجاجي، وضعت فيه جزيئه معدنية كما في الشكل (11-7-a) هذه ألجزيئه سوف تستقر في قعر الأنبوب المائي بسرعة مرحلية قدرها (V_1) بعد مرور فترةزمنية معينة. لنفترض انه لو تم عمل فتحة في أسفل الأنبوب الزجاجي لغرض

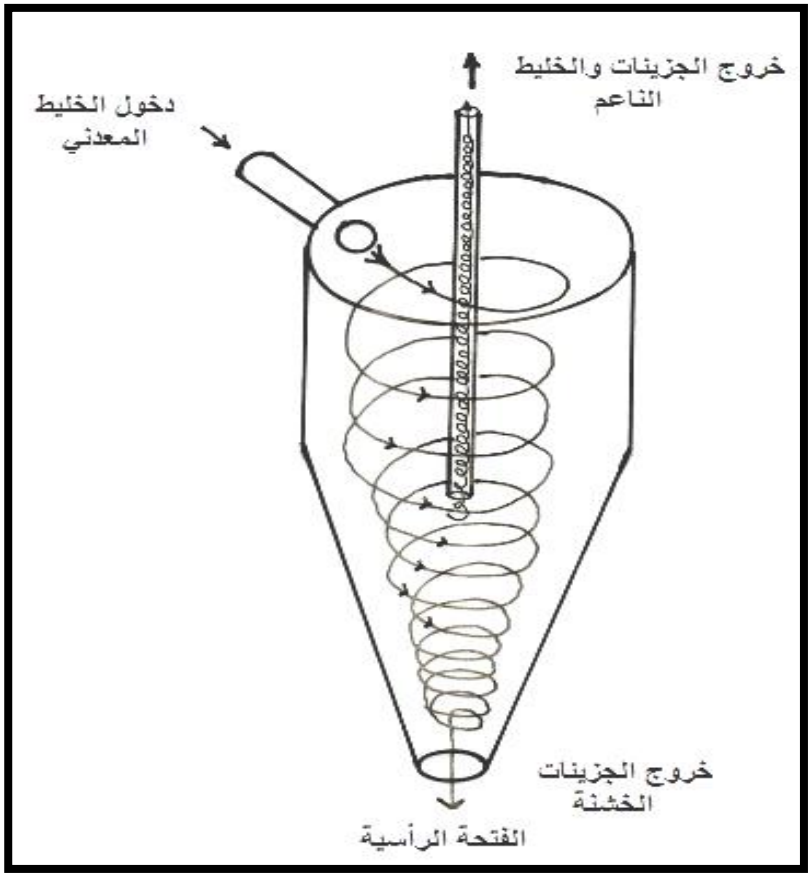


شكل رقم (11-7) حركة الجزيئات داخل وسط مائي

دخول الماء بسرعة معينة نحو الأنبوب (شكل 11-7-b) ليعمل على إجراء حركة للماء نحو الأعلى داخل عمود الماء بسرعة قدرها (V_2). ألجزيئه المعدنية سوف تستقر نحو أسفل الأنبوب بعد مرور فترة زمنية اطول وبسرعة قدرها ($V_1 - V_2$). في حالة إذا تم ضبط سرعة مرور الماء من أسفل الأنبوب

إلى الأعلى لتساوي $V_1=V_2$ بهذه الحالة سوف يحصل توازن سرعي داخل العمود المائي وتبقى ألجزيئه المعدنية عالقة تتأرجح مكانها، أما إذا تم زيادة سرعة الماء من الفتحة بسرعة اكبر من (V_1) عندما يتم حمل وطفو ألجزيئه المعدنية نحو الأعلى وتخرج مع الماء نحو الخارج Over flow في حالة لو وضع جزيئتين من الحبيبات المعدنية داخل العمود المائي مختلفة في الحجم أو الكثافة حيث يكون لكل منهما سرعة مرحلية مختلفة عن الأخرى وتم ضخ الماء من أسفل العمود المائي نحو الأعلى بسرعة معينة وثابتة قدرها (V_3) فان ألجزيئه المعدنية الخفيفة التي لها سرعة مرحلية اقل من السرعة (V_3) سوف تطفو الى الأعلى أما ألجزيئه التي لها سرعة مرحلية اكبر من (V_3) تسوف تغطس وتستقر نحو الاسفل، بهذه الحالة تم استخدام الماء في تصنيف الجزيئات المعدنية بعضها عن البعض الآخر وعن المواد الغثة والعقيمة.

الطريقة الحديثة المستخدمة في تصنيف الجزيئات المعدنية هي استخدام السايكلون (Cyclone) ألمصنف الإعصاري والذي هو عبارة عن خزان قمعي اسطواني يحتوي على فتحة عليا لدخول الجزيئات المعدنية مع فتاتيات الصخور، وفتحة لخروج الجزيئات المعدنية لوحدها من الاسفل كما في الشكل (12-7)،إذ يتم ضخ الخليط المعدني من فتحة الدخول الموجودة في أعلى قمع السايكلون بسرعة محددة وضغط معين تعمل على تكوين وخلق حركة دورانية مركزية داخل السايكلون، الجزيئات المعدنية الكبيرة الحجم تميل لتتحرك نحو الخارج بفعل القوة الطاردة العمركزية مع جدار السايكلون، أما الحبيبات الخفيفة والسائل الخليط يتمركز في وسط الدوامة داخل السايكلون.



شكل رقم (12-7) فصل الجزيئات المعدنية بواسطة المصنف الاعصاري (السايكلون)

الجزيئات الكبيرة والثقيلة تتحرك نحو أسفل السايكلون بحركة حلزونية دورانية وتخرج من فتحة رأس السايكلون يتم سحبها وإفراغها من أعلى القمح نحو الخارج. تعتبر هذه الطريقة كفوءة وعملية وسريعة في فصل الجزيئات المعدنية عن المواد الغثة والعقيمة. يعتبر السايكلون (ألمصنف الإعصاري) من أهم المصنفات المستخدمة، ولها تطبيقات واسعة ومختلفة مثل فصل المواد الصلبة عن السائلة (تبعاً لأحجامها وكثافتها) وفصل السوائل غير المتمازجة وكذلك فصل الغازات عن السوائل ...الخ عند دخول الخام أو الخليط المعدني من أعلى فتحة السايكلون تحت ضغط عالي سوف يكتسب الخام أو الخليط المعدني الحركة العمركزية ويكون على شكل إعصار وهذه الحركة تؤدي الى توليد دوامة في جسم الإعصار ومع وجود منطقة ضغط واطئة على طول المحور العمودي مما يولد لباً من الهواء يربط بالخارج بالفتحة الرأسية ويتولد اللب بصورة جزئية من فقاعات الهواء المتأنية في المحلول في منطقة الضغط الواطئ. تزيد قوة الطرد المركزي من معدل استقرار الدقائق وبذلك تفصل هذه الدقائق تبعاً للحجم والكثافة، حيث تنجرف الجزيئات الكبيرة الحجم والسريعة الاستقرار نحو جدار الإعصار حيث توجد منطقة مستقرة وبالتالي تترسب او تسقط تحت تأثير وزنها (الجذب الأرضي) نحو قمة الإعصار في قعر السايكلون أما الحبيبات ذات الاستقرارية البطيئة سوف تتحرك نحو منطقة الضغط الواطئ على طول المحور وتحمل مع الفائض خلال موجة الدوامة، لذلك سيتكون نطاق خارجي للجريان السفلي ونطاق داخلي للجريان العلوي في داخل دوامة الإعصار. لقد حلت مصنفات الإعصار (السايكلون) في كثير من دوائر الطحن المعدنية محل المصنفات الأخرى إذ إنها أكثر كفاءة وسهلة الاستخدام ولا تحتاج الى صيانة دورية قليلة الكلفة التشغيلية وتستخدم بصورة خاصة في مجال الحجم الدقيق الذي يتراوح بين (50-5) ميكرون.

(7–10) الفصل المعدني Mineral Separation

إن الطريقة المثالية في عملية فصل أي معدنين واحد عن الأخر هو البحث عن الاختلافات في الخصائص والمميزات التي يمتلكها كل معدن، وبالتالي إمكانية استخدام وتوظيف هذه الخصائص في عمليات الفصل المعدني باستخدام الأسلوب أو الطريقة المناسبة التي تستجيب لها كل من هذه المميزات والخصائص المعدنية. إذا كانت الفروقات في المميزات بين المعادن المتواجدة في الصخور كبيرة ذلك يكون من السهل استخدام طريقة بسيطة في المعالجة وفصل هذه المعادن أما إذا كانت الفروقات متقاربة عندئذٍ يجب استخدام وسائل وطرق أخرى ربما تكون معقدة أو الاستعانة بالأجهزة والمعدات لغرض إجراء عمليات الفصل المعدني. الجدول رقم (1-7) يوضح بعض الخصائص المعدنية للمعادن الخامات التي يمكن الاعتماد عليها في العمليات الفصل المعدني.

معظم لترسبات المعدنية المتواجدة في الطبيعة تحتوي على خليط من مختلف أنواع المعادن التي تمتلك مميزات وخصائص متباينة ومختلفة، هذا المدى الواسع في الاختلاف يؤدي إلى تعقيد في عمليات الفصل المعدني وبذلك تحتاج معالجة من هذا نوع من أعمال الفصل المعدني إلى سلسلة من العمليات ومراحل المعالجة المتتابعة لانجاز فصل معدني كفوء ومناسب.

جدول رقم (1–7) بعض الخصائص المعدنية

	الخاصية Properties	مدى الخاصية Typical Range found in Minerals	الاختلافات المطلوبة لتواجدها بين المعادن لانجاز عمليات الفصل
	الكثافة كغم / م^3 Density	1400 – 22000	
1-	الحساسية المغناطيسية Magnetic susceptibility	1 – 1000	فرق الكثافة من 100 - 200
2-	السطح الكهربائي Electrical Surface	$10^{-6} – 10^{-12}$	100
3-			10^{-3}
4-	التوصيلية conductivity S/m^{-2}		
5-	الصلابة Hardness	1 – 10	لا يستخدم مباشرة
6-	الانعكاس البصري (%) Optical Reflectivity	5 – 80	15
7-	الإشعاعية أو النشاط الإشعاعي Radioactivity mc / kg	10 – 10000	1000
8-		1 – 1500	
9-	التوصيل الحراري $Jm^{-1}K^{-1}S^{-1}$ Thermal conductivity	كل الألوان	1000
	اللون color	اختلافات كثيرة	اختلافات بسيطة
10-	التفاعل الكيميائي Chemical reactivity		اختلافات بسيطة

الفصل المعدني الذي يعتمد على الخصائص الفيزيائية للمعادن تعطي كفاءة فصل واستخلاص معدني جيدة جدا اذا ما تم تحرير المكونات المعدنية من المواد الرابطة والعقيمة. في حالة عدم إمكانية تحرير المعادن بصورة جيدة يجب اللجوء الى استخدام إحدى الطرق الفيزيائية في إجراء عملية تركيز للمكونات المعدنية ثم بعدها يتم إجراء عملية الفصل المعدني.

لغرض انجاز عملية فصل معدني جيد وكفوء من الضروري إجراء دراسة تحديد الخصائص والمميزات والصفات لكافة المكونات المعدنية الموجودة في الصخور ثم بعد ذلك يتم تحديد أو انتقاء إحدى الصفات التي تمتلك اختلافات كبيرة بين المعادن والتي يمكن ان تستجيب الى طريقة الفصل والاستخلاص بكل دقة وكفاءة والتي يفضل ان تعتمد في المسار أو التصميم العملي خلال وضع خطط ومراحل عمليات المعالجة. في حالة عدم وجود اختلافات ظاهرة ومعروفة بين المعادن يمكن استخدامها مباشرة في عمليات الفصل المعدني، عندئذ يجب اللجوء الى استخدام وسائل وطرق غير مباشرة في التعامل مع بعض الخصائص المعدنية لخلق أو إيجاد فروقات وصفات جديدة يمكن أن تستخدم في عمليات الفصل المعدني، مثال على ذلك ان معدن الكوارتز (SiO_2) ومعدن الجالكوبايرايت ($CufeS_2$) في حالة تعرضها لفقاعة الهواء في الماء عندما تكون موجودة معاً في وسط مائي يتم اختيار خاصية التميع (Hydrophilic) الموجودة في معدن الجالكوبايرايت حيث يكتسي معدن الجالكوبايرايت بغطاء هوائي مضاد او مقاوم للماء وبذلك سوف يطفو الى الأعلى في الخزان بينما يبقى معدن الكوارتز غير متأثر بهذه الظروف. معدن الكوارتز (SiO_2) ومعدن الهيماتايت (Fe_2O_3) معادن غير مغناطيسية ولا يمكن فصلهما باستخدام الطريقة المغناطيسية وهي في حالتها الطبيعية، بينما عند إجراء عملية تسخين او تحميص (Roasted) في ظروف اختزالية لهذين المعدنين عندها سوف يتغير معدن الهيماتايت (Fe_2O_3) الى معدن الماكنيتايت (Fe_3O_4) عالي المغناطيسية، وبذلك يمكن فصلهما باستخدام الطريقة المغناطيسية.

ألاختلافات بين الجزيئات المعدنية في الخصائص الميكانيكية، الفيزيائية، والحجمية تكون مفضلة في الاستخدام عن الخصائص الكيماوية بسبب ان عمليات الفصل الكيمياوي تكون غالبا مكلفة اقتصادية. ان طرق الفصل الكيميائي تعتبر طرق كفوءة عندما تعتمد في حالة الجزيئات عالية النعومة او عند معاملة ومعالجة خليط من المكونات المعدنية خاصة عندما يتم طحن الجزيئات المعدنية الى مواد ناعمة جدا حيث يتم تحرير وفك ارتباط الجزيئات المعدنية وتعريضها الى التفاعلات الكيميائية.

(7-11) طرق الفصل المعدني Method of Separation

هنالك طرق وأساليب عديدة ومختلفة اعتمدت في معالجة واستخلاص المعادن، كل من هذه الطرق تستخدم خاصية معينة من خصائص إحدى المكونات المعدنية وتعتمد عليها في عمليات الفصل المعدني، وكذلك من العوامل الأخرى المؤثرة في اختيار أسلوب العمل هو التقنية المتوفرة، توفر رأس المال وكذلك المعرفة العلمية القادرة على انجاز العمل بكفاءة عالية. أهم طرق الفصل المعدني هي:

1- طرق الفصل القديمة Post – Separation of Minerals

أ- طريقة التثخين Thickening Method

ب-طريقة الترشيح Filtering Method

ج- طريقة التجفيف Thermal Drying method

2- طرق الفصل الفيزيائية Physical Methods of Separation

أ- الفصل بواسطة الحجوم Separation by Sizing

ب- الفصل اليدوي Hand Sorting

ج- الفصل بواسطة وسط كثيف Dense – Medium Separation

د- الفصل باستخدام الكثافة Density Separation

هـ- الفصل المغناطيسي Magnetic Separation

و- الفصل الكهربائي Electrical Separation

3- طرق الفصل الكيميائية Chemical Methods of Separation

أ- طريقة الطفو Flotation Method

ب-طريقة الترشيح أو الاستنزاف Leaching Method

(7-11-1) طرق الفصل القديمة

إحدى نواتج معامل المعالجة والاستخلاص المعدني هي طرح كميات كبيرة من المياه المستخدمة في عمليات الاستخلاص المعدني بصيغة مياه فضلات الى الخارج أما يستفاد منها لبعض متطلبات الحياة مثل سقي المزروعات أو الاستخدامات المنزلية بعد إعادة معالجتها وجعلها صالحة لمثل هذه الاستخدامات أو يعاد استخدامها صناعيا في نفس معمل المعالجة. المياه كانت تستخدم بصورة رئيسية في أعمال الفصل المعدني اعتمادا على مبدأ الاختلاف في الكثافة، لذلك فان الجزيئات المعدنية الكبيرة الحجم ممكن فصلها مباشرة بالسماح لهذه الجزيئات بالترسيب عند الخليط المعدني في خزان مائي ويتجمع في قعر الخزان.الجزيئات المعدنية الناعمة تترسب ببطء اعتمادا على كثافتها القليلة و بعض الجزيئات المعدنية تبقى مكونة محاليل عالقة لا يمكن ترسيبها بسهولة لذلك تم استخدام ثلاث طرق كل منهما لها أسلوبها الخاص المستخدم في فصل هذه الجزيئات من المياه او المحاليل المرتبطة بها وهي:

(7-11-1-1) عملية التكثيف او التثخين Thickening process

باستخدام هذه التقنية يتم وضع المياه الحاوية على الجزيئات المعدنية في حوض أو خزان كبير لفترة زمنية مناسبة بغية إعطاء الوقت الكافي للسماح للجزيئات المعدنية بالترسيب والاستقرار في قعر الحوض او الخزان بينما يبقى الجزء العلوي من المياه صافية او خالية من العوالق. ممكن ان يتم استخدام هذه العملية بصورة مستمرة عند إضافة خليط معدني جديد الى الخزان ويتم سحب الماء الصافي من أعلى الخزان وتسحب الجزيئات المعدنية الراكدة من أسفل الخزان. ممكن في كثير من الأحيان أن يكون معدل الترسيب للجزيئات المعدنية سريعا وبوقت قصير يسبب حصول عملية التصاق الجزيئات الناعمة مع الجزيئات الكبيرة او مع بعضها البعض لتكوين جزيئات اكبر حجما ذات سرعة ترسيب كبيرة تستقر في قعر الخزان بوقت قصير.

عمليات الاستخلاص المعدني التي تستخدم طريقة التكثيف لها عدة فوائد هي :

1- الحصول على مياه أو محاليل نقية ممكن إعادة استعمالها مرة ثانية في عمليات المعالجة والاستخلاص المعدني، او ان كانت مياه نقية ممكن طرحها الى الأنهار أو استخدامها في الزراعة والري للحصول على محاليل نقية بصورة مستمرة يجب أن تؤسس العملية على معدل جريان بطئ للمحاليل يتوازن مع معدل عمليات الترسيب للجزيئات المعدنية لضمان عدم خروج العوالق مع المحاليل الخارجة Over Flow.

2- لضمان تكوين طبقة من المواد الصلبة الحاوية على الجزيئات المعدنية ذات كثافة مناسبة قابلة للسحب الى خارج الخزان، إن كثافة أو صلابة الطبقة المعدنية المترسبة تتأثر كثيرا بسمك الطبقة المتكونة لذا يجب السيطرة على هذا السمك بما يتناسب مع كثافة وصلابة المواد لضمان سهولة سحبها وإفراغها الى الخارج. في بعض الأحيان تظهر الحاجة الى إجراء عمليات تحريك لهذه الترسبات إما بواسطة ضخ هواء أو استخدام معدات ميكانيكية او يدوية لتسهيل عمليات سحبها الى خارج الخزان.

(7-11-1-2) طريقة الترشيح Filtering Process

لغرض تقليل نسبة الماء الداخلة ضمن محتويات المواد الصلبة التي تم فصلها بعملية التكثيف يمكن انجاز ذلك باستخدام عملية الترشيح Filtration. تتم هذه العملية بواسطة اجراء عمليات ضخ هذا الخليط (الماء مع الجزيئات المعدنية) كي نجبره على المرور من خلال حاجز مسامي ذات فتحات مناسبة سواء كان هذا الحاجز معدني او من القماش الذي يسمح بمرور الماء فقط ويحجز الجزيئات المعدنية لكي تتجمع مكونة طبقة من هذه المواد تؤدي الى تقليل كفاءة الفصل، لذلك مع مرور الوقت وبصورة متكررة يتم إزالتها دوريا وجمع هذه المواد خارجا مع استمرار عمليات المعالجة.

(7-11-1-3) عملية التجفيف Drying Process

نواتج عملية الترشيح عبارة عن مواد صلبة لا تزال تحتوي على نسبة معينة من الرطوبة ضمن مكوناتها المعدنية لذا يجب التخلص منها بهدف الحصول على مواد جافة ويتم ذلك بإجراء عملية تجفيف حراري لهذه المواد وفي المناطق الصحراوية ذات درجة الحرارة العالية والأيام المشمسة الطويلة، تتم عمليات التجفف بواسطة تعرض المواد ونواتج عمليات الترشيح لأشعة الشمس المباشرة للتخلص من الرطوبة. في المناطق الحضرية أو في أجواء غير المناسبة تستخدم أفران حرارية كبيرة تعمل بأحد المشتقات النفطية لانجاز اعمال التجفيف.

(7-11-2) طريقة الفصل الفيزيائية Physical Method of Separation

تعتمد طريقة الفصل المعدني الفيزيائية على الخصائص والصفات الفيزيائية للمعادن أو الصخور حيث يتم استغلال هذه الصفات والفروقات الناتجة عنها بين المعادن لإجراء أعمال الفصل المعدني، ومن أهم طرق الفصل الفيزيائية هي:

(7-11-2-1) الفصل الحجمي Separation by Sizing

إن مرحلة تكسير وسحق الصخور والخامات الأولية أو الثانوية المستخدمة خلال عمليات قلع واستخراج الترسبات المعدنية من المنجم يمكن اعتبارها بأنها أهم مرحلة من مراحل فصل المكونات المعدنية أثناء العمليات التعدينية والتشغيلية للمنجم.مثال على ذلك أعمال قلع واستخراج مواد البناء الأولية في المقالع تتضمن تهيئة وتحضير رمال مع حصى تختلف باختلاف الأحجام لاستخدامها في الأغراض المخصصة لها والتي يتم استخدام مختلف أنواع المناخل والغرابيل المصنفات لغرض فصل وتصنيف هذه المواد حسب الحجم الحبيبي مثل فصل الحصى الخشن عن الحصى الناعم، فصل الرمل الخشن عن الرمل الناعم وعن الطين وهكذا .

وفي بعض الأحيان يتم عملية خلط من أحجام مختلفة لكي تستخدم في مشاريع البناء المدني أو الهندسي أو لتلبية بعض المتطلبات الصناعية. في بعض الترسبات المعدنية تتواجد المعادن في الجزء الخشن من الحجم الحبيبي وتعطي بذلك إمكانية إجراء عملية تصنيف لفصل الجزء الخشن المحتوي على المعادن باستخدام أسلوب الغربلة والتصنيف اعتمادا على الاختلافات الموجودة في الحجم الحبيبي كما هي الحال في الترسبات Nigerian Colombite في نيجريا. في بعض ترسبات

الحديد شوائب من السيلكون والأطيان تعمل كمواد رابطة لجزيئات الحديد، هذه المواد سهلة التكرير الى أجزاء ناعمة عما هي الحال في الحديد وبذلك يكون من السهل إزالتها عن معادن الحديد باستخدام عمليات الغسل بالماء على المنخل او المصنف وتبقى الترسبات على السطح العلوي للمنخل.

مثال رقم (3-7):

ترسبات فتاتيه حاملة لمعدن التيتانيوم تحتوي على خمسة مكونات معدنية هي الكوارتز (SiO_2)، والزركون (ZnO_2)، ماكنيتايت (Fe_3O_4)، روتايل (TiO_2) مع الطين خلال عمليات الفحص ألمختبري لهذه الترسبات يتم تقسيم النموذج الى أربعة أجزاء ويتم تحليل كل جزء من هذه الأجزاء الأربعة لمعرفة نسبة هذه المكونات المعدنية الخمسة في كل جزء. النتائج المختبرية سجلت في الجدول التالي رقم (2-7).

المطلوب:

1- ما هي نسبة كل معدن في مجموعة الترسبات المعدنية.
2- اقترح وصمم مخطط لفصل معدن الروتايل عن المكونات المعدنية الأخرى اعتمادا على الفصل ألحجمي.
3- احسب نسبة الروتايل في النتائج النهائي للمخطط في الفترة الثانية.

جدول رقم (2-7) نتائج الفحوصات المختبرية

Size Fraction µm	Mass %	Quartz %	Zircon %	Magnetite %	Rutile %	Clay %
+500	40	97	1	1	1	0
-500 +400	10	50	10	10	30	0
-400 +300	20	20	30	30	20	0
-300	30	7	1	1	1	90

الحل:

1- بداية الحل نقوم بتحويل النتائج في الجدول (2-7) الى نسبة تواجد كتلة كل مكون معدني موجود ضمن الخليط. الحجم الحبيبي 500+ يمثل 40% من الكتلة الكلية للنموذج، تسجل النتائج في الجدول رقم (3-7). ونسبة الكوارتز في هذا الجزء من الحجم الحبيبي هو 97% وعليه فان كتلة الكوارتز تحسب كما يلي 0.388 = 0.4 × 0.97 او يساوي 38.8% من الكتلة الكلية لنموذج. تعاد نفس الحسابات في الخطوة اعلاه لبقية المكونات المعدنية وتسجل النتائج بنفس الجدول.

جدول رقم (3-7) نتائج حساب الكتل المعدنية في النموذج

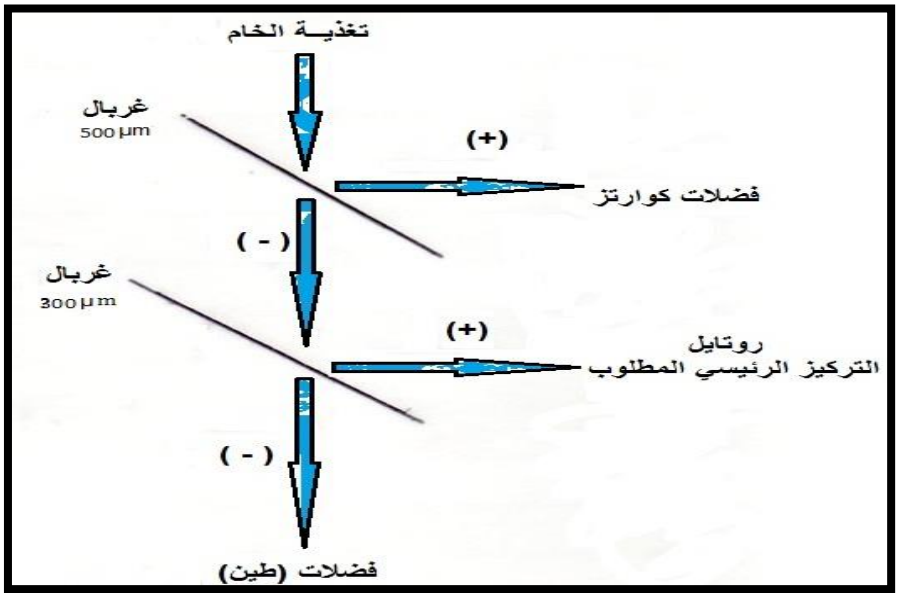
Size Fraction µm	Quartz	Zircon	Magnetite	Rutile	Clay	Total
+500	38.8	0.4	0.4	0.4	-	40.0
-500 +400	5.0	1.0	1.0	3.0	-	10.0
-400 +300	4.0	6.0	6.0	4.0	-	20.0
-300	2.1	0.3	0.3	0.3	27.0	30.0
Total	49.9	7.7	7.7	7.7	27.0	100.00

من الجدول (3-7) نستطيع أن نستنتج مايلي:-

أ- الحجم الحبيبي µm 500+ يحتوي بصورة رئيسية على الكوارتز بنسبة تساوي 5.2% = 100 × $\frac{0.4}{7.7}$ من كمية الروتايل الكلية الموجودة في الخام.

ب-الحجم الحبيبي µm 300- يحتوي بصورة رئيسية على الطين Clay وبنسبة تساوي 3.9% = 100 × $\frac{0.3}{7.7}$ من كمية الروتايل الكلية الموجودة في الخام. لو تم فصل هذين الجزئين من الحجوم التي هي µm 500+ و µm 300- بواسطة عملية الغربلة واستبعادها من الخام، بذلك سوف نحصل على فضلات قدرها 70% من المواد الخام تحتوي على كمية 9.1% روتايل،هذه يجب استبعادها من الخام وهذه النسبة ضئيلة جدا اذا ما قورنت مع الكمية الكبيرة الفائضة عن الحاجة، حيث يمكن انجاز ذلك بعملية سهلة وسريعة وبسيطة وغير مكلفة باستخدام عملية الفصل ألحجمي، أما الجزيئيتين المتبقيتين الذين هما µm 400+ 500+ و 300+ 400- ،فإنها تمثل 30% من المواد الخام التي تحتوي على الكمية الرئيسية من الروتايل في هذين الجزئين، وهما 39.0 = 100 × $\frac{3.0}{7.7}$ و 52.0 = 100 × $\frac{4.0}{7.7}$ والتي تكون نسبة الروتايل هي 91% من كمية الروتايل الكلية الموجودة في الخام.

2- مخطط الفصل ألحجمي للجزيئات المعدنية هو كما يلي:



3- نسبة الروتايل في الناتج النهائي للمخطط هي كما يلي:-

لو نفرض تم تغذية (100) كغم من الخام فان كمية الخام التي سوف تطرح خارجا كفضلات يمثل الحجم الحبيبي µm 500+ والحجم الحبيبي µm 300- واتي تمثل نسبة 70% من النموذج وتبقى نسبة 30% من النموذج هي التي تحتوي على روتايل والتي تساوي (7) كغم روتايل. نسبة الروتايل في نسبة 30% من النموذج تساوي $\frac{7}{30} \times 100 = 23.3\%$ مقارنة مع ما موجود في الجدول رقم (3-7) الذي كانت نسبة الروتايل تساوي 7.7% في الخام الأصلي.

(7–11–2–2) الفصل اليدوي او التصنيف اليدوي Hand Sorting

ألتصنيف اليدوي واحد من أقدم طرق التصنيف الفيزيائي التي استخدمت في عمليات فصل المكونات المعدنية بعضها عن بعض الآخر في عمليات التعدين المنجمية، خاصة عندما تتوفر الأيدي العاملة الرخيصة عندما يكون الاختلاف واضح بين المعادن الاقتصادية المستهدفة في عمليات الفصل المعدني والفضلات.

لا يزال الفصل اليدوي يستخدم كطريقة معتمدة حتى الوقت الحاضر بالنسبة للجزيئات الصخرية ذات الحجم اكبر من (4) سم. هذه الطريقة تتم اما بالاعتماد على فرق اللون أو على خاصية الوميض تحت الأشعة فوق البنفسجية، بعض الحالات تعتمد على الطرق اليدوية في إزالة واستبعاد الفضلات والمواد العقيمة من الترسبات المعدنية وهي في مكانها خاصة الترسبات ذات النوع العرقي veins لزيادة عمليات التركيز المعدني بهدف زيادة كفاءة عملية الفصل، وكمثال على ذلك هو فصل الماس النقي من ترسبات الماس الحاملة له.

(7–11–2–3) الفصل باستخدام الوسط الكثيف Dense – Medium Separation

من السهولة فصل حبيبات الرمل عن نشارة الخشب مثلا عند وضع الخليط في خزان مائي. بنفس الطريقة يمكن إجراء عملية فصل المعدنين في أي خليط معدني عندما يغمر هذا الخليط في سائل ذو كثافة معتدلة حيث يطفو احد المعادن القليلة الكثافة ويغطس المعدن ذات الكثافة العالية. الوسط الذي يستخدم مختبرياً في عمليات الفصل الجزئي المعدني هو سائل غير عضوي ثقيل ولكن هذا السائل غالي الثمن إضافة إلى كونه سام وبذلك لا يمكن استخدامه بصورة تجارية في معامل الاستخلاص المعدني.

يمكن تحضير وسط مائي مناسب للفصل المعدني بواسطة وضع جزيئات صلبة ناعمة بطيئة الركود في الماء تبقى عالقة في الماء تعمل عمل وسط معتدل الكثافة ملائم لعملية الفصل المعدني ويسمى (الوسط الثقيل) Heavy media. يعتمد في عمليات الفصل على توفر او وجود اختلاف في كثافات المعادن.

ألوسط الثقيل الجيد المستخدم في عمليات الفصل يجب أن تتوفر فيه مواصفات معينة حتى يكون ملائم للاستخدام وهي:

1– مقاوم للتفسخ الكيميائي والفيزيائي.

2– يحافظ على كثافته أثناء عمليات الفصل.

3- يكون سهل الاسترجاع وإعادة الاستخدام بعد عملية الفصل.

4- يجب ان يكون متوفر ورخيص للاستخدام التجاري وعلى نطاق واسع.

من اهم هذه المحاليل المستخدمة للفصل المعدني هي:-

1- **السوائل العضوية:** تتراوح كثافة هذه السوائل بين (1.4 – 3) غم/سم^3 حيث ان استخدامها محدود جدا في عمليات الفصل التجاري. ويقتصر استخدامها للأغراض ألمختبريه فقط كون لزوجتها قليلة مما يعطي عملية فصل اكثر جدية من العوالق الاخرى.

2- **عوالق المواد الصلبة:** وهي الشائعة الاستخدام في المجالات الصناعية ويستخدم عادة مواد المغنيتايت Fe_3O_4، كثافته (5.1) غم/سم^3 وعند مزجه مع الماء نحصل على كثافة مقدارها (2.8) غم/سم^3، كذلك تستخدم مواد الفيروسيليكون وسليكون FeSi وكثافته (6.8) غم/سم^3 وعند مزجه مع الماء نحصل على محلول كثافته (3.6) غم/سم^3 .

يفضل استخدام الفيروسيليكون وسيلكون لأنه يتكون من دقائق كروية مما يقلل من اللزوجة الظاهرية للخليط كما يمكن الحصول على كثافة عالق أعلى من الماكنيتايت. وعند مزج المادتين يمكن الحصول على كثافة بحدود (3) كغم/م^3 ، ولغرض الحصول على كثافة ثابتة تجري عملية تدوير وتحريك مستمرة لمنع ترسيب الدقائق وانخفاض كثافة سائل الفصل.

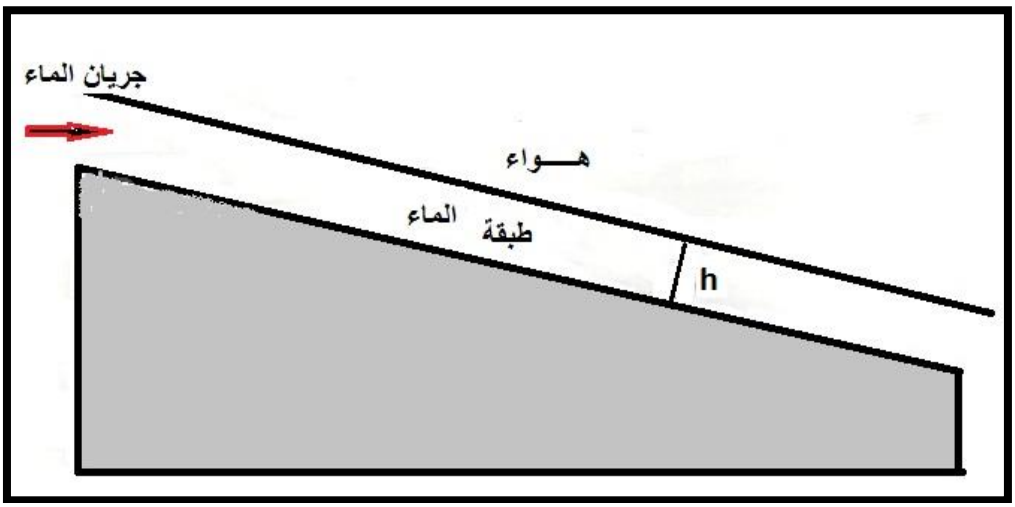
من تطبيقات الفصل بالسوائل الثقيلة هي عمليات فصل الفحم، خام الحديد، الزنك والرصاص.

(7-11-2-4) الفصل المعدني المعتمدة على الكثافة

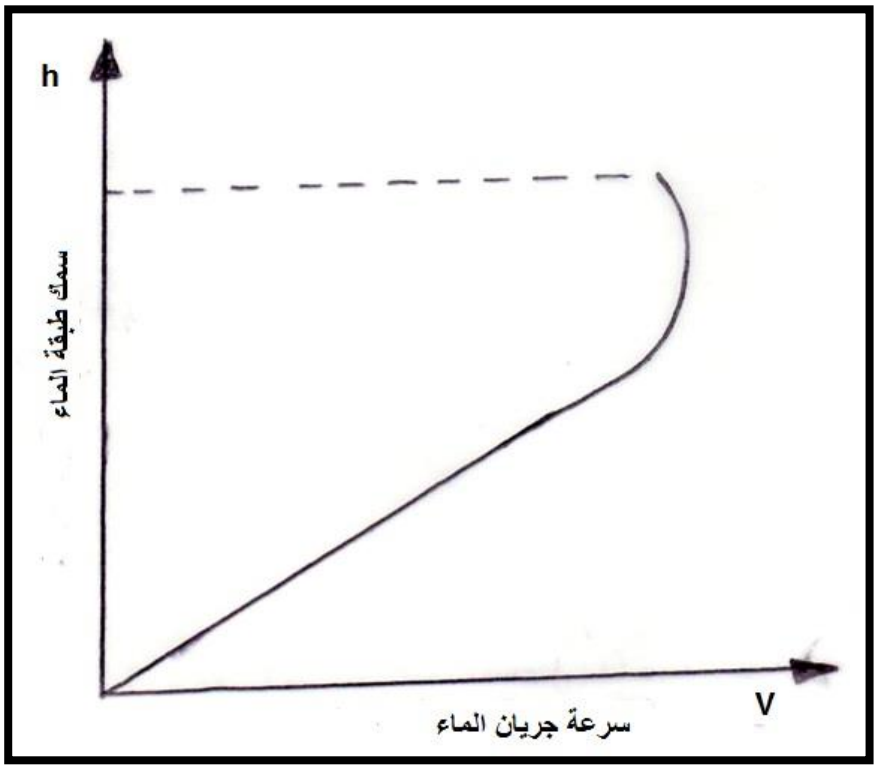
Separation Method Based on Density

وهي من اطرق الفصل المعدني المعتمدة على الكثافة بين المكونات المعدنية، ولغرض ضمان نجاح تقنية استخدام هذه الطريقة، يجب أن تمتلك الجزيئات المعدنية المختلفة فرق في الكثافة اكثر من (1000) كغم/م^3 لضمان كفاءة فصل جيدة، وهذا يعني إن أسلوب عمل هذه الطريقة يعتمد على المعادن المحررة أو التي تتواجد بشكل حر مثل تلك المتواجدة في الرمال الساحلية والترسبات الغرينية.

إن من أقدم اطرق المستخدمة في عملية فصل المعادن بالاعتماد على فرق الكثافة هي استخدام سلوكيات الجزيئات المعدنية وطبيعة حركتها في طبقة مياه رقيقة جارية Thin film of flowing water كما في الشكل (13-7) الذي يوضح تأثير اختلاف سرعة الماء مع السمك للمياه الجارية. الماء الملاصق لسطح القاعدة المعدنية المائلة المستخدمة في عملية الفصل يكون تقريبا مستقر وتزداد سرعة الماء بالابتعاد عن القعر المعدني ثم تقل السرعة عند حد ملامسة سطح الماء لطبقة الهواء كما نلاحظ ذلك في الشكل رقم (14-7).

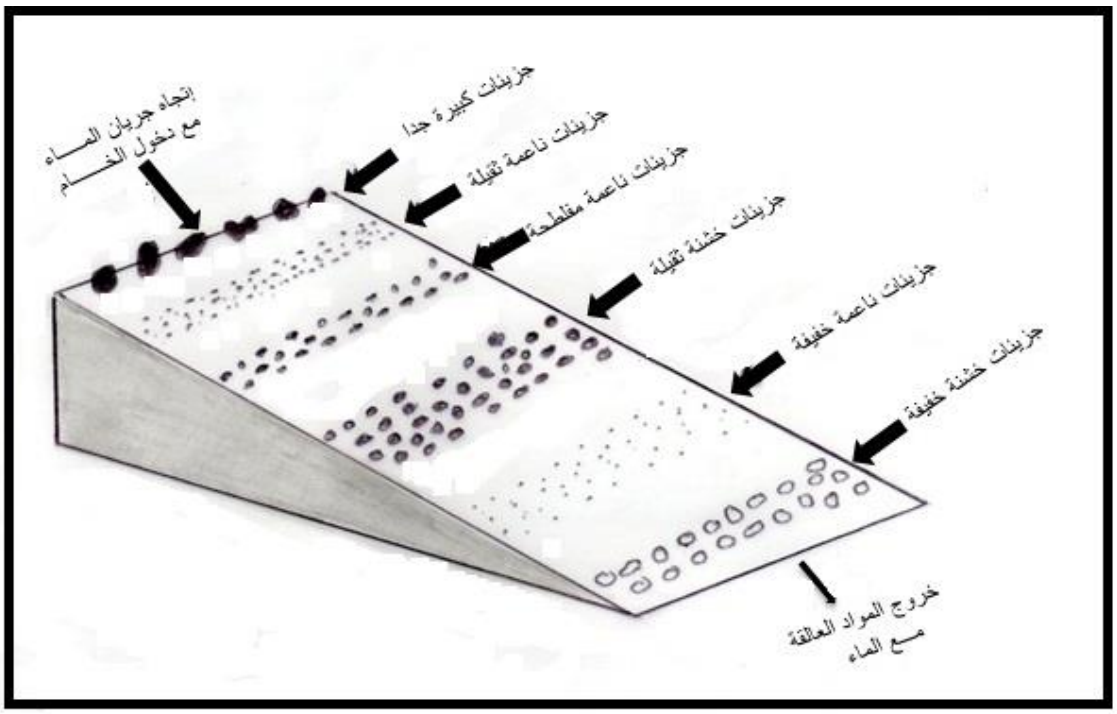


شكل رقم (13 - 7) ميكانيكية جريان طبقة خفيفة من الماء



شكل رقم (14 - 7) سرعة الجريان وعلاقتها مع سمك طبقة الماء

شكل رقم (15-7) يوضح ترتيب تقنية الفصل المعدني باستخدام طبقة رقيقة من الماء الجاري على سطح معدني مائل بدرجة معينة قد يكون ثابت او متحرك.



شكل رقم (15 - 7) مخطط يوضح تسلسل فصل الجزيئات في طبقة خفيفة من الماء على سطح مائل

ألجزيئات المعدنية التي تمتلك قطر مقارب تقريبا لسمك طبقة الماء او تمتلك كثافة متساوية فإنها تميل إلى التجمع في منطقة معينة على السطح المائل اعتمادا على العلاقة بين درجة ميلان السطح وسرعة جريان الطبقة المائية مع قطر وكثافة وشكل الجزيئات المعدنية وبذلك فإنها تعطي خاصية عزل جيدة باستخدام هذه التقنية، وهذا يعني انه عند وضع جزيئات ذات أحجام وأشكال مختلفة فان الجزيئات ذات الحجوم الكبيرة تترسب أسرع بينما تنجرف الجزيئات ذات الأحجام الصغيرة مع تيار ماء لتترسب في مكان آخر على السطح المائل اعتمادا على درجة الميلان وسرعة الماء، أما إذا تساوت الحجوم واختلفت الكثافات فان الجزيئات ذات الكثافة العالية تترسب أسرع من الجزيئات ذات الكثافة القليلة.

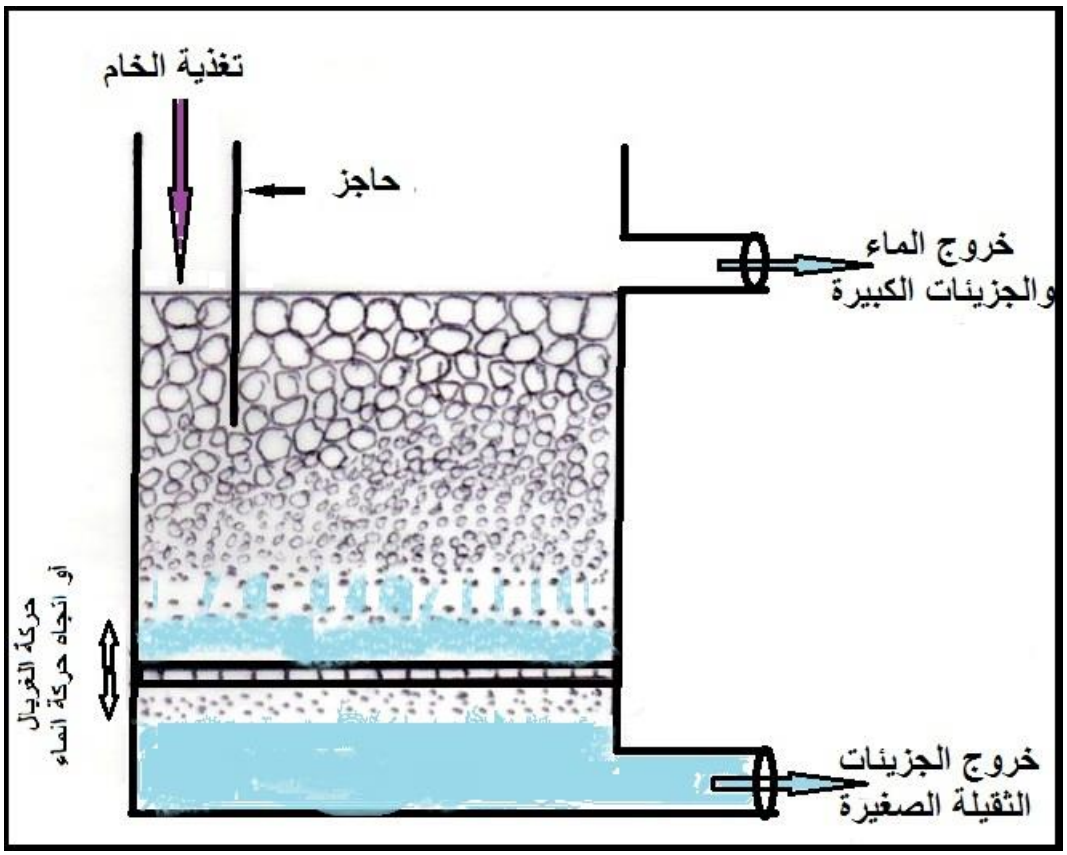
أحد أهم تطبيقات هذه الطريقة هي استخدام المنضدة الهزازة أو المتحركة (Shaking Table) والتي هي عبارة عن منضدة مستطيلة تميل بدرجة معينة ويمكن تحريكها او تتحرك بصورة ترددية مستوية أفقية غير متماثلة وتتحرك كذلك بصورة عمودية على اتجاه جريان الماء، لذلك فان الجزيئات المعدنية سوف تؤثر عليها قوى باتجاهات متعددة وان محصلة هذه القوى هي التي مسار ومكان استقرار الحبيبات. الحركة التأرجحية للمنضدة الهزازة تؤدي بالجزيئات المعدنية المتشابهة في الصفات الى أن تتحرك بصورة متقطعة باتجاه احد نهايات المنضدة وتتجمع على شكل حزم في مكان واحد، التغذية المستمرة بالمواد والخليط مع الحفاظ على نفس الظروف المذكورة آنفا تؤدي الى إمكانية إجراء فصل معدني للجزيئات المعدنية المطلوبة.

تصنع المناضد الهزازة عادة من الخشب المطلي بمادة ذات معامل احتكاك عالي مثل البلاستك او المطاط وبزاوية ميلان تتراوح بين $(0\text{-}6)^0$، يتم وضع أشرطة بارتفاع بسيط على سطح

المنضدة او يتم عمل تجاويف حلزونية باتجاه عمودي على اتجاه جريان الماء لزيادة كفاءة الفصل حيث تساعد على تجميع الجزيئات المعدنية في أماكن موحدة.

ألاستخدام الأساسي لهذه التقنية هي معالجة وفصل الجزيئات المعدنية التي تتراوح حجوم جزيئاتها من (250-25) مايكرو مليمتر. عادة ما تكون مساحة المنضدة تسوي (3×1)م^2 ولها القابلية معالجة وفصل (5) طن/ساعة من المواد الخام.

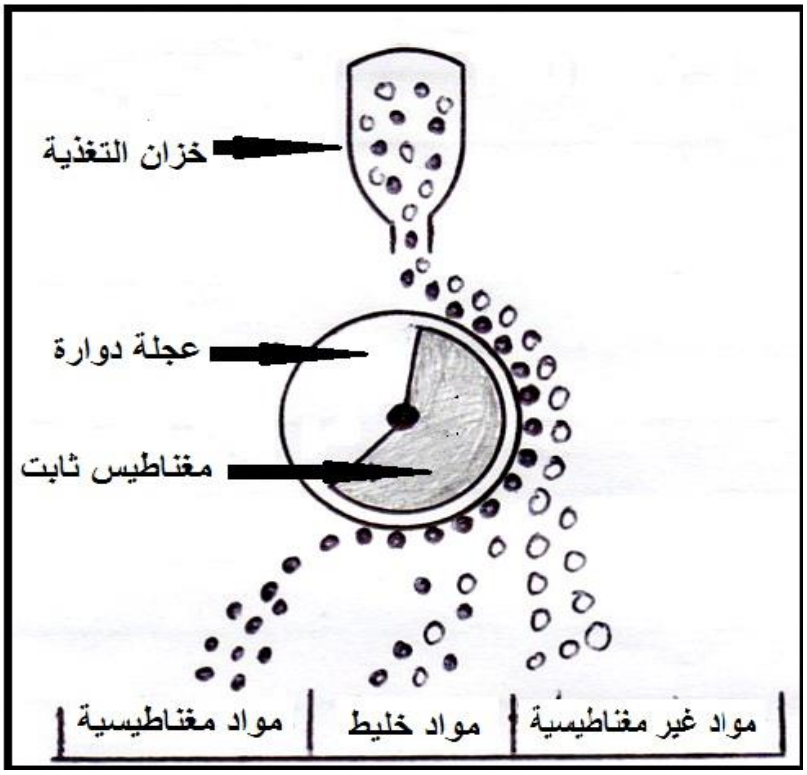
ألطريقة البديلة لفكرة المنضدة الهزازة هي فكرة استخدام الاسطوانة الحديدية (Jig) وتسمى طريقة (Jigging) أي الغربال المائي وتعتبر من الطرق القديمة المستخدمة في عمليات الفصل الجزيئي على أساس الوزن النوعي ويستخدم في الغالب الحبيبات ذات الحجوم الكبيرة التي يتراوح قطرها بين (40) ملم ولغاية (2)ملم، تستخدم هذه الطريقة في فصل الجزيئات المعدنية التي تمتلك أحجام جيبيه اكبر من التي يمكن معالجتها في المنضدة الهزازة. طريقة العمل تعتمد على وضع الجزيئات المعدنية او الخليط الخام في اسطوانة حديدية كما موضح في الشكل رقم (16-7) تحتوي في قعرها على منخل او غربيل ذو فتحات مناسبة محسوبة حجم الفتحات على ضوء الحجم الحبيبي المراد فصله عن مواد الخام. تملأ هذه الاسطوانة بالماء الجاري من أسفل الغربيل ويخرج من أعلى الاسطوانة، حيث يتم الفصل بواسطة تحريك الغربيل مع المواد في حركة تواترية الى الأعلى والأسفل او التصميم الحديث لهذه لطريقة هي عمل دفعات من الماء الى الأعلى و الغرابيل ثابت من خلال الجزيئات المعدنية، بهذه الطريقة فان الجزيئات المعدنية المتشابهة تميل الى تكوين طبقات، الجزيئات الصغيرة والثقيلة تميل الى التجمع في قعر الاسطوانة بينما الجزيئات الكبيرة الخفيفة تميل الى التجمع الى الأعلى. إن التشغيل والتغذية المستمرة تؤدي الى استمرار تجمع الجزيئات على شكل طبقات ويتم بعدها فصل الجزيئات الثقيلة عن الجزيئات الخفيفة. تستعمل هذه الطريقة بصورة واسعة في فصل واستخلاص الفحم الحجري لكون الفحم الحجري اقل كثافة من المعادن المصاحبة معهُ ويتجمع في الطبقات العليا، الذهب، الكاسيتيرايت، الألماس يتجمع في الطبقات السفلى، الحجم الحبيبي المعتمد للاستخدام في هذه الطريقة هو بين (-10 µm + 200 µm).



شكل (16 - 7) مخطط جهاز فصل الجزيئات نوع Jig

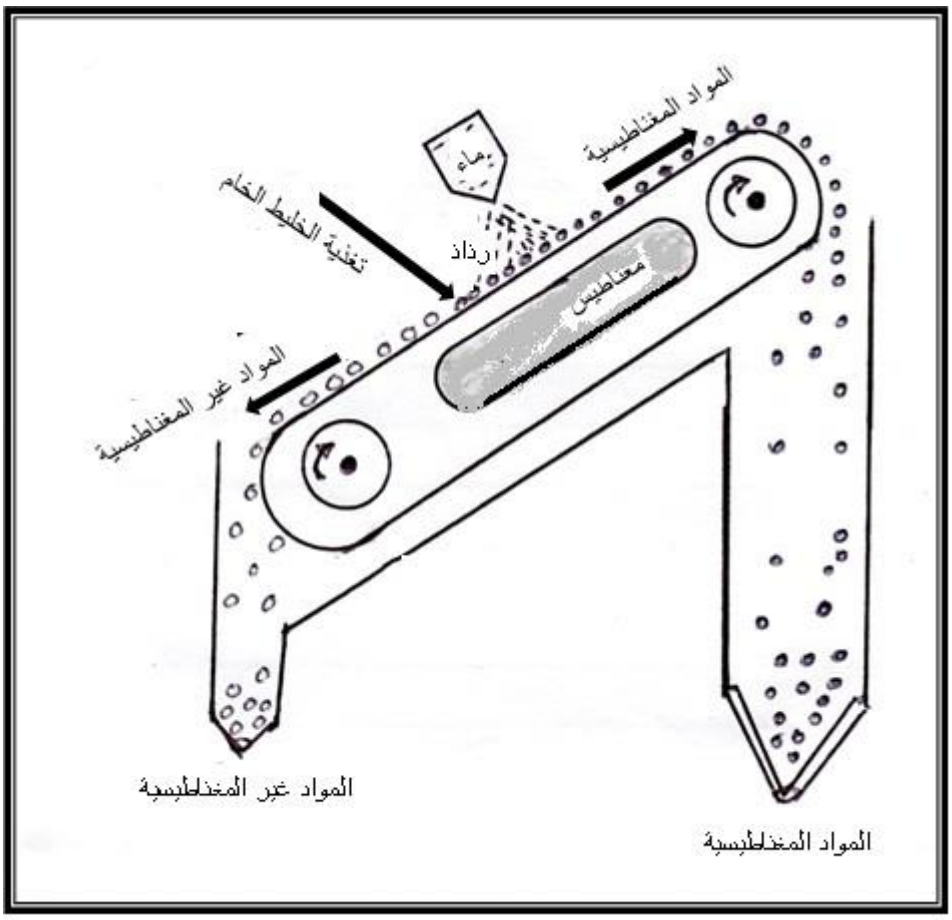
(7–11–2–5) الفصل المغناطيسي Magnetic Separation

ألمعادن في الطبيعة تختلف كثيرا في الحساسية المغناطيسية وبذلك أمكن استخدام هذه الصفة في عمليات الفصل المعدني، بعض المعادن تمتلك خاصية المغناطيسية طبيعياً والبعض الأخر تكتسب المغناطيسية عند تعرضها لمجال مغناطيسي والبعض الأخر لا يتأثر بهذه الصفات. تقنية الفصل المغناطيسي استخدمت بصورة واسعة في العمل كوحدة حراسة (guard Unit) لحماية المكائن والمعدات والكسارات من دخول او مرور القطع الحديدية الصلبة من المواد السيراميكية، وكذلك استخدمت في معالجة وفصل المعادن الغنية بمركبات الحديد مثل الماكنيتايت Fe_3O_4 عن المعادن غير المغناطيسية مثل الكوارتز وذلك باستخدام مجال ضعيف ،اما الخامات الحديدية الضعيفة مثل الهيماتايت Fe_2O_3 فتستخدم في عمليات الفصل باستخدام مجال مغناطيسي قوي او عالي الشدة او يتم تحويل الهيماتايت بطريقة التسخين والتحميص الى الماكنيتايت ثم فصله بمجال مغناطيسي ضعيف. عند استخدام جهاز الفصل المغناطيسي في فصل ومعالجة الخامات المعدنية المغناطيسية نلاحظ عند مرور خليط الجزيئات المعدنية عبر المجال المغناطيسي فأن الجزيئات او الحبيبات المعدنية المغناطيسية تنحرف كثيراً مع مسافة التأثير للمجال المغناطيسي شكل رقم (7-17) اما الجزيئات غير المغناطيسية فإنها لا تتأثر وتسقط بعيداً عن تأثير المجال المغناطيسي.



شكل رقم (17 - 7) مخطط عمليات الفصل المغناطيسي الجاف

تصنف طريقة الفصل المغناطيسي الى نوعين هي الفصل الجاف والفصل الرطب، يستخدم الفصل الجاف في فصل المواد ذات المغناطيسية العالية كالماكنيتايت، والفصل الرطب له تطبيقات كثيرة ومتعددة ويستخدم بشكل خاص لخامات الأخرى غير الماكنيتايت. للفصل ألرطب مزايا واضحة عند استخدامه لمعالجة المواد الناعمة حيث يؤدي الماء الى توزيع الجزيئات والحبيبات المعدنية بشكل متجانس وبالتالي سهولة فصلها والحصول على خام ذات درجة تركيز عالية. شكل رقم (18 - 7) يوضح عمليات الفصل المغناطيسي للجزيئات المعدنية الناعمة جداً باستخدام أسلوب المعالجة الرطبة (الماء) لمعدنين احدهما ذو خاصية مغناطيسي جيدة والآخر غير مغناطيسي والسبب في استخدام المعالجة الرطبة هي لمنع حصول تكتلات جزيئية للمواد الناعمة مما يؤدي الى تقليل كفاءة عملية الاستخلاص.



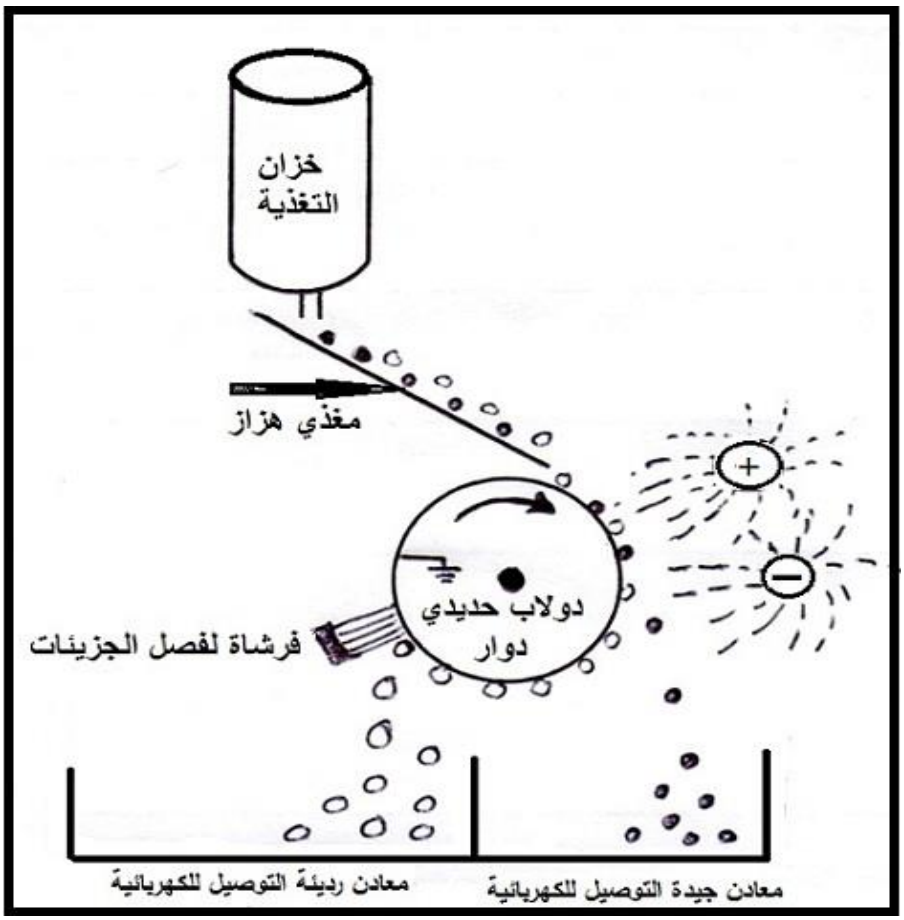
شكل رقم (18-7) مخطط عمليات الفصل المغناطيسي الرطب

(7-11-2-6) الفصل الكهربائي Electrical Separation

تقوم عملية الفصل الكهربائي على مبدأ ان الشحنات المختلفة تتجاذب والشحنات المتشابهة تتنافر، الاختلافات في قابلية الجزيئات المعدنية على توصيل التيار الكهربائي كبيرة جداً، حيث ان الاختلافات في الصفات الكهربائية لأحد المعادن غالباً ما ترتبط أو تتأثر بوجود شوائب تختلط مع الجزيئات المعدنية. التقنية المستخدمة في الطريقة الكهربائية هي استخدام فرق جهد عالي (High-Tension) او استخدام طريقة الألكتروديمنكس (Electrodynamics)

في الفصل الكهربائي والتي غالبا ما تستخدم في معالجة رمال السواحل والترسبات الغرينية لاستخلاص معادن التيتانيوم، زركونيوم والقصدير.

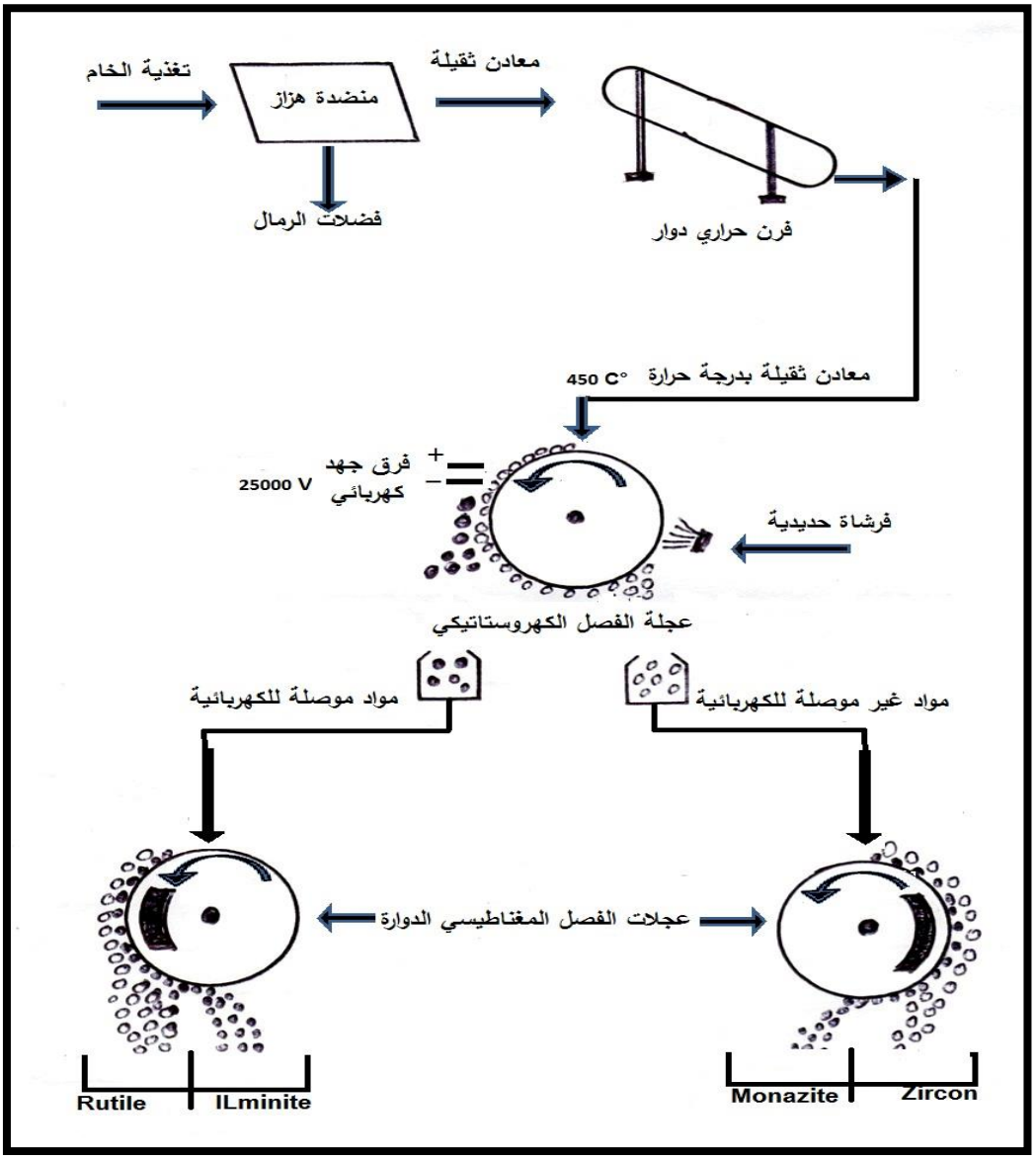
عند استخدام جهاز الفصل الكهربائي عالي الفولتية يتم تغذية خليط الجزيئات المعدنية على شكل طبقة خفيفة الى سطح اسطوانة معدنية دوارة تربط كهربائياً بسلك الى الأرض (شحنتها تكون صفر)، ثم تمرر هذه الجزيئات المعدنية أثناء دورانها على الاسطوانة على جهاز شحن كهربائي يمتلك فرق جهد عالي قدره 30kv شحنته معاكسة لشحنة الاسطوانة ويوجه المجال الكهربائي نحو الجزيئات المعدنية التي فوق الاسطوانة. شكل رقم (19-7).



شكل رقم (19-7) مخطط عملية الفصل الكهربائي

ألجزئيات ألمعدنية التي لها سطح توصيل جيد للكهربائية تفقد الشحنة الكهربائية مباشرة على سطح الاسطوانة الدوارة وتسقط من على سطح الاسطوانة في الوعاء الأول، أما الجزيئات ذات التوصيل الرديء أو التي لها سطح عازل للكهربائية تميل الى الاحتفاظ بشحناتها الكهربائية حيث تكون شحنتها عكس شحنة الاسطوانة الدوارة فيحصل تجاذب بينهما وبذلك تبقى الجزيئات ملتصقة الى سطح الاسطوانة الى أن يتم إزالتها ميكانيكيا باستخدام فرشاة خاصة توضع في طريقها معدة لهذا الغرض.

تستخدم هذه الطريقة في الفصل الجاف وكذلك تكون فعالة في الخليط المعدني ذات الحجوم الناعمة (1 – 0.1) مليمتر. هذه الطريقة ذات استخدام محدود لقلة كفاءتها، إضافة الى ذلك فان موصلية المعادن تكون مختلفة لذلك من المتوقع وجود تغيير كبير في تصميم أجهزة الفصل الكهربائي مما يسبب تحديد وقيود في استخدامها بنطاق واسع، شكل رقم (20-7) يوضح مخطط انسيابية عمليات الفصل المعدني المزدوجة باستخدام تقنية الفصل الكهربائي ثم استخدام تقنية الفصل المغناطيسي لنواتج عمليات الفصل الكهربائي في فصل خليط معدني يحتوي على أنواع من الجزيئات المعدنية ذات الخصائص فيزياوية مختلفة.



شكل رقم (20-7) مخطط انسيابي لمعالجة وفصل المعادن الثقيلة

(7-11-3) الفصل الكيمياوي Chemical Separation

طرق الفصل الفيزيائي للجزيئات المعدنية التي تم التطرق لها في الفقرة السابقة كانت جميعاً تعتمد على الخصائص الفيزيائية للمعادن، الطرق الفيزيائية رخيصة الثمن، سريعة وسهلة التطبيق والاستخدام عما هي عليه في الفصل الكيميائي، عندما تفشل طرق الفصل الفيزيائي فأن السبب في ذلك يعود الى عدم كفاءة عمليات تحرير المعادن من المواد الرابطة او الصخور والجزيئات العقيمة والفضلات المرتبطة بها، عندما تصادف عمليات الفصل الفيزياوي وجود جزيئات معدنية صغيرة جداً او وجود تشابه في الخصائص الفيزيائية عندئذٍ يتم اللجوء إلى استخدام طرق الفصل الكيميائية التي تعتمد على وجود اختلافات في الصفات والخصائص الكيميائية للمعادن.

معظم المعادن متكونة من مواد بلورية أيونية (البناء البلوري للتركيب المعدني) من الممكن اعتبار هذا التركيب البلوري المعدني إما سالب أو موجب الشحنة ترتبط مع بعضها البعض بواسطة عملية التجاذب الالكتروستاتيكي. من الممكن اعتبار هذه البلورات عبارة عن وحدات كروية لها نصف

قطر معين. هذه البلورات متكونة من عدد كبير جدا من وحدات البناء الأساسية تسمى خلايا (Unit Cell) الإعادة المتكررة المنتظمة للبناء الخلوي هذا في الفراغ يؤدي الى ظهور او تكوين البناء البلوري للمعادن. كيميائية البلورات هي السبب في تكون الأواصر الرابطة بين وحدات الخلايا وهي السبب في ظهور الصفات والمميزات الكيميائية المعدني للجزيئات المعدنية. هذه الصفات او المميزات هي التي تستهدف في استخدامها في عمليات الفصل الكيميائي.

إن سطح ألجزيئه المشحونة والمتلبد بإحدى الشحنات الموجبة او السالبة تكون هذه ألجزيئه لها نزعة او ميل على الالتصاق بالفقاعات الهوائية داخل السائل ثم يحصل لها طفو نحو الأعلى. ان التعامل كيميائياً مع سطح الجزيئات سهل وسريع وعملية غير مكلفة وذلك لاستهلاكها كمية قليلة من المواد الكيماوية الكاشفة التي تعمل على تغير الصفات الكيماوية للمعادن.

عند حصول فشل في تطبيق أي من طرق الفصل المعدني سابقة الذكر، مباشرة سوف يتخذ القرار بضرورة إجراء أعمال المعالجة والفصل المعدني باستخدام تفاعلات كيميائية وربما يتم استخدام أسلوب الإذابة لأحد المعادن لغرض فصله وعزله عن المكونات المعدنية الأخرى. هذه العملية تكون مكلفة وغالية الثمن تستخدم في بعض الحالات في معالجة وفصل المواد الثمينة اذا وجدت بكميات قليلة ضمن الصخور العقيمة.

عمليات الفصل المعدني الكيميائي تنقسم الى طريقتين هما:-

1- طريقة التطويف أو التعويم Flotation method

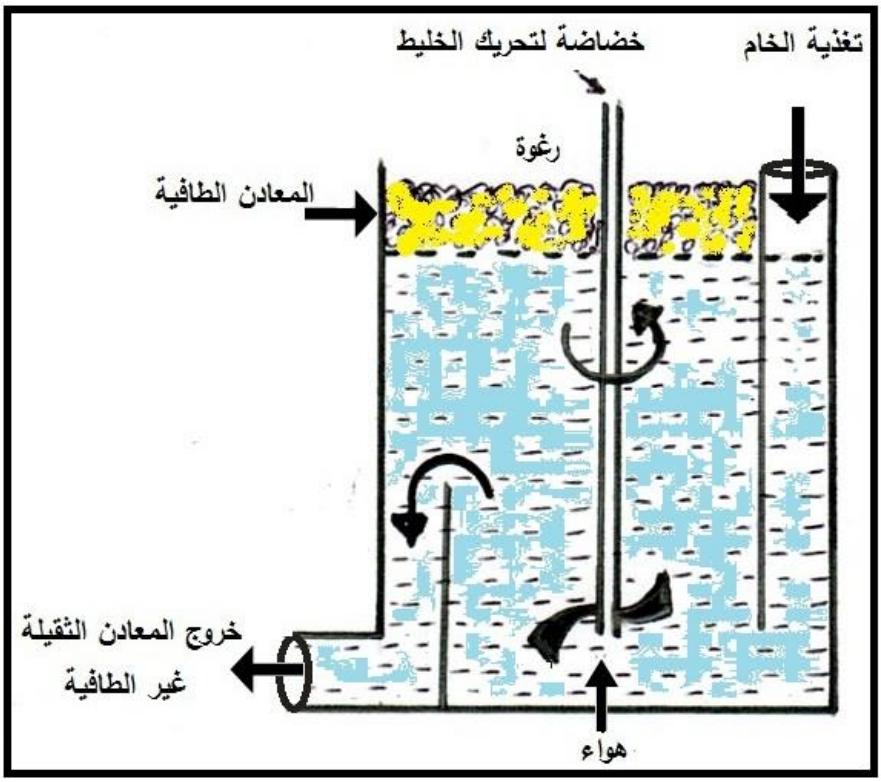
التي تعتمد على كيميائية السطح المعدني للجزيئه.

2- طريقة الاختزال Leaching

التي تعتمد على التفاعلات الكيميائية للمعادن.

(7-11-3-1) طريقة التعويم Flotation method

تستخدم هذه الطريقة خاصة وجود اختلافات كيميائية على سطح الجزيئات المعدنية، إستخدام هذه العملية لا يحتاج إلى استهلاك كميات كبيرة من المواد الكيماوية Reagent بسبب ان المستهدف أو المعني بالتفاعلات الكيميائية هو السطح الخارجي للجزيئات المعدنية فقط. تقنية هذه الطريقة تعتمد على وضع الجزيئات المعدنية او الخليط الخام في محلول مائي مكثف داخل خزان خاص ثم تمرر فقاعات هوائية من أسفل الخزان تؤدي إلى التصاق الجزيئات المعدنية المستهدفة في عملية الاستخلاص مع هذه الفقاعات إذا كانت الفقاعة المستحصلة من ارتباط الفقاعات الهوائية مع الجزيئات اقل من كثافة المحلول المائي عندئذٍ يحصل لها تعويم وتطفو الى الأعلى نحو سطح الخزان ثم يتم جمعها على شكل رغوة Froth من على سطح الخزان، أما الجزيئات الثقيلة فسوف تغطس نحو أسفل الخزان ويتم إخراجها عن طريق أنبوب خاص نحو الخارج كما موضح في الشكل رقم (21-7). الخزان المستخدم في عملية التعويم يسمى خلية التعويم (Flotation cell) ويطلق كذلك عليه اسم تعويم الرغوة Froth Flotation على طريقة الاستخلاص والفصل الكيميائي هذه.



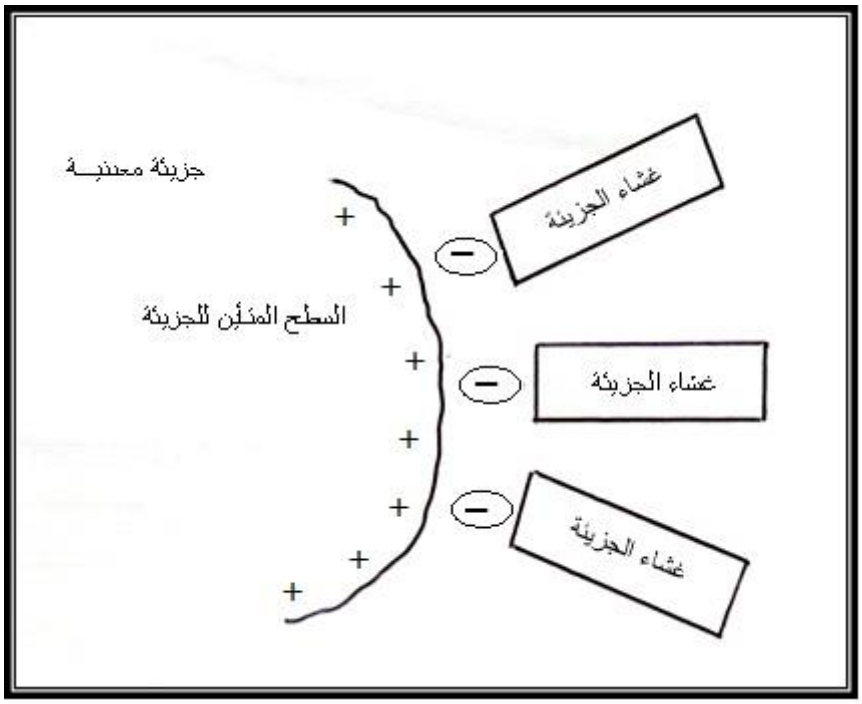
شكل رقم (21-7) مخطط يوضح خلية التعويم لفصل الجزيئات المعدنية

طريقة تعويم الرغوة تستخدم بصورة واسعة في فصل جزيئات المعادن الكبريتيدية Sulphide Minerals عن المعادن السيليكية عند استخلاص المعادن الحاملة للنحاس، زنك، رصاص، نيكل، كوبالت، الموليبدنيوم عن الخامات او الصخور العقيمة الحاملة لها، كذلك تستخدم حديثا في معالجة خامات الحديد، الفحم الحجري والصخور الفوسفاتية.

معظم المعادن تمتلك سطوح معدنية نظيفة خالية من التلوث بمركبات مصاحبة لها اثناء عمليات التكوين او ترسيب هذه التكوينات الصخرية. هذه السطوح عندما يتم ترطيبها بالماء يحصل لها قابلية على الالتصاق Adhere بجزيئات الماء بدلا عن الهواء، المواد العضوية مثل الكيروسين Paraffin وقليل من المعادن الأخرى مثل الفحم له قابلية الالتصاق بالهواء بدلا عن الماء وبذلك فهذه المواد تميل الى التجمع قرب او عند السطوح الفاصلة بين الهواء– الماء، مثل هذه المواد لها خاصية عدم الاستقطاب أو تمتلك سطوح غير قطبية لا تبدي أي شحنة كهربائية سطحية مع الوسط المحيط بها. من جهة أخرى، فان معظم المعادن لها سطوح قطبية أي تمتلك شحنة كهربائية مع الوسط المحيط بها. جزيئات الماء لها سطوح ذات شحنة كهربائية (اي جزيئات قطبية) ولذلك فإنها تميل إلى الالتصاق مع السطوح المعدنية، وعليه بواسطة إجراء بعض المعالجات او التفاعلات الكيماوية البسيطة يمكن تغليف أو إجراء عملية تغطية لسطح الجزيئات المعدنية القطبية بواسطة غشاء خفيف من المركبات غير القطبية لحمايتها من الالتصاق مع الماء والسماح لها أو إرغامها على الالتصاق بالفقاعات الهوائية وبالتالي يحصل لها عملية تعويم او تطويف على سطح السائل. هذه العملية يتم اعتمادها عند وجود احد المركبات مع خليط من المواد القطبية وهي طريقة مناسبة لإجراء عملية فصل

معدني كفوء عن المركبات الأخرى لاستخدام عملية التعويم. هذه المركبات المضافة تسمى بالعوامل المساعدة وهي عبارة عن عوامل كيمياوية Chemical Reagent الهدف منها هي تحسين وزيادة كفاءة الفصل حيث تعمل على تكوين غشاء واقي يحمي سطح ألجزيئه من الالتصاق بالماء وذلك يعمل على عزل المعدن الطافي في الجزء العلوي من الخلية وإبقاء الخام الغير الطافي في الجزء الاسفل من خلية التعويم. تستخدم لهذا الغرض أنواع مختلفة من المواد الكيماوية المساعدة مثل مواد مجمعة Collectors، مزبدات Frothiers، معطسات Depressants، منشطات Activators وكذلك مزيل المنشطات Deactivators.

من أهم المواد المستخدمة هي المواد الجامعة Collector التي تؤدي الى تكوين غشاء جامع له خاصية على تكوين شحنة كهربائية في احد الاتجاهات المواجهة لسطح ألجزيئه ذات الشحنة المعاكسة لشحنة سطح ألجزيئه المعدنية والجهة الأخرى من سطح الغشاء المواجه لسطح الماء ذات شحنة متعادلة (الشكل رقم (22-7)) هذه الخاصية تستخدم في تجميع وفصل الجزيئات المعدنية عن الوسط الحاوي على خليط معدني



شكل رقم (22-7) مخطط يوضح الغشاء الجامع تلاصق السطح المعدني

عند استخدام خلية التعويم في عمليات الفصل المعدني هناك شروط يجب تطبيقها لغرض انجاز كفاءة استخلاص معدني جيد وهي:

1- تجهيز الخليط الخام والسوائل بمعدل سرعة ثابتة ومستقرة.

2- إعطاء الوقت الكافي لإتمام عملية التفاعل بين الجزيئات المعدنية والمواد المساعدة Reagent.

3- إنتاج كمية كافية من الفقاعات الهوائية بحجم مقارب لحجوم الجزيئات المعدنية المطلوب تعويمها.

4- السماح للجزيئات المعدنية الطافية بتكوين الرغوة بهدوء لتسهيل عملية ازالتها .

5- إزالة الرغوة المتكونة الحاوية على الجزيئات المعدنية باستمرار وبكفاءة جيدة للسماح بتكوين رغوة بديلة عنها.

حجوم الجزيئات المعدنية التي ممكن أن تطفو عند استخدام عملية التعويم تعتمد بصورة كبيرة على كثافة الجزيئات، مثلاً إن حجم جزيئات الفحم الحجري التي ممكن فصلها باستخدام هذه الطريقة تصل الى (2)ملم، إذ إن كثافة الفحم الحجري تساوي (1400) كغم/م^3 في حين ان كثافة الجزيئات المعدنية للكبريتات تصل الى (5000) كغم/م^3 ولذلك يجب ان يكون حجم جزيئاتها القابلة للطفو تساوي (200) ملي مايكرون. يجب ان يحتوي الخليط الخام الذي يتم تغذيته إلى خلية التعويم على أحجام صغيرة من الجزيئات المعدنية المطلوبة فصلها بالتعويم بينما الجزيئات غير المرغوب بها يجب ان تكون ثقيلة الوزن لكي تغطس نحو الاسفل وتسحب خارجاً مع الفضلات.

ولذلك فان حجم الجزيئات المعدنية والكثافة لها أهمية كبيرة في عمليات الفصل المعدني عند استخدام عملية التعويم الكيمياوي.

عادة يتم إجراء عمليات التعويم للجزيئات المعدنية باستخدام خزان أو حوض معدني كبير يوضع فيه السائل الكيمياوي الخاص مع الخليط المعدني ويتم تمرير الفقاعات الهوائية م اسفل الحوض نحو الخليط. يجب إعطاء فترة زمنية تمتد لحوالي (15) ثانية لإعطاء فرصة للفقاعات الهوائية لكي تلتصق مع الجزيئات المعدنية المطلوبة لإرغامها على الطفو نحو السطح، مع ذلك هناك جزيئات معدنية غير مرغوب بها ممكن أن يحصل لها طفو تؤدي الى قصور في كفاءة الفصل المعدني، ولكن باستخدام سلسلة متعاقبة من الأحواض أو خلايا التعويم يمرر خلالها الخليط المعدني بالتعاقب لغرض الحصول على فصل معدني كفوء. يمكن إجراء عمليات الفصل المعدني لأكثر من معدن ممكن ان تتواجد ضمن الخليط المعدني، يتم ذلك عن طريق إجراء سلسلة متعاقبة من عمليات الفصل واحداً تلو الآخر مثال على ذلك إذا كان لدينا خليط من المواد المعدنية الخام الحاوية على معادن الكالينا (PbS) جالكوبايرايت ($CuFeS_2$)، سفالرايت (FeZnS)، والبايرايت(FeS_2) مع المواد الرابطة التي هي السيليكا (SiO_2). يتم فصل معدن الكالينا أولا ثم يتبعها فصل المعادن الأخرى واحد بعد الآخر وحسب تسلسل درجة كثافتها وهي الجالكوبايرايت، سفالرايت والبايرايت.

السؤائل المستخدمة في خلايا التعويم عادة ما يكون ماء البحر او المياه المالحة والفقاعات من الهواء الجوي الحر كونها رخيصة الثمن وغير مكلفة.

(7-11-3-2) عمليات الترشيح Leaching Process

معظم المعادن في الطبيعة ممكن التعامل معها بواسطة مواد كيميائية معينة وبصورة انتقائية. ممكن اختبار احد أنواع العناصر المطلوبة او المستهدفة في عمليات المعالجة وفصلها عن المكونات المعدنية الأخرى بصيغة مركبات ذائبة. من المعادن التي يمكن فصلها بعملية الترشيح وتحويلها الى مركبات ذائبة هي البورون (B)، النحاس (Cu)، الألمنيوم (Al)، المغنيسيوم (Mg)، النيكل (Ni)،

التنكستن (W)، الذهب (Au)، الفضة(Ag)، الزنك او الخارصين (Zn)، اليورانيوم (U) والصوديوم (Na).

هناك ثلاث أنواع من عمليات الترشيح هي:-

1- الترشيح ألموقعي In Situ leaching

2- الترشيح في الأحواض او الخزائن Tank leaching

3- الترشيح بالركام Dump leaching

(7-11-3-2-1) ألترشيح ألموقعي

بعض الصخور تحتوي على مكونات معدنية لها القابلية على الذوبان في الماء، وهذه المعادن يمكن إذابتها عند إمرار المياه من خلال مسامات الصخور الحاوية على المعادن. المثال الشائع على استخدام هذه التقنية هي إذابة كلوريد الصوديوم في الماء لاستخلاص ملح كلوريد الصوديوم (NaCl)، إذابة كلوريد البوتاسيوم وكذلك إذابة اليورانيوم ثم معالجته وفصله من المحاليل الحاوية له. عند الانتهاء من العمليات المنجمية واستخراج الخامات من موقعا تستخدم طريقة الترشيح ألموقعي وذلك بإجراء عملية تفجير للصخور وتكسيرها الواقعة حول قنوات ومناطق الفجوات المنجمية ثم إمرار المياه خلالها وإذابة ما تبقى من معادن ثقيلة مثل النحاس، اليورانيوم ثم سحبها الى الخارج وفصل المعادن منها.

(7-11-3-2-2) الترشيح في الأحواض

عند استخدام هذه الطريقة يتم إجراء عملية تكسير للصخور الخام وتحويلها الى جزيئات حبيبة بحجم معين لغرض كشف وتعريض الجزيئات المعدنية الى المحاليل الكيماوية المستخدمة: يتم وضع الخليط الصخري المعدني في أحواض كبيرة خاصة ثم تعامل بواسطة إمرار محاليل كيمياوية عليها وإعطاء الوقت الكافي للسماح للجزيئات المعدنية المكشوفة بان تتعامل مع هذه المحاليل وتذوب فيها مكونة مركبات أخرى ذائبة فيها ثم تسحب هذه المحاليل خارج الحوض وتعالج مرة ثانية لغرض فصل واستخلاص المكونات المعدنية الذائبة فيها. مثال على ذلك هو استخلاص الذهب الذي يتواجد على شكل طبيعي في المواد السيليكية الرابطة والعقيمة يتم معاملة الخام بواسطة محلول ضعيف من سيانيد البوتاسيوم (KCN) تبقى المواد السيليكية على حالها بينما يذوب الذهب في المحلول مكونا مركب معقد من السيانيد كما موضح في المعادلة:

$$2Au + \frac{1}{2}O_2 + 4KCN + K_2O \longrightarrow 2K\{Au(CN)_2\} + 2KOH$$

يتم ترشيح المحلول الحاوي على مركبات الذهب ويضاف له مسحوق الزنك Zinc Powder الذي يعمل على ترسيب معدن الذهب.

مثال اخر في استخدام هذه التقنية هي استخلاص معدن النحاس من المواد الخام بعد إذابته في حامض الكبريتيك المخفف لتكوين كبريتات النحاس الذائبة ثم يتم فصل معدن النحاس من هذه

المحاليل بعد ترشيحه. احد الطرق الشائعة في استخدام خزانات الترشيح هي طريقة باير (Bayer Process) الخاصة بإنتاج مادة الالومينا AL_2O_3 من خام البوكسايت (AL_2O_3 . n H_2O) الذي يتواجد كخليط مع ترسبات الأطيان والسيليكا والحديد والمغنيسيوم. تتم معالجة خام البوكسايت بإمرار محلول الصودا الكاوية (Caustic Soda) تحت ضغط معين ودرجة حرارة عالية بحدود (430) كلفن لتكوين محلول مشبع بالالومينا والصوديوم بعد تبريده يؤدي الى ترسيب هيدروكسيد الألمنيوم في محلول هيدروكسيد الصوديوم. يتم فصل مركبات الألمنيوم بعملية ترشيح المحلول وفصل مركبات الألمنيوم، تعرض هذه المركبات الى درجة حرارة عالية لتتحول الى اوكسيد الألمنيوم (AL_2O_3).

(7-11-3-2-3) الترشيح بالركام

ممكن أن تتواجد نسبة قليلة من المعادن في الفضلات المنجمية وفضلات معامل الاستخلاص المعدني التي تطرح خارجاً على شكل ركام كبير، ممكن الاستفادة القصوى من هذا الركام واستخلاص ما تبقى من مكونات معدنية بطرق سهلة ورخيصة وذلك بواسطة رش بعض المحاليل والمواد الكيماوية على هذا الركام ليعمل على إذابة بعض المعادن مثل النحاس المتبقي في الفضلات ثم سحب وتجميع هذه المحاليل لغرض فصل معدن النحاس، تستخدم مثل هذه التقنية أحيانا عند إزالة الغطاء الصخري من احد المناجم الحاوية على المعادن الكبريتية ثم يعمل منه ركام وبعد ذلك يتم رش المياه العذبة على هذا الركام لتسهيل تفاعل الكبريتات مع الأوكسجين في الهواء الطلق بوجود الماء لإنتاج اكاسيد الكبريت الذائبة في الماء لتكوين حامض الكبريتيك الذي يعمل على إذابة المعادن الأخرى المصاحبة للمكونات الصخرية في الركام وهي تقنية سهلة تستخدم لفصل بعض المعادن من المخلفات الصخرية.

(7-12) نسبة التركيز Concentration Ratio

أحد أهم العوامل في عمليات الاستخلاص المعدني هي حساب نسبة التركيز المعدني الداخلة الى معمل المعالجة والخارجة منه بعد انتهاء عمليات الإنتاج، يتم ذلك بمعرفة أو حساب كتلة المواد الخام الداخلة الى معمل المعالجة مع كتلة المواد المعدنية التي يتم الحصول عليها في نهاية عمليات الاستخلاص، هذه النسبة تسمى نسبة التركيز ويرمز لها بالرمز (C.R.) حيث ان:

$$C.R. = \frac{M_f}{M_c}$$

M_f = كتلة المواد الخام الداخلة الى المعمل

M_c = كتلة المواد المعدنية المنتجة المركزة

مثال على ذلك اذا تم تغذية 100 كغم من المواد الخام الى معمل معالجة وتم الحصول على مواد مركزة قدرها (10) كغم، فان نسبة التركيز تساوي

$$C.R. = \frac{100}{10} = 10\ \%$$

(7–13) معامل الاستخلاص Recovery Value

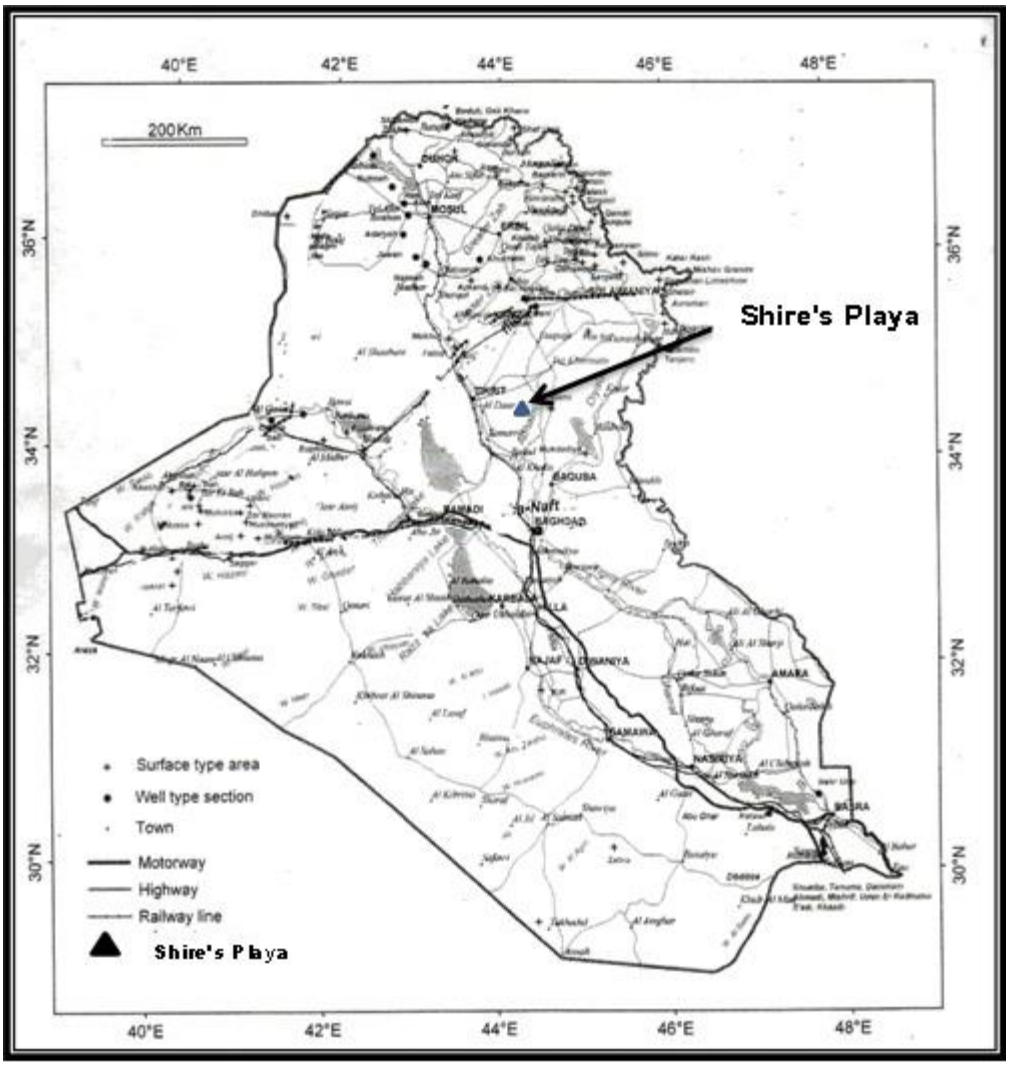
إن هدف كل معمل معالجة عند استخلاص المعادن هو الحصول على اكبر كمية ممكنة من المواد المعدنية الداخلة ضمن المواد الخام ومحاولة استخلاصها وفصلها بكفاءة عالية جدا بأقل قدر من الضائعات.

إن كفاءة عملية الاستخلاص هي عبارة النسبة بين كمية المواد المعدنية الداخلة ضمن المواد الخام الى معمل المعالجة مع كمية هذه المواد الخارجة في نهاية عملية الاستخلاص. مثال على ذلك لنفرض تم إدخال او تغذية مواد خام بكمية (100) كغم الى معمل المعالجة تحتوي على (2) كغم من المعدن المطلوب. تم إنتاج (10) كغم من هذه المواد الخام تحتوي على (1.8) كغم من المعدن المطلوب عليه فات كفاءة الاستخلاص (.R.V) هي:-

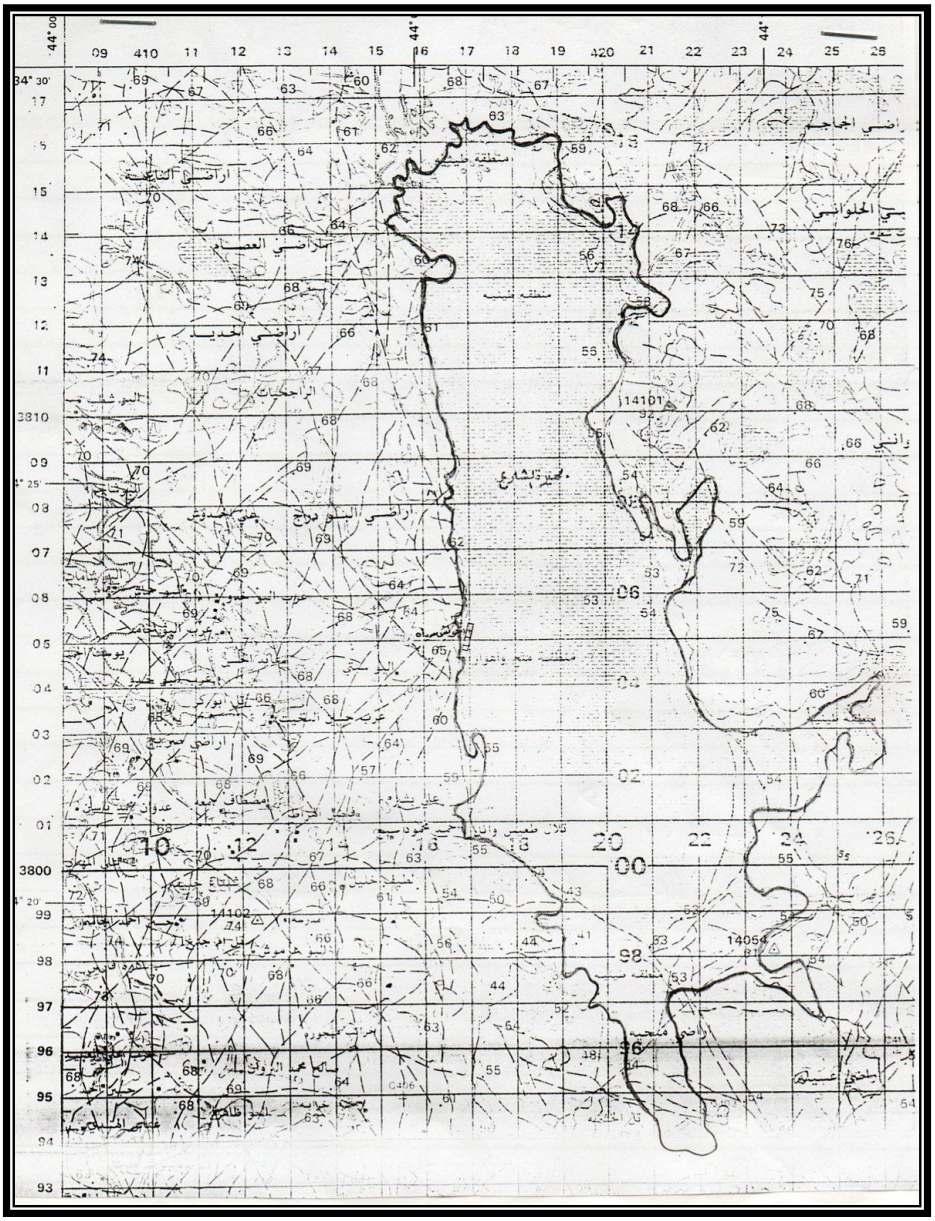
$$R.V. = \frac{\text{كمية المعدن الخارج}}{\text{كمية المعدن الداخل}} \times 100 = \frac{1.8}{2.0} \times 100 = 90\%$$

(7–14) إستخلاص كبريتات الصوديوم في العراق

منذ خمسينات القرن الماضي تم اكتشاف ترسبات وشواهد معدنية عن وجود ملح كبريتات الصوديوم في منخفض بحيرة الشارع التي تقع في محافظة صلاح الدين، شمال شرق مدينة سامراء شكل رقم (23-7). وهي عبارة عن منخفض مغلق تكون نتيجة لحصول هبوط أرضي Graben بسبب وجود تشققات مختلفة الاتجاهات في الصخور التحتية للبحيرة يبلغ طولها حوالي 15 كم وعرض يتراوح من (4-5) كم شكل رقم (24-7). طبيعة الترسبات في هذه البحيرة رخوة جدا بالمياه وقابلية التحمل لسطح البحيرة Bearing Capacity تقارب الصفر. تقع البحيرة على امتدادات المنطقة المتموجة الشمالية من جهة الشرق والشمال الشرقي وبقية الجهات تحيطها تلال وارتفاعات قليلة وأراضي جبسيه متموجة تحصل لها إذابة خلال موسم الأمطار وتدخل بها جداول تصريف موسمية عند سقوط الأمطار (ephemeral streams) إنها تمثل المصدر الرئيسي للمياه في البحيرة بالإضافة الى محاليل النضوحات والمياه الجوفية التي تخرج الى السطح تظهر على شكل ينابيع مائية بسيطة تنمو الأعشاب والحشائش حولها وترد اليها الطيور في فصل الصيف لشرب الماء. في عام 1992 قامت الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين بأجراء دراسات تفصيلية في أطيان البحيرة وتم تحديد طبيعة ترسبات ملح كبريتات الصوديوم وهو ملح مركب من كبريتات الصوديوم وكبريتات الكالسيوم [$Na_2So_4.CaSo_4$] حيث توجد احتياطات جيدة من كبريتات الصوديوم ضمن هذه الأطيان على شكل بلورات ملح الكلوبرايت.



شكل (23-7) خارطة العراق موضحة عليها موقع مملحة الشارع/ محافظة صلاح الدين



شكل رقم (24-7) شكل يمثل موقع البحيرة مع امتدادها السطحي

(7-14-1) جيولوجية المنطقة

التكوينات الجيولوجية الظاهرة على سطح الأرض حول بحيرة الشارع هي :-

1- الترسبات الحديثة (Quaternary Sediments) وهي (ترسبات العصر الرباعي) وهي الترسبات الأحدث في المنطقة والتي تمثل قعر البحيرة وتتكون من ترسبات الميسم، ترسبات السهل الفيضي وترسبات طينية مع السلت والحصى وترسبات المنحدرات المتمثلة بالصخور المتكسرة والمتشظية مع مدملكات صخرية.

2- تكوين ألمقداديه (Pliocene) عبارة عن مدملكات Conglomerate متداخلة مع صخور رملية وطينية والتي يزداد حجمها باتجاه الأعلى حيث إنها مشتقة من تعرية الصخور المجاورة.

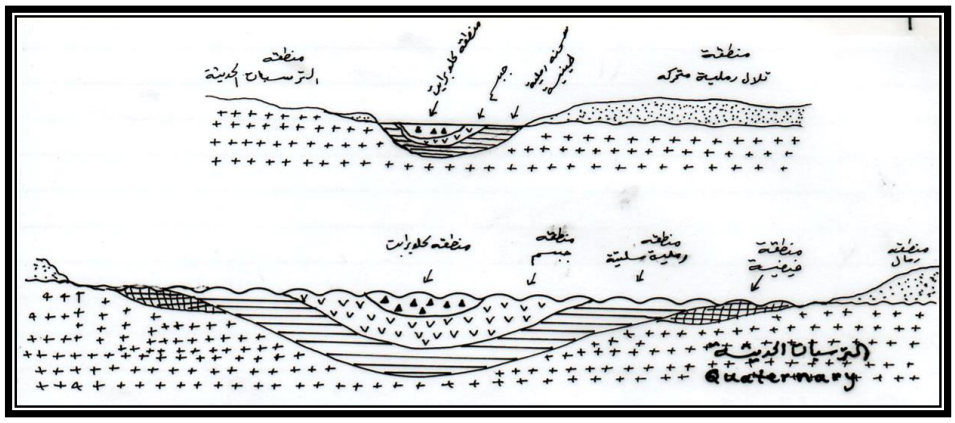
3- تكوين إنجانة (U. Miocene) ترسبات متناوبة ومتداخلة مكونة صخور الحجر الطيني الاحمر، والسلت وصخور رملية، مختلفة النفاذية وتنفصل صخور هذا الخزان عن الترسبات الحديثة بطبقة غير نفاذة من الصلصال ويعتبر هذا التكوين من التكوينات الرئيسية الحاملة للمياه الجوفية.

4- تكوين ألفتحة (M. Miocence) ترسبات متكونة من مارل، لايمستون وجبسم متداخلة مع بعضها.

5- تكوين ألفتحة وإنجانه تتكشف حول البحيرة في مرتفعات حمرين وتمتد تحت تكوين المقدادية والترسبات الحديثة. تتعرض البحيرة الى ظروف ترسيبية متكررة حيث تمتلئ بالمياه خلال موسم الأمطار وتحصل إذابة للأملاح والمواد المعدنية الذائبة وخلال موسم الصيف تتعرض البحيرة للتبخير والجفاف وبهذه الحالة فان السحنات الرسوبية تتعرض الى ظروف هيدرولوجية، بايولوجية، كيميائية وعمليات ترسيب اما مباشرة من المحاليل الملحية أو حصول تغيير لبعض المعادن مع مرور الزمن وتحولها الى معادن أخرى عند حصول تغيير في كيميائية المحاليل ودرجة التشبع مع درجة الحرارة التي تؤدي الى ترسيب الجبسم أولا ومع وجود محاليل غنية بايون الصوديوم Na^+ فإنها تساعد على تكوين الكلوبرايت. الشكل رقم (25-7) يوضح توزيع السحنات الرسوبية التي تظهر على سطح البحيرة والشكل رقم (26-7) يمثل مقطع عرضي مع مقطع طولي للبحيرة يوضح بشكل تقريبي الامتداد العمودي لهذه السحنات الرسوبية.

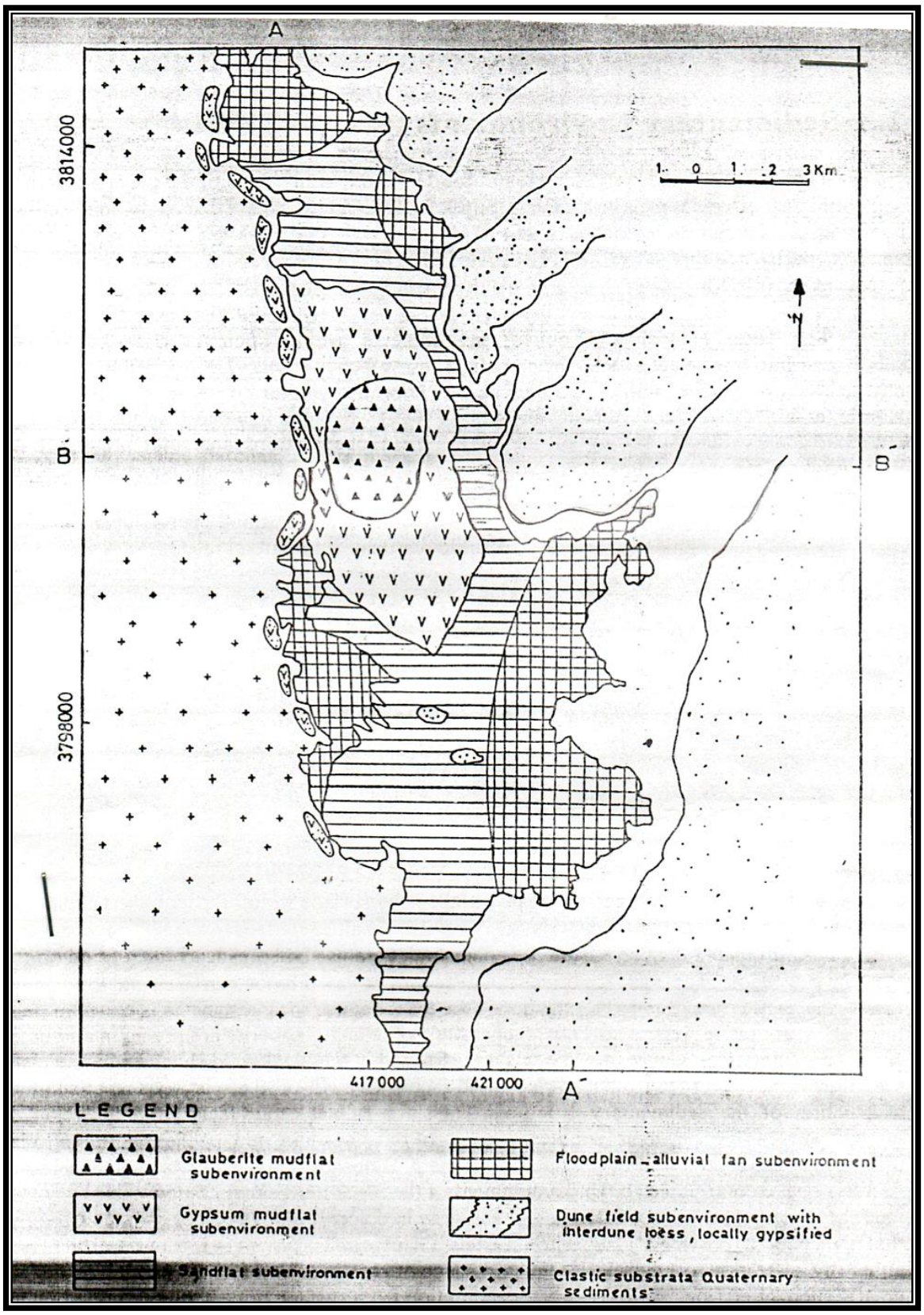
(7-14-2) التتابع الطبقي للبحيرة Strait graphic column

أ- يغطي سطح البحيرة قشرة ملحية خفيفة سمكها يصل الى حوالي 7سم في مركز البحيرة تترسب خلال موسم الجفاف تحتوي على ثلاث معادن مهمة هي ثنردايت (Na_2So_4) Thenardite, و هالايت (Na Cl) Halite وكلوبرايت $Na_2So_4.CaSo_4$ Glauberite. تعطي هذه الطبقة اللون الأبيض لسطح البحيرة في فصل الجفاف ويحصل لها تشققات تعطي بشكل هرمي غير منتظم لقشرة السطح. شكل رقم (27-7) يمثل رسم تخطيط مجسم للسخان الصخري للبحيرة.



شكل رقم (26-7) مقطع طولي وعرضي للترسبات الظاهرة على سطح البحيرة

المصدر: محور عن Jassim, R.Z. 1997 PHD unpuplished



شكل رقم (25-7) السحنات الرسوبية في مملحة الشارع

المصدر: Jassim, R.Z. 1997 PHD unpuplished thesis

ب – الطبقة الثانية التي تليها عبارة عن طبقة طينية سوداء سمكها يتراوح من (10-40)سم تتكون من الطين، الغرين، الرمال، مواد عضوية ومواد ملحية تحتوي على بكتريا هوائية ولا هوائية وكذلك تحتوي على عدة مكونات معدنية مهمة هي:

1– كلوبرايت Glauberite ($Na_2So_4.CaSo_4$).

2– بازانايت Bassanite ($CaSo_4.H_2O$).

3– ثنردايت Thenerdite (Na_2So_4).

4– ميرابلايت Mirabilite ($NaSo_4.10H_2O$).

5– هالايت Halite (NaCl).

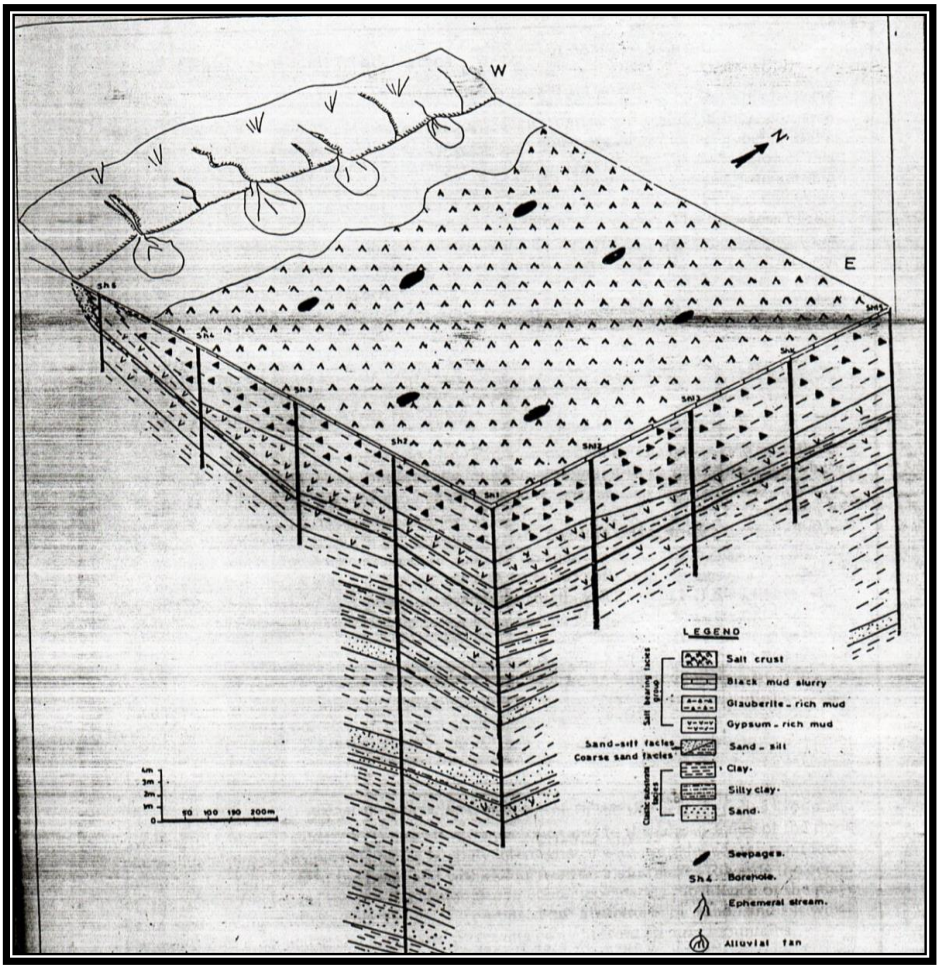
6– دانسايت Dancite [$Na, Mg(So_4)10C_{13}$].

7– ترونا Trona [$NaHCo_3.Na_2Co_3.2H_2O$].

8– ناترون Natron ($Na_2Co_3.10H_2O$).

9– جبسم Gypsum ($CaSo_4.2H_2O$).

10– هانتايت Hantite [$CaMg_3(Co_3)_4$].



شكل رقم (27-7) رسم تخطيطي مجسم للجزء الغربي من مملحة الشارع

المصدر: Jassim, R.Z. 1997

جـ – الطبقة الطينية الكاملة لمعدن الكلوبرايت وهي الطبقة الاقتصادية المهمة وتقع مباشرة تحت الطبقة الطينية السوداء يتراوح سمكها من (2) سم قرب الحافات للبحيرة إلى حوالي (7.85)م في مركز البحيرة تتميز باللون الأزرق المخضر الى الرمادي وهي مكونة من الطين يحتوي على كمية من الكلوبرايت على شكل حبيبات أو أجزاء مختلفة الأحجام تبلغ نسبته تقريبا 25% من حجم الأطيان.

د – طبقة الجبسم تحت طبقة الكلوبرايت وتعتبر نهاية الطبقة الاقتصادية حيث تمتد على كامل مساحة البحيرة وتتكون بصورة أساسية من ترسبات الجبسم مخلوطة الطين والرمال، سجل لها أعلى سمك هو 4م في مركز البحيرة.

هـ – ترسبات العصر الحديث Quaternary وهي عبارة عن ترسبات من صخور رملية وحصى متداخلة مع الأطيان ويعتبر هذا التكوين هو الأساس في لقعر البحيرة، يحتوي على شقوق وكسور بمختلف الاتجاهات تخرج من خلالها المياه الجوفية نحو سطح البحيرة.

(7-14-3) المعالجة والاستخلاص

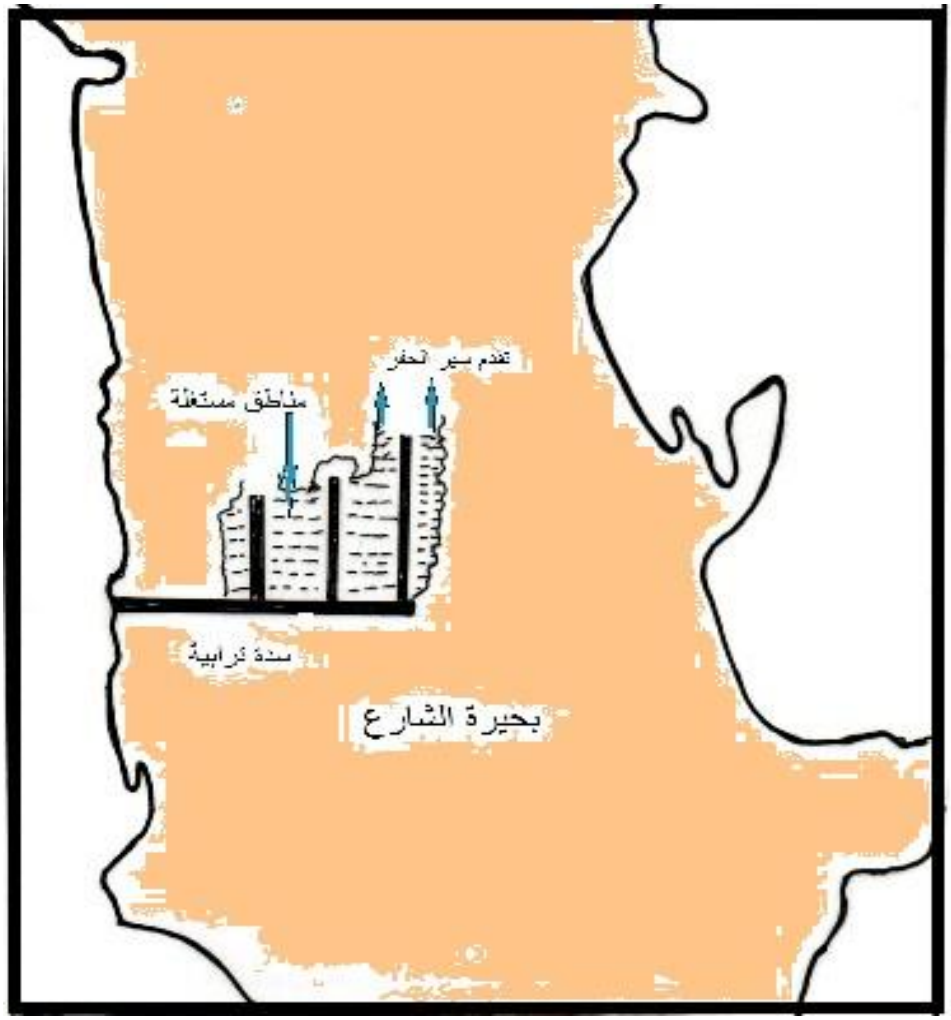
تمكنت الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين من معالجة واستخلاص كبريتات الصوديوم من الترسبات الطينية الموجودة في بحيرة الشارع بخبرة وجهود عراقية محلية وتم تنفيذ معمل كبريتات الصوديوم الذي يعنى بمعالجة وفصل كبريتات الصوديوم عن الخليط الطيني والشوائب المصاحبة لهذه الترسبات وثم تحقيق إنتاج فعلي منذ كانون الأول 1996 .

مراحل المعالجة والاستخلاص المتبعة في إنتاج كبريتات الصوديوم هي كما يلي :

1- <u>المنجم وعمليات الاستخراج Mining</u>

ألبحيرة عبارة عن منخفض طبيعي تتجمع فيه مياه الأمطار من المناطق المحيطة بها والترسبات تكون رخوة جدا ومشبعة بالمياه وقابلية التحمل ضعيفة جدا لا تحتمل ثقل المعدات الخاصة بالقلع حيث إن انسب أسلوب وطريقة استخراج منجمي هي باستعمال عملية الجرف Dredging باستخدام الكراكة، وبسبب من عدم إمكانية توفرها في العراق كونها معدات منجميه وتخصصية وكذلك حصول موسم جفاف خلال الصيف وشحة المياه في داخل البحيرة ثم اللجوء الى طريقة أخرى بديلة في العمليات الاستخراج ألمنجميوهي إنشاء سدة ترابية تمتد من كتف البحيرة نحو وسط البحيرة لكون أعلى التراكيز واكبر سمك لتواجد كبريتات الصوديوم هو في اخفض منطقة من هذه البحيرة، يتم قلع الخام باستخدام حفارة هيدروليكية وتحميله مباشرة بالسيارات القلابة لغرض نقله الى وحدة الغسل. أسلوب قلع الخام يتم على شكل مسارات عمودية على السدة الترابية الرئيسية، بعد الانتهاء من قلع ونقل الخام حسب قابلية ومدى الحفر للحفارة وعند تقدم عمليات الحفر تدفن المنطقة المقلوعة باستخدام مواد من خارج البحيرة لتكون قاعدة جديدة تقف عليها الحفارة الهيدروليكية لقلع منطقة متقدمة داخل البحيرة، وهكذا تتولى عمليات القلع والدفن، ويكون العمل على اكثر من شريط عمودي حيث عندما يكون الدفن في منطقة

يتم استخدام الشريط الآخر للقلع وهكذا التحقيق مرونة في العمل وضمان عدم حصول أي اختناق في مناورة ومرور العجلات القلابة. الشكل رقم (28-7) يوضح رسم تخطيطي لشكل المنجم في بحيرة الشارع.



شكل رقم (28-7) شكل تخطيطي الى منجم بحيرة الشارع

غسل وفصل حبيبات الكلوبرايت عن الخليط المعدني

تتم هذه المرحلة عملية خلط للأطيان المستلمة من القلع بإضافة كميات كبيرة من المياه باستخدام خلاط دوار Rotary Drum mixer حيث يتم خلطها خلطا جيدا لعزل البلورات عن الأطيان عن بلورات الكلوبرايت. بعد ذلك يتم فصل الكلوبرايت عن الماء والاطيان بواسطة الفصل ألحجمي باستخدام فلتر دوار والتي تسمح للماء والمواد الطينية الناعمة بالمرور وتحجز المواد الخشنة ذات الحجم الحبيبي اكبر من (1) ملم.

3-<u>اذابة الكلويرايت واستخلاص محلول كبريتات الصوديوم المائية</u>

لغرض فصل كبريتات الصوديوم عن كبريتات الكالسيوم وذلك بإذابة الكلوبرايت بالماء العذب مع تحريكه Agitation لتسريع عملية الإذابة في خزانات كبيرة الحجم حيث تؤدي هذه العملية الى ذوبان كبريتات الصوديوم وبقاء كبريتات الكالسيوم على شكل بلورات وجزيئات عالقة وعند ترشيح المحلول بواسطة فلتر خاص Vacuums filter يؤدي الى فصل بلورات الصوديوم المائية $Na_2So_4.10H_2O$ وتبقى كبريتات الكالسيوم على شكل حبيبات على الفلتر، والطريقة الثانية هي في استخدام طريقة التركيز كوسيلة لفصل كبريتات الكالسيوم عن المحلول باستخدام احواض كبيرة الحجم إذ يتم سحب المواد الراكدة الحاوية على جزيئات كبريتات الكالسيوم من اسفل الحوض والتخلص منها كفضلات وبقاء المحلول الحاوي على كبريتات الصوديوم بصورة نقية.

4- <u>انتاج كبريتات الصوديوم المائية</u>

يتم في هذه المرحلة إنتاج كبريتات الصوديوم المائية $Na_2So_4.10H_2O$، وذلك بتبريد المحاليل الحاوية على كبريتات الصوديوم، حيث يتم الحصول على بلورات لكبريتات الصوديوم المائية بعد بلوغ المحلول حد الإشباع. يتم زيادة تركيز المحلول المائي من كبريتات الصوديوم لغاية (18–21) بومية (1 بومية يساوي 10000 جزء بالمليون)، من الخصائص الفيزيائية الطبيعية لكبريتات الصوديوم ان قابلية ذوبانها بالماء تتأثر بشكل كبير بدرجات الحرارة، وعند تبريد هذه المحاليل الى درجات حرارة واطئة من (0–5) مئوي يحصل تبلور لكبريتات الصوديوم المائية. استخدمت هذه الصفة في إنتاج وفصل بلورات كبريتات الصوديوم المائية وذلك بوضع المحلول الملحي المشبع داخل خزان وتمرر خلاله شبكة من الماء المثلج وتدوير المحاليل بواسطة خلاط لضمان توزيع البرودة بالتساوي على كامل حجم الخزان، والطريقة الأخرى هي باستخدام الضغط المخلل Vacuumed لتبخير جزء من ماء التبلور مما يؤدي إلى تخفيض درجة حرارة المحلول.

عند تكون البلورات المائية داخل الخزان يتم فصلها بطريقتين إما باستخدام جهاز الطرد المركزي Centrifuge او باستخدام فلتر دوار ذات حجم حبيبي (150) مايكرون لفصل بلورات كبريتات الصوديوم المائية.

5- <u>انتاج كبريتات صوديوم جافة</u>

إن كبريتات الصوديوم المائية تحتوي على 10 جزيئات من ماء التبلور وهذا يكون 65% من وزن المادة ، ولغرض الحصول على كبريتات الصوديوم الجافة، يجب التخلص من ماء التبلور هذا. إن الأساليب والطرق المتبعة في التخلص من ماء التبلور هي :

أ- استخدام أفران دوارة لتبخير الماء وتجفيف المادة.

ب- إذابة كبريتات الصوديوم المائية برفع درجة حرارتها بحيث تفقد ماء التبلور ثم تبخير الماء بواسطة استخدام مشعل غاطس (Submerged burner) ورفع كثافة المحلول ثم بلورة

الكبريتات اللامائية بواسطة مبلور خاص بذلك ثم فصل البلورات اللامائية بواسطة جهاز الطرد العمركزي (سنترفيوج Centrifuge) ويجفف بواسطة فرن دوار او الهواء الحار، اما المحاليل المفصولة في السنترفيوج فتعود الى خزان الإذابة والتبخير.

ج- إذابة كبريتات الصوديوم المائية برفع درجة حرارتها بحيث تفقد ماء التبلور ثم تسخين المحلول بواسطة البخار وتبخير الماء من المحلول باستخدام الضغط المخلخل، بحيث ترتفع كثافة المحلول وتبدأ بترسيب الكبريتات اللامائية حيث يتم فصلها بواسطة جهاز الطرد العمركزي (Centerfuge) وترسل للتجفيف بواسطة فرن دوار أو بواسطة الهواء الحار.

6- <u>خزن كبريتات الصوديوم الجافة</u>

يتم خزن كبريتات الصوديوم الجافة على شكل أكياس زنة 50 كغم للكيس الواحد مزدوج التغليف احدهما بولي بروبيلين مانع للرطوبة والثاني بولي اثيلين لحماية المنتوج أثناء النقل والتحميل الشكل رقم (29-7) يوضح مخطط انسيابي لإنتاج كبريتات صوديوم جافة.

7-1 استخدام كبريتات الصوديوم

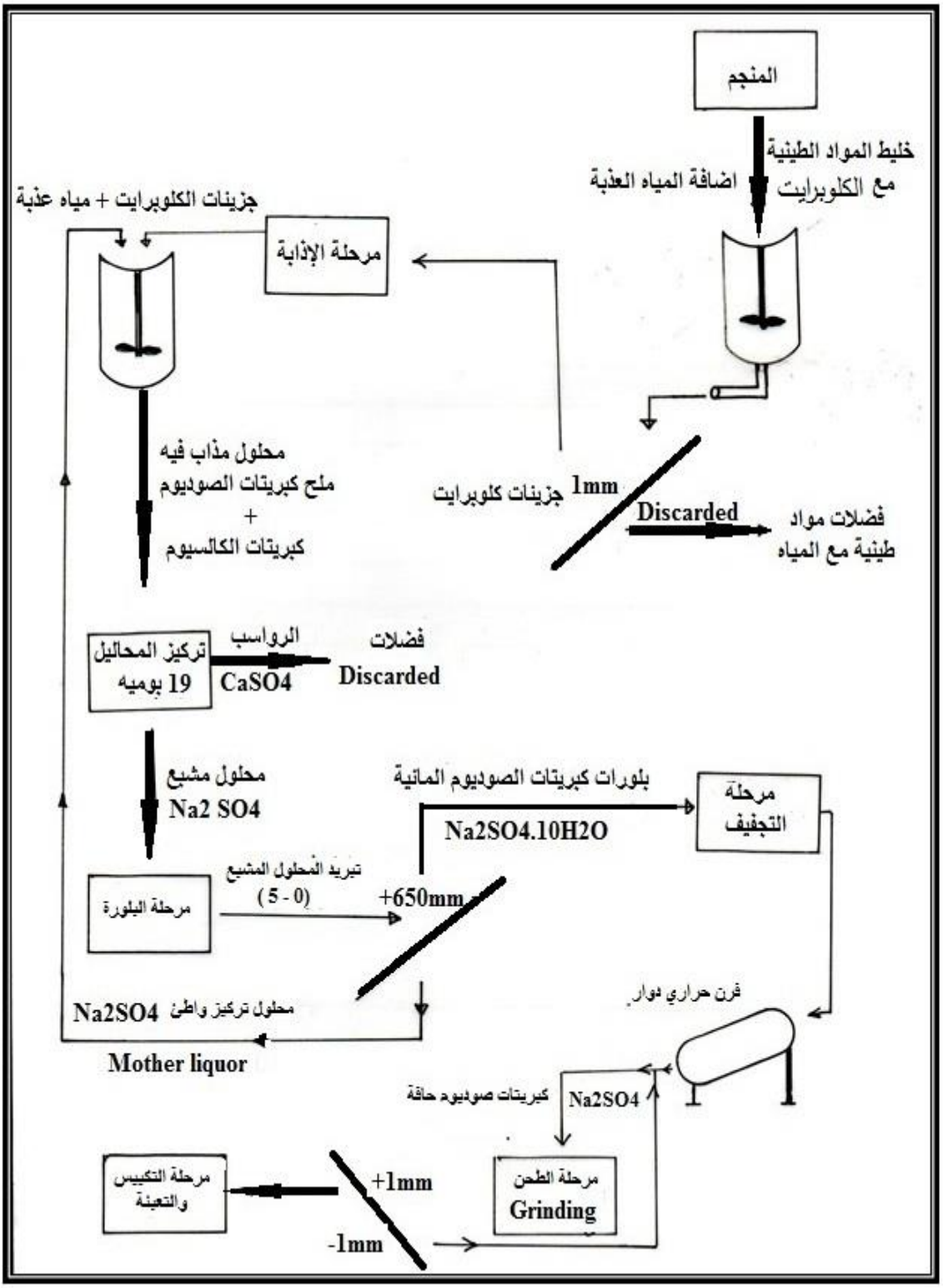
تستخدم كبريتات الصوديوم الجافة كما يلي :

1- صناعة مساحيق الغسيل.

2- صناعة الورق.

3- صناعة الزجاج.

4- المستحضرات الطبية.



شكل (29-7) مخطط انسيابي لإنتاج كبريتات الصوديوم في العراق

المصـــــــــــادر

أولاً: المصادر العربية

د. عبدالهادي الصائغ، د. فاروق العمري، (1975). الجيولوجيا العامة، اصدار وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة الموصل.

الهاشمي، وسام شاكر وسكوجل فلاديمير، (1983). التعدين القديم لخامات الحديد في وادي الحسينيات في غرب العراق، مجلة الثروة المعدنية العربية، اصدار المنضمة العربية للثروة المعدنية، المغرب، ص 140 – 148.

مجيد عبود جاسم الطائي. (1989). الجيولوجيا الهندسية، اصدار وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة البصرة.

د. ابراهيم محمد منصور، نوال عزت عبداللطيف، (1990). استخلاص المعادن اللاحديدية، اصدار وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، الجامعة التكنولوجية.

د. خالد جلال الدين، د. هيام عباس محمد، (2000). الجيولوجيا الاقتصادية، الخامات الفلزية، اصدار وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة الموصل، ص 160.

العطية، موسى جعفر، (2001). تقييم الترسبات المعدنية، اصدار الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين، بغداد، ص 157.

تغلب وجرجيس داود، (2002). علم اشكال الارض الطبيعي، اصدار وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة الموصل، ص 320.

مشاهدات حقلية جيولوجية.

ثانياً: المصادر الانكليزية

Alastair j.Sinclair & Garston h. Blackwell, (2004), Applied Minera Inventory Estimation.Cambridge Univ.Press ,PP381

Al – Bassam, K. S., (1986). Metallogenic aspects of Iraq, J. Geol. Soc. Iraq, v.19, p. 183-200.

Burn, R. G., (1981). Data Reliability in ore Reserve Assessments, Mining Magazin, oct. pp. 289-297.

Bailly, P. A., (1982). Risk and the Economic Geologist, Economic geology, vol. 77. pp. 728-734.

David, Michel, (1982). Geostatistical ore Reserve Estimation, Elsevier scientific publishing Co. p. 364.

David, M. (1985). Geostatistical ore Estimation – A step – by – step case study, Decision making in the Mineral Industry, pp. 185-191.

Davis, J. C., (1986). Statistics and data analysis in geology, John ulilly and sons. P. 646.

Ebdon, D. S., (1985). Statistics in geography, 2nd edition, Basil Blackwell ltd. P. 232.

Evans, A. M. (1986). An Introduction to ore geology, Blackwell scientific publications. P. 230.

Edwards, R. and Atkinson, K., (1986). Ore deposit geology, chapman and hall, p. 466.

Floyd, F. and Sabins, J. R. (1985). Remote sensing, principles and interpretation, McRaw- Hill, p. 273.

Griffiths, D. H., and King, R. F. (1986). Applied Geophysics for geologists and Engineers, pergamon press, p. 224.

Hoek, E. and Brawn, E. T., (1982). Underground excavation in Rock, IMM, p. 527.

Hayslett, H., T., (1985). Statistics willram Hwinemann Ltd. P.

Hudson, T. L., Fox, F. D. and plumlee, G. S., (1999). Metal Mining and the Environment, American Geological Institute, p. 68.

IAEA, (1985). Methods for Estimation of Uranium ore Reserve, An Introduction manual. Technical Reports series No. 255.

Jassim, R. Z., (1997) Mineralogy, Gcochemistry and origin of shari saltern Deposit NE Samarra, Iraq, Unpublished pH. D., Thesis Baghdad University, Baghdad.

Jassim, S. Z. and Jeremy C. Goff, (2006). Geology of Iraq. Published by Dolin, praque and Moravian museum, Brno. P. 341.

King, H. F, McMahon, D. W and Bujtor, G. T. (1982). A Guide to the Understanding of ore Reserve Estimation. The Australian Institute of Mining and Metallurgy, p. 21.

Kearey, P. and Brooks, M., (1984). An Introduction to Geophysical Exploration, Blackwell scientific publications, P. 296.

Kirsch, R., (2006). Ground water Geophysics, springer, p. 493.

Levinson, A. A., (1979). Introduction to Exploration Geochemistry, Applied publishing, p. 508.

Moon, C. J., Whateley, M. K. C. and Evans, A. M., (2006). Introduction to Mineral Exploration, Blackwell publishing, p. 481.

Milson, J., (2003). Field Geophysics, 3rd ed. John wiley and sons Ltd. P. 232.

Mark, D. L., (2003). Dictionary of Earth science, Mcgraw – Hill, p. 468.

Park, and Macdiarmid, (1975). Ore deposits, san fransisco, Freeman and company, p.

Patterson, J. A., (1983). Estimating ore Reserves follows logical steps, Mining Geology, Hatchinscn Ross publishing Company, pp. 138 – 141.

Parasnis, D. S., (1984). Mining Geophysics, Elsevier science publishers. P. 395.

Royle, A. G., (1977). How to use Geostatistics for ore reserve classification, feb, word Mining, pp. 52-55.

Rose, A. W., Hawkes, H. E. and webb, J. S., (1981). Geochemistry in Mineral Exploration, 2nd edt, Academic press. P. 655.

Rendu, J. M. (1982). Application of Geostatistics to coal Evaluation, Golder Association fifth symposium on the Geology, p. 14.

Spiegel, murray R., (1972). Theory and problems of statistics, schaum's outline series, M. Graw – Hill book company, p. 359.

Stocks, J. and Down, C., (1980). Mining and Mineral processing, open University press, p. 80.

Sahin, A. and Abokhodair, 91988). Geostatistical Approach in Design of Sampling patterns for Jabal sayid sulfide Deposits, western Saudi Arabia, Journal of African Earth science, vol. 7, No. 4, pp. 679 – 690.

Sahin, A. and Abdul – latif, A. A., (1990). Geostatistical Evaluation of the Abu – Tartur phosphate deposit, western Desert, Egypt, CIM Bulletin, Feb. v. 83, No. 934, pp. 56-61.

Steven, M. De Jong and Freek, D. der mere, (2005). Remote sensing Image analysis, kluwer Academic publishers. P. 370.

Thomas, L. J., (1985). An Introduction to Mining, Methuen Australia, p. 471.

Telford, W. H., et, al. (1985). Applied Geophysics, Cambridge University press, p. 860.

Wanless, R. m., (1983). Finance for Mine Management. Chapman & Hall, p. 208.

Wyatt A. R., (1986). Challinor's Dictionary of Geology, 6th ed, oxford University press. P. 374.

Willis, D. weight, (2004). Manual of Applied field Hydrogeology, MCGraw – Hill, p. 361.

Wellmer, F. w., Dalheimer, M. and Wagner, M., (2008). Economic Evaluations in Exploration, Springer, p. 250.

Zarraq, G. A., (1987). A comparison of the quality and Reserve Estimation methods on the soma – Isikilar lignite Deposits, Turkey. M. SC. Unpuplised theisis, Leicester Univ., U. K.

ملحق رقم (1)

القوانين الهندسية لايجاد المساحات والحجوم

ت	الشكل او الحجم	القانون
1	مساحة المربع	طول الضلع × نفسه
2	مساحة المستطيل	الطول × العرض
3	مساحة المثلث	1/2 طول القاعدة × الارتفاع العمودي
4	مساحة الدائرة	(نصف قطر الدائرة)2 * π
5	مساحة المتوازي اضلاع	طول القاعدة × الارتفاع العمودي
6	مساحة شبه المنحرف	$\frac{1}{2}$ [مجموع الضلعين المتوازيين] × الارتفاع العمودي عليها
7	مساحة المضلع المنتظم	$\frac{1}{2}$ [نصف قطر الدائرة الخارجية للضلع × طول الضلع × ظتا $\frac{(120)^5}{\text{عدد الاضلاع}}$]
8	مساحة المضلع غير المنظم	1/2[عدد الاضلاع × (نصف قطر الدائرة الخارجية للضلع)^2 × جا $\frac{(360)^5}{\text{عدد الاضلاع}}$]
9	مساحة المخمس المنتظم	1.72 × (طول الضلع)^2
10	مساحة المسدس المنتظم	2.60 × (طول الضلع)^2
11	مساحة المثمن المنتظم	4.83 × (طول الضلع)^2
12	مساحة المثلث المختلف الاضلاع	$\sqrt{ح\ (ح - أ)\ (ح - ب)\ (ح - ج)}$ ح = نصف محيط المثلث أ، ب، ج = اطوال اضلاع المثلث
13	حجم المكعب	مكعب طول الضلع
14	حجم متوازي السطوح	مساحة القاعدة × الارتفاع
15	حجم الاسطوانة	مساحة القاعدة × الارتفاع
16	حجم الهرم	$\frac{1}{3}$ مساحة القاعدة × الارتفاع
17	حجم المخروط	$\frac{1}{3}$ مساحة القاعدة × الارتفاع

ت	الشكل او الحجم	القانون
18	حجم المخروط الناقص	$\frac{1}{3}$ (م1 + م2 + $\sqrt{\text{م}_1 \times \text{م}_2}$) × الارتفاع م1 = مساحة القاعدة العليا م2 = مساحة القاعدة السفلى
19	حجم الهرم الناقص	$\frac{1}{3}$ (م1 + م2 + $\sqrt{\text{م}_1 \times \text{م}_2}$) × الارتفاع
20	حجم الكرة	$\frac{4}{3}$ مكعب نصف القطر × π π = 3.14
21	حجم الموشور	مساحة القاعدة × الارتفاع
22	قاعدة سمبسن لايجاد الحجوم	$\frac{1}{6}$[م1 + 4م2 + م3] × ع م1 = مساحة القاعدة العليا م2 = مساحة القاعدة السفلى م3 = مساحة القاعدة الوسطى ع = الارتفاع
23	محيط الدائرة	π × القطر π = 3.14

ملحق رقم (2)

جدول مقارنة بين مختلف انظمة تصانيف قياس فتحات المصنفات (المناخل)

Comparison Table For Sieves 1 $\mu m = 0.001 mm$								
ISO- 565 table 1		DIN 4188 (1977) AFNOR NF X 11-501 (1970)		ASTM E 11-81 (ANSI Z 23.1) (U.S.A)		BS 410 AS 1152. 1973 I.S 24:1973 SABS 117-1971	1976 Appen-dix C BS 410	NEN 2560 1980
R 20/3	R 20							
um	um	um	mm	um	Mesh	um	Mesh	um
	20 25	20 25	0.020 0.025					
32	28 32	28 32	0.028 0.032					
	36	36	0.036	38	400	38	400	38
45	40 45	40 45	0.040 0.045	45	350	45	350	45
	50	50	0.050	53	270	53	300	53
63	56 63	56 63	0.056 0.063	63	230	63	240	63
	71	71	0.071	75	200	75	200	75
90	80 90	80 90	0.080 0.090	90	170	90	170	90
	100	100	0.100	106	140	106	150	106
125	112 125	112 125	0.112 0.125	125	120	125	120	125
	140	140	0.140	150	100	150	100	150
180	160 180	160 180	0.160 0.180	180	80	180	85	180
	200	200	0.200	212	70	212	72	212
250	224 250	224 250	0.224 0.250	250	60	250	60	250
	280	280	0.280	300	50	300	52	300
355	315 355	315 355	0.0315 0.355	355	45	355	4	355
	400	400	0.400	425	40	425	36	425
500	450 500	450 500	0.450 0.500	500	35	500	30	500
	560	560	0.560	600	30	600	25	600
710	630 710	630 710	0.630 0.710	710	25	710	22	710
	800 900	800 900	0.800 0.900	850	20	850	18	850

ملحق رقم (3)

جدول مقارنة بين مختلف انظمة تصانيف قياس فتحات المصنفات (المناخل)

● with round holes ■ with square holes

DIN 4187/1 4187/2		ISO-565.table R 20/3	ISO-565.table R 20	DIN 4188 (1977) AFNOR NF X 11.501 (1970)	ASTM E 11.81 (ANSI Z 23.1) (U.S.A)		BS 410 AS 1152-1973 I. S. 24:1973 SABS 197- 1971	1976 Appen-dix C BS 410	New 2560 1980
		mm	mm	mm	mm	NO.	mm	Mesh	mm
■	●	1.00	1.00 1.12	1.00 1.12	1.00	18	1.00	16	1.00
■	●		1.25	1.25	1.18	16	1.18	14	
■	●	1.40	1.40 1.60	1.40 1.60	1.40	14	1.40	12	1.40
■	●		1.80	1.80	1.70	12	1.70	10	
■	●	2.00	2.00 2.24	2.00 2.24	2.00	10	2.00	8	2.00
■	●		2.50	2.50	2.36	8	2.36	7	2.36
■	●	2.80	2.80 3.15	2.80 3.15	2.80	7	2.80	6	2.80
■	●		3.55	3.55	3.35	6	3.35	5	
■	●	4.00	4.00 4.50	4.00 4.50	4.00	5	4.00	4	4.00
■	●		5.00	5.00	4.75	4	4.75	3 1/2	
■	●	5.60	5.60 6.30	5.60 6.30	5.60 6.30	3 1/2 1/4"	5.60	3	5.60
■	●		7.10	7.10	6.70	0.265"	6.70		
■	●	8.00	8.00 9.00	8.00 9.00	8.00	5/16"	8.00		8.00
■	●		10.0	10.0	9.50	3/8"	9.50		
■	●	11.2	11.2 12.5	11.2 12.5	11.2 12.5	7/16" 1/2"	11.2		

			14.0	14.0	13.2	0.53"	13.2		
		16.0	16.0 18.0	16.0 18.0	16.0	5/8"	16.0		
			20.0	20.0	19.0	3/4"			
		22.4	22.4 25.0	22.4 25.0	22.4 25.0	7/8" 1"			
			28.0	28.0	26.5	1.06"			
		31.5	31.5 35.5	31.5 35.5	31.5	1 1/4"			
			40.0	40.0	37.5	1 1/2"			
		45.0	45.0 50.0	45.0 50.0	45.0 50.0	1 3/4" 2"			
			56.0	56.0	53.0	2.12"			
		63.0	63.0 71.0	63.0 71.0	63.0	2 1/2"			
			80.0	80.0	75.0	3"			
		90.0	90.0 100	90.0 100	90.0 100	3 1/2" 4"			
		125	112 125	112 125	106 125	4.24" 5"			

Available diameter and Height:

100	150	200	203 (8")	305	400 mm Ø
40	50	25/50	25/50	50	80 mm h

ملحق رقم (4)

الرموز الكيمياوية للعناصر مع الوزن النوعي لبعض هذه العناصر المهمة

ت	اسم العنصر	الرمز الكيمياوي	الوزن النوعي Specific Gravity
1	Actinium اكتينيوم	Ac	
2	ALuminium المنيوم	AL	2.70
3	Americium امريسيوم	Am	
4	Antimony انتيمون	Sb	6.62
5	Argon اركون	Ar	
6	Arsenic زرنيخ	As	5.72
7	Astatine استاتين	At	
8	Barium باريوم	Ba	3.60
9	Berylium بريليوم	Be	
10	Berkelium بركليوم	BK	
11	Bismuth بزموث	Bi	9.80
12	Boron بورون	B	
13	Bromine بروم	Br	
14	Cadimium كادميوم	Cd	
15	CaLcium كالسيوم	Ca	1.55
16	CaLifornium كاليفورينوم	Cf	
17	Carbon كاربون	C	2.25
18	Cerium سيريوم	Ce	
19	Cesium سيزيوم	Cs	
20	ChLorine كلور	CL	
21	Chromium كروم	Cr	7.14
22	Cobalt كوبالت	Co	8.80
23	Copper نحاس	Cu	8.94
24	Curium كوريوم	Cm	

ت	اسم العنصر	الرمز الكيمياوي	الوزن النوعي Specific Gravity
25	Dysprosium ديسبروسيوم	Dy	
26	Einsteinium انيشتانيوم	Es	
27	Erbium اربيوم	Er	
28	Europium يوربيوم	Eu	
29	Fermium فرميوم	Fm	
30	Flourine فلور	F	
31	Francium فرانسيوم	Fr	
32	Caddinium كادينيوم	Cd	
33	Gallium كاليوم	Ga	
34	Germanium جرمانيوم	Ge	
35	Gold ذهب	Au	19.32
36	Hafinium هافنيوم	Hf	
37	Helium هليوم	He	
38	Holimium هولميوم	Ho	
39	Hydrogen هيدروجين	H	
40	Indium انديوم	In	
41	Iodine يود	I	
42	Iridium ايريديوم	Ir	22.40
43	Iron حديد	Fe	7.87
44	Krypton كربتون	Kr	
45	Lanthanium لنثانيوم	La	
46	Lawrencium لورنسيوم	Lw	
47	Lead رصاص	Pb	
48	Lithium ليثيوم	Li	
49	Lutetium لوتيتيوم	Lu	
50	Magnesium مغنيسيوم	Mg	

ت	اسم العنصر	الرمز	الوزن النوعي

Specific Gravity	الكيمياوي		
	Mn	Manganese منغنيز	51
	Md	Mandelevium مندليفيوم	52
13.55	Hg	Mercury زئبق	53
	Mo	Molybdeium موليبديوم	54
	Nd	Neodynium نيوديميوم	55
	Ne	Neon نيون	56
	Np	Neptunium نبتونيوم	57
8.90	Ni	Nickel نيكل	58
	Nb	Niobium نيوبيوم	59
	N	Nitrogen نتروجين	60
	No	Nobelium نوبليوم	61
	Os	Osmium اوسميوم	62
	O	Oxygen اوكسجين	63
	Pd	Palladium بالاديوم	64
1.82	Ph	Phosphorus فسفور	65
21.45	Pt	Platinum بلاتين	66
	Pu	Plutonium بلوتونيوم	67
0.86	K	Potassium بوتاسيوم	68
	Pr	Parsedynium برازيوديميوم	69
	Pm	Promethium بروميثيوم	70
	Pa	Protactinium بروتاكتينيوم	71
	Ra	Radium راديوم	72
	Rn	Radon رادون	73
	Re	Rhenium رينيوم	74
	Rh	Rhedium روديوم	75
	Rb	Rubidium روبديوم	76

ت	اسم العنصر	الرمز الكيمياوي	الوزن النوعي Specific Gravity
77	Ruthenium روثينيوم	Ru	
78	Samarium ساماريوم	Sm	
79	Scandium سكانديوم	Sc	
80	Selenium سلينيوم	Se	
81	Silicon سيليكون	Si	
82	Silver فضة	Ag	10.50
83	Sodium صوديوم	Na	0.97
84	Strontium سترونتيوم	Sr	
85	Sulfur كبريت	S	2.07
86	Tantalium تنتاليوم	Ta	
87	Technecium تكنيسيوم	Tc	
88	Tellurium تللوريوم	Te	
89	Terbium تربيوم	Tb	
90	Thallium ثاليوم	Tl	
91	Thorium ثوريوم	Th	
92	Thulium ثوليوم	Tm	
93	Tin قصدير	Sn	7.30
94	Titanium تيتانيوم	Ti	
95	Tungusten تنكستن	W	19.30
96	Uranium يورانيوم	U	
97	Vanadium فناديوم	V	
98	Xenon زينون	Xe	
99	Ytterbium اتربيوم	Yb	
100	Ytterium اتريوم	Y	
101	Zinc(زنك) خارصين	Zn	7.14
102	Zirconium زركونيوم	Zn	

ملحق رقم (5)

جدول تحويل الوحدات

Weights الاوزان	Volumes الحجوم
1gm = 0.0853 oz	1 cm^3 = 0.061Cu in
1kg = 2.205 (Lbs) pounds	1 dm^3 = 0.0353 Cu ft
1 kg = 0.197 cwt	1 m^3 = 1.309 Cu yd
1 m ton 0.9842 long ton	1 liter = 0.220 I mp. Gallon
1 m ton = 1.1023 short ton	1 liter = 0.264 U. S. gallon
1 oz = 28.35 gm	1 Cu in = 16.387 cm^3
1 pound (Lb) = 0.4536 kg	1 Cu ft = 28.317 dm^3
1cwt = 50.8 kg	1 Cu yd. = 0.764 m^3
1long ton = 1.016 m ton	1 Cu ft. = 0.0283 m^3
1short ton 0.907 m ton	1 Imp. Gallon = 4.546 liters
	1 U. S. gallon = 3.782 liters
	27 Cu feet = 1 cu. Yard
1000 milligram = 1 gram	1000 Cu. Millimeters = 1 Cu centimeter
10 grams = 1 Dekagram	1000 Cu. centimeter = 1 Cu decimeters
10 dekagrams = 1 Hectogram	1000 Cu. decimeters = 1 Cu meter
100 kilogram = 1 quintal	1000 Cu. meters.= 1Cu. De ka meters
1000 kilogram = 1 tonne meter	1 tonne = 1000 kg.
American tonne = 907.2 kg.	1728 Cu inch = 1cu feet

Lengths الأطوال	Area المساحة
1 cm. 0.394 inch.	1 cm^2 = 0.155 sq. inch
1 m = 3.281 feet	1 dm^2 = 0.1076 sq. feet
1 m = 1.094 yard	1 m^2 = 1.196 sq. yard
1 km = 0.621 mile	1 km^2 = 0.386 sq. mile
1 km = 0.54 nautical mile	1 ha = 2.47 acres
1 inch = 2.540 cm	1 sq. inch = 6.4516 cm^2
1 feet = 0.304 meter	1 sq. feet = 9.29 dm^2
1 yard = 0.9144 inch	1 sq. yard = 0.8361 m^2
1 mile = 1.609 km.	1 sq. mile = 2.59 km^2
1 nautical mile = 1.852 km	1acre = 0.405 ha
12 inches = 1 foot	144 sq. inches = 1 sq. foot
3 foot = 1 yard	9 sq. feet = 1 sq. yard
	4.840 sq. yard = 1 acre
	640 acres = 1 sq. mile

جدول تحويل درجة الحرارة

Celsius (centigrade) (C^o) = $\left[(F-32)\times\frac{5}{9}\right]$ Fahrenheit (F^o)

Fahrenheit (F^o) = $\left[C\times\frac{9}{5}+32\right]$ Celsius (C^o)

Kelvin $(K)^o$ = 0K^o = -273.16 (C^o)

Ranklin $(R)^o$ = 0 R^o = -459.69 $(F)^o$

ملحق رقم (6)

الوحدات الجيوفيزيائية

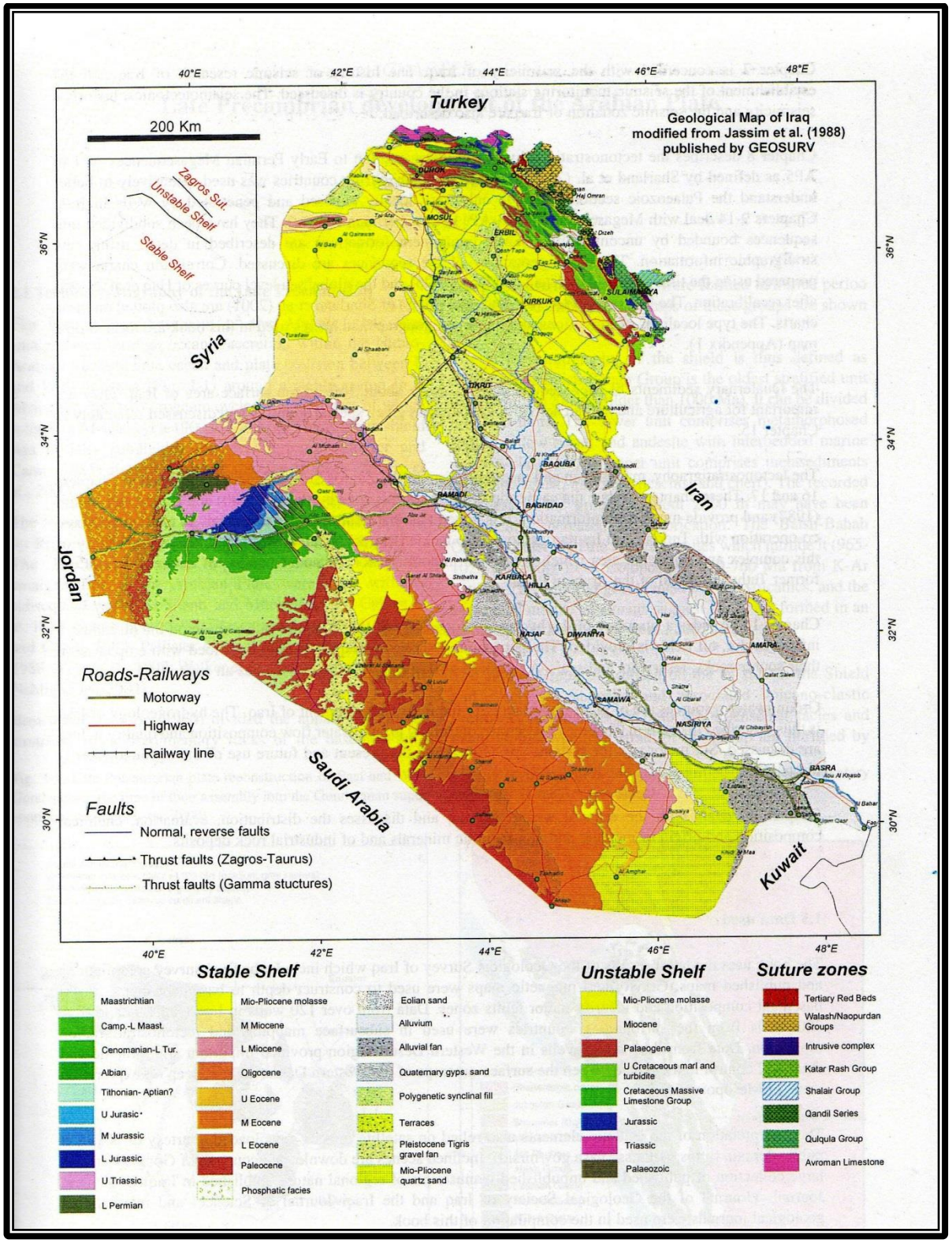
ت	اسم الوحدة	وحدة القياس	الرمز	المكافئ
.1	التعجيل الجذبي	كاليلو	Gal	Cm/Sec^2
.2	الطاقة	وحدة حرارية بريطانية	Btu	105587×10^3 Joul
.3	الطاقة	سعرة حرارية calorie	Cal	4.184 Joul
.4	الطاقة	أرك	erg	10^{-7} Joul
.5	القوة	داين	dyn	10^{-5} Neoton
.6	التردد	Revolution Per minute دورة/دقيقة	rpm	60 HZ
.7	الطول	انكستروم	A^o	10^{-10} m
.8	الطول	مايكرون	μ	10^{-6} m
.9	الفيض المغناطيسي	ماكسويل	M	10^{-8} wb
.10	شدة الفيض المغناطيسي	كَاما	γ	10^{-9} T
.11	شدة الفيض المغناطيسي	كَاوس	G	10^{-4} T
.12	القوة	قوة حصانيه	Hp	746 w
.13	الضغط	جوي	atm	1.01×10^5 N/m
.14	الضغط	بار	bar	10^5 N/m
.15	السرعة	Knot	kt	0.514 m/sec
.16	الحجم	غالون	gal	0.00378 m^3
.17	الحجم	لتر	L	10^{-3} m^3

ملحق رقم (7)

بعض الخصائص الفيزيائية للصخور المهمة

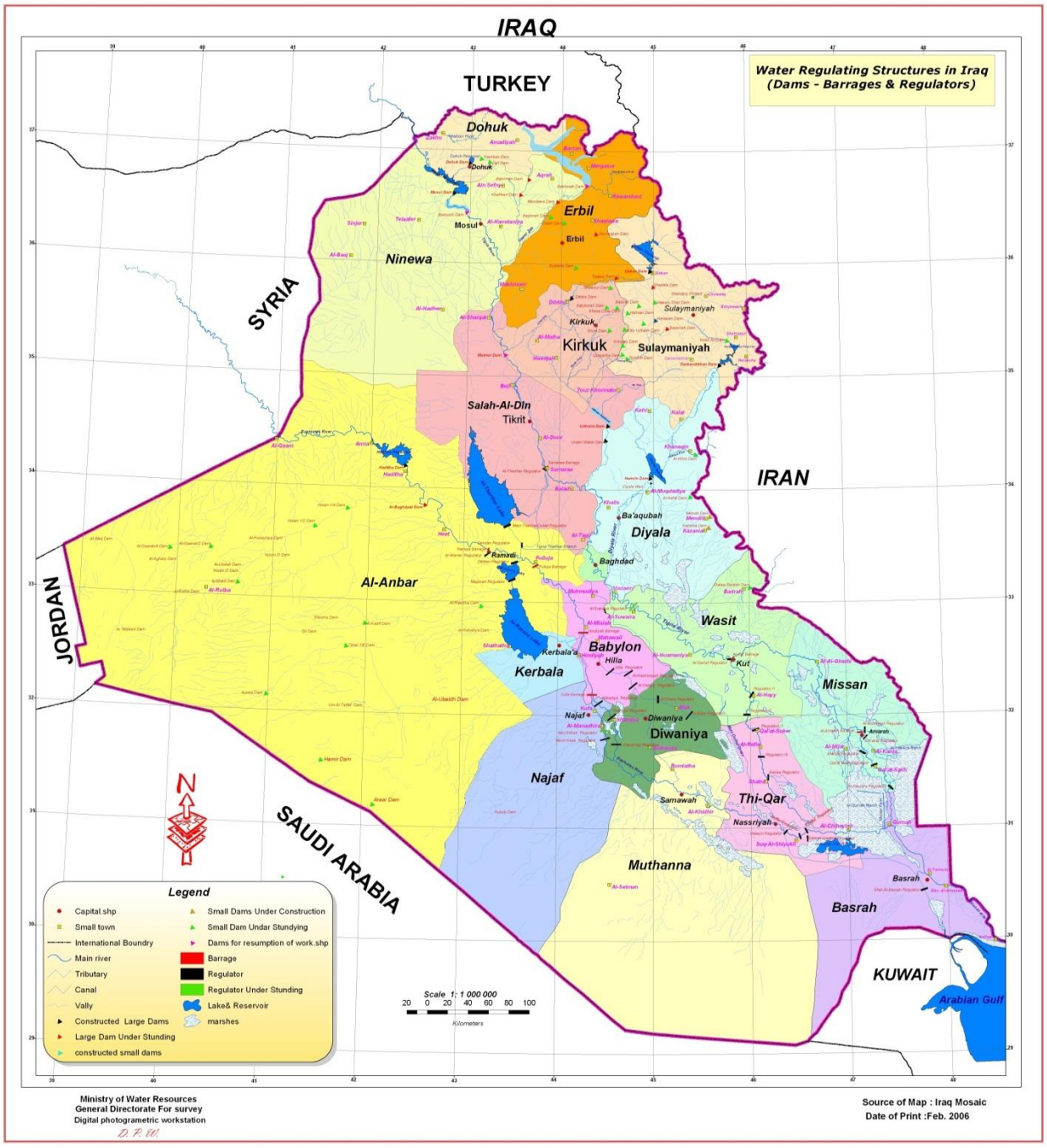
نوع الصخرة	الكثافة الرطبة g/cm^3	الكثافة الجافة g/cm^3	المقاومة الكهربائية ρ ohm/m	السرع للامواج التضاغطية V = m/sec
Aluminium	2.70	-----	2.9×10^{-8}	6300 – 1700
Andesitc	2.60	2.57	4.5×10^{4}	3500 – 5500
Anhydrite	2.89	-----	10^{9}	3500 – 5500
Aorthosite	2.73	-----	-----	5400 – 6600
Basalt	3.1	2.70	$10^{2} – 10^{4}$	5500 – 6300
Bauxite	2 – 2.55	-----	$2 \times 10^{2} – 6 \times 10^{3}$	-----
Bornite	5.9	-----	$16 \times 10^{-6} – 6\ 10^{-3}$	-----
Calcite	2.7	-----	5×10^{12}	-----
Cassiterite	6.8 – 7.0	-----	$4.5 \times 10^{-4} – 10^{4}$	-----
Chalcocite	5.5 – 5.8	-----	$10^{-4} – 4 \times 10^{-2}$	-----
Chalcopyrite	4.30	4.10	$3 \times 10^{-5} – 5 \times 10^{-2}$	-----
Chalk	1.94 – 2.23	-----	-----	2100 – 4200
Chromite	4.5 – 4.8	-----	$3.3 \times 10^{-4} – 3.3 \times 10^{-2}$	-----
Cinnabar	8.1	-----	2×10^{7}	-----
Clays	1.5 – 2.5	-----	10 – 100	1100 – 2500
Coal	1.2 – 1.5	-----	$10^{-2} – 10^{4}$	-----
Copper	8.96	-----	1.72×10^{-8}	4820 – 5960
Diamond	3.51	-----	$5 \times 10^{12} – 2.7 \times 10^{16}$	-----
Diorite	2.81	-----	$2.8 \times 10^{4} – 2 \times 10^{6}$	5780
Dolomite	2.8	-----	$3.5 \times 10^{2} – 5 \times 10^{3}$	3500 – 6900
Dunite	3.28	-----	-----	7500 – 8100
Gabbro	3.3	2.7	$10^{5} – 10^{6}$	6450 – 6800
Galena	7.7	7.3	$2.6 \times 10^{-5} – 6 \times 10^{-1}$	-----
Gneiss	2.70	2.64	$10^{3} – 7 \times 10^{4}$	3500 – 7500
Granite	2.77	2.56	$10^{3} – 2 \times 10^{4}$	4750 – 6000
Granodiorite	2.72	-----	-----	4600 – 4880
Graphite	2.3	-----	3.8×10^{-7}	-----
Grey wackes	2.55 – 2.75	-----	$4 \times 10^{3} - 10^{5}$	-----
Gypsum	2.31 – 2.33	-----	-----	2000 - 3500
Haematite	5.2	-----	$10^{-3} – 10^{4}$	-----
Halite	2.1 – 2.2	-----	$10^{10} - 10^{13}$	-----
Ice	0.92	-----	4.7×10^{5}	3000 – 4000

Ilmenite	**4.44 – 5.0**	**-----**	**10^{-3} – 4**	**-----**
Lead	**11.3**	**-----**	**21×10^{-8}**	**-----**
Limestone	**2.7**	**2.6**	**10^{2} – 10^{5}**	**3400 – 7000**
Loam	**-----**	**1.15 – 1.43**	**20 – 150**	**800 – 1800**
Loes	**1.61**	**-----**	**-----**	**300 – 600**
Magnesite	**2.9 – 3.1**	**-----**	**Very high**	**___**
Magnetite	**5.0 – 5.3**	**-----**	**10^{-2} – 10^{2}**	**5500**
Malachite	**3.9 – 4.5**	**-----**	**-----**	**-----**
Marble	2.75	2.71	10^{4} – 10^{10}	3750 – 6940
Marl	2.42	-----	12 – 40	-----
Mica	2.8	-----	10^{11} – 10^{15}	-----
Molybdenite	4.92	-----	7.5 – 10^{4}	-----
Monazite	2.64	-----	10^{3} – 5 ×10^{3}	-----
Oil	0.6 – 0.9	-----	Very high	1275
Olivine	3.18 – 3.57	-----	10^{3} - 10^{4}	-----
Pitchblende	9 – 9.7	-----	-----	-----
Pyrite	5.1	4.9	10^{-4} – 10	-----
Pyroxenite	3.10 – 3.32	-----	-----	-----
Quartzite	2.7	2.66	4.7×10^{6}	-----
Sand	1.4 – 1.65	1.95 – 2.05	Variable	600 – 1850
Shales	2.4 – 2.7	2.67	10^{3} - 10^{4}	-----
Siderite	3.9	-----	-----	-----
Siltstone	2.65	2.5	-----	-----
Silver	10.5	-----	1.59×10^{-8}	-----
Slate	2.73	2.67	10^{3} – 10^{4}	-----
Sphalerite	4.2	3.8	1.8×10^{2} – 4×10^{4}	-----
Water	1.0	-----	Sensitive	1400 - 1500
Walframite	7.18	-----	10^{3} – 10^{7}	-----
Salt Rock	2.4	2.1	-----	4000 – 5500
Air	-----	-----	-----	330

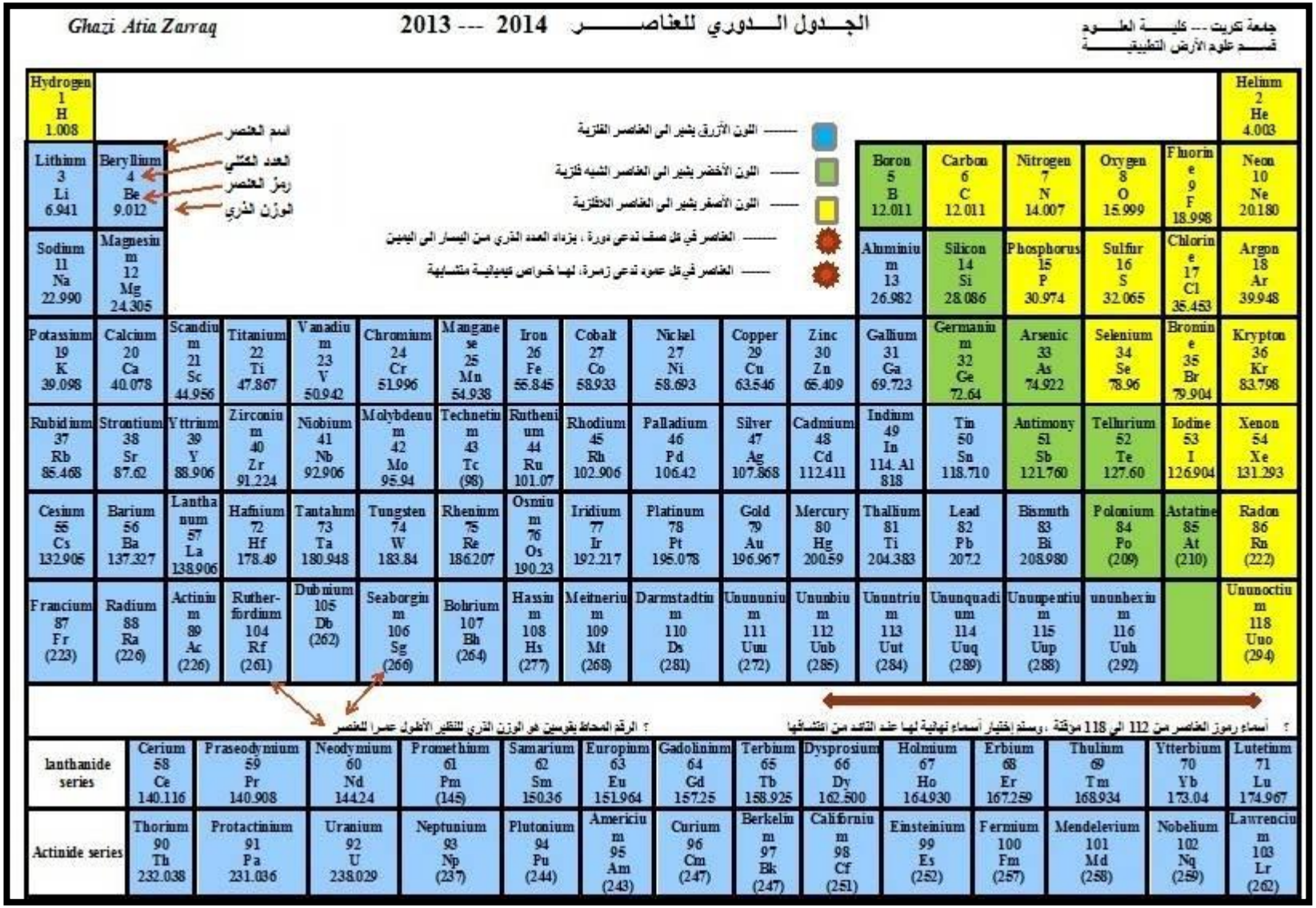


خارطة العراق الجيولوجية

المصدر: الهيئة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين



خارطة العراق الادارية


Ghazi Atia Zarraq
الجـدول الـــدوري للعناصـــــر 2013 --- 2014
جامعة نكريت --- كليـــة العلـــوم
قســم علوم الأرض التطبيقيـــة
اسم العنصر
العدد الكتلي
رمز العنصر
الوزن الذري
اللون الأزرق يشير الى العناصر الفلزية
اللون الأخضر يشير الى العناصر الشبه فلزية
اللون الأصفر يشير الى العناصر اللافلزية
العناصر في كل صف تدعى دورة ، يزداد العدد الذري من اليسار الى اليمين
العناصر في كل عمود تدعى زمرة، لها خواص كيميائية متشابهة
Hydrogen 1 H 1.008
Helium 2 He 4.003
Lithium 3 Li 6.941
Beryllium 4 Be 9.012
Boron 5 B 12.011
Carbon 6 C 12.011
Nitrogen 7 N 14.007
Oxygen 8 O 15.999
Fluorine 9 F 18.998
Neon 10 Ne 20.180
Sodium 11 Na 22.990
Magnesium 12 Mg 24.305
Aluminium 13 26.982
Silicon 14 Si 28.086
Phosphorus 15 P 30.974
Sulfur 16 S 32.065
Chlorine 17 Cl 35.453
Argon 18 Ar 39.948
Potassium 19 K 39.098
Calcium 20 Ca 40.078
Scandium 21 Sc 44.956
Titanium 22 Ti 47.867
Vanadium 23 V 50.942
Chromium 24 Cr 51.996
Manganese 25 Mn 54.938
Iron 26 Fe 55.845
Cobalt 27 Co 58.933
Nickel 27 Ni 58.693
Copper 29 Cu 63.546
Zinc 30 Zn 65.409
Gallium 31 Ga 69.723
Germanium 32 Ge 72.64
Arsenic 33 As 74.922
Selenium 34 Se 78.96
Bromine 35 Br 79.904
Krypton 36 Kr 83.798
Rubidium 37 Rb 85.468
Strontium 38 Sr 87.62
Yttrium 39 Y 88.906
Zirconium 40 Zr 91.224
Niobium 41 Nb 92.906
Molybdenum 42 Mo 95.94
Technetium 43 Tc (98)
Ruthenium 44 Ru 101.07
Rhodium 45 Rh 102.906
Palladium 46 Pd 106.42
Silver 47 Ag 107.868
Cadmium 48 Cd 112.411
Indium 49 In 114. Al 818
Tin 50 Sn 118.710
Antimony 51 Sb 121.760
Tellurium 52 Te 127.60
Iodine 53 I 126.904
Xenon 54 Xe 131.293
Cesium 55 Cs 132.905
Barium 56 Ba 137.327
Lanthanum 57 La 138.906
Hafnium 72 Hf 178.49
Tantalum 73 Ta 180.948
Tungsten 74 W 183.84
Rhenium 75 Re 186.207
Osmium 76 Os 190.23
Iridium 77 Ir 192.217
Platinum 78 Pt 195.078
Gold 79 Au 196.967
Mercury 80 Hg 200.59
Thallium 81 Ti 204.383
Lead 82 Pb 207.2
Bismuth 83 Bi 208.980
Polonium 84 Po (209)
Astatine 85 At (210)
Radon 86 Rn (222)
Francium 87 Fr (223)
Radium 88 Ra (226)
Actinium 89 Ac (226)
Ruther-fordium 104 Rf (261)
Dubnium 105 Db (262)
Seaborgium 106 Sg (266)
Bohrium 107 Bh (264)
Hassium 108 Hs (277)
Meitnerium 109 Mt (268)
Darmstadtium 110 Ds (281)
Unununiu m 111 Uuu (272)
Ununbium 112 Uub (285)
Ununtrium 113 Uut (284)
Ununquadium 114 Uuq (289)
Ununpentium 115 Uup (288)
ununhexium 116 Uuh (292)
Ununoctium 118 Uuo (294)
؟ أسماء رموز العناصر من 112 الى 118 مؤقتة ، ويمكنه إختيار أسماء نهائية لها عند التأكد من اكتشافها
؟ الرقم المحاط بقوسين هو الوزن الذري للنظير الأطول عمرا للعنصر
lanthanide series
Cerium 58 Ce 140.116
Praseodymium 59 Pr 140.908
Neodymium 60 Nd 144.24
Promethium 61 Pm (145)
Samarium 62 Sm 150.36
Europium 63 Eu 151.964
Gadolinium 64 Gd 157.25
Terbium 65 Tb 158.925
Dysprosium 66 Dy 162.500
Holmium 67 Ho 164.930
Erbium 68 Er 167.259
Thulium 69 Tm 168.934
Ytterbium 70 Yb 173.04
Lutetium 71 Lu 174.967
Actinide series
Thorium 90 Th 232.038
Protactinium 91 Pa 231.036
Uranium 92 U 238.029
Neptunium 93 Np (237)
Plutonium 94 Pu (244)
Americium 95 Am (243)
Curium 96 Cm (247)
Berkelium 97 Bk (247)
Californium 98 Cf (251)
Einsteinium 99 Es (252)
Fermium 100 Fm (257)
Mendelevium 101 Md (258)
Nobelium 102 Nq (259)
Lawrencium 103 Lr (262)

سيـرة المؤلـف

م. غــازي عطيــة زراك

- التولد: ١٩٥٦ /قضاء الصويرة / محافظة واسط
- بكالوريوس جيولوجي/جيوفيزياء من قسم علوم الارض/ كلية العلوم جامعة بغداد/عام ١٩٧٨
- ماجستير في جيولوجيا المناجم والاستكشاف المعدني/ جامعة لستر/انكلترا/عام ١٩٨٨
- عين اول مرة في الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين/ بغداد/عام ١٩٨٠ ، وتدرج في الوظيفة لغاية رئيس جيولوجيين.
- عمل في برامج الاستكشاف المعدني والجيوفيزيائي وتقييم الترسبات المعدنية وعمليات الاستخلاص المعدني في مناطق مختلفة من العراق لغاية عام ٢٠٠٦.
- انتقل الى جامعة تكريت/كلية العلوم/قسم علوم الارض التطبيقية/ نهاية عام٢٠٠٧ واختص في تدريس مادة جيولوجيا المناجم والاستكشاف المعدني والاستكشاف الجيوفيزيائي ولحد الان.

Omar Ahmed Abdul Khader
2008oaam@gmail.com

ISBN 978-9933-9151-1-7

مطبعة جامعة تكريت

1434هـ - 2013 م