اد معادلات تصريف البئر لتوزيعات معينة للابار يمكن ان تعرض من الطريقة المتطورة التي استحدثت بواسطة مسكات (Muskat)[40] .

في المعادلات التالية افترض ان كل الابار تخترق التكوين المائي المحصور وهذه الابار لها نفس القطر والانخفاض، وتصرف في نفس الفترة من الزمن .

بئران يبعد أحدهما عن الاخر بمسافة (B) لاحظ شكل (4.20) ولهما تصريفان (Q_1) و (Q_2) وكما هو معطى في المعادلة : —

$$Q_1 = Q_2 = \frac{2\pi Kb\,(h_0 - h_w)}{Ln(R^2/r_w B)} \qquad .....(4.47)$$

حيث (h_0) هو معدل عمود القياس الانضغاطي عند الحد الخارجي (h_w) هو ذلك عند الابار و (R) هو نصف قطر منطقة التأثير و (R >>B) و (r_w) وهما نصف قطر البئر ونفس الشيء كثلاث آبار مكونة مثلثاً متساوي الاضلاع بمسافة (B) على كل جانب فانه :

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \frac{2\pi Kb\,(h_0 - h_w)}{Ln\,(R^3 / r_w B_2)} \qquad .....(4.48)$$

وبوجود ثلاث آبار على خط واحد وبينها مسافات متساوية بمسافة (B) فان تصريف البئران الخارجيان هو

$$Q_1 = Q_3 = \frac{2\pi Kb(h_0 - h_w)\ln(B/r_w)}{2\ln(R/B)\ln(B/r_w) + \ln(B/2r_w)\ln(R/r_w)} \qquad .....(4.49)$$

على حين البئر المتوسط يصرف في

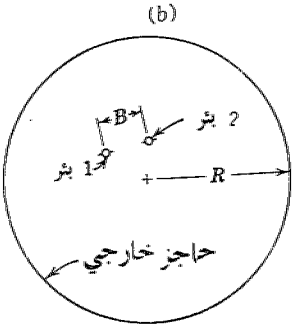
$$Q_2 = \frac{2\pi Kb\,(h_0 - h_w)\,In\,(B/2r_w)}{2In\,(R/B)\,In\,(B/r_w) + In\,(B/2r_w)\,In\,(R/r_w)} \qquad .... (4.50)$$

ان تصريف كل من الابار الاربع المكونة مربعاً ذا ضلع (B) هو :

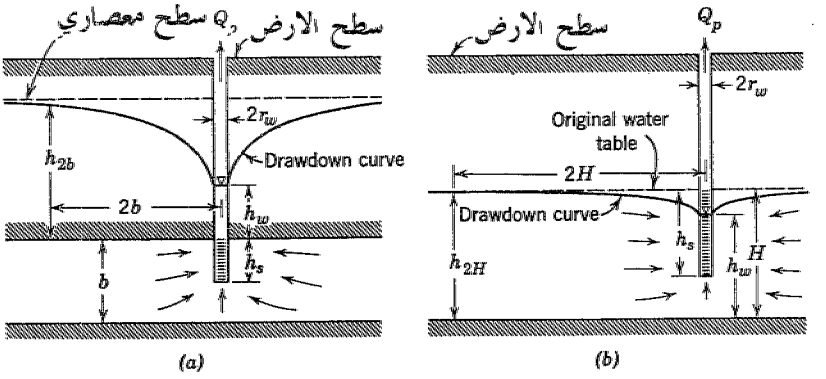
$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = \frac{2\pi\,Kb\,(h_0 - h_w)}{\ln\,(R^4/\sqrt{2}\,r_w B^3)} \qquad ... (4.51)$$

وفي النهاية ، اذا ضخ بئرا خامسا في مركز المربع السابق ، فان ابار الزوايا تعطي : —

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 \frac{2\pi Kb(h_0 - h_w)\ln(B/\sqrt{2}\,r_w)}{4\ln(\sqrt{2}R/B)\ln(B/\sqrt{2}r_w) + \ln(R/r_w)\ln(B/4\sqrt{2}r_w)} \qquad (4.52)$$



شكل (4 – 20) بئرين متداخلين .



شكل (4 – 21) الآبار المخترقة جزئيا في :
(a) تكوين مائي محصور
(b) تكوين مائي

ولكن بئر المركز يصرف فقط

$$Q_5 = \frac{2\pi K b\,(h_0 - h_w)\ln(B/4\sqrt{2r_w}}{4\ln(\sqrt{2R/B})\ln(B/\sqrt{2r_w}) + \ln(R\ r_w)\ln(B/4\sqrt{2r_w})} \qquad \text{.....(4.53)}$$

ان المعادلات المذكورة في اعلاه (4.47 الى 4.53) يمكن تحويرها لتطبق على التكوينات المائية غير المحصورة ، وذلك بابدال (h_0) بـ ($h_0^2/2b$) و (h_w) بـ ($h_w^2\ 2b$) .

الآبار المخترقة جزئية (Partially Penetrated Well)

ان البئر الذي طول مدخله المائي اقل من التكوين المائي ، والذي يخترقه البئر نفسه يعرف بالبئر المخترق جزئيا وفي التكوينات المائية المحصورة وغير المحصورة بصورة واضحة يختلف شكل الجريان لمثل هذه الآبار من جريان شعاعي مفترض الى جريان موجود حول الآبار المخترقة كاملاً .

ان معدل طول خط الجريان في البئر المخترق جزئيا يتعدى ذلك في البئر المخترق بصورة تامة لهذا فان مقاومة عظمى للجريان تقابل هذه الحالة .
للاغراض العملية تنتج هذه في العلاقات التالية بين بئرين متشابهين احداهما مخترقة جزئيا والأخرى كاملة لنفس التكوين المائي . اذا كانت $Qp = Q$ بعد ذلك فان : $(\Delta h)p > \Delta h$ واذا كانت $(\Delta h)p = \Delta h$ عندئذ فان $Qp < Q$ هنا (Q) تمثل تصريف البئر (Δh) هو الانخفاض عند البئر والرمز السفلي (P) يعود الى البئر المخترق جزئيا . خارج مسافة تبادل ضعفي السمك المشبع من البئر يصبح تأثير الاختراق الجزئي على شكل الجريان والانخفاض يصبح مهملاً .

ان تحليل الآبار المخترقة جزئيا معقد ، ماعدا الحالات البسيطة .
ان المشكلة قد شخصت من قبل بوريلي Boreli,[4] . فورجيمر Forchheimer[16] ديجلي deGlee,[17] كوزيني Kozeny[35] مسكات Muskat,[41] ونهر كانك Nahrgang[42] .واخرين .
ان معظم الحلول العامة قد امكن الحصول عليها بمعاملة البئر كخط من نقاط غائرة [17,14] وثم تنظيم او ترتيب لانهائي للصور على امتداد محور البئر ضروري لتحقيق الظروف الحدية .

وبتجميع الجهود تعطي العناصر المنفردة التوزيع الجهدي الكافي للبئر المخترق جزئيا . البئر المخترق الجزء العلوي لتكوين مائي محصور يكون فيه الانخفاض $(h_2b - h_w)$ كما هو معرف بالشكل (4.21 a) ، يمكن تعبيره لظروف حالة ثابتة مفترضة كـ :

$$h_{2b} - h_w = \frac{Qp}{4\pi K}\left\{\frac{2}{h_s}\ln\frac{\pi h_s}{2r_w} + \frac{0.20}{b}\right\} \quad .....(4.54)$$

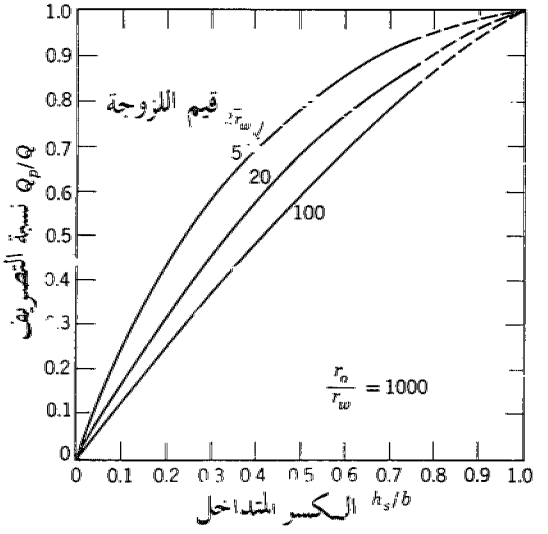
حيث (K) هو النفاذية والرموز الاخرى مشخصة في الشكل (4.21 a) .
وتكون المعادلة سارية المفعول اذا كان $(1.3h_s \leq b)$ و $(h_s/2r_w \geq 5)$ بسبب ان منحني الانخفاض خارج الـ (2b) يمكن تقريبه بمنحنى للبئر المخترق بصورة تامة ، كما في (المعادلة 4.11) حيث ان الانخفاض الكلي للبئر المخترق جزئيا يصبح :-

$$h_0 - h_w = \frac{Qp}{2\pi K}\left\{\frac{1}{h_s}\ln\frac{\pi h_s}{2r_w} + \frac{0.10}{b} + \frac{b}{1}\ln\frac{r_0}{2b}\right\} \quad .....(4.55)$$

حيث (h_0) هو العمود عند نصف قطر التأثير (r_0) من البئر بقسمة المعادلة (4.55) بالتعبير المقارن للبئر المخترق بصورة تامة تعطي نسبة التصريف :

$$\frac{Q_p}{Q} = \frac{\ln(r_0/r_w)}{(b/h_s)\ln(\pi h_s/2r_w) + 0.10 + \ln(r_0/2b)} \qquad \text{.....4.56}$$

حيث (Q) هو التصريف لبئر مشابه ببئر مخترق للتكوين المائي بصورة كاملة ويعطي نفس الانخفاض الكلي . لهذا فان تحديد مباشر يمكن ان يعمل لتاثير البئر المخترق جزئيا على عطاءه . في الشكل 22.4 يظهر منحني بياني للمعادلة (4.56) لتحديد نسبة التصريف من الجزء المخترق (h_s/b) (Penetratimfraction) ونحافة (Slimness) ولزوجة او وحولة البئر ($h_s(2r_w)$) مع ($r_0/r_w = 1000$) على سبيل المثال اذا اخترق بئر ذو قطر (12) انج (20) قدم فقط من تكوين مائي محصور سمكه (50) قدم بعد ذلك فان ($h_s/b = 0.40$) و ($h_s/2r_w = 20$) من الشكل (4.22) ($Q_p/Q = 0.57$)



شكل (4 22) تصريف البئر المخترق جزئيا (QP

وهذه تظهر أن الانخفاض المعطى لبئر يخترق جزئيا تكويناً مائياً يعطي فقط (57%) مما سيعطيه بئر مشابه مخترق بصورة تامة نفس الانخفاض .

ان المعادلات (4.54) الى (4.56) تطبق بصورة متساوية على البئر الذي تبدأ ثقوبه عند قعر التكوين المائي ولكن لايمتد الى القمة .
بعض الابار المخترقة جزئيا في تكوينات مائية غير محصورة كما في الشكل (21.4) b فإن اصطلاح الانخفاض :

$$h_{2H} - h_w = \frac{Q_p}{4\pi K}\left\{\frac{2}{h_s}\ln\frac{\pi h_s}{2r_w} + \frac{0.20}{H}\right. \qquad .....(4.57)$$

تعطى تقريباً جيداً عندما يكون الانخفاض صغير نسبة الى السمك المشبع (H) .
ان تشابه المعادلتين (4.57) و (4.54) تجعلان المعادلتين (4.56) و (4.22) صحيحتان او فعالتان لتحديد نسبة التصريف (Q_p/Q) في التكوينات المائية غير المحصورة وذلك بابدال (b) بواسطة (H) .
ان الابار المخترقة جزئيا في التكوينات المائية ذات النفاذية غير المتساوية الخصائص قد عوملت بواسطة العالم مسكات (Muskat) وفي التكوينات المائية شبه المحصورة بواسطة العالم دكلي (deGlee) .

خاصية خسائر البئر (Characteristic Well Losses)

ان الانخفاض عند البئر لايشمل فقط منحنى الانخفاض اللوغاريتمي عند وجه البئر ولكن ايضا خسارة البئر المسببة بواسطة الجريان خلال مصفاة البئر والدفق داخل البئر الى مدخل المضخة لان خسارة البئر مرتبطة مع الجريان المضطرب . ويمكن الاشارة الى ان الخسارة تبدو متناسبة مع الأس (n) التي هي قوة التصريف (Q^n) حيث (n) هو ثابت اعظم من واحدة لقد اقترح العالم جاكوب[28] (Jacob) أنه عندما تكون قيمة ($n = 2$) قد تكون افتراض معقول ولكن العالم رورابه[40] (Rorabaugh) اشار الى ان (n) قد تنحرف بصورة واضحة عن (2) التي يمكن حسابها من اختبارات ضخ الانخفاض التدريجي .
ان القيمة المضبوطة لـ (n) لايمكن ان تثبت بسبب اختلافات بين الآبار كل على انفراد وقد بينت تحريات مفصلة للجريانات داخل وخارج الابار قد بينت حدوث تغييرات كبيرة عن توزيعات مفترضة للجريان [37,43] ومع ادخال خسارة البئر في الحسبان ، فان الانخفاض الكلي (D_w) عند البئر قد يمكن كتابته لحالة محصورة : —

$$D_w = h_0 - h_w = \frac{Q}{2\pi Kb} \ln \frac{r_0}{r_w} + CQ^n \quad \text{.....(4.58)}$$

حيث (C) هو ثابت يتحكم به نصف قطر البئر وطريقة انشاء البئر وحالة البئر . وليكن للسهولة :

$$B = \frac{\ln (r_0/r_w)}{2\pi Kb} \quad \text{.....(4.59)}$$

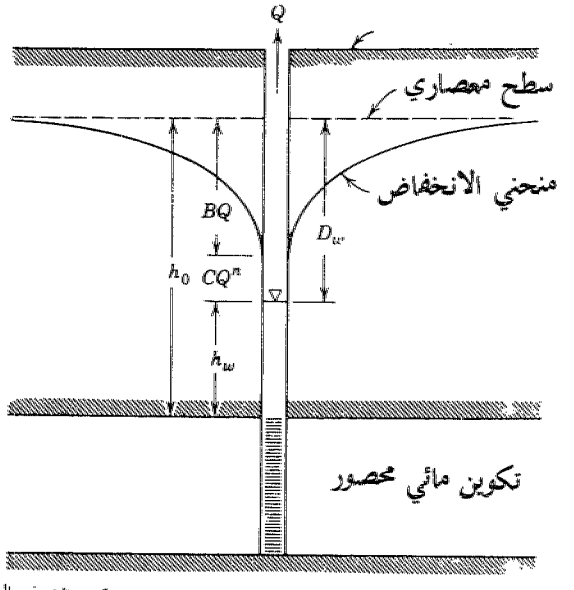
لهـــذا فـــان :—

$$D_w = BQ + CQ^n \quad \text{.....(4.60)}$$

ولهذا كما هو موضح في الشكل (4.23) . فان الانخفاض الكلي (D_w) يتكون من خسارة التكوين المائي (BQ) وخسارة البئر (CQ^n). ومن الواضح ان خسارات البئر يمكن تقليلها وذلك بجعل السرع في الابار وضمنها اقل ما تكون . وفي هذا الارتباط فان العلاقة بين تصريف البئر وحجم البئر يجب . ان يلاحظ :

ويمكن من المعادلتين (4.10) و(4.15) ملاحظة ان (Q) تتناسب عكسياً مع $(\ln(r_0/r_w))$ اذا بقيت كل المتغيرات الاخرى ثابتة .

ان دراسة هذه العلاقة قد وضحت ان التصريف يتغير فقط بكمية صغيرة مع نصف قطر البئر . على سبيل المثال ، بزيادة نصف قطر البئر من (6) انج الى (12) انج يزداد التصريف بنسبة 10 ٪ . على اي حال عندما تمتد المقارنة لتشمل خسارة البئر . فان التاثير مهم بمضاعفة نصف قطر البئر وهذا يضاعف من مساحة مأخذ الماء .

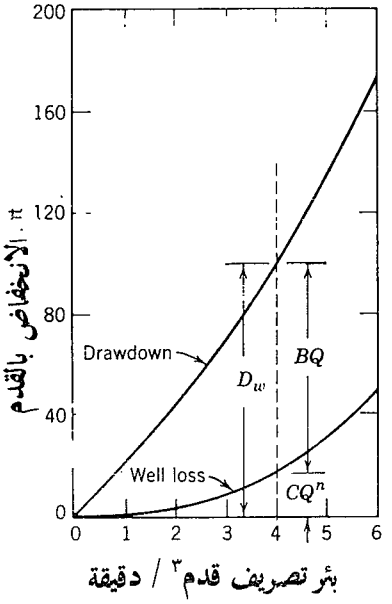


شكل (4 . 23) العلاقة بين خسارة البئر CQ^n الى الانخفاض في تكسر البئر في التكوين المائي المحصور

وتختزل سرع الدخول الى النصف تقريباً وتقطع (اذا كانت n = 2) الخسارة الاحتكاكية الى اقل من الثلث .

للتدفق المحوري ضمن البئر تزداد المساحة أربع مرات مقللة هذه الخسارة بصورة افضل . لمعدلات الضخ المنخفضة نسبياً قد تهمل خسارة البئر ، ولكن لمعدلات الضخ العالية يمكن ان يمثل كسر حجمي ، ممكن تقديره (Sizable) للانخفاض الكلي .

أن المعلومات من العالم رورابه [49](Rorabaugh) المثبتة في الشكل (4.24) توضح التغير في خسارة البئر مع التصريف .



شكل (4 – 24) اختلاف مجموع الانحناء D_w خسارة التكوين المائي BQ وخسارة البئر "CQ مع تصريف البئر

اذا كان حجم المنخل منسجماً مع الأوساط المسامية المحيطة بالبئر التي هي غير مسدودة أو ملبسة (encrusted) بقشرة ، فان جزء من خسارة البئر المتسببة بالماء الداخل الى البئر هي صغيرة بالقياس الى الجزء الناتج من الحركة المحورية ضمن البئر .

اذا قسمّ التصريف على انخفاض البئر فالصبيب النوعي يمكن الحصول عليه . وهذا قياس لتأثير البئر . بحل المعادلة (4.60) الصبيب النوعي [6] : —

$$\frac{Q}{D_w} = \frac{1}{B + CQ^{n-1}} \qquad \text{.....(4.61)}$$

التي تشير الى انه للجريان الثابت تقريبا ، فان الصبيب النوعي للبئر غير ثابت . وكما هو مفترض في بعض الاوقات عوضا عن انها تقل مع زيادة (Q) فثمة حالة مشابهة يمكن توضيحها لحالة غير محصورة .

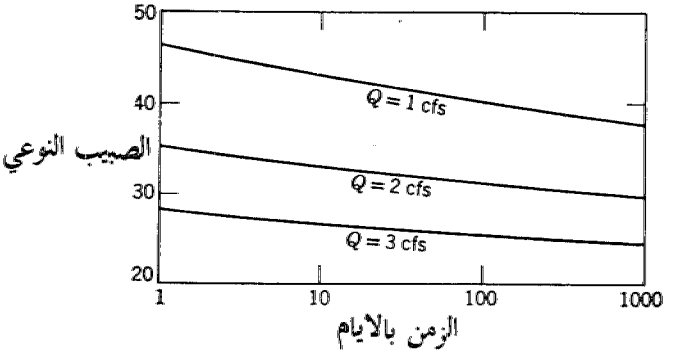
لنعد الآن الى معادلة عدم التوازن ، فمن الممكن بيان ان الصبيب النوعي للبئر لايتغير مع (Q) فقط ولكن مع الزمن (t) . أيضا لهذا من الحل التقريبي والمعطى بواسطة المعادلة (4.36) .

$$D_w = \frac{2.30Q}{4\pi T} \log \frac{2.25Tt}{r_w^2 S} + CQ^n \qquad \text{.....(4.62)}$$

$$\frac{Q}{D_w} = \frac{1}{(2.30/4\pi T) \log (2.25\, Tt/\, r_w^2 S) + CQ^{n-1}} \qquad \text{.....(4.63)}$$

موضحة ان الصبيب النوعي الموضح في اعلاه يقل مع (Q) و (t) وهذا التأثير موضح بمعطيات للبئر مرسومة في الشكل (4.25) .

لذا تتمرين افتراض ان التصريف يتناسب طرديا مع الانخفاض تدل ضمنياً على صبيب نوعي ثابت يمكن ان ينجم عنه أخطاء كبيرة .



شكل (4 - 25) اختلاف الصبيب النوعي في بئر الضخ مع التصريف والزمن

الفصـــل الخامس

Water Wells

– آبـــار الميـــاه –

ان بئر الماء هو ثقب او ممر عمودي عادة محفور في الارض لجلب المياه الجوفية الى السطح . ان وجود الابار احياناً يخدم اغراضاً كثيرة ، منها الاستكشاف تحت السطحي والملاحظة والتطعيم الاصطناعي والتخلص من مياه البواليع والنفايات الصناعية . هنالك طرق عديدة لتشييد الابار وعملية انتخاب طريقة معينة تعتمد اساساً على الهدف من تجهيز المياه . وكمية المياه المطلوبة . والعمق الى المياه الجوفية ، والظروف الجيولوجية . والعوامل الاقتصادية بالنسبة للابار الضحلة فانها تحفر ، وتثقف ، وتدفع او تنفث حقنا ، والآبار العميقة تحفر بواسطة الحبل الثاقب (الالة السلكية) ، والدوار المائي ، وطرق الدوار المعكوس بعد ان يحفر البئر العميق فيجب ان يكمل ويطور للعطاء الأمثل والاقصى ويفحص قبل تركيب المضخة . وعليه ، لأجل ديمومة طويلة يجب ان تحجب الابار ضد دخول التلوث السطحي وتعطي لها صيانة دورية . أن الابار ذات الامتداد الافقي ، الشاملة للآبار الجامعة ودهاليز (galleries) الترشيح تنشأ حيث توجد حالات خاصة للمياه الجوفية .

ثقوب التجارب ومجسات الابار Test Holes & Well Logs

قبل القيام بحفر البئر في اي منطقة جديدة من الشائع انزل ثقب تجربة . والغاية من ثقب التجربة هو تحديد الاعماق الى المياه الجوفية . ونوعية المياه ، والخاصة الفيزياوية ، وسمك التكوينات المائية بدون الحاجة الى الانفاق لحفر بئر منتظم قد يثبت عدم نجاحـــه .

أن اقطار مثل هذه الابار التجريبية نادراً ما تتعدى(10–8)انجات . ان حفر الاختبار قد تهيء باي طريقة لأنشاء البئر ، وعلى اي حال ، فان طريقة الحفر الالة السلكية ، الدوار الهيدروليكي تستعمل بصورة شائعة . اذا ظهر بئر ثقب التجربة مناسباً كموقع لبئر منتهي يمكن ان يوسع الثقب بواسطة الدوار الهيدروليكي لتحويله الى بئر دائمي اكبر .

وخلال حفر بئر ثقب التجربة فان الاعتناء بتقرير عن الحفر او تسجيل المقطع للتكوينات المختلفة والاعماق التي ظهرت فيها ان تحفظ (انظر الفصل 10) .

ان الطريقة المساعدة هي بجمع نماذج القطع Cuttings في قنان زجاجية مؤشر على كل منها العمق الذي به يتم الحصول عليها . ان هذه النماذج يمكن ان تدرس وتحلل لمعرفة التوزيع الحجمي للحبيبات . وهنالك حالات عديدة تتطلب حفارين مخولين باجازات حفر الآبار ويقومون بارسال المجسات ، والعمق المسجل ، واللون ، والصفة ، وحجم المادة ، وتركيب الطبقات المخترقة للآبار التي يقومون بحفرها .

ان التشخيص الملائم للطبقات في طريقة الدوار الهيدروليكي تحليلا ذا عناية خاصة. وذلك لأن طين الحفر يمتزج مع كل أنموذج .

ان التقرير الزمني عن الحفر (انظر الفصل 10) مفيد في بعض الاحيان في هذا المجال

طرق تشييد الآبار الضحلة : Methods for Constructing shallow wells)

الآبار الضحلة ، أقل من (50) قدم في العمق عموما ، وتنشأ بواسطة الحفر ، والتثقيب . والدفع او النفث . وكل طريقة مشروحة بصورة مختصرة في الفقرات الآتية .

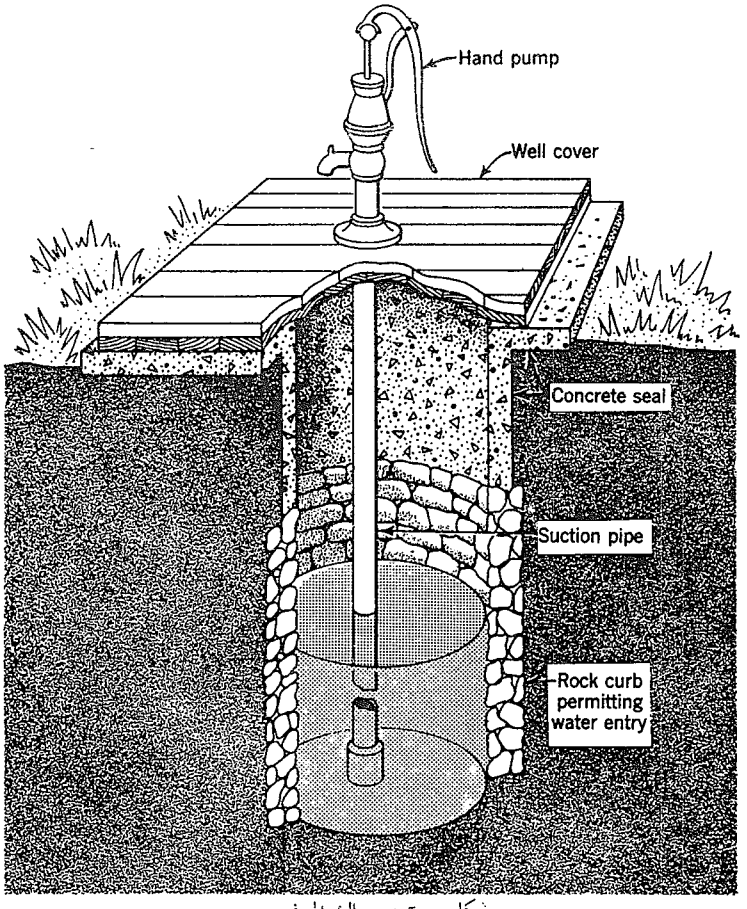
الآبار المحفورة Dug Wells :

ان الآبار المحفورة قد جهزت مناطق عديدة من العالم بكميات لاتحصى من تجهيزات المياه وتاريخ هذه الآبار يرجع الى عهد ميلاد السيد المسيح .

ان اعماق هذه الآبار تتغير من حوالي (10) الى (40) قدم معتمدة على موقع مستوى الماء . والاقطار تكون عدة اقدام عادة . ان الآبار المحفورة تستطيع ان تعطي كميات كبيرة من الماء نسبيا من مصادر ضحلة ، وهي المستخدمة بصورة واسعة لتجهيزات المياه الفردية في المناطق الحاوية على ترسبات نهرية وثلجية غير متماسكة . ذلك أن اقطارها الكبيرة تسمح بخزن كميات معتمدة من الماء .

في الماضي كل الآبار المحفورة حفرت بواسطة اليد ، وحتى الوقت الحاضر تستخدم نفس الطريقة في مناطق كثيرة من العالم .

ان المعول والمجرفة هما الاداتان الرئيستان المستعملتان في الحفر حيث ان المادة المفتتة (loose) تنقل الى السطح في وعاء بواسطة حبال وبكرات مناسبة . الآبار المحفورة الكبيرة يمكن انشاؤها بسرعة باستعمال جهاز متنقل للحفر مثل غلاف دلو صدفة البطلينوس اوالسطل على شكل قشر البرتقال . للسلامة ولمنع الانهيار ، فان بطانة « غلاف » خشب او صفيحة ساندة يجب ان توضع لتسند الجدران . ان البئر يبطن بصورة دائمية ببطانة (غالبا ماتسمى بدائرة القاعدة او حاجز البئر (Curb)



شكل (1.5) البئر المحفور

من عصي الاخشاب . والآجُر . والصخر(انظر الشكل 5.1) اومن السمنت المسلح . اومعدن ما 11.14.29.36 . ان حواجز الآبار يجب ان تكون مثقبة او تحوى فتحات لدخول الماء ، ويجب ان تثبت عند القاع بقوة .

ان الآبار المحفورة يجب ان تكون عميقة بصورة كافية لتمتد اقداماً قليلة (بصورة مفضلة (15الى 20) تحت مستوى الماء .

ان الفراغ المتكون ينبغي ان يملأ بالحصى وبعد انتهاءالحفرحتى قعر البئر ، وذلك لتنظيم او للتحكم في دخول الرمل والانهيار المحتمل . ان البئر المحفورة المشيدة المخترق لتكوين مائي نفاذ تستطيع ان تعطي (500) الى (1500) غالون / دقيقة . على الرغم من ان معظم الآبار المنزلية المحفورة تعطي اقل من (100) غالون / دقيقة .

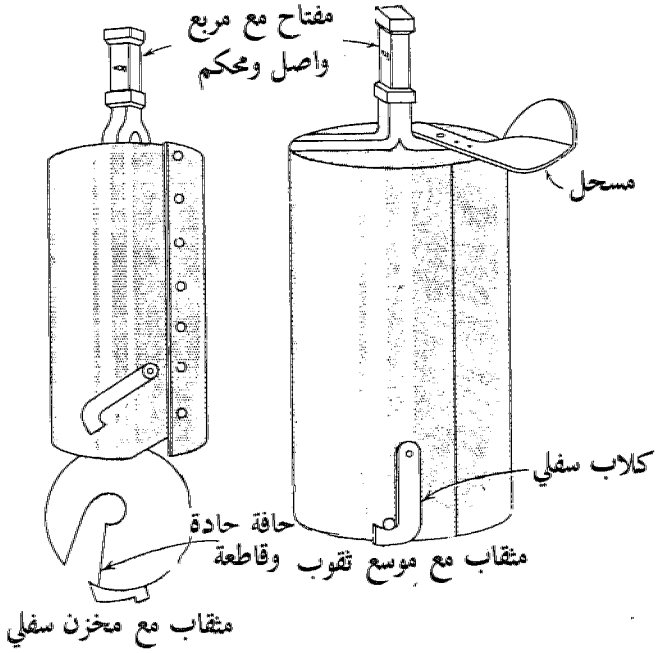
الآبار المثقوبة المحفورة بالمثقب الحلزوني (Bored wells) : حيث يكون مستوى الماء على

عمق ضحل في التكوين المائي غير المتماسك فان الآبار المثقوبة تستطيع تجهيز كميات صغيرة من الماء وبأقل كلفة 11.14.24.36

ان الابار المثقوبة تنشأ ببرايم حفر الارضَ التي تُشغّل يدوياً او باستعمال الطاقة . ان البرايم اليدوية متوفرة بأشكال وبأحجام متعددة وجميعها تشتغل بشفرات قاطعة عند القعر تحفر في الارض بحركة دورانية عند تكون الشفرات مملوءة بفتات الارض . فان المثقب او بريمة الحفر تزال من الحفرة وتفرغ . وتعاد العملية حتى يمكن الوصول الى العمق المرغوب . ان الابار المثقوبة يدوياً نادراً ماتتجاوز الـ (6) او (8) انجات في القطر و (50) قدم في العمق .

وتحفر المثاقب المشغلة بالطاقة ثقوباً تصل حتى الـ 36 انج من القطر وتحت ظروف ملائمة الى اعماق تتعدى الـ (100) قدم .

ان بريمة الحفر تتكون من دلو فولاذي اسطواني الشكل (2.5) مع حافة قاطعة بارزة ؛ فيها شق في اسفلها . ان الدلو يمتلىء أثناء دورانه في الحفرة بواسطة قضيب ادارة ذي طول يمكن التحكم به . عندما يكون مملوء يرفع البريمة الى السطح ، والمادة المستخرجة من الحفر تزال من خلال – فتحات مفصلية على جانب او قعر الدلو .



شكل (2.5) مثقاب لحفر الآبار

ان المساحل (جمع مسحل) [اوموسعات الثقوب] المتصلة بقمة الدلو ، تستطيع توسيع الثقوب الى اقطار تتعدى حجم بريمة الحفر .

ان بريمة الحفر تعمل بصورة افضل في التكوينات التي لا تنهار . حيثما يكون التعامل مع الرمل الرخو او الحصى ، او ان التثقيب يصل الى مستوى الماء فانه من الضروري انزال بطانة الى قعر الحفرة ويستمر الحفر داخلها . البطانات قد تصنع من السمنت ، او الآجر ، او المعدن الثاقب . وفي بعض الاحيان تكمل طرق اخرى لحفر بئر عندما تواجه تكوينات طينية لزجة ، وهنا تكون البرايم مؤثرة اكثر من اي جهار اختراق آخر .

الآبار المدفوعة او المدقوقة Driven Wells :

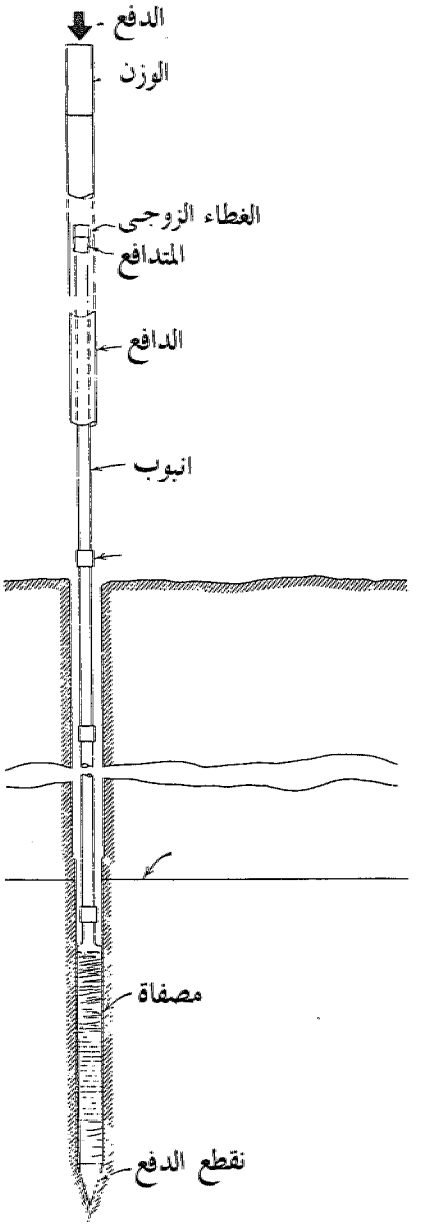
ان البئر المدفوع يتكون من مسلسل من الانابيب الطويلة المتصل بعضها ببعض ، التي تدفع بواسطة صدمات مكررة لهذه الانابيب داخل الارض الى تحت مستوى الماء 11.14.29.36 . ويدخل الماء البئر بواسطة رأس اختراق في النهاية السفلى للبئر (الشكل 5.3) وهذه تتكون من مقطع اسطواني مثقب محمي خلال الاندفاع بواسطةمخروط فولاذي عند القعر .

ان اقطار الآبار المدفوعة تكون صغيرة يقع معظمها في مدى (1/4) الى (4) انجات . انبوب الماء ذو الوزن القياسي له مقرنات لولبية مسننة تستخدم للتبطين .

ان معظم الاعماق اقل من (50) قدم ، على الرغم من ان قليلاً منها تتعدى الـ (100) قدم . ان مضخات النوع الماص تستخرج الماء من الآبار المدفوعة (driven) حيث ان مستوى الماء يجب ان يكون قريباً من سطح الارض اذا اريد الحصول على تجهيز ماء مستمر . وللتوصل الى نتائج افضل ، يجب أن يكون مستوى الماء ضمن (10) الى (15) قدم من سطح الارض لغرض تجهيز الانخفاض المناسب لمستوى الماء والذي يجب ان لايتجاوز حدود السحب او المص . وما عطاءات الآبار المدفوعة قليل . اذ ان معظم تصريفاتها تتراوح من (20) الى (50) غالون / دقيقة ، وتبدو ممثلة لهذه الآبار .

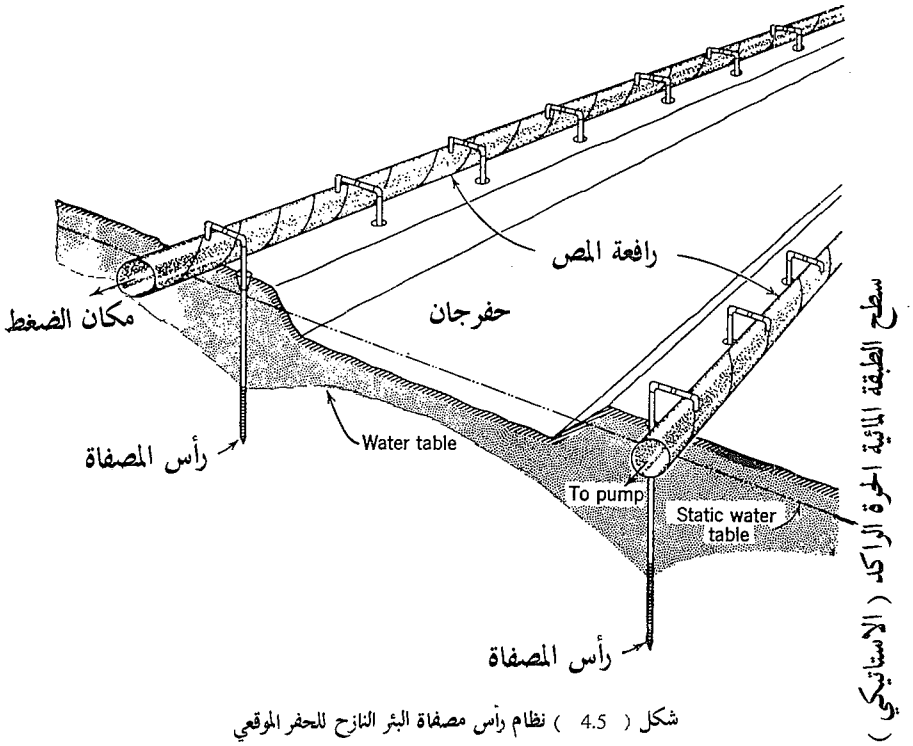
ان الابار المدفوعة احسن ما تصلح لغرض التجهيزات المنزلية ، ولتجهيزات المياه الوقتية او للاغراض الاستكشافية .

ان مجموعات من آبار مدفوعة المربوطة برافعة ماصة Suction header الى مضخة مفردة تكون فعالة لتخفيض موقعي لمستوى الماء .



شكل (3.5) البئر المتدفع مع عملية الدفع

مثل هذه التركيبات، تعرف بأنظمة رؤوس آبار well point وحسناتها بشكل خاص لأغراض تجفيف الحفر ، لحفر الأسس أو عمليات الانشاء تحت السطحي الأخرى. الشكل ( ) يوضح كيف ان تركيب رأس المصفاة لبئر يقلل منسوب المياه الجوفية ليجهز حفرة حافة



شكل (4.5) نظام رأس مصفاة البئر النازح للحفر الموقعي

ان الآبار المدفوعة محدودة للتكوينات غير المتماسكة، التي لاتحوي على صخور او حصى كبير قد يؤذي نقطة الاندفاع لدفع اوشق حفر البئر. ذلك أن بطانة الانبوب (pipe Casing) والمقرنات يجب ان تحفظ عند القمة بقلنسوة دفع (انظر الشكل 5.3) الدفع يمكن ان يتم بواسطة مدقة خشبية، أومطرقة ثقيلة ، اومطرقة ساقطة ، اومطرقة هوائية. وهناك طريقة عمل اخرى تظهر قضيب الاندفاع مربوطاً بحبل الى السطح وهو يوجه تيارات هوائية او نفخات داخل البئر مباشرة على نقطة أورأس الدفع الفولاذى المستدق اوالمدبب .والغرابيل متوفرة بأحجام وفتحات مختلفة . واختيارها يعتمد على حجم الحبيبات في الطبقة الحاملة للمـــاء .

ان المحاسن المهمة للآبار المدفوعة ، هي أنها يمكن انشاؤها في زمن قصير وبكلفة أقل وبشخص واحد .

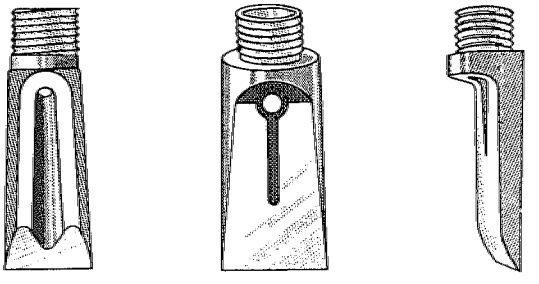
الابار المثقوبة بالحقن (النفاثة) :- Jected wells

ان الآبار المثقوبة بالحقن تشيد بفعل المقطع لتيار الماء المتجه للاسفل. ان التيار ذا السرعة العالية يغسل أويزيل الأتربة بعيداً عن التبطين الذي يعمق انخفاض الحفرة حيث يخرج الماء والفتات للاعلى خارج البئر.

ان الاقطار الصغيرة للحفرة من (1/2) الى (3) انجات تتكون بهذه الطريقة (على الرغم من ان الطريقة لها القابلية على انتاج اقطار تصل الى (12) انج اواكثر) الى اعماق تصل الى اكثر من (50) قدم . 5.27

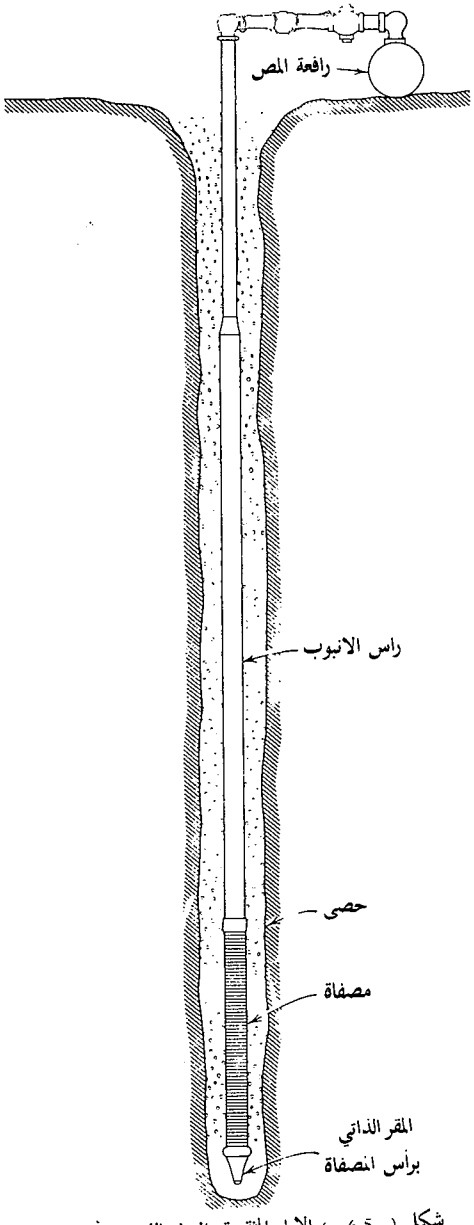
الآبار المثقوبة بالحقن تكون انتاجاتها صغيرة وهي مكيفة بصورة افضل للتكوينات غير المتماسكة ؛ لأنه يسبب سرعة نفث البئر وقابلية نقل المعدات ، تكون الآبار المحفورة بالنفث مفيدة لحفرة الفحص الاستكشافي ولانظمة رؤوس ابار 5.27 .

ان انواعاً مختلفة من دقاقات حفر نفاثة مبينة في الشكل (5.5) في حالة احتراق الطفل والطبقات الطينية الصلبة ، يرفع انبوب الحفر وينزل بصورة حادة . مسببا للدقاقة تحطيم التكوين الطفل والطبقات الطينية الصلبة ، يرفع انبوب الحفر وينزل بصورة حادة. مسببا للدقاقة تحطيم التكوين خلال عملية النفث ويدار انبوب الحفر بصورة بطيئة لكي يؤمن ثقب مستقيم لاكمال بئر ضحل محفور بالحقن بعد تمديد بطانته الى اسفل مستوى لمياه الجوفية فان انبوب البئر مع الغربال المتصلة به ينزل الى قعر الحفرة داخل البطانة . وسحب بعدئذ التبطين الخارجي للبئر ليصبح جاهزاً للضخ.



شكل (5.5) دقاقات حفر نفثية

ان تبسيطاً لخطوات العمل التي في اعلاه يمكن الحصول عليه باستعمال رأس بئر ذاتي النفث بالحقل [36] Self-jetting well pointes وهذا يتكون من انبوب ذي مصفاة نحاسية منتهية بصمام النفث Jetting Nozzle ، الذي يلولب بانبوب الى البئر (الشكل 5.6) عندما ينفث رأس المصفاة الى العمق المطلوب ، فان البئر يكمل ويصبح جاهزا للضخ . وقد يضاف الحصى حول انبوب الحفر للتركيبات الدائمية.



شكل (6.5) الابار المنقوبة بالحفر الذاتي برأس المصفاة

طرق حفر الآبار العميقة : Methods for Drilling Deep Wells

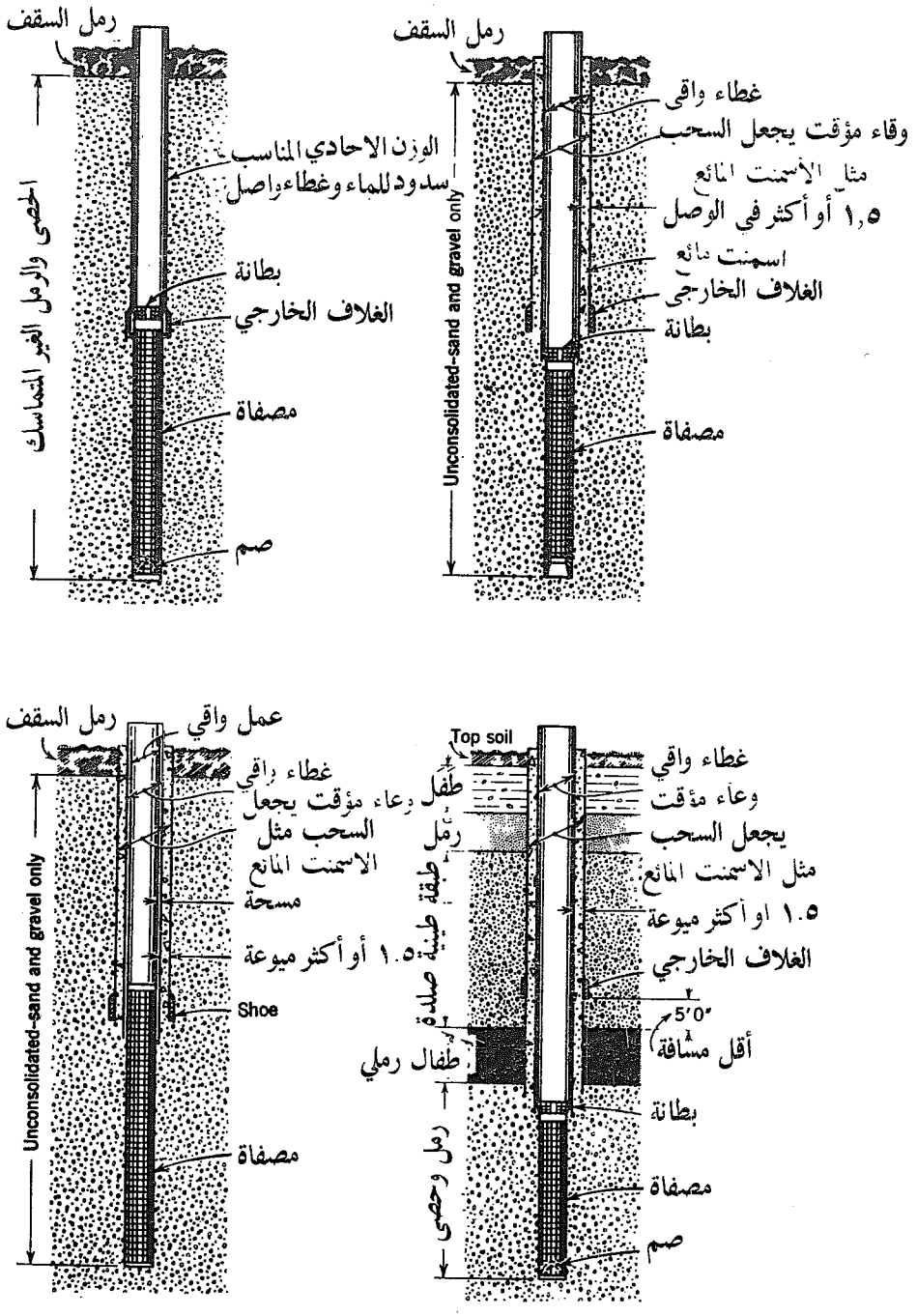
معظم الآبار الكبيرة والعميقة ، وذات السعة العالية تنشأ بالحفر Drilling . وهناك ثلاث طرق رئيسة تستخدم لانشاء هذه الآبار التي يستخدم فيها الآلة السلكية cabletool (كذلك تعرف الثقب بالطرق (percussion) او القياسية . والدوار الهيدروليكي ، والدوار المعاكس وكل طريقة ملائمة بصورة خاصة للحفر في تكوينات جيولوجية معينة وليست في اخرى . وبمعرفة هذه الحقيقة ، فان كثيراً من الحفارين الخبراء ينظمون برج حفرهم ليكون قادرا لتغيير الطرق ، كما هو مطلوب للحفر في التكوينات ذات الطبيعة المتغيرة .

ان أمثلة على تشييد وانشاء الآبار العميقة في التكوينات غير المتماسكة والمتماسكة موضحة في الشكل (7.5) و (8.5) على التوالي ، مأخوذة من مواصفات قياسية للآبار العميقة أعدت بواسطة المنظمة الامريكية لأعمال المياه (American Water Works Association).

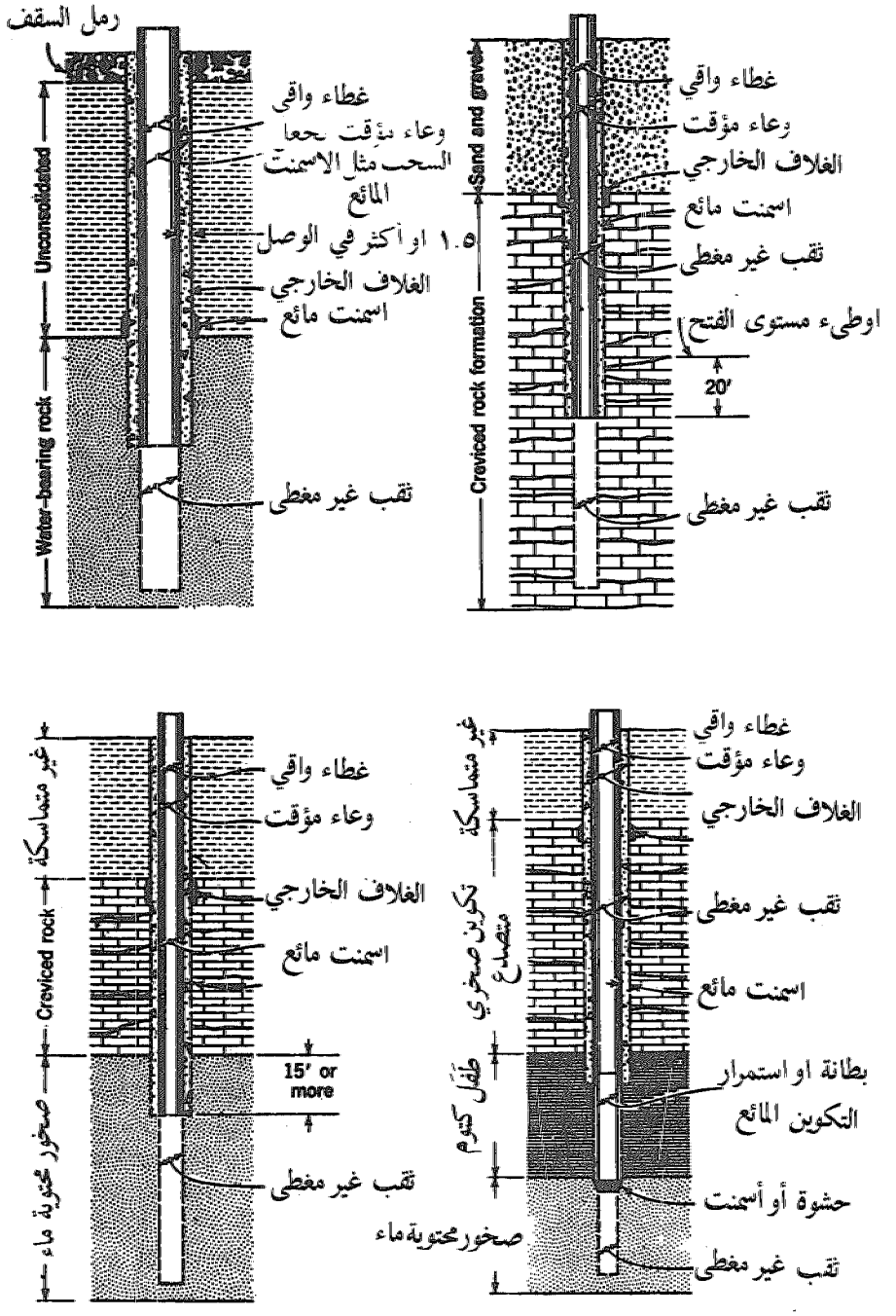
ان طريقة الانشاء للبئر الناجح يعتمد على الظروف الموضعية او المحلية التي واجهت عملية الحفر ، لذا فان كل بئر يجب ان يعامل كمشروع منفرد . ان طرق الانشاء تختلف اقليميا ضمن الولايات المتحدة وكذلك من حفار الى آخر . وطرق الانشاء العامة موصوفة في الفقرات الآتية :

طريقة الآلة السلكية Cable tool method

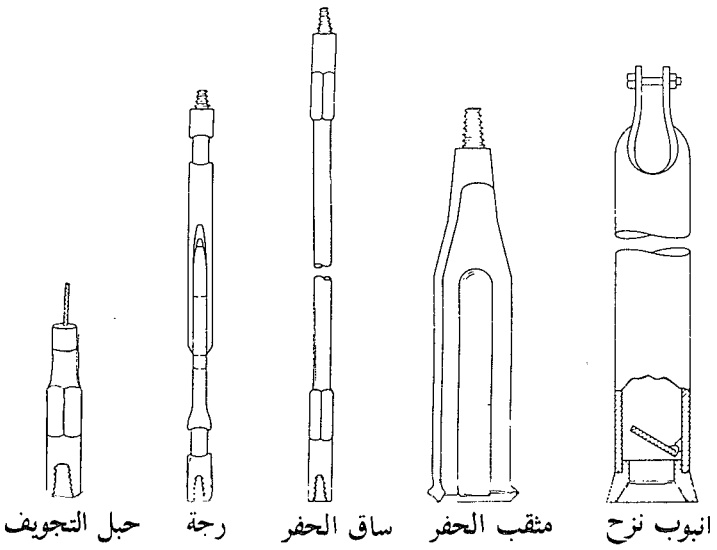
ان الآبار المحفورة بطريقة الآلة السلكية تنشأ ببرج قياسي لحفر بئر ، ووسائط الثقب او الدق ، وصمام الحفر (المنزحة) bailer [13.14.29.36] . ان الطريقة مكيفة لحفر الثقوب العميقة ذات القطر (3) الى (24) انج ، خلال المواد الصخرية المتماسكة في حالات الحصى والرمل غير المتماسك خصوصا الوعث (الرمل اللين) quicksand فانه اقل تأثيرا . ذلك ان المادة الرخوة تهبط وتنهار حول رأس الحفارة . وينجز الحفر بواسطة الرفع والسقوط المنتظم لمجموعة من الآلات . ان رأس الحفارة يوجد في النهاية السفلى دقاق ذا حافة نقر حادة نسبيا تتحطم الصخور بها بواسطة التصادم من الأعلى الى الاسفل . ان مجموعة من الآلات تتكون من تجويف وسلك أو حبل (rope socket) ، ومجموعة من الدوارق وساق الحفر . [ودقاق] الحفر كما في الشكل (9.5) .



شكل (7.5) امثلة على تركيب الآبار في التكوينات الغير متماسكة



شكل (8.5) امثلة على تركيب الآبار في التكوينات المتماسكة



شكل (9.5) القواعد والآلات المستعملة لطريقة الحفر بالآلة السلكية

ان الوزن الكلي قد يصل الى عدة الاف من الباونات الالات تصنع من الفولاذ وهي متصلة بصندوق مغلف ومفاصل مسمارية.

ان الجزء المهم لمجموعة الآلات هو الدقاق . التي تعمل الحفر الحقيقي وتصنع الدقاق بأطوال من (3) الى (10) قدم . ووزن يصل الى (3000) باوند . ويكون الدقاق ذا اشكال مختلفة . تصنع للحفر في تكوينات الصخور المختلفة . ان ساق الحفر عبارة عن انبوب فولاذي طويل يضيف وزناً وطولا الى الحفر حيث انه يقطع الصخور بسرعة وبصورة عمودية . وتختلف سيقان الحفر من (6) الى (30) قدم في الطول ، ومن (2 1/2) الى (6) انجات في القطر ، وتزن (100) الى (3000) باوند . ان مجموعة من الدوارق تتكون من زوج من الرباطات متصلة بشكل ضيق وليس لها تأثير مباشر على الحفر . الغاية منها تبدو فقط لارخاء الآلات ، في حالة التصاقها بالثقب تحت تأثير الشد الاعتيادية على حبل الحفر . فان الدوارق تبقى ممتدة بصورة كاملة . وعندما تصبح الآلات ملتصقة فان الحبل يتراخى لكي يسمح للرباطات لأن تفتح الى طولها الكامل عادة اقل من (6) انجات . وعند ذاك فان شدة قوية الى الأعلى للحبل ستسبب للمقطع الأعلى للدوارق لأن يضفي اوينقل ضربة باتجاه الأعلى الى الآلات .

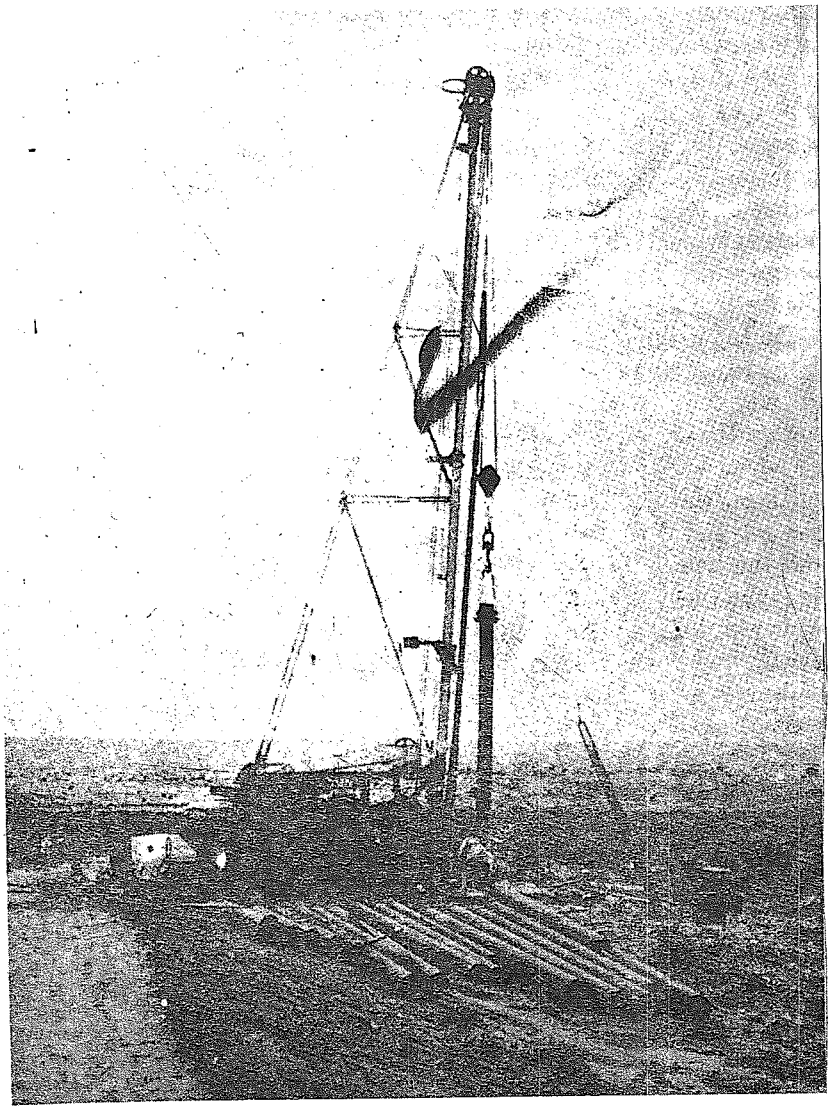
ان تجويف الحبل يربط حبل أوسلك الحفر الى سليكة الالات .

ان قطع مواد الحفر يتم ازالته من البئر بواسطة المنزحة (Bailer) (انظر الشكل 5.9) وعلى الرغم من ان نماذج عديدة قد صنعت ، فان المنزحة تتكون بشكل أساس من مقطع أنبوبي يلتصق به صمام Valve عند القعر وحلقة عند القمة للربط بحبل وعندما تخفض منزحة الحفر الى البئر ، يسمح الصمام لقطع مواد الحفر لأن تدخل المفرقة ، ولكنه يمنعها من الخروج . وبعد الاملاء ترفع المفرقة الى السطح وتفرغ .

ان المنازح متوفرة باقطار مختلفة الأبعاد ، وتتراوح اطوالها من (10)الى (30) قدم ، وسعاتها من (2) الى (90) غالون .

ان برج الحفر لطريقة الحبل الثاقب تتكون من سارية most ، ورافعه hoist متعددة الأسلاك . ودعامة متحركة ، ومحرك . وفي معظم التصميمات الحالية ، فان هذه المجموعة او التجميع بكامله مثبت على مركبة نقل (الشكل 5.10) ، وذلك لنقلها جاهزة وبشكل سريع . ان السارية يجب ان تكون عالية بصورة كافية ، وذلك لكي تسمح لاطول مجموعة من الأدوات أو جزء من الانبوب لان يرفع خارج الحفرة الارتفاع من 30 الى 50 قدم يعتبر مثالياً . ان حبل الحفر يثبت على بكرة بحيث ان الدعامة المتحركة التي لها طول متغير من الحركة ، تسبب ارتفاع وسقوط النهاية الأخرى من سلك الحفر . وخلال الحفر تعمل الادوات 40 الى 60 دقة stroke لكل دقيقة متراوحة مابين 16 الى 40 انج في الطـــول .

ان سلك الحفر يدور بحيث ان الدقاق تكون حفرة مستديرة . ويرمي سلك اضافي يخرج كلما دعت الحاجة اليه ، بحيث ان الدقاق يضرب دائماً قعر الحفرة ويجب ان يضاف الماء الى الحفرة اذا لم يواجه اي شيء ، ليكون معجوناً مع قطع المواد المحفورة وبذلك يختزل الاحتكاك على الدقاق النازل . بعد ان يقطع حذاء الحفر 4 او 5 اقدام خلال تكوين ترفع مجموعة الالات لافراغ الحفرة . في التكوينات غير المتماسكة يجب أن يصل التبطين الى قرب قعر الحفرة لتجنب الانهيار . وتدفع الى الأسفل بواسطة دفع الملازم (جمع ملزم) المثبتة باحكام الى ساق الحفرة . ان حركة الالات الى الاعلى والأسفل ضاربة قمة البطانة المحمية بواسطة دافع رأسي يعمل على اغطاس البطانة حتى قعر المقطع الاول للبطانة ذلك أن حذاء الدفع (انظر الشكل 5.7) يكون مثبتاً الى الحافة المائلة beveled القاطعة ليحمي البطانة ، اثناء دفعها للاسفل .

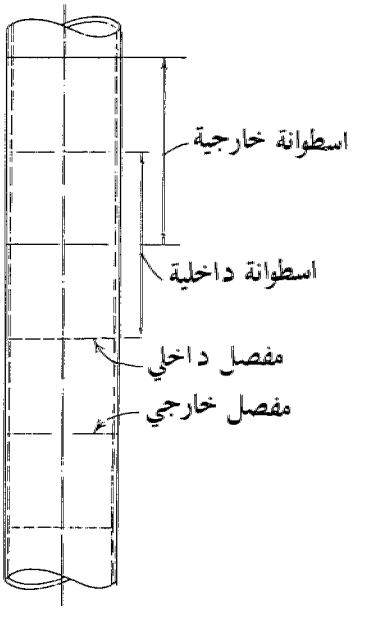


شكل (10.5) بئر محفور بطريقة الحفر بالآلة السلكية مع جهاز حفر مركّب على شاحنة بسلك الشامل للالة واضح في أيمن السارية (تستخدم في عمليات الحفر) مقطع الغطاء داخل اسفل البئر، المقطع الاضافي ظاهر في أمامية الصورة . انبوب النزح مسند بواسطة سلك من السارية قائم من يمين النهر .

ان البطانة قد تنشاء من انبوب قياسي او من بطانة بئر من الفولاذ المقاوم للصدأ، مع مقاطع منفردة مربوطة بواسطة مفاصل مسننةاو ملتحمة. في الولايات المتحدة الغربية تكون آبار الري ذات الاقطار الكبيرة التي تمتد الى اعماق مئات الاقدام شائعة في التكوينات النهرية . وان بطانة ذات جدار مضاعف تختار في بعض الاحيان لتوفر بقوة اكبر خلال عملية الدفع الشاقة [22] هذه البطانة . غالبا مايشار اليها بأنبوب الموقد متكونة بواسطة مقاطع اسطوانية قصيرة متداخلة نصف المسافة الواحدة خلال الاخرى. ان انبوب الجدار المضاعف المستمر مع المفاصل المتداخلة الترتيب سينشأ كما هو مبين في الشكل (11 5) المقاطع تثبت في مكانها بواسطة البعج . أو الوثام او اللحيم. وفي الولايات المتحدة الشرقية. تكون البطانة ذات الجدار المفرد من مقاطع منفردة طويلة ، هي وافية بالغرض عادة .

في حفر أي بئر عميق من المهم صيانة الرصف الملائم بحيث لايتداخل مع تركيب المضخة والتشغيل. ان التخصيص الشائع يسمح بانحرافات تصل الى (6) انجات لكل (100) قدم من الشاقول. ان المشكلة الكبرى هي في الحفر خلال التكوينات الصخرية .

لقد وجد بعض الحفارين ان الحفر التي تحاول ان تميل يمكن تعديلها بواسطة تفجير مواد متفجرة عند القعر حيث ان هذا يبعثر الصخور المحيطة ويسمح للحفر بالتقدم شاقوليا.



شكل (11.5) توضيحات تبين التركيب للجدار الزوجي او انبوب التسخين الواقي

طريقة الدوار المائي (الهايدروليكي) Hydraulic Rotary Method

ان الطريقة الاسرع للحفر في الطبقات غير المتماسكة هي طريقة الدوار الهايدروليكي 14.29.36. حيث ان الآبار العميقة التي تصل الى (18) إنج في القطر أو أكثر مع مسحل يمكن ان تنشأ الطريقة تعمل بصورة مستمرة بواسطة دقاق دوراني مجوف الذي من خلاله يدفع مزيج من الطين والماء او طين الحفر. ان المادة التي تفتت بواسطة رأس الحفارة وتحمل الى الاعلى في الثقب بواسطة الطين الصاعد البطانة ليست مطلوبة اعتيادياً خلال الحفر وذلك لان الطين يكون غلافاً طفلي على جدار البئر ، وهو يمنع الانهيار .

دقاقات الحفر تاتي بتصميمات مختلفة جميعها لها سيقان مجوفة وفتحة او اكثر موضوعة مركزياً لنفث او دفع الطين الى قعر الحفرة ، ان الدقاق مثبت الى قضيب الحفر ذي الانبوب الثقيل والملولب الى نهاية القضيب والمتكون من مقطع مربع من قضيب الحفر .

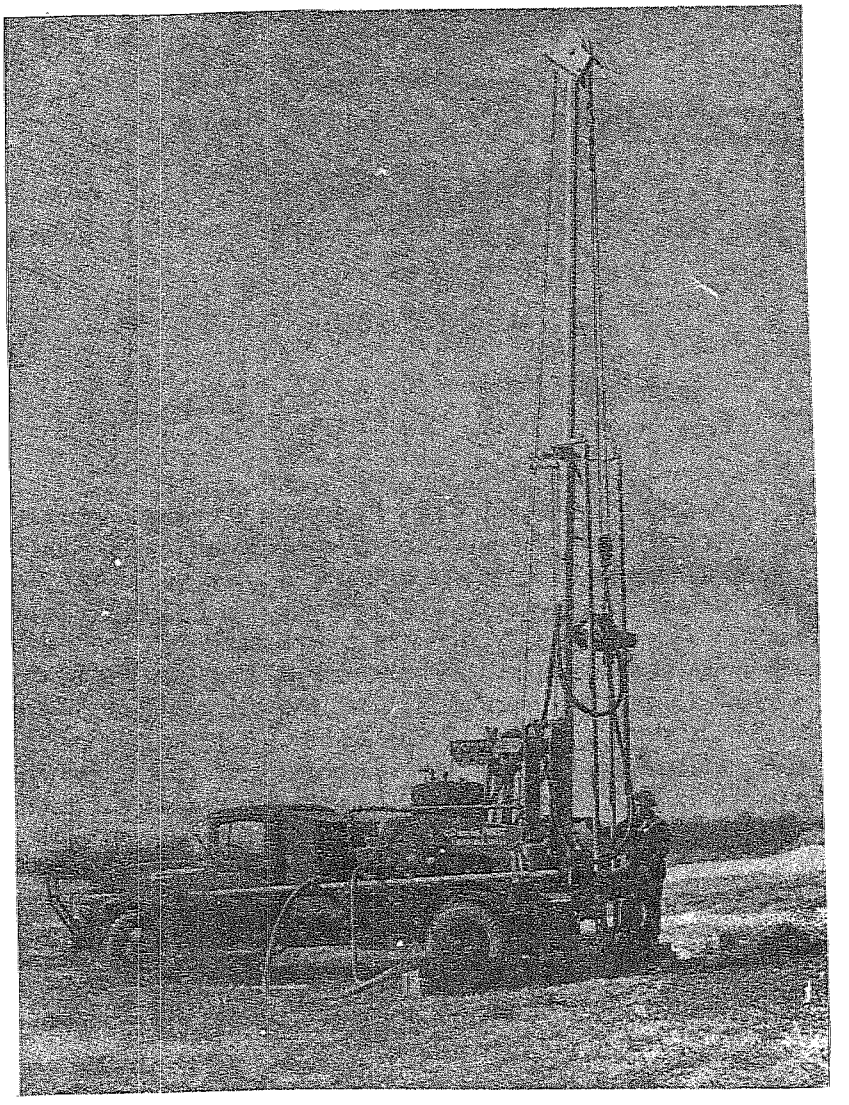
المحفار يحرك بواسطة منضدة دوارة rotating table التي تنطبق بثبات حول الجزء المربع من القضيب الذي يسمح لقضيب الحفر بالانزلاق الى الاسفل كلما تعمق الحفرة . ان برج الحفر لمعدات الدوار الهايدروليكي انظر الشكل 12.5) يتكون من مرفاع (derrick) او سارية (mast) ، منضدة دوارة ، مضخة لطين الحفر ، نازح ، ومكينة .

ان طين الحفر المنبثق من الحفرة متصل بأنبوب اوقناة الى حفرة طين (slush pit) اوخزان والتي يمكن ان تستقر فيهما لذا فان الطين يمكن أن يضخ ثانية الى الحفرة لدورة اخرى . ويضاف الماء والطفل الى الطين كلما دعت الحاجة للحفاظ على الكمية والتجانس .

ويلي الحفر عادة انزال البطانة الى الثقب مع مقاطع مخرمة بحيث تكون مقابل التكوينات المائية لأزالة ترسبات الطفل على حائط الحفرة ، البئر يغسل بانزال المحفار الى قعر البئر. وغالبا مايحوي الماء مادة الكالجون Calgon والذي هو (Sodium hexametaphosphate) والذي يدفع الى أسفل خلال قضيب المحفار ياقة (collar) . او ماسحة swab بحجم البطانة تربط الى قضيب الحفر فوق الدقاق بحيث ان الماء يخرج عنوة خلال الثقوب في البطانة مسببا فعل الغسل على حائط الطفل . في نفس

* ان مادة الكالجون Calgoh تعمل كعامل مشتت او ناشر للطين . والغرين وكاربونات الكالسيوم وترسبات الحديد [14] .
كما انه يساعد في غسل وتطوير وتنظيف الآبار .

الوقت يغطس الدقاق الى الأعلى والاسفل مسبباً عملية تمورّ(اندفاع) (Surging action) وعندما يكمل الغسل عند منسوب مبين ، يرفع الدقاق وتتكرر العملية بعد الانتهاء من الغسل ويلقم الحصى الى الفراغ الحلقي (annular) المحيطة بالبطانة اذا كانت الرغبة في انشاء بئر متراص بالحصى .



شكل (12.5) جهاز الحفر الهايدروليكي الدوار للآبار المحفورة بالثقب .

طريقة الدوار المعكوس : Reverse Rotary Method

ان الطريقة المختلفة عن الدوار الهيدروليكي تعرف بطريقة الدوار المعاكس وهي شائعة في اوربا وقد ازدادت شعبية في الولايات المتحدة . انها قادرة على حفر آبار تصل الى (48) انجاً في القطر خلال التكوينات غير المتماسكة . ان طريقة العمل بصورة أساس هي طريقة الرفع الماص(suction dredging method) حيث ان الفتات يزال بأنبوب ماص . ان برج الحفر مشابه لذلك الذي في طريقة الدوار المائي الا أنه يشمل مضخة نابذة ذات سعة كبيرة . وهنالك انبوب حفر ذو قطر (6) انجات ودقاق الى حد مايشابه الى الرأس القاطع للرافعة (Cutterhead of the dredge) ان جدران الحفرة خلال الحفر تدعم بواسطة ضغط هيدروستاتي (Hydrostatic Pressure) يعمل ضد طبقة المادة الحبيبية الناعمة المترسبة على الجدوان بواسطة ماء الحفر . ويزال الفتات بواسطة الماء ولايستعمل طين الحفر ، ويجري الماء عادة الى اعلى خلال الانبوب .

ان المزيج يدور خلال حوض حيث يستقر الرمل خارجا ولكن الدقائق الحبيبية الناعمة يعاد تدويرها الى الحفرة حيث انها تساعد على استقرار الجدران . ان مستوى الماء يجب ان يكون تحت سطح الأرض باقدام كثيرة ، وذلك للحصول على عمود تفاضلي مؤثر differential بين البئر والتكوين المائي .

التبطين وتنظيف البئر يقابلان الطرق المستعملة في طريقة الدوار الهايدروليكي .

– اتمام او اكمال البئر Well Completion

بعد ان يحفر البئر العميق يجب ان يكمل ، واكمال البئر يهيء دخول سريع للمياه الجوفية الى البئر بمقاومة صغرى داخل البطانة وحولها .

التثقيب والمصافي : Perforations & Screens

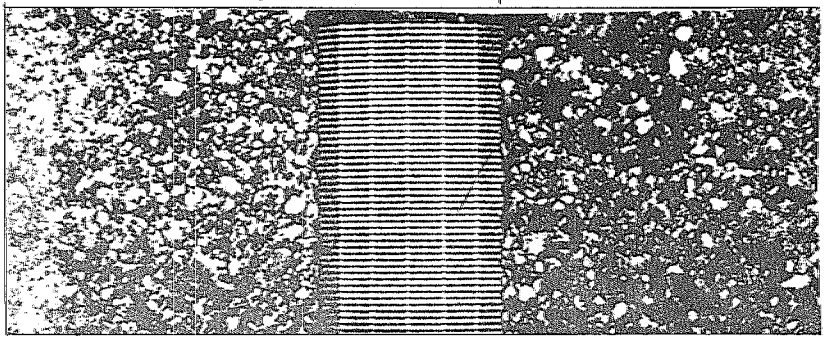
في التكوينات المتماسكة حيث المادة المحاطة بالبئر ثابتة ، تدخل المياه الجوفية مباشرة في البئر غير المبطنة . (الشكل 5.8) . في التكوينات غير المتماسكة على اي حال .. يكون التبطين ضروريا ، ويجب ان يخدم اغراضا ثنائية حيث يسمح بدخول الماء بحرية الى البئر ويسند المادة الخارجية .

ان البطانة يجب ان تحوي ثقوبا او ان تستبدل بمصفاة البئر . ويجب الماء ان يسمح له بالدخول على امتداد كل اجزاء البئر المخترقة للتكوينات المائية النفاذة مفترضة ان نوعية الماء انظر الفصل 7 ملائمة مخطط استعمال الماء المقاطع الاخرى من البئر يجب ان تحوي بطانة جوفاء (blank) وتحجز بواسطة طفل موحل او ملاط رابط (Cement grout كما هو موضح في الشكل 7. 5 مع حركة الماء العمودية على امتداد السطح الخارجي للبطانة

ويمكن ان تعمل الثقوب في الحقل . والا فالبطانة المخرمة آليا متوفرة . والتثقيب الحقلي يمكن عمله قبل الوضع بواسطة التخريم punching اوبواسطة القطع بالشعلة الاستيلينية .

ان التخريم الموقعي يمكن صنعه بواسطة شفرة البئر اومثقبة البئر . وعموما تعطي الفتحات الشقية الافقية تحكما افضل للمواد غير المتماسكة مما يفصله الشق (slot) العمودي . ويجب ان تكون الفتحات كبيرة وكافية لتسمح بـ 50 الى 80 بالمائة من الحبيبات المحيطة لان تعبر الى البئر .

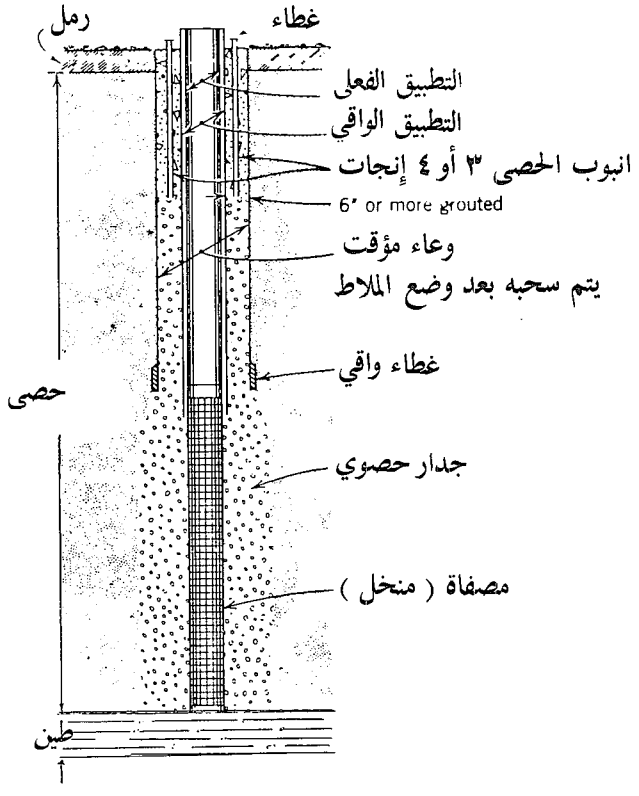
في الولايات المتحدة الشرقية تغمر مصافي البئر تولج غالبا كمقاطع للبطانة لتزيد دخول الماء . وهذه متوفرة في تصميمات مختلفة من ناحية الاقطار . واحجام الشق ، والمعادن المقاومة للتآكل . ان المصفاة اوالمنخل الملتوي بصورة حلزونية (Spiral–wound screen مبينة بواسطة الشكل 13.5 ان الشقوق مستدقة مع الفراغ الاوسع عند السطح الداخلي لتمنع الحبيبات من التراكم ضمن الفتحات وتسد الجريان ، ان الستائر البلاستيكية هي ابتكار حديث . وستائر الابار مفيدة خصوصا في التكوينات المائية الرملية طالما ان فتحة الستارة يمكن اختيارها لترشح جزء محددا للرمل . ان حجم الشق الذي يمرر 50–80 بالمائة من مادة التكوين المائي يجب اختياره ، حيث ان الجزء المتبقي الخشن يشكل النطاق النفاذ بشكل عال حول البئر . وينصح صانعو المصافي حجم الشق الاكثر ايفاء بالغرض ، المبني على تحليل الحبيبة ، لتكوين مائي معين وتستخدم مصفاة الابار ايضا مع تراص الحصى . الاتصالات بين البطانة الصماء أو منخل البئر يلحم أو يسد بواسطة مواد التراصات .



شكل (13.5) حجم الحبيبات حول مصفاة البئر للبئر الحقيقي الكامل في التكوينات غير المتماسكة

تعبئة اورص الحصـــى Gravel packing

ان البئر المرصوص الحصى هو ذلك البئر الذي يحوي مصفاة الحصى او الغلاف المحيط بالاجزاء المثقبة من البطانة . انظر الشكل 5.14) . ان الحصى يزيد من قطر البئر المؤثر . ويعمل كمصفاة لـكي يجعل المادة الناعمة خارج البئر ويحمى البطانة من انهيار التكوينات المحيطة . ان البئر المرصوص بالحصى يشيد بصورة ملائمة في التكوين غير المتماسك عادة ويكون له سعة نوعية اعظم من تلك التي لها نفس القطر وغير محاطة بالحصى .



شكل (14.5) بئر متراص الحصى

في التكوينات المائية التي تحوى نسبة كبيرة من الرمل الناعم تكون مصفاة الحصى ضرورية لتجنب البئر الضاخ للرمل . ان معظم آبار التطعيم الناجحة في التكوينات المائية غير المتماسكة هي المرصصة بالحصى .

ان سمك طبقة الحصى ستختلف بنوع التكوين وطريقة الحفر وعلى أي حال فان الحد الادنى (6) انجات مطلوبة عادة لكي يكون مؤثراً تماما . ان الاختيار الدقيق لحجم الحصى مهم ، اذا اعيق الرمل عند الحافة الخارجية للرص حيث سرعة الدخول على اقلها ولكن في نفس الوقت توفير بنطاق ذي نفاذية عالية حول البئر التجريبي ويكون صف الحصى متكوناً من حجوم الحبيبات المختلف الذي يستمر عادة من الرمل الى الحصى والذي يصل الى (1/4) انج . ان توزيع حجم الحبيبة الملائمة لتراص الحصى يجب ان يعود الى :

(1) التحليل الميكانيكي للتكوين المائي .
(2) حجم الثقوب او فتحة المصفاة . مدى توفر المادة محليا وهذه غالبا هي العامل المهم كذلك في اختيار الحصى .

في التكوينات المائية الرملية حيث رص الحصى اساس تقريبا ، يجب انشاء الآبار العميقة بطريقة الدوار المائي أو الدوار المعاكس .

ويضاف الحصى بعدالغسل بجرفه حول البطانة عندالسطح ، واضافة المزيد كلما يغطس الحصى في مكانه . في بعض الاحيان يكون موضوعا خلال انابيب صغيرة pilot holes او حفر ارشاد حول البطانة الذي يغذى الحصى الاسفل في موقعه [36] خطوة عمل هذه تجنب الصعوبة الشائعة لانحصار الحصى في المقاطع الضيقة للحفرة وفشله لتشكيل رص منتظم وهناك تحسين تصفية اضافة هي استعمال مضخات بلا شفرات لضخ الحصى في مكانه (bladeless pumps)

ويمكن ايضا ان يوضع الحصى حول الابار بواسطة وسيلة السلك الضحلة نسبيا المحفورة بالآلة السلكية وتشمل طريقة العمل وضع بطانة جوفاء blank كبيرة خلال الحفر بعد ان توضع في الداخل بطانة اصغر محتوية على مقاطع مثقوبة او الشاشات .
ان الفراغ الحلقي يملىء بالحصى والبطانة الخارجية تسحب خارج البئر .

تطوير البئر (Well Development)

بعداكمال الحفرسينشأ بئرعميق يطور لزيادة سعته النوعية ويمنع مرور الرمل وتحصيل اعظم عمر اقتصادي للبئر هذه النتائج تنجز بازالة المادة الانعم من التكوينات الطبيعية المحيطة بالمقاطع المثقوبة للبطانة الشكل (13.5) يرى التوزيع الحجمي الحبيبي الناتج حول بئر مطور بصورة ملائمة في تكوين مائي غير متماسك . وبالطبع حيث ان البئر قد رص بالحصى فكثير من الغاية الاساسية قد انجز على الرغم من ان التطوير لايزال ذو فائدة قصوى .

ان أهمية تطوير الآبار لايمكن تقليل اهميتها ذلك ان التطوير في كثير من الاحيان قد لاينجز أولا ينفذ بصورة ملائمة لانتاج عطاءات باقصى طاقة .

ان خطوات عمل أوطريقة التطوير بواسطة الضخ والكبس وحقن الهواء المضغوط والاجتراف الخلفي (back washing) . واضافة ثاني اوكسيد الكاربون الصلب كلها مشروحة في الفقرات التالية ان تفجير المواد المتفجرة مؤثر كذلك في بعض الاحيان في الابار الصخرية طالما ان النسف (blast) يزيد من التشققات والفواصل في الصخور المحيطة [21,23]

ويتطلب التطوير بواسطة الضخ مضخة مع انبوب ماص ممتدا الى قرب مركز الثقوب او المصفاة . والمضخة يجب ان تشغل عند تصريف منخفض * حتى يصفى الماء بهذا الاسلوب تعاد العملية بطريقة تدريجية عند تصريفات اعلى على التوالي حتى يتم الوصول الى اكبر قدرة للمضخة او اعظم سعة للبئر . وبعد ان يصفى الماء عند التصريف الاعظم يجب ان توقف المضخة ويسمح لمنسوب الماء في البئر لكي يرجع الى الحد الطبيعي . بعد ذلك العسبد كليا يجب ان تعاد . هذا الضخ غير المنتظم وغير المستمر يهيج المادة الناعمة المحيطة بالبئر ، لذا يمكن نقلها الى البئر وضخها خارجا . ان الجزء الخشن الداخل الى البئر يزال بواسطة النارح او مضخة الرمل من القعر .

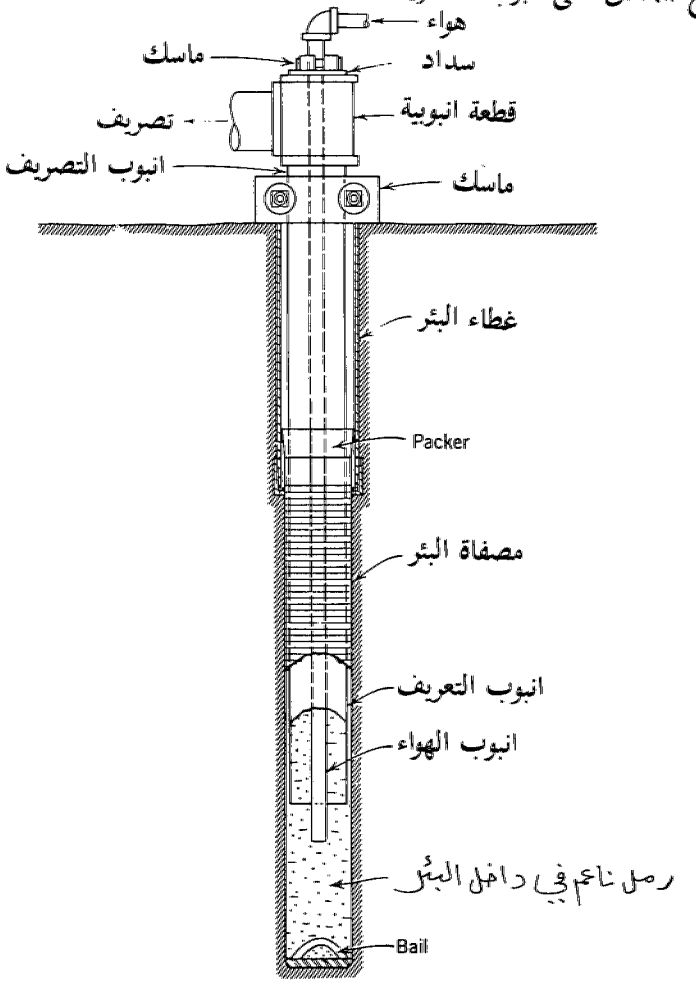
ان الطريقة الاكثر تأثيراً في تطوير البئر هي الاندفاع الناشيء بواسطة الحركة السريعة الى الاعلى والأسفل للمكبس . ان المكبس يعمل فوق الثقوب او المناخ في الابار القارعة (الضاربة) للتكوينات المائية غير المتماسكة وفي البطانة فوق الثقوب المفتوحة في الابار في التكوينات المائية . وكثيراً ماتضاف مادة الكالجون (Calgon) الى ماء البئر . وعندما يرتفع المكبس ، يسحب الماء الى البئر ، على حين خفضه يدفع الماء الى خارج التكوين المائي عكس الجزيان هذا يتم التغلب عليه بوضع ركيزة (التجسير الرملي Sand bridging) اوحاجزٍ من الرمل يجلب المادة الناعمة الى البئر .

ان الاندفاع قد ينفذ بالنازح أوبكتلة الدفع الدائرية ، وان مايسمى بكتلة الاندفاع المجوفة مربوطة الى مجموعة انابيب تضخ من خلالها الماء خارج البئر ككتلة اندفاع تتحرك أعلى واسفل وبهذه الطريقة يزال الرمل والطين بصورة مستمرة عوضا عن اجبارهما على الرجوع الى التكوين وباستمرار الحركة بالاتجاه السفلي لكتلة الاندفاع الصلبة ويجب ان يكون

* في حالة حدوث تصريف عالٍ مبدئي ، فان عملية التجسير Bridying (وذلك بوضع حبيبات الرمل بشكل زاوي حول كل ثقب بواسطة السحب المفاجيء للرمل باتجاه البئر) . وهذه العملية هي لمنع المواد الناعمة من الانسحاب وكذلك للتقليل من تأثير عمليات تطور البئر .

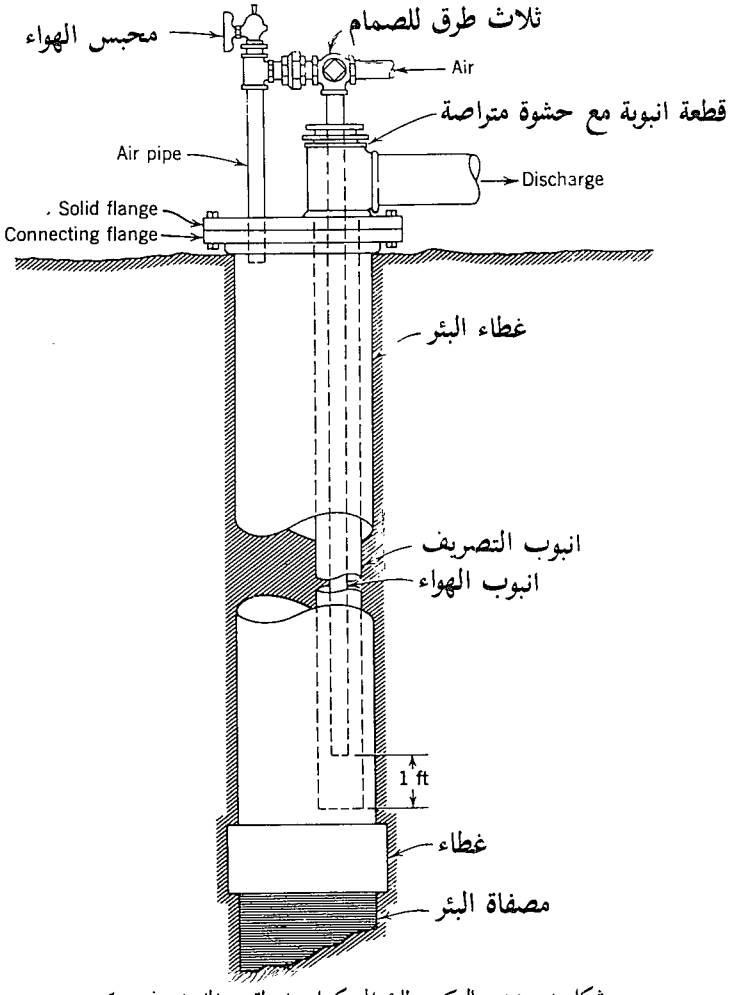
** تطبق هذه في كافة حالات التطور .

الاندفاع مستمرا حتى لايدخل الى البئر طين اورمل اكثر. ولتطوير البئر بواسطة الهواء المضغوط تربط ضاغطة هواء بانبوب هواء الى البئر ويثبت حول انبوب الهواء انبوب تصريف ، كما هومبين في الشكل (15.5) وكلا الانبوبين يجب أن تكون لهما القابلية على كونهما منتقلين عموديا بواسطة ملازم ابتداء يمتد الانبوبان الى قرب القعر للمقطع المثقب ولغرض الاشتغال بكفاية عالية ، فان عمق الماء في انبوب التصريف يجب ان يتعدى ثلثي طول الانبوب . ولبدء التطوير فان انبوب الهواء يغلق ويسمح لضغط الهواء ان يتعاظم الى (100-150Psi) باون / انج مربع ومن ثم فانه يتحرر فجاءة الى البئر بواسطة صمام سريع الانفتاح . ان تدفق الهواء يخلق اندفاعاً عظيماً ضمن البئر. ويزداد الضغط في البداية ثم يقل بعد ذلك بسبب دفع الماء الى اعلى انبوب التصريف .



شكل (15.5) التركيب للبئر المستكمل مع الهواء المضغوط

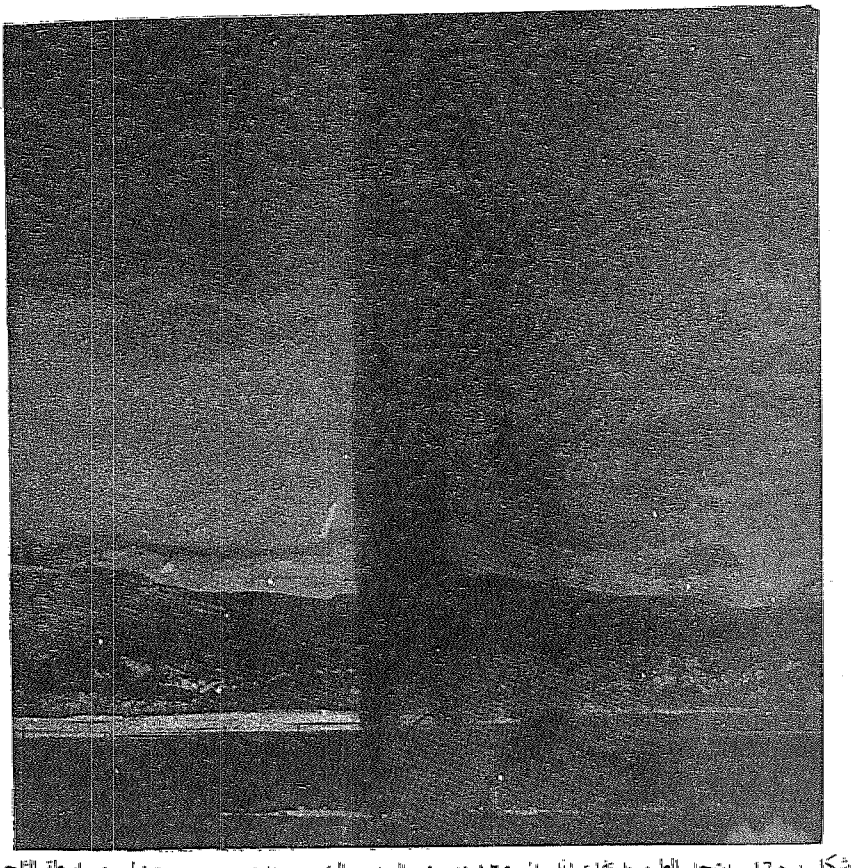
في طريقة الاجتراف الخلفي تكون قمة البئر تثبت بغطاء محكم السد . اما انابيب التصريف والهواء فتركب بطريقة مشابهة للطريقة السابقة وذلك مع انبوب هواء قصير منفصل ، وصمام ذي فتحات ثلاث كما هو موضح في الشكل (16.5) . الهواء المتحرر خلال انبوب الهواء الطويل يعمل على دفع الهواء والماء خارج البئر خلال انبوب التصريف كثيرا مايحتوي الماء على مادة الكالجون (Calgon) وبعد أن يصفى الماء يغلق تجهيز الهواء ، ويسمح للماء بالعودة الى منسوبه المستقر . ان الصمام ذا الفتحات الثلاث يفتح بعد ذلك لكي يسمح للهواء الصعود الى قمة البئر من خلال انبوب الهواء القصير . ان هذا يجرف الماء خلفيا من البئر خلال انبوب التصريف وفي نفس الوقت يثير حبيبات الرمل المحيطة بالبئر . ويجبر



شكل (16.5) التركيب للبئر المستكمل بواسطة رد الماء او دفعه بالكبس

الهواء على الدخول الى البئر حتى تبدأ عملية الهروب من أنبوب التصريف . بعدما يقلب الصمام ذا الفتحات الثلاث وتجهيز الهواء ثانية يكون بالاتجاه السفلي لانبوب الهواء الطويل لضخ البئر . ويعاد الاجتراف الخلفي حتى يتطور البئر كاملا .

طريقة جديدة لتطوير البئر مبنية على الدفع الناتج باضافة ثاني اوكسيد الكاربون الصلب لثلج الجاف الى البئر – الأول . ولكي ترخي آثار الطفل وتقليل الجريان من التكوين المائي يضاف حامض الهيدروكلوريك الى البئر وذلك بأن تسد البطانة Capped عند القمة . ويدفع الهواء المضغوط الى البئر . الضغط يجبر المادة الكيمياوية الى الطبقات المنسدة . وفي النهاية تتم ازالة الغطاء وكتل من الثلج الجاف تسقط داخل البئر . ان تراكم ثاني اوكسيد الكاربون الغازي المتحرر بواسطة التسامي ينمي ضغطا ضمن البئر الذي – فور تحرره – يسبب انفجار الماء الموحل من البئر انظر (الشكل 17.5) .



شكل (17.5) انفجار الطين وارتفاع الماء الى ١٢٥ قدم في الهواء من البئر من يوتا Utah بعد عملية تطويره بواسطة الثلج الجاف .

فحص الآبار للعطاء : Testing Wells for yield

ان التطوير التالي للبئر الجديد هو فحصه لتحديد عطائه وانخفاضه هذه المعلومات تعطي اساس لتحديد تجهيز الماء المتوفر من البئر . كذلك لأختيار نوع المضخة . ولتقدير كلفة الضخ . وينجز بواسطة قياس منسوب الماء المستقر وبعد ذلك يضخ البئر بمعدل عال جدا ، حتى يتم استقرار منسوب الماء في البئر . ويتم اثرها ملاحظة العمق الى الماء ويمثل الفرق في الاعماق . الانخفاض او الحبوض drawdown ونسبة الصبيب للانخفاض (discharge-drawdown) هي تقدير للسعة النوعية للبئر .

ويمكن تحديد التصريف بواسطة أحد اجهزة القياس العديدة المربوطة الى انبوب التصريف . واعماق مياه البئر تقاس بواسطة شريط طباشيري ، أوسلك سير الاعماق الكهربائي (Sounding wire) . أو خط هوائي (air line) ومقياس الضغط .

معدات الضخ : Pumping Equipment

للآبار الضحلة . حيث يحتاج الى تصريفات صغيرة فقط . يمكنها استعمال مضخات القاذفة (pitcher pumps) التي تشغل باليد . والمضخات التوربينية ومضخات التروس (gear pumps) والمضخات النابذة (Centrifugal pumps) ان التصريفات التي تتراوح مابين غالونات قليلة لكل دقيقة الى (100) غالون لكل دقيقة معتمدة على نوع المضخة وحجم المسرب وأنابيب التصريف . ارتفاعات المص فيها يجب ان لاتتعدى (20–25) قدم للاشغ الكفء والمستمر .

للآبار العميقة التي تتطلب رافعات اكثر من (25) قد يتم عادة تركيب مضخات ذات السعة الكبيرة التي تخدم الري والمتطلبات البلدية او متطلبات المياه الصناعية . ان اختيار المضخة الملائمة مهم معرفة عطاءات البئر المستمرة التي تفي بالغرض المطلوب والعوامل التي تؤخذ في الأعتبار تشمل قطر وعمق البئر والعمق الى مستوى الماء والانخفاض الحبوض ، ومقدار التغييرات الفصلية لمنسوب المياه الجوفية ، واستمرارية الضخ . والسعة ، والتكاليف الاولية وتكاليف الصيانة والقدرة المطلوبة ونوعية الماء . هناك انواع عديدة من المضخات ملائمة لتشغيل البئر العميق : الكابسة . وتوربين البئر العميق . والأزاحة ، وارتفاع الهواء الغواصة ، والنفاثة . في الآبار العميقة الضخمة التي تعطي تدفقات مئات عديدة من الغالونات او أكثر لكل دقيقة نجد ان مضخة توربين لبئر العميق قد اتخذت بصورة واسعة .

نزولا للطلب . فان مصنعي المضخات سوف يقومون بابداء النصيحة حول حجم ونوع المضخة الاكثر ملائمة لبئر معين .

الحماية الصحية للآبار :

حيثما تضخ المياه الجوفية من البئر وتكون هذه المياه لأغراض الاستهلاك البيتي يجب ان تؤخذ اجراءات صحية ملائمة لتحفظ نقاوة الماء [15.25] . ان مصادر التلوث توجد اما فوق او تحت سطح الارض وتطبق الاحتراسات بصورة متساوية على التجهيزات المأخوذة من العيون الطبيعية . الشكل (18.5) يوضح على سبيل المثال ، طريقة مثالية لحماية تجهيز مياه العين .

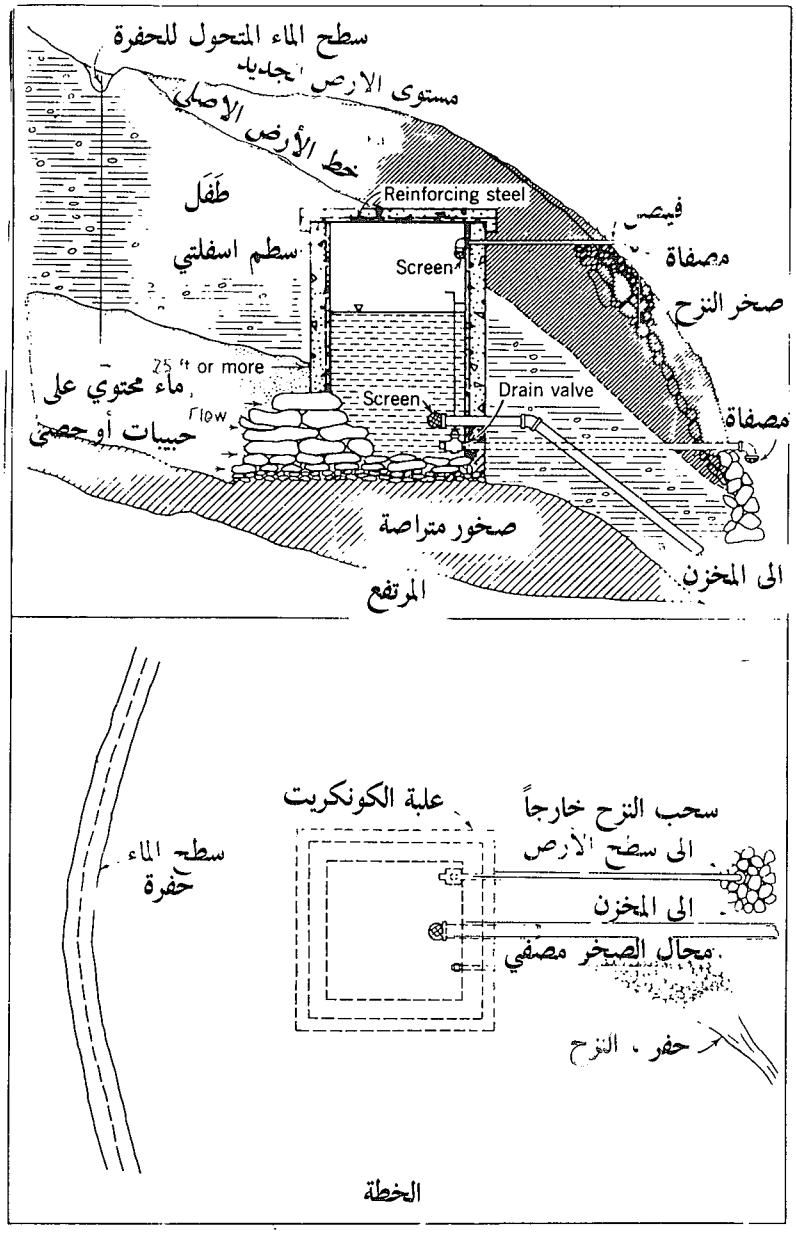
ان مصادر التلوث تحت الارضية يمكن ان تنتج من التواليتات ، وخزانات المياه القذرة ، البالوعات ومجاري البالوعات) . والفناءات المحاذية لمخزن الحبوب ، ومناطق الماشية . ومن الطبيعي أن الابار يجب أن تثبت في الاقل (50–100) قدم بعيداً وليس على جانب سفوح التلال لمثل هذه المصادر . تعليمات اقسام الصحة المحلية يجب تأكيدها وملاحظتها .

ان التكوينات المائية ، مثل حجر الكلس ، يتطلب حفظاً مخصوصاً طالما انه قادر على امتصاص الملوثات ، مسافات عظيمة اكبر من التكوينات غير المتماسكة .

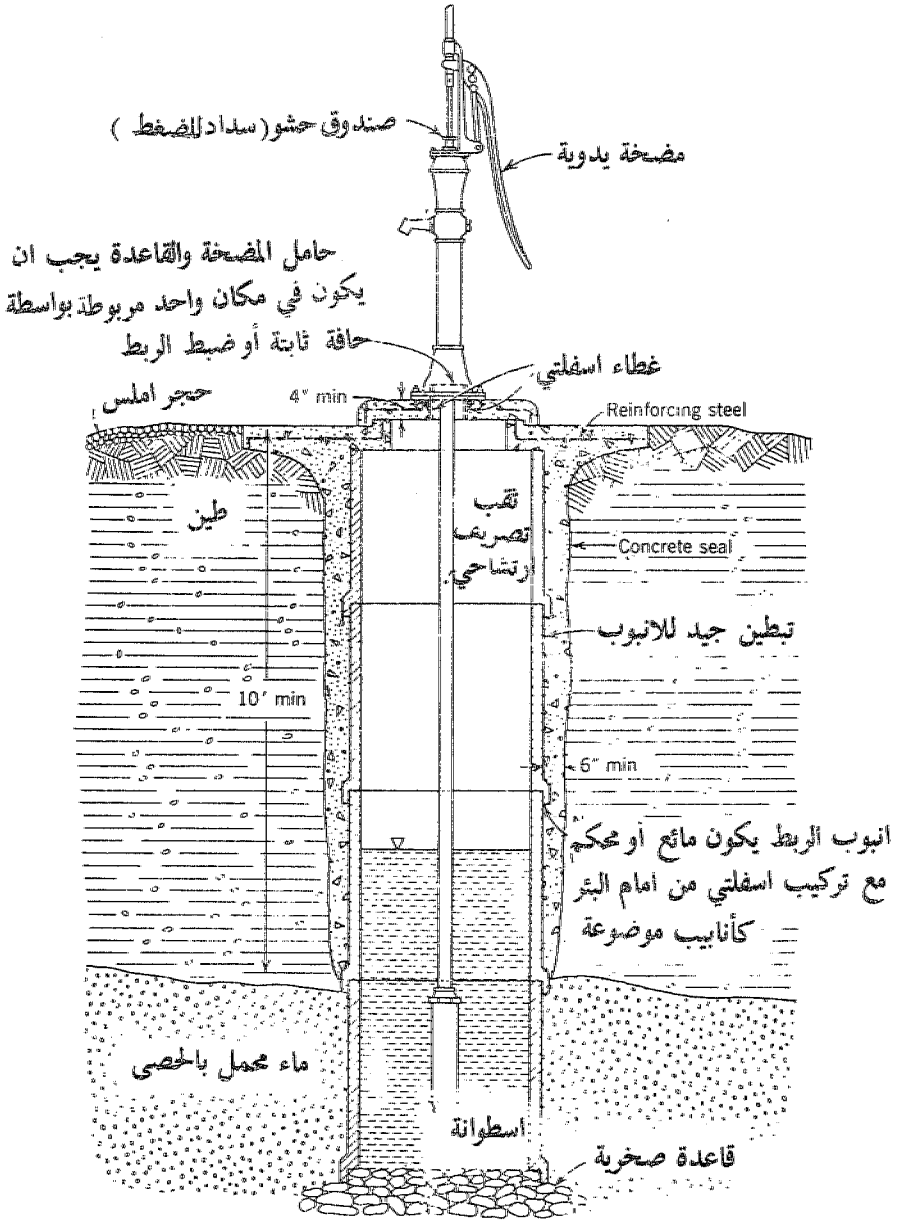
ويقدر التلوث السطحي ان يدخل البئر اما من خلال الفراغ الحلقي خارج البطانة او خلال قمة البئر نفسه . ولغرض غلق كافة سبل الوصول للماء غير الوغوب فيه خارج البطانة ، فان الفراغ الحلقي يجب ان يملاء بالملاط السمنتي . كما هو مبين للآبار العميقة في الشكلين (7.5 8.5) وللبئر الضحل في الشكل (19.5) . ويمكن تجنب الدخول من خلال قمة البئر . بتجهيز غطاء مانع للماء ليسد قمة البطانة .

ان بعض المضخات متوفرة مع قواعد معدنية مغلقة تجهز بالغلق الضروري اما بالنسبة للمضخات التي لها قاعدة ذات نوع مفتوح . أو حيث المضخة غير موضوعة مباشرة فوق البئر ، فالبئر تحتاج الى حاجز للفتحة الحلقية بين البطانة وانبوب التصريف . وقد تصنع الحواجز من معدن او رصاص مرصوص او من مركبات اسفلتية او مركبات صمغية تفي بالغرض أيضا .

الاغطية التي حول البئر يجب ان تصنع من الكونكريت وان تكون مرتفعة فوق منسوب الأرض المجاورة ، وان تنحدر بعيداً من البئر (الشكل(19.5) .



شكل (18.5) طريقة نموذجية للحماية الصحية للآبار (اللجنة المشتركة للحماية الصحية [15])



شكل (19.5) آبار الحفر المحكمة السداد لحمايتها صحيا (اللجنة المشتركة للحماية الصحية [15])

حيثما يكمل بئر جديد يرمم بئر قديم فالتلوث من المعدات ، ومواد البئر ، او المياه السطحية قد تقتحم البئر الا انه اضافة مركب الكلور سيطهر البئر . وبعد التطهير ، يجب أن يضخ البئر للهدر ، حتى تزال كل آثار الكلور .

وللتحقق نهائيا من نقاوة الماء للشرب ، فان نموذجا يجب ان يؤخذ ويرسل الى المختبر للفحص البكتروبولوجي .

وكلما يهجر البئر ، لأي سبب كان يجب ان يسد بملئه بالطفل الكونكريتي أو التراب . ليس فقط لمنع التلوث السطحي من دخول البئر ، ولكن السد (الغلق) يخدم غايات مفيدة أخرى ، وهي منع الحوادث وتجنب الحركة المحتملة للماء الردىء من تكوين مائي الى آخر وحفظ الماء في الآبار المتدفقة .

صيانة وترميم الآبار : Maintenance & Repair of Wells

ان البئر الجديدة المحفورة بصورة مناسبة المبطنة والمطورة تعطي عادة سنوات خدمة مرضية من غير عناية ، او بعناية قليلة . على اي حال فقد تفشل ابار عديدة وتعطي كميات متضائلة من الماء مع الزمن . *

واحد اسباب الفشل هو استنزاف تجهيز المياه الجوفية . والخطأ عادة لايكون من البئر حيث ان هذه المشكلة يمكن علاجها في بعض الاحيان بتقليل السحوبات الضخية . واعادة تنضيد المضخة او تعميق البئر . والسبب الثاني للمشكلة ينتج من تشيد خاطىء للبئر - مثال ذلك اتصالات البطانة الضعيفة والرديئة ، والمصفاة او الثقوب غير المناسبة فيها ، والوضع غير الكامل لرص الحصى ، والابار رديئة الارتكاز هي من الصعوبات المثالية المواجهة .

واعتمادا على حالة مخصوصة يمكن ترميم البئر ، ولكن الفشل المفاجيء المشتمل على دخول الرمل او انهيار البطانة يتطلب غالبا احلال البئر التام .

ان السبب الثالث الاكثر انتشارا لفشل البئر ينتج عن التآكل او التلبيس بقشرة لقاطع البطانة المثقبة . قد ينتج التآكل من الفعل الكيمياوي المباشر للمياه الجوفية او من الفعل الالكتروني المسبب بواسطة وجود معدنين مختلفين في البئر . ان تأثيرات التآكل يمكن ان

* غالبا مايحدث عطب في المضخة أكثر من حدوثه في البئر ، لذا يجب التأكد قبل البدء من ذلك قبل اية عملية تصليح شاملة للبئر .

تقلل بواسطة اختيار معدن مصفاة البئر من النوع المقاوم – للتآكل (مثل النيكل ، او النحاس ، او الفولاذ المقاوم للصدأ) . بواسطة تجهيز حماية كاثودية* لمواد المحمولة بالمحلول بواسطة المياه الجوفية ، يكون التلبس بالقشرة المسبب عن ترتيب بطانات البئر المثقبة مسببا انخفاض في الضغط المفاجيء مرتبطاً بالماء الداخل الى البئر تحت الضخ الثقيل وهو يحرر ثاني اوكسيد الكاربون ويسبب ترسب كاربونات الكالسيوم . ان وجود الاوكسجين في البئر يستطيع تغيير الحديدوز المذاب الى هيدروكسيد الحديديك غير المذاب . ويمكن تنظيف الثقوب باضافة حامض الهيدروكلوريك[12] او الكالجون (Calgon) الى البئر ، متبعا بالاثارة او الاندفاع ان طرق التطوير بالهواء المضغوط والثلج الجاف تعتبر ايضا مؤثرة في بعض الاحيان ، وخصوصا في آبار التطعيم اذ ان الثقوب قد تصبح مسدودة بالطحالب او نمو البكتريا . ان اضافة الكلور الى مياه التطعيم يمنع مثل هذا النمو . والابار الضخية كانت لها هذه مشكلة وامكن تحسينها بواسطة ضخ مياه تحوي تركيزاً عالياً من الكلور اليها ويتبع ذلك اعادة تطوير البئر[37]

الآبـــار المتشعبـة المصارف : Collector Wells

بالنسبة للمدن والمصانع الواقعة قرب الانهار ، فان مشكلة الحصول على نوعية عالية من مياه ذات درجة حرارية منخفضة وبكلفة معقولة قد اصبحت صعبة بمرور الزمن . في اماكن عديدة من اوربا والولايات المتحدة . فان المياه الجوفية التي تضخ من آبار متشعبة المصارف قد تثبت انها افضل حلا وانجح [16.17.18] . وخاصة اذا وقعت قريبة من تجهيز المياه السطحيـة . اذ أن البئـر المشعب المصارف يخفض مستوى المـاء وبهذا يسمح لـدخول ترشيح المياه السطحية خلال طبقة الجسم المائي الى البئر . انظر الشكل 11 وبهذه الطريقة . فأن تجهيزات كبيرة من الماء يمكن الحصول عليها ، مما سيتوفر عند نفس الموقع من المياه الجوفية وحدها .

ان الطريقة مكيفة بصورة افضل للتكوينات المائية الغرينية والنفاذة . ان اشكال المسقط الراسي والسطح للبئر المشعب المصارف مبينة في الشكل (20.5) وبراءات الاختراع (الامتيازات) لهذا النوع من البئر سبق ان حصلها .

Ranney Method water supplies, Inc.> H. Fehlmann. L. Ranney
Grund wasser bauten A.G., Berne, Switzerland, Columbus, Ohio.

* احدى الطرق التي تجهز حماية كاثودية للبئر ، هي بادخال قلز ذو مقياس كهروكيمياوي قليل ، والذي يتآكل بدلاً من بطانة البئر .
قضبان من المغنيسيوم معلقة في البئر تعتبر ممتازة لمثل هذه الاغراض .

على التوالي . ان الاسطـوانـة المركزيـة تتكون من قيسون كونكريت مونوليثي (monolithic concrete caisson) ذي قطر يقدر بحوالي (15) قدم . هذه الاسطوانة تغطس الى اسفل التكوين المائي بحفر مادة الارض الداخلية بعد ان يتم الوصول الى الحفر المطلوب ويسكب سداد كونكريتي سميك ليسد القعر لجمع اكبر كمية من الماء . فان اطوال بطانات ذات (6) و (8) انجات تدورهيدروليكيا الى التكوين المائي خلال فتحات مثقوبة سابقا في القيسون لتكوين ترتيباً شعاعياً لأنابيب أفقية . في بئر راني Ranney يوضع انبوب مشقوق مباشرة على حين في بئر فهلمان Fehlmann تركب البطانة المصمتة بعد ان يوضع انبوب مثقب في الداخل وتزال البطانة الصماء . وينهض نوعا التشييد معا بأعباء غسل الغرين والرمل الناعم الى البطانة خلال التشييد لذا فان رص حصوي طبيعي سيتكون حول الثقوب (الشكل 20.5) ان العدد والطول والترتيب الشعاعي للانابيب المشعبة المصارف يمكن ان تتغير للحصول على سعة اعظم وعادة تمتد انابيب كثيرة بنفس الاتجاه بدلاً من الاتجاه نحو مصادر المياه السطحية ، ان المنطقة الكبيرة للثقوب المكشوفة في البئر المشعب المصارف تسبب سرع تدفقات داخلية inflow واطئة وهي تقلل من التلبس بالقشرة والانسداد Clogging ، ونقل الرمل .

ان مياه النهر الملوثة ترشح بواسطة مرورها خلال تكوين مائي غير متماسك الى البئران الكلفة الابتدائية للبئر المتشعب المصارف تتجاوز تلك التي للبئر العمودي .

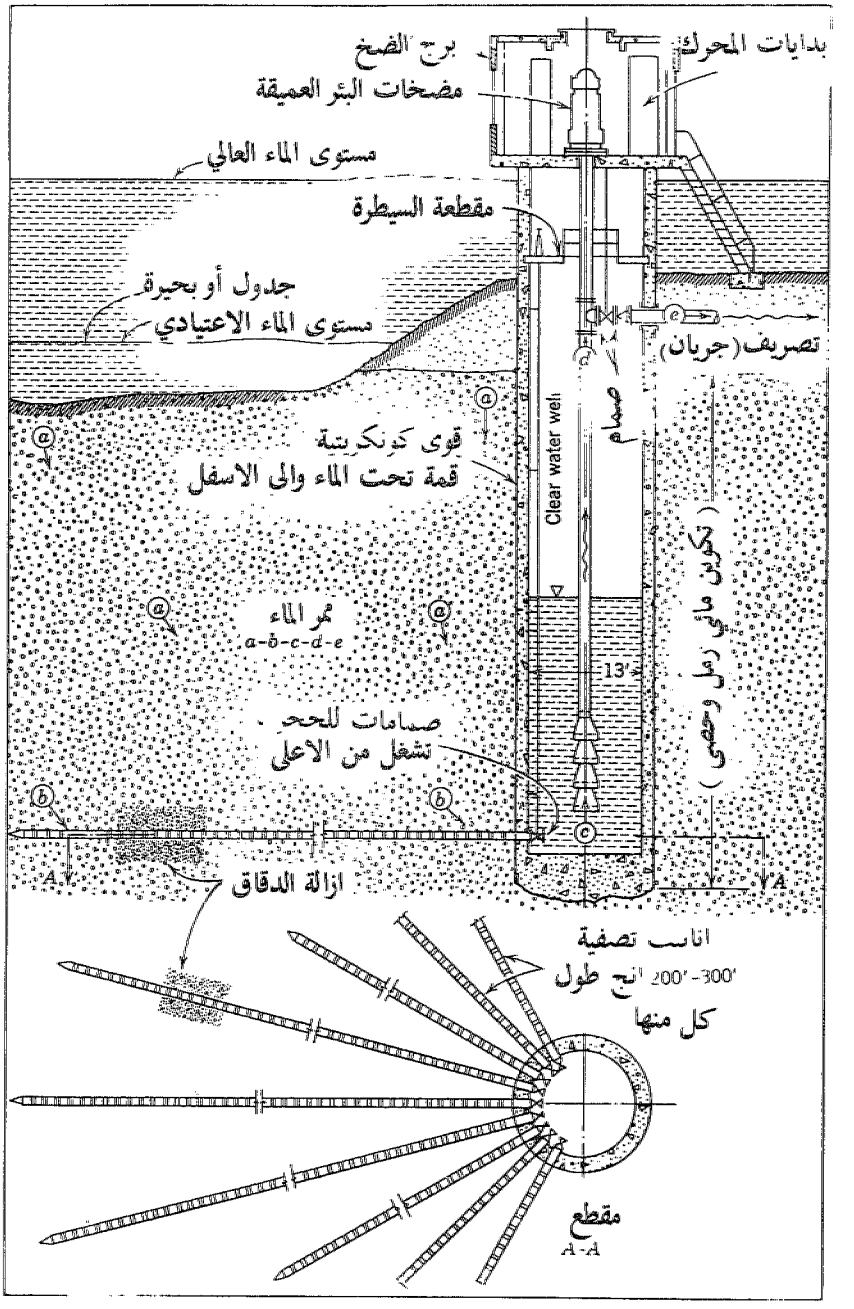
وعلى اي حال فان محاسن العطاءات الكبيرة . واعمدة الضخ المختزلة وتكاليف الصيانة المنخفضة هي عوامل يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار .

وتختلف كمية انتاج هذه الآبار بحسب الظروف المحلية . ان معدل العدد الكبير لمثل هذه الآبار يقدر بـ 5000 غالون لكل دقيقة .

وتعمل الآبار المتشعبة المصارف بنجاح في التكوينات المائية النفاذة البعيدة عن تجهيزات الماء السطحية وان تركيبات عديدة كهذه تنتج بمعدل مقداره حوالي 2800 غالون لكل دقيقة .

دهاليز الترشيح : Infiltration Galleries

ان دهليز الترشيح هو قناة نفاذة افقية لحصر وجمع المياه الجوفية بتأثير الجريان الجذبي وان تاريخ الدهاليز يرجع الى العصور القديمة كوسائل اقتصادية لجمع تجهيزات المياه الجوفية وعبر القرن الماضي فقد ركّبت بصورة واسعة في اوربا والولايات المتحدة على الجزر المحيطية اذ ان لها محاسن مخصوصة لمقدرتها على جمع المياه العذبة من دون اضطراب او باضطراب



شكل (20.5) بئر متشعب المصارف حددت مكانه بالقرب من سطح الماء (طريقة كورتيسي راني – لتجهيز المياه ذات المسؤولية المحددة)

قليل للمياه المالحة المبطنة [35] (انظر الفصل 12) ولكي تكون هذه الدهاليز ناجحة يجب ن يكون الدهليز واقعا في تكوين ماني نفاذ بمستوى ماء مرتفع مغذي بواسطة مصدر ماء قريب مناسب ذي نوعية كيمياوية ملائمة .

كثير من دهاليز الترشيح توضع موازية الى قيعان الأنهر حيث يلعب الترشيح المقحم دورا في ضمان تجهيز مياه دائمة ومناسبة * والاعماق لـ (10) الى (20) قدم شائعة وأعماق اعظم تبدو عادة غير ضرورية وذات كلفة انشائية اكبر .

ان عمل الدهاليز في نفس الطريقة مثل انبوب التصريف ومواد التشييد التي تعطي حياة اطول تشمل الطفل المترجج ، والاجر ، والكونكريت ، وحديد الزهر الصـ ـ وتثقب الاسطوانات او توضع بحيث ان الفتحات عند المفاصل تسمح بسرع دخول منخفضة للمياه المجمعة . الاقطار لـ (الى (5) قدم وفتحات بمسافات مئات قليلة من الأقدام تسهل التفتيش والصيانة maintenance inspection السرع المصممة نادرا ماتتجاوز (2) قدم/ثا . الماء الداخل الدهليز يجري الى حوض التجميع حيث يضخ للاستعمال والعطاءات من دهاليز الترشيح تختلف بصورة واسعة معتمدة على الظروف المحلية . وعلى أي حال فالترشيح الذي يقدر بـ 700 الى 3500) غالون لكل دقيقة لكل (1000) قدم من طول الدهليز ، هو ليس غير اعتيادي .

ان قناة التصريف المفتوحة ستخدم نفس الغرض كدهليز ترشيح . وعلى اي حال فالقناة معرضة لمشاكل منها وجود الطحالب ، والتعرية والانسداد بواسطة النباتات والتلوث السطحي لذلك فان الدهليز في العموم ، هو وسيلة مفضلة لجمع المياه الجوفية .

* ان شكلاً غير اعتيادي لدهليز الترشيح قد وجد في احد التكوينات المائية الطباشيرية في جنوبي انكلترا ، البئر النموذجي يتكون من حفرة عمودية للاسفل داخل التكوين الطباشيري ومرتبطة بانفاق افقية قطرها ٦ أقدام تقريبا وتمتد لمسافات ١٠٠-٧٥٠٠ قدم. ان نفاذية الطباشير الصلب واطئة جدا (بحدود 0.002 دارسي) . ولذا فان مثل هذه الانفاق قد تكونت لكي تتقاطع مع اكبر عدد من الشقوق ، حيث يتم الحصول على اكبر كمية من الماء .

الفصل السادس
Ground Water Levels and Fluctuations
مناسيب المياه الجوفية وتذبذباتها

ان منسوب المياه الجوفية . فيما اذا كان مستوى الماء للتكوين المائي غير المحصور او السطح القياسي الانضغاطي للتكوين المائي المحصور يدل على ارتفاع الضغط الجوي للتكوين المائي . ان حدوث اي ظاهرة يعمل على تغيير ضغط المياه الجوفية ، ويسبب تغييرا في منسوب المياه الجوفية .

ان التغيرات في الخزن الناتجة من الفروق بين تجهيز وانسحاب الماء ، تسبب للمناسيب تغيراً مع الوقت من عدة دقائق قليلة الى عدة سنوات .

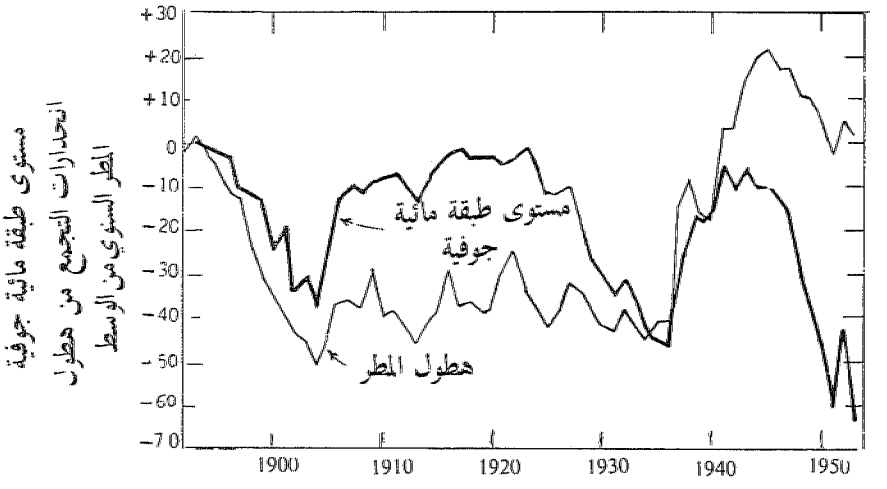
وتأثيرات الضخ على مناسيب المياه الجوفية سبق ان وضحت في الفصل (4) .

ان تغيرات اخرى في الخزن متمركزة تحدث نتيجة لأختلاف مستويات الجداول والبخار الناتج من عملية التعرق او الاحمال الخارجية مثل المد (Tides) والجزر وحركة القطارات ، والضغط الجوي ، والهزات الارضية تحمل جزئياً بواسطة المياه الجوفية للتكوينات المائية المحصورة وعليه فهي تؤثر على المناسيب القياسية الانضغاطية (Piezometric levels) وحيثما توجد الضرورة ، فان الانسان يستطيع السيطرة على مناسيب المياه الجوفية لتلائم اغراضه المختلفة كتنظيم النضوح خلال السدود (earth dams) الأرضية (والتصاريف الأرضية Land drainage) . وهي أمثلة على مثل هذه السطيرة .

الاختلافات الفصلية والجيلية

(SECULAR AND SEASONAL VARIATIONS)

ان الاختلافات الجيلية لمناسيب المياه الجوفية هي تلك الممتدة على فترات لعدة سنوات او اكثر ان المسلسلات المتبادلة من السنوات الرطبة والجافة التي يكون فيها سقوط الامطار فوق او تحت المتوسط ستولد تذبذبات طويلة للمناسيب 12.14.30 . ان التسجيلات الطويلة لسقوط الأمطار ومناسيب المياه الجوفية من وادي سان برناردينو (كاليفورنيا) Calif.San Berhardion



شكل (6 – 1) الأختلاف الزمني الأعلى هبوط مستوى طبقة مائيةجوفية وهضوب السطح في وادي سان برتارد في كاليفورنيا

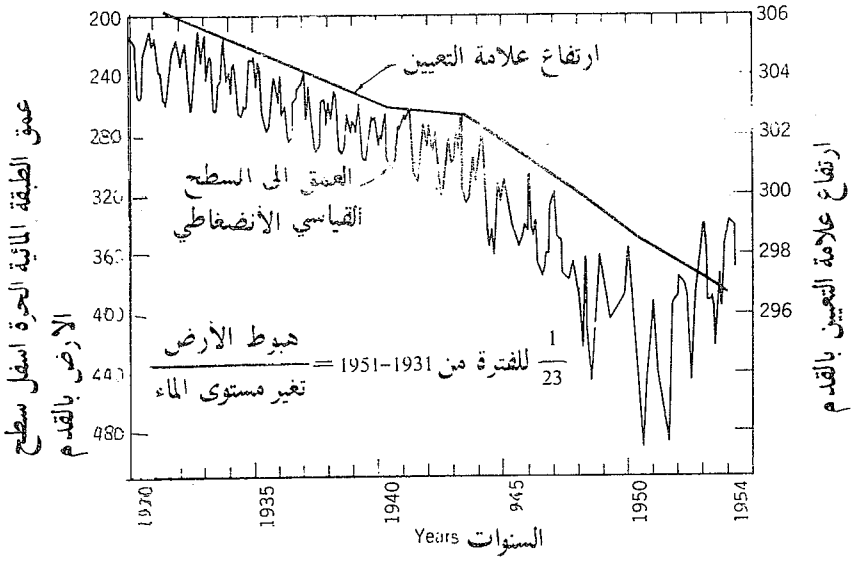
موضح في الشكل (6 – 1) الذي يوضح هذه النقطة وليس سقوط الامطار دليلاً دقيقاً لتغيرات منسوب المياه الجوفية . ويعتبر التطعيم (rechorge) هو العامل المتحكم (على افتراض ان الانسحابات السنوية ثابتة) والتطعيم يعتمد على كثافة وشدة سقوط الامطار والتوزيع وكمية الجريان السطحي .

في حالات اخرى يمكن ملاحظة اتجاهات صريحة ، لذا في الاحواض المفرطة السعة حيث السحب يتعدى التطعيم،فان اتجاها نحو الاسفل لمناسيب المياه الجوفية قد يستمر لعدة سنوات .

الشكل (6 – 2) يعطينا مثالا جيدا على ذلك هناك عدة مناسيب للمياه الجوفية توضح الشكل الفصلي للتذبذبات وهذه تحدث نتيجة للمؤثرات الخارجية مثل ذلك التطعيم من سقوط الامطار والري والتصريف من الضخ الذي يتبع الدورات الفصلية المحددة بوضوح.[46] ان مقدار التذبذبات يعتمد بالطبع على كميات المياه المطعمة والمصرّفة .

والتكوين المائي المتطور بشكل كامل يكون له مدى اعظم من التكوين المائي المطور جزئيا فقط .

ان التذبذبات الفصلية الظاهرة في الشكل (6 – 2) ناتجة عن الضخ المستمر للارواء خلال اشهر الصيف والمناسيب الاعلى تحدث عادة حوالي شهر نيسان والاقل حوالي شهر ايلول وهذه المناسيب تعين بداية ونهاية فصل الري .



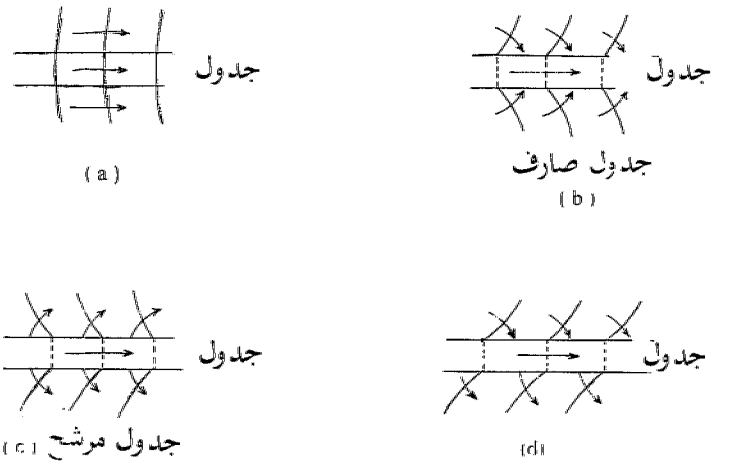
شكل (6 - 2) التغيير في سطح الأرض واختلاف سطح الطبقة المائية الحرة بالقرب من ديلانو Delano . كاليفورنيا نتيجة التبدل السنوي من الضخ الفصلي للري

في مناطق عديدة لوحظ ان هبوط ارضي يصاحب الأنخفاضات الشديدة نتيجة للضخ الزائد وخاصة من التكوينات المائية المحصورة *.
المناطق المتأثرة تشمل منطقة هوستن كالقستون في تكساس [66] اووادي سان جاكوين [40] وكذلك وادي سانتا كلارا [52] في كاليفورنيا .

الشكل (6 - 2) يوضح الانخفاض في السطح القياس الانضغاطي وهبوط الارض عند موقع واحد في وادي ساد جاكوين هنا وعبر فترة عشرين سنة (1951 - 1931) فان معدل نسبة الهبوط مساو الى 1:23 مستندين الى ان الارض تهبط قدما واحداً لكل 23 قدم من انخفاض سطح القياس الانضغاطي . ان سبب الظاهرة حتى الآن غير مفهوم بصورة كاملة . وعلى أي حال من المعتقد بأن الأختزال في الضغط الهيدروستاتي في التكوين المائي يزيد من الاجهاد على طبقات الطفل المحصورة ويجعلها مضغوطة اكثر فاكثر .
لذا فان ثم تحر واسع لهذه المشكلة يتم انجازه في ولاية كاليفورنيا [40].

---

* ان هذا الهبوط غيرمشوش مثل ذاك الذي حدث في بيت لاند Peat Land . حيث حدث نزول في سطح الطبقة المائية الحر بسبب اكسدة فضلات التصريف والتعرية بالرياح لسطوح المواد العضوية [65]



شكل (6 - 3) منحني مستوى المياه الجوفية والأتجاهات في (-) علاقة مستويات الجداول .

- جريان الجداول ومناسيب المياه الجوفية -
(Stream flow and Ground water levels)

حيثما يوجد مجرى جدول فانها تكون بحالة تماس مباشر مع التكوين المائي غير المحصور حيث ان الجدول قد يطعم المياه الجوفية اويستلم التصريف من المياه الجوفية ، معتمداً على مناسيب المياه النسبية .

ان الجدول المرشح (Influent stream) هو ذلك المجهز للمياه الجوفية ، على حين أن الجدول المنبثق (Effluent stream) هو ذلك الجدول المستلم لتصريف المياه الجوفية . حالات مختلفة موضحة بواسطة خطوط المناسيب لمستوى الماء في الشكل (6 - 3) وغالباً ما يصبح الجدول المرشح جدولاً منبثقاً وبالعكس ، حيث ان ذلك يحدث كلما تغير مستوى الجدول .

وخلال فترة فيضان الجدول فان مناسيب المياه الجوفية ترتفع وقتياً قرب القناة بواسطة التدفق الداخلي من الجدول والماء الذي يخزن هكذا ويتحرر بعد الفيضان يطلق عليه خزن الضفاف Back storage .

في ظروف حدية معينة يمكن حساب خزن الضفاف المتراكم ومعدل الدفق الداخلي والدفق الخارجي . وبالنسبة للحالات الأخرى فإن التحريات بواسطة النماذج تكون مساعدة في حساب الخزن المتراكم (انظر الفصل 14 [51] الشكل (6 – 4) يوضح ظروف المياه الجوفية المجاورة لجدول فائض والدراسة مبنية على عمل نماذج للحالات المثالية .

منحنى (flood hydrograph) الفيضان ذو الشكل الحبيبي (شكل 6 – a4) قد وضع على التكوين المائي . وحالة المجرى قد رسمت في الشكل 6 – b4، ونتيجة للفيضان فان خزن الضفة يزداد لفترة ويقل بعدها ان اختلاف حجم الماء لخزين موضح في الشكل (6 – c4) ان مشتقه منحني الحجم يعطي منحني تدفق المياه الجوفية لاحظ (الشكل 6.4 d) ومن هنا يمكن ملاحظة أن تذبذب الجدول ينتج اختلافات كبيرة في مقدار واتجاه تدفق المياه الجوفية .

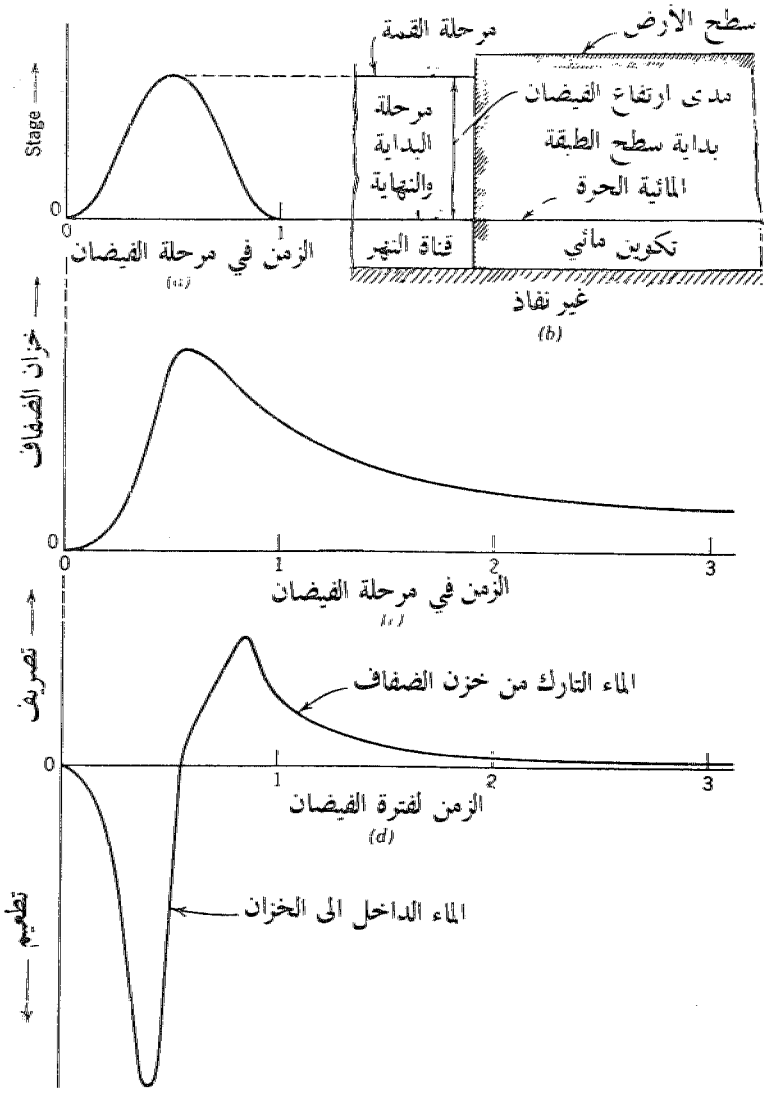
ان مثل هذا التدفق الذي ينتج عن الصبيب الاساس الآلي لتصريف المياه الجوفية يطلق عليه الجريان القعري (الصبيب الاساسي) (base flow) ويمكن ان يتغير من كسر يمكن اهماله من الدفق الكلي خلال فترات الجريان السطحي العالي الى الجريان الكلي خلال فترات الجفاف .

ان الجريان القعري غير معرض الى تذبذبات واسعة ، يظهرها غالبا جريان الجداول المتأتي من الجريان السطحي .

ان معظم الطرق التجريبية تم تطويرها لغرض تقدير الجريان القعري وعلى اي حال فمعظم هذه الطرق وجدت لغرض فصل الجريان السطحي من التدفق الكلي الذي يعطي بافضل الاحوال تقديرات تقريبية لكمية المياه الجوفية الحقيقية المضافة للتدفق الكلي .

ان منحني (recession Curve) النضوب يوضح الاختلافات للصبيب الاساس مع الزمن خلال فترات هطول الامطار القليلة او عدم الهطول فوق حوض النهر .

ان قياس معدل تصريف خزين المياه الجوفية من الحوض ، اذا كان كبيراً فيعني ذلك ان التكوينات المائية ذات نفاذية عالية تقع ضمن منطقة التصريف ، وان الجريان القعري سيبقى حتى فترات الجفاف الطويلة الأمد ولكن اذا كانت التكوينات المائية صغيرة وذات نفاذية قليلة . فان الجريان القعري سيقل بصورة سريعة نسبيا . وقد يتوقف تماما ان معرفة شكل منحني النضوب يمكننا من تقدير تدفق الجدول ويمكن رسم ذلك من خلال فترات الجفاف [6,34,35] ونتيجة لتحليل المنحنيات (المناسيب) بواسطة متحريين مختلفين [3,15,42,55] ظهرت بان المعادلة التجريبية الآتية :-



شكل (6 - 4) المياه الجوفية المتدفقة وعلاقتها بفيضان الجدول محددة بنموذج مختبر البحث للمكان المناسب

(a) : سم مائي للفيضان

(b) مقطع أفقي لحالة المحال مبينة بالنموذج

(c) حجم خزن الضفاف كدالة للزمن

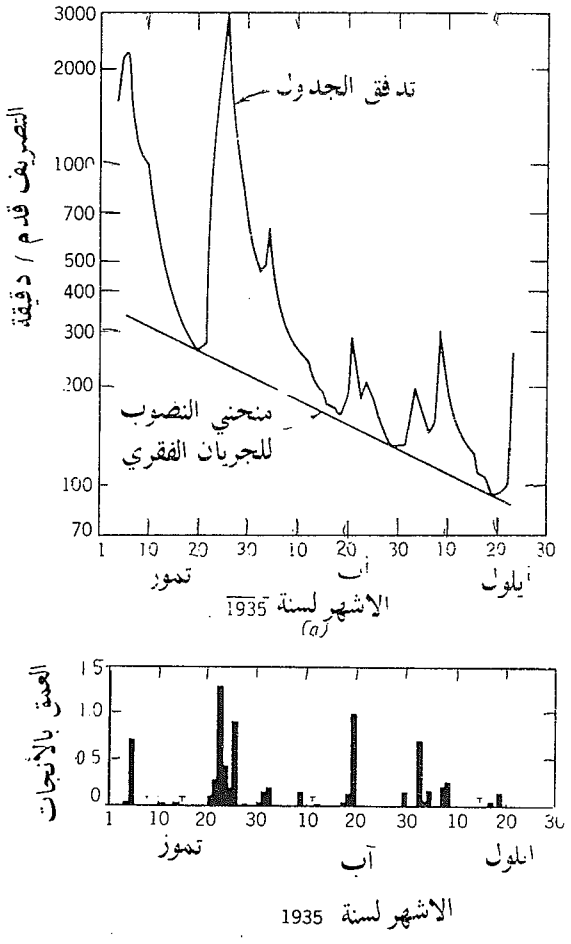
(d) تدفق المياه الجوفية ومن خزن الضفاف

$$Q = Q_0 e^{-at} \quad \text{..... (6.1)}$$

وهي تعطي تقريباً جيداً الى منحني النضوب . ان تصريف النهر هو (Q) عند زمن (t) بعد تصريف معطى (Q_0) و (a) هو ثابت تتحكم به خصائص الحوض .

ان قيمة (a) يمكن تحديدها من انحدار الخط المستقيم المنطبق على سلسلة من التصريفات المتتابعة المثبتة على ورقة نصف لوغاريتمية .

وكمثال فان منحني النضوب قد رسم للجزء ذات التدفق المنخفض من المنحني . انظر الشكل (6 – 5) .



شكل (6 – 5) منحني النضوب للمياه الجوفية يري الجريان القصري خلال الصيف واحد لنهر لوافي مدينة مارشال تاون
– الجريان النهري ب المطر الساقط يومياً (بارنز)

ثَمَّ اشتقاق نظري لمنحنيات النضوب من التكوينات المائية المحصورة وغير المحصورة قد قدم بواسطة ويرنر (Werner) وصندكويست Sundquist [63])

– التذبذبات الناشئة عن بخار التعرق –

(Fluctuations due to Evapotranspiration)

ان التكوينات المائية غير المحصورة التي مستوياتها المائية قريبة من سطح الارض ، تبدى عادة تذبذبات يومية يمكن ان تعزى الى التبخر او التعرق [54.64]

كلتا العمليتين تسببان تصريف المياه الجوفية في الجوولها تقريباً نفس الاختلاف اليومي بسبب مقارنتهم العالية مع درجة الحرارة .

ان التبخر من المياه الجوفية قابل للاهمال ما لم يكن مستوى الماء قريباً من سطح الارض ومعدلات التبخر تعتمد على موقع المنطقة الشعرية نسبة الى سطح الارض . وهناك قياسات لتبخر المياه الجوفية في خزانات مملوءة بالتراب يتراوح بين الطفل الى الطفال الرملي (Loam) ، قد صنعت بواسطة العالم وايت (White [64]) . وتم وضع خزانات في الارض ونظمت مناسيب المياه فيها من خلال آبار مركزية صغيرة . وقد عبر عن النتائج كنسبة مئوية للتبخر من وعاء تبخر ذات سعة ١٢ قدم موضوع على سطح الارض كما في الشكل (6.6) .

كل نقطة تمثل قياسات مقارنة لشهر واحد بين الخزان والوعاء .

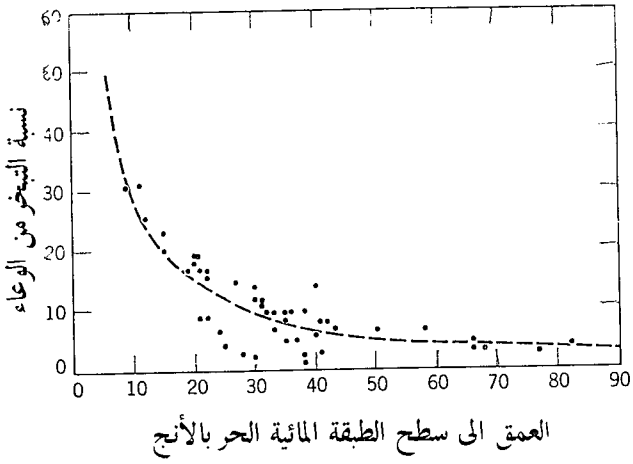
ان النقاط المتفرقة الظاهرة يمكن أن تعزى الى عدة انواع من الأتربة المفحوصة من الخط المقطع المنطبق على النقاط فيمكن ملاحظة ان التبخر عال مقارناً بمستويات الماء ضمن قدم واحد من سطح الارض وبالاضافة الى ذلك فانه يقل الى معدل ممكن اهماله تقريباً لمستويات الماء التي تحت ثلاثة اقدام او اكثر من سطح الارض .

حيثما تصل منطقة الجذور للنباتات . الطبقة المشبعة فان امتصاص الماء بواسطة الجذور مساو لكمية التعرق في الحسابات العلمية . الشكل (6-7) يوضح اختلافات منسوب الماء المستحصل من بئر في دغل الصفصاف (athicket of willows) قرب ملفورد (Milford) في مقاطعة يوتا (Utah) .

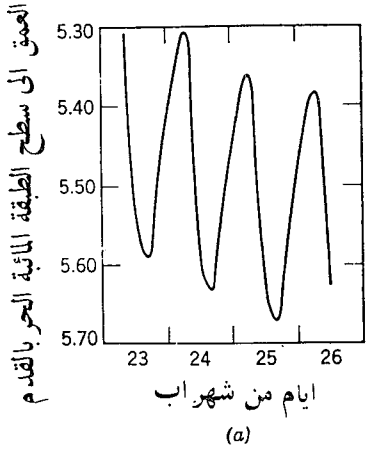
ان نمو اوراق النبتة السريع خلال شهر آب (الشكل (6-7)a قد سبب تذبذبات يومية قيمتها حوالي 3.75 انج مع مستوى الماء المتراوح ما بين 5 و 6 قدم تحت سطح الارض .

ونتيجة للانجماد الكثيف الذي حدث في اوائل تشرين الاول ، بحيث ان معظم الاوراق تم سقوطها نحو منتصف تشرين الاول ، بعد ذلك التذبذبات اليومية اصبحت مهملة . انظر (6-7)b وكذلك مسببات النباتات .

ان كميات تذبذبات التعرق تعتمد على نوع النبات والفصل والطقس . ومعظم الايام ذات



شكل (6 6) تبخر المياه الجوفية معبّر عنها كنسبة لـ جميع التبخر وكدالة لعمق سطح الماء (وايت [11]) .



شكل (6 7) تأثير تصريف النتح على مستوى المياه الجوفية في (a) الصيف (b) بعد التجمد بالقرب (ط ملفورد – يوتا (وايت)

الريح الحار تنتج انخفاضاً أعظم على حين أن الأيام الغائمة الباردة تظهر أختلافات قليلة فقط . ان التذبذبات تبدا مع ظهور اوراق النباتات وتتوقف بعد الانجماد القاتـــل . ويعتبر قطع النباتات من العوامل التي تقلل اوتختزل بشكل اساس من ارتفاع تقلبات المستوى . ان تصريف التعرق لا يحدث من المناطق غير المزروعة ، مثل الحقول المحروثة ، ولا في المناطق حيث مستوى المياه الجوفية بعيد تحت سطح الارض ، بعد هطول الامطار على الارض المزروعة ذات مستوى الماء العالي يرتفع مستوى الماء بحدة حيثما تفي الرطوبة المتصاعدة للتربة طلب التعرق وتختزل تصريف المياه الجوفية . ولكن على الأرض الفارغة اومتى ما كانت النباتات في حالة سبات،فان ارتفاعاً قليلاً اوعدم ارتفاع في مستوى الماء يكون غير واضح .

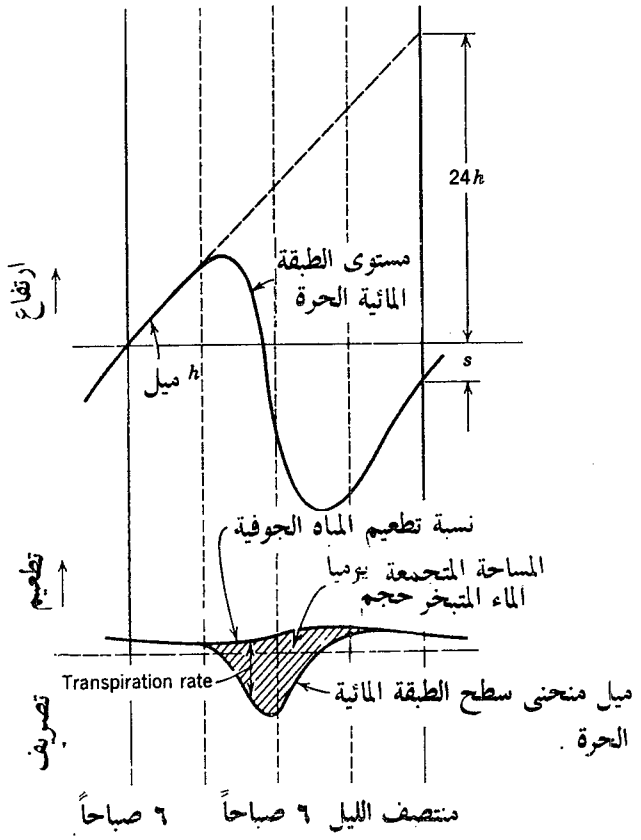
ان شكل التذبذب اليومي الناتج عن تصريف المياه الجوفية متشابه تقريباً للتبخر ، والتعرق او بتأثير كليهما معا . ان منسوب مستوى الماء الاعظم يحدث في منتصف النهار انظر الشكل (6-8) ويمثل توازناً وقتياً بين التصريف والتطعيم من المياه الجوفية المحيطة .وبعد ذلك ومع بداية المساء يبدأ فقدان المياه يتعدى كميات التطعيم ، حيث ينخفض المنسوب نتيجة لذلك . ان الانحدار الحاد قرب وسط النهار (الظهر) يدل على التصريف الاعظم المرتبط بدرجات الحرارة الاعلى على حين يمثل تصريف الماء الادنى نقطة توازن مرة اخرى ، بينما الأرتفاع الذي يتم خلال ساعات الليل هو التطعيم اكثر من كمية التصريف .

لقد اقترح العالم وايت (White)[64] طريقة لحساب الكمية الكلية للمياه الجوفية المسحوبة بواسطة عملية التعرق خلال اليوم ، اذا افترض أن التعرق ممكن اهماله من منتصف الليل الى الرابعة صباحاً (4A.M) . بالاضافة الى ذلك فأن منسوب مستوى الماء خـلال هذه الفترة يقارب متوسط(mean)اليوم . وبعد ذلك فان التطعيم محسوب بالساعات من منتصف الليل الى الرابعة صباحاً قد يؤخذ كالمعدل المتوسط لليوم .

فاذا اخذنا (h) تساوي معدل الساعات لأرتفاع مستوى الماء من منتصف الليل الى الرابعة بعد الصبح ، كما هو مبين بواسطة المنحني الأعلى من الشكل (6-8) . و (S) هو الهبوط الصافي أو الأرتفاع لمستوى الماء خلال فترة الأربعة والعشرين ساعة . بعد ذلـك كتقريب جيد فان تصريف المياه الجوفية الكلي :

$$Q_{ET} = Sy\,(24h \pm S) \qquad \ldots\ldots 6.2$$

حيث Sy هو العطاء النوعي قرب مستوى الماء . والحقيقة هي ، كما هو مبين بواسطة تروكسيل (Troxell)[54] ، أن معدل التطعيم للمياه الجوفية الى المناطق المزروعة يتغير عكسياً مع منسوب مستوى الماء . ويعطي الأختلاف بين معدل التطعيم وانحدار منحني منسوب المياه الجوفية تصريف التعرق . ان الجزء الأسفل للشكل (6-8) يوضح ذلك .حيث ان المنطقة بين المنحنيين هي قياس الحجم اليومي للماء المعرق .



شكل (6 8) العلاقة المتبادلة يبين مستوى سطح الطبقة المائية الحرة ، التطعيم وتذبذات التعرق (النتح) تروكسل 54)

التذبذبات الناشئة عن الظواهر الجوّية
(FLUCTUATIONS DUE TO METEOROLOGICAL PHENOMENA

الضغط الجوي : (Atmospheric pressure)

ان التغييرات في الضغط الجوي ليس لها تأثير على مستويات الماء ولكنها تولد تذبذبات ملحوظة في الابار المخترقة للتكوينات المائية المحصورة 19.33.38.56. . وتكون العلاقة معكوسة اي ان الازدياد في الضغط الجوي يولد انخفاضاً في مناسيب المياه . والعكس من هذا حينما يعبر عن تغيرات الضغط الجوي بمصطلحات من عمود الماء . نسبه تغير منسوب الماء الى تغير الضغط تمثل الحساسية البارومترية للتكوين المائي ومعظم الملاحظات تعطي قيماً في مدى يتراوح ما بين 20 الى 75 بالمائة .

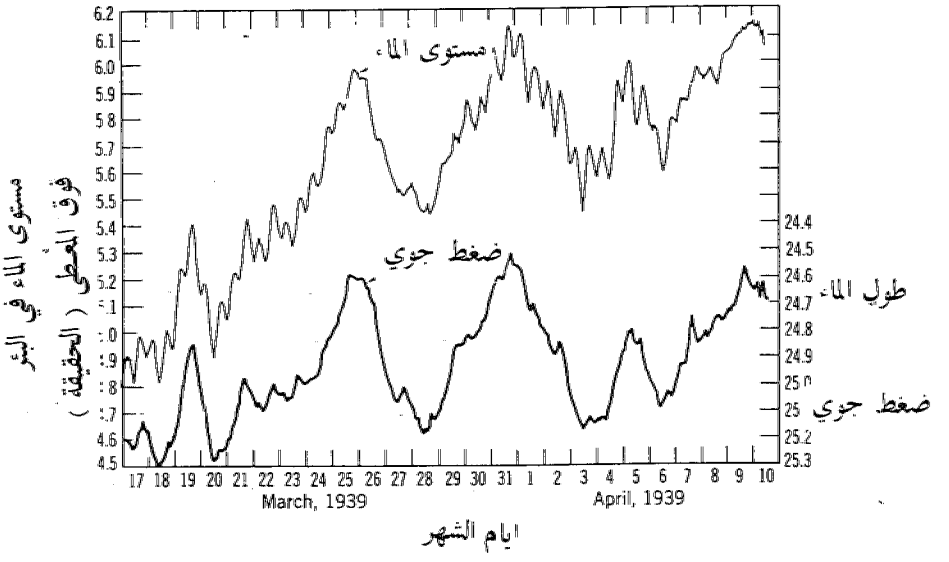
ان التأثير ظاهر في المعطيات المبينة في الشكل (6–9) حيث ان المنحني الاعلى يدل على مناسيب المياه الملاحظة في بئر عند مدينة ايوا Iowa مخترقاً لتكوين مائي محصور . اما المنحني الاسفل فيوضح معكوس الضغط الجوي . معبراً عنه باقدام من الماء . ومضروباً بـ 0.75. وهناك تماثل قريب للتذبذبات الرئيسة موجودة في المنحنيين ، حيث ان تساوي ارتفاع تقلبات المستوى يدل على ان الحساسية البارومترية للتكوين المائي وهي بحدود 75 بالمائة .

ان توضيحاً للظاهرة يمكن ان يعطي بمعرفة ان التكوينات المائية هي عبارة عن اجسام مرنة 19.31.56 . اذا كانت (Δ Pa) هي التغير في الضغط الجوي ، و (Δ Pw) هو التغير الناتج في الضغط الهيدروستاتي عند قمة التكوين المائي المحصور ، فان :

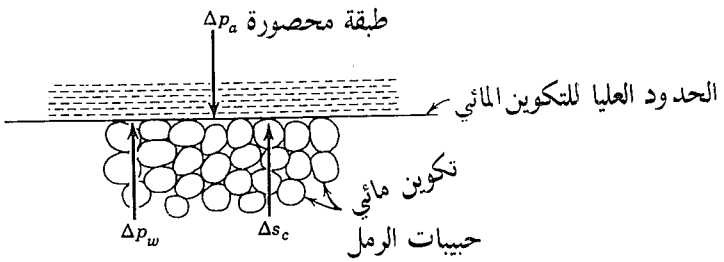
$$\Delta p_a = \Delta p_w + \Delta S_e \qquad \text{.....(6.3)}$$

حيث ان (ΔS_e) هو الاجهاد الضاغط المتزايد على التكوين المائي انظر (الشكل (6–10) عند البئر المخترقة للتكوين المائي المحصور 6 . اما العلاقة فهي :

$$p_w = p_a + \gamma h \qquad \text{.....} \quad (6.4)$$



شكل (6 – 9) استجابة مستوى الماء في البئر المحترق تكويناً مائيا محصوراً الى تغير الضغط الجوي موضحا فاعلية البارومتر ٧٥ بالمئة (روبنسون)



شكل (10.6) التوزيع الامثل للقوة على الحافات العليا للتكوين المائي والناتجة من تغير الضغط الجـــوي

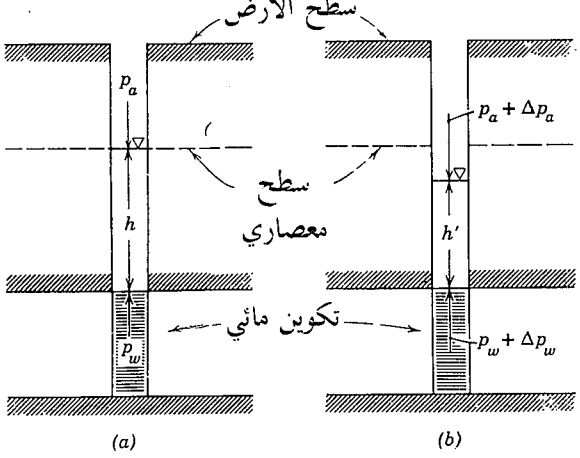
موجودة كما هي مبينة في الشكل (6-11)a . حيث ' هو الوزن النوعي للماء ليكن الضغط الجوي يزداد بـ Δp_a . لذا فان :

$$p_w + \Delta p_w = \rho_a + \Delta p_a + \gamma h' \ldots\ldots 6.5$$

كما هو موضح في الشكل 6.11 b ، p_a بالتعويض عن p_w من المعادلة 6.4 يعطي :

$$\Delta p_w = \Delta p_a + \gamma (h' - h) \ldots\ldots 6.6$$

ولكن من المعادلة (6-3) من الواضح أن ($\Delta p_w < \Delta p_a$) دلالة على ان ($h' < h$) عموما. لهذا فان منسوب الماء في البئر يهبط مع ازدياد الضغط الجوي ، ويتبع ذلك ان العكس صحيح ايضا . للتكوين المائي غير المحصور تنقل تغيرات الضغط الجوي مباشرة الى مستوى الماء . في التكوين الصخري الحاوي على الماء والبئر معا لذا فلا ينتج اي تـذبـذب .



شكل (6 11) تأثير الزيادة في الضغط الجوي على مستوى الماء في بئر مخترن تكوينا مائياً محصوراً .

العالم جاكوب (Jacob)[19] حصل على تعبير يربط الحساسية البارومترية بخواص التكوين المائي وخواص الماء . حيث انه اذا كان هناك عمود من وحدة الحجم يمتد خلال تكوين مائي محصور فان ازدياد في الضغط الجوي Δp_a سيغير حجم عمود الماء (V_w) بواسطة :

$$\Delta V_w = \frac{\Delta P_w}{E_w} \quad \alpha \quad \text{.....(6.7)}$$

حيث ان (E_w) هو معامل الحجم لانضغاط الماء (مساوتقريبا لـ P 300,000 باون / انج^2) و (α) هي المسامية . بنفس الشيء فان حجم التكوين المائي (V_s) ضمن العمود سيضغط (باهمال ضغط الدقائق الصلبة المكونة للتكوين المائي) بمقدار كمية :

$$\Delta V_s = -\frac{\Delta S_e}{E_s} \quad \text{..... (6.8)}$$

حيث (E_s) هو معامل المرونة لتركيب التكوين المائي .

ان التغير في حجم الماء يمكن افتراضه انه يوازن ضغط التكوين المائي لـذا فـان :

$$\Delta V_w = \Delta V_s$$

هذه العلاقات ، معا مع تلك التي في المعادلات (6-3) ، و (6.6) يمكن تعويضها الان في معادلة الحساسية البارومترية : —

$$B = \frac{\gamma \Delta h}{\Delta P_a} \quad \text{(6.9)}$$ لتعطى $$B = \frac{\alpha E_s}{\alpha E_s + E_w} \quad \text{.....(6.10)}$$

ان الطرف الايمن للمعادلة (6-10) هو ثابت للتكوين المائي ، وهويعطي الحساسية البارومترية التي يمكن تفسيرها كقياس لمقدرة الطبقات (overlying confining beds) الحاجزة المغطية لمقاومة تغيرات الضغط ، حيث ان الطبقات المحصورة السميكة وغير النفاذة تكون مرتبطة مع الحساسية البارومترية العالية على حين التكوينات المائية المحصورة سوف تظهر قيماً منخفضة وضئيلة نسبيا .

وكنتيجة للاستمرار في التحليل خطوة اخرى اكبر يمكن ملاحظة ان الكفاءة البارومترية تعود الى معامل الأختزان للتكوين المائي . ان الأنضغاطية (β) للتكوين المائي يمكن التعبير عنها من المعادلة (6-36) : —

$$\beta = -\left(\frac{\Delta V_w}{\Delta P_w} + \frac{\Delta V_s}{\Delta S_e} \right) \quad \text{.....(6.11)}$$

معوضا عن المعادلتين (6-7) ، (6-8) .

$$\beta = \frac{\alpha}{E_w} + \frac{1}{E_s} \quad \text{.....(6.12)}$$

ومن المعادلة (6.10) : — فان

$$\beta = \frac{\alpha}{E_w B} \qquad \text{.....(6.13)}$$

وباعادة كتابتها مستعينين بالمعادلة (3.37) فان معامل الاختزان

$$S = \beta r b \qquad \text{.....(6.14)}$$

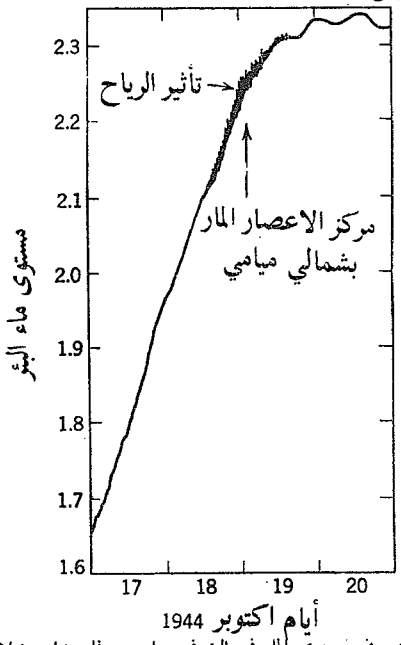
وحيث ان b) هو سمك التكوين المائي ، لذا فان تعويض (β) من المعادلة (6.13) ينتج : —

$$S = \frac{\alpha r b}{E_w B} \qquad \text{.....(6.15)}$$

وبهذا . فمن الحساسية البارومترية للتكوين المائي المحصور امكان الحصول على تقدير لمعامل الاختزان .

الريح WIND

ان التذبذبات الصغيرة في مناسيب المياه . والمسببة بواسطة هبوب الرياح تحدث عادة فوق قمم الابار[38] والتأثير مشابه لفعل المضخة الهوائية (المضخة المفرغة) ان عاصفة من الريح عبر قمة البطانة تؤدي الى انخفاض ضغط الهواء ضمن البئر بصورة فجائية . وبالتالي فان منسوب الماء يرتفع بسرعة . بعد مرور العصف يرتفع ضغط الهواء في البئر ومنسوب الماء ينخفض . ان التاثير موضح في الشكل (6-12) الذي يوضح تسجيل البئر عند ميامي (Miami) خلال مرور الاعصار . حيث ان مركز العاصفة شمال ميامي خلال الليلة الثامنة عشرة من شهر تشرين اول سنة 1944



شكل (6 12) رياح مؤثرة على تصريف مستوى الماء في البئر في ميامي ، فلوريدا ، خلال مرور الأعصار (باركر وسترنكفيلد [38])

ان سرع الرياح وصلت الى (54) ميل / ساعة من (18) تشرين أول و 65 ميل / ساعة في (19) تشرين أول . وصاحب هذه الرياح تذبذبات سريعة ظاهرة على تسجيل البئـر.

هطول الامطار Rainfall :-

اتّضح سابقا ، أن تذبذبات منسوب المياه الجوفية السنوي ينتج عن الاختلافات الفصلية للتطعيم نتيجة سقوط الامطار .
وهنالك نماذج من التطعيم الجيبي الذي يمكن حساب تذبذبات منسوب المياه فيه، حيث انه مماثل للمـد والجزر المحيطي ، المشروع في ادناه 21.22.37.62

التذبذبات الناتجة عن المد والجزر ، والاحمال الخارجية ، والهزات الارضية : -

(Fluctuations due to Tides, External Loads, & Earthquakes)

مد وجزر المحيط : - (Ocean Tides)

في التكوينات المائية الساحلية التي بتماس مع المحيط ، تحدث تذبذبات جيبية لمناسيب المياه الجوفية ؛ استجابة للمد والجزر. اذا اختلف مستوى سطح البحر بحركة ايقاعية بسيطة ، تقدمت فان قافلة من الامواج الى داخل الجزء المكشوف تحت البحر للتكوين المائي بمسافة مقدارها السعات الداخلية للموجات التي تقل ويزداد التأخر الزمني لارتفاع اعظم معين معطى لها. ان المشكلة تعتبر محلولة حيث يمكن مشابهتها بالتوصيل الحراري في مادة صلبة شبه لانهائية معرضة الى تغيرات حرارية دورية عمودية على البعد المطلق (غير محدود 11.23.62) للسهولة يمكن أن يعد التدفق في اتجاه واحد في تكوين مائي محصوركما هومبين في الشكل a (13.6) من المعادلة (3.43) .
والمعادلة التفاضلية القابلة للتطبيق والمتحكمة في الجريان هي :

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = \frac{S}{T}\frac{\partial h}{\partial t} \qquad \text{.....(6.16)}$$

حيث (h) هو الارتفاع الصافي او الانخفاض في السطح القياسي الانضغاطي بما يتعلق بمتوسط المنسوب ، و(X) هي المسافة للداخل للجزء المكشوف (Out crop) . و (S) هو معامل الاختزان للتكوين المائي . و (T) هومعامل المنقولية، (Transmissibility). (ويساوي Kb) . و (t) هو الزمن .

لنفرض أن السعة او المدى النصفي للمد هو (h_0) (انظر الشكل a(13-6) . فان الظروف الحدية القابلة للتطبيق تشمل $h = h_0 \sin wt$. عندما تكون $X = 0$, $h = 0$ عندما $X = \infty$ انالسرعة الزاوية هي (W) . لفترة مد هي t_0 .
لذا فان

$$W = \frac{2\pi}{t_0} \quad .....(6.17)$$

ان حل المعادلة (6.16) مع هذه الظروف الحدية [هو] :

$$h = h_o e^{-x\sqrt{\pi S/t_0 T}} \sin\left(\frac{2\pi t}{t_0} - x\sqrt{\pi S/t_0 T} \right) .... (6.18)$$

من هذا يتبع أن السعة h_x لتذبذبات المياه الجوفية عند مسافة x من الشاطىء تساوي :

$$h_x = h_o e^{-x\sqrt{\pi S/t_0 T}} .... (6.19)$$

ان [التخلف الزمني] (t_L) [لارتفاع اعظم او ادنى معين] بعد حدوثه في المحيط يمكن الحصول عليه بحل الكمية ضمن [قوسين في المعادلة] [للمعادلة] (6.18) لـ (t) ، لذا فان :-

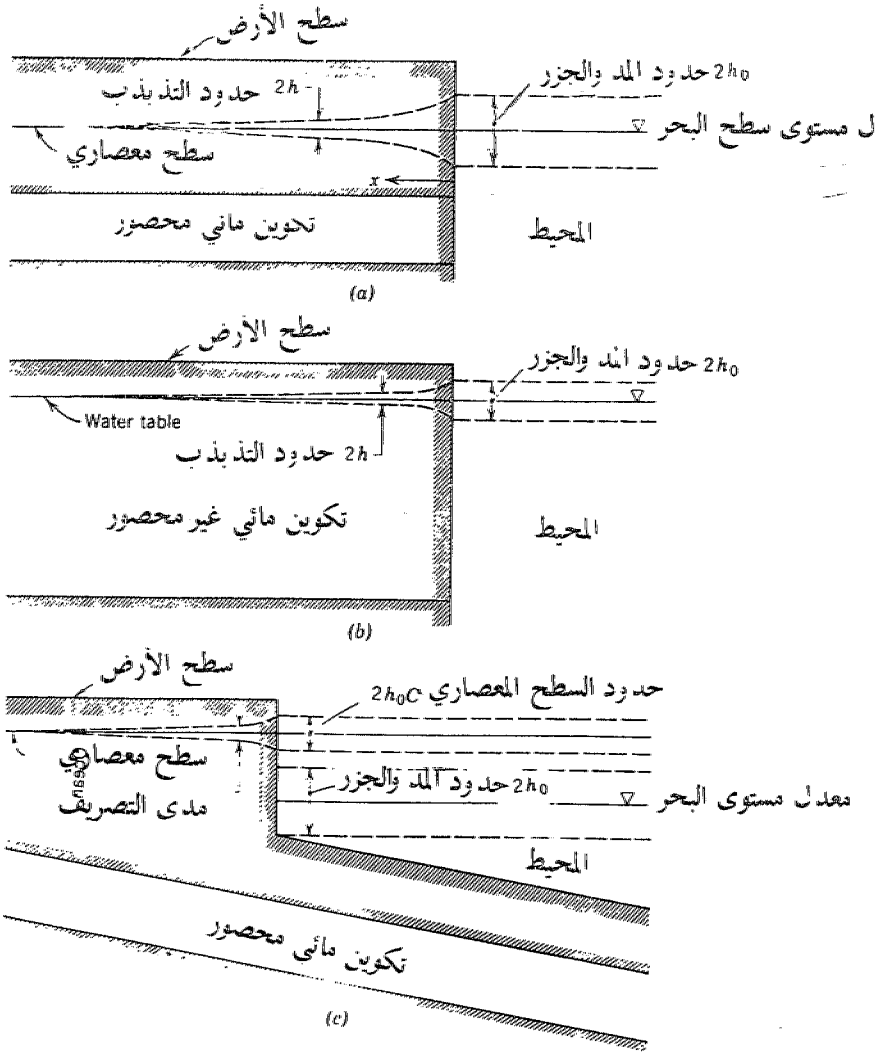
$$t_L = x\sqrt{t_0 S/4\pi T} ..... (6.20)$$

ان الموجات تنتقل بسرعة $v_w = \frac{X}{t_L} = \sqrt{4\pi T/t_0 S}$ .....(6.21)

والطول الموجي (wave length) معطى بواسطة $L_w = v_w t_0 = \sqrt{4\pi t_0 T/S}$ ....(6.22)
بتعويض الطول الموجي لـ X في المعادلة 6.19 يتبين ان السعة تقل بعامل e^{-2} او $\frac{1}{535}$ لكل طول موجي . جريان الماء الى داخل التكوين المائي يكون داخلا خلال كل نصف دورة وخارجا خلال النصف الاخر .
بواسطة قانون دارسي فان كمية الجريان v لكل نصف دورة لكل قدم من الساحل هو :

$$V = \int_{-t_0/8}^{3t_0/8} q\,dt = T \int_{-t_0/8}^{3t_0/8} \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)_{x=0} dt \quad ..... (6.23)$$

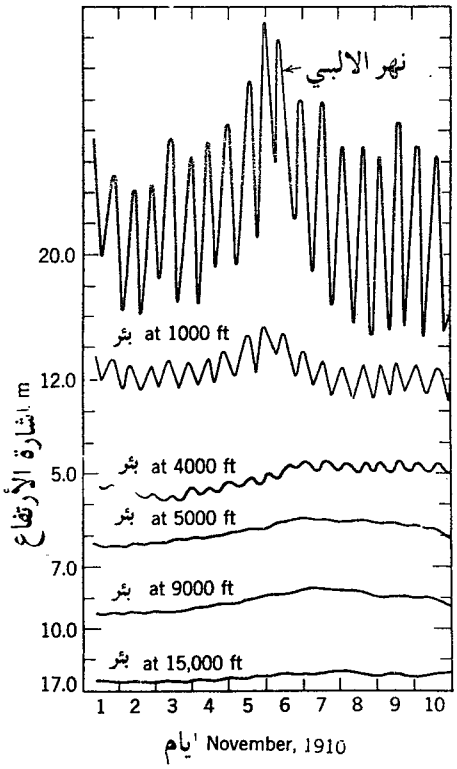
حيث q هو الجريان لكل قدم من الساحل .
بتفاضل المعادلة 6.18 للحصول على $\frac{\partial h}{\partial x}$ ومكاملته يعطي :-



شكل (6 – 13) مستوى تصريف المياه الجوفية والناتجة من عمليات مد وجزر المحيط
(a) تكوين المائي المحصور (b) التكوين المائي الغير محصور (c) حمولة التكوين المائي المحصور.

$$V = h_o \sqrt{2t_o ST/\pi} \qquad .....(6.24)$$

ان التحليل الاعلى ممكن تطبيقه ايضا كتقريب جيد لتذبذبات مستوى الماء للتكوين المائي غير المحصور اذا كان مدى التذبذبات صغيرا بالمقارنة الى السمك المشبع b(13–6) . الشكل(6 –14) يوضح التذبذبات في الآبار المخترقة لتكوين مائي غير محصور عند مسافات مختلفة من مستوى المياه السطحية متغير بشكل جيبي تقريبياً .



شكل (6 – 14) تذبذبات نهر الالبي ومستوى سطح الماء في البئر أبعاد مختلفة من النهر

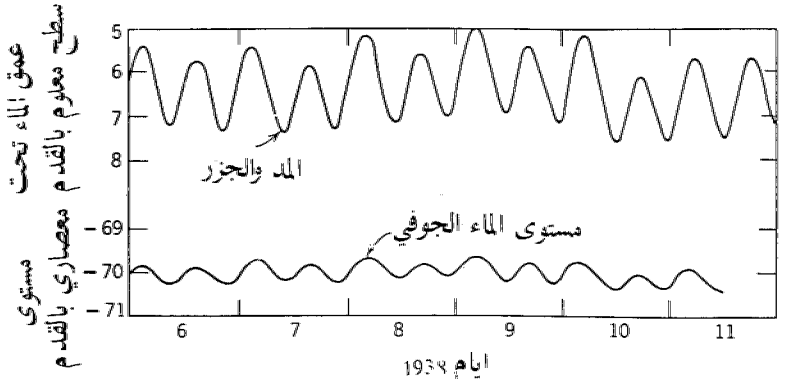
وبمجرد تغير الضغط الجوي فان اختلافات في المناسيب القياسية الانضغاطية تنتج وهذه بدورها تعمل تذبذبات بالمد والجزر وتغير الحمل المترتب على التكوينات المائية المحصورة الممتدة تحت ارض المحيط (شكل c(13–6) .

على عكس تأثير الضغط الجوي ، فالتذبذبات المدية مباشرة اذ كلما ازداد مستوى سطح البحر ازداد منسوب المياه الجوفية ايضا .

الشكل(6–15) يوضح التأثير لبئر يبعد عن الشاطيء(100) قدم فقط . ان نسبة سعة المنسوب القياسي الانضغاطي الى السعة المدية يعرف الفعالية المدّية tidal efficiency للتكوين المائي .

لقد بين العالم جاكوب (Jacob[19]) ان الفعالية المدية (C) تعود الى الحساسية البارومترية (B) بواسطة :

$$C = 1 - B \qquad .....(6.25)$$



شكل (6 15) تذبذبات المد والجزر وتأثير تصريف السطح المعصاري واضحة في بئر يبعد ١٠٠ قدم عن شاطىء كاتومان Matt awoman في اليونان

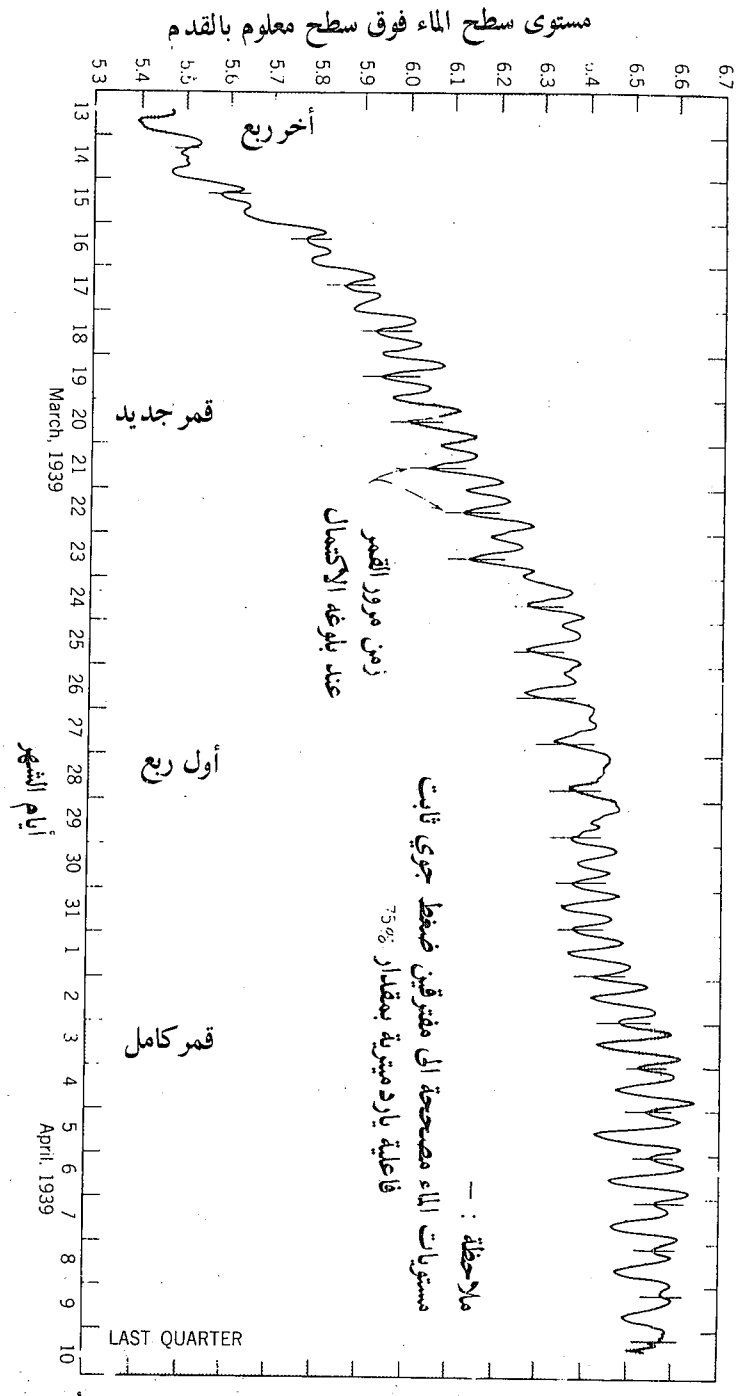
لهذا فالفعالية المدية هي قياس لعجز الطبقات المغطية الحاصرة لمقاومة تغيرات الضغط .ان استجابة التكوين المائي للحمل عوضا عن تغير العمود عند الجزء المكشوف ، حيث ان السعة المعطاة والمطلوبة كما هي في المعادلة (6.18) مضروبة في (C) من المعادلتين (6.10) و (6.25) فان :

$$C = \frac{E_w}{\alpha E_s + E_w} \quad \ldots\ldots (6.26)$$

اما معامل الخزن للتكوين المائي فيمكن حسابه من ملاحظات الفعالية المدية باحلال (B) بواسطة (C—1) من المعادلة (6.15) .

مد وجزر اليابسة (الارض) :- (Earth tides)

التذبذبات شبه اليومية المنتظمة الحدوث والصغيرة المقدار قد لوحظت في السطوح القياسية الانضغاطية التكوينات المائية المحصورة مثبتة على مسافات كبيرة من المحيط . وعلى سبيل المثال ابار واقعة في داخل ولايات ايوا – نيومكسيكو (Iowa New Mexico) وتنسي (Tennessee) تبدي هذه الظاهرة . بعد تصحيح مناسيب الابار لتغيرات الضغط الجوي . تظهر هذه التذبذبات تماما بوضوح في آبار معينة . حيث ان هذه الظاهرة كانت متميزة . والشكل (6–16) يوضح التذبذبات فوق الدورة القمرية (Lunar Cycle) من بئر يصل الى (840) قدم داخل تكوين مائي محصور في مدينة ايوا (Iowa) ان هذه التذبذبات قد اعزيت الى مد وجزر اليابسة الناتجة من الجذب المسلط على القشرة الارضية بواسطة القمر والى درجة أقل امتدادا للشمس .



شكل (6 16) سطح الماء المتذبذب في التكوين المائي المحصور مبين بواسطة المد والجزر على الأرض (روبنسون 44)

ان ملاحظات روبنسن (Robinson's)[44] قد ايدت هذه الافتراضات . المبنية على تحاليل تسجيلات البئر التي تجعل الدليل مقنعا . وذلك :

أ- ان الدورتين اليوميتين للتذبذبات تحدث يومياً متأخرة بحوالي (50) دقيقة عن موعدها كل يوم كما يفعل القمر .

ب . ان معدل التأخير اليومي للدورات ينسجم الى حد بعيد مع حركة عبور القمر .

جـ- ان الغور (الانخفاض) (Trough) اليومي لمنسوب الماء ينطبق مع العبورات للقمر عند الذروة العليا والسفلى .

د . فترات التذبذبات الكبيرة المنتظمة تنطبق مع فترات الهلال والبدر على حين ان فترات التذبذبات الصغيرة غير المنتظمة تنطبق مع فترات الربع الاول والثالث للقمر . كل هذه الحقائق يمكن ملاحظتها في المعطيات العائدة للشكل (6-16) عند اوقات الهلال والبدر . ولما كانت القوى للقمر والشمس المولدة للمد والجزر هي قوى القمر والشمس التي تعمل في اتجاه واحد ، لذا فان المد المحيطي سيظهر وكأنه اكبر من المدى المتوسط . ولكن متى ماكان القمر في الربع الاول والثالث فان القوى المولدة للمد والجزر هي قوى الشمس والقمر التي تعمل بشكل واحدة وعمودية على الاخرى مسببة المد المحيطي الذي هو اصغر من المدى المعدل والمتوسط .

ان تطابق زمن الماء المنخفض مع عبور القمر يمكن توضيحه بالتفكير بأن الجذب المدّي هذا الوقت يكون على أشده ، لذا فان الحمل المثقل على التكوين المائي يختزل ، معطيا السماح للتكوين المائي لأن يمتد قليلا .

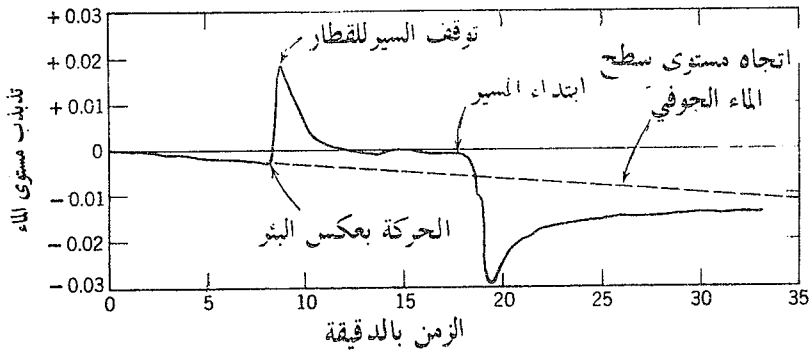
الاحمال الخارجية : - (External Loads)

ان الخاصية المرنة للتكوين المائي المحصور ناتج عن التغيرات الحاصلة في الضغط الهيدروستاتي عندما تحدث تغيرات في الحمل . ان بعض الأمثلة المفضلة تظهر من الآبار الواقعة قرب خطوط السكة الحديد حيث القطارات العابرة تنتج تذبذبات يمكن قياسها بقياس السطح القياس الانضغاطي .

ان هذه الظاهرة قد سجلت بواسطة عدد من المتحرين 18.38.43 .

الشكل (6-17) يوضح التغييرات في منسوب الماء الناتجة بسبب وقوف القطار وتحركه قرب بئر عند مدينة سميث - نيويورك . (Smith town ، في New York)

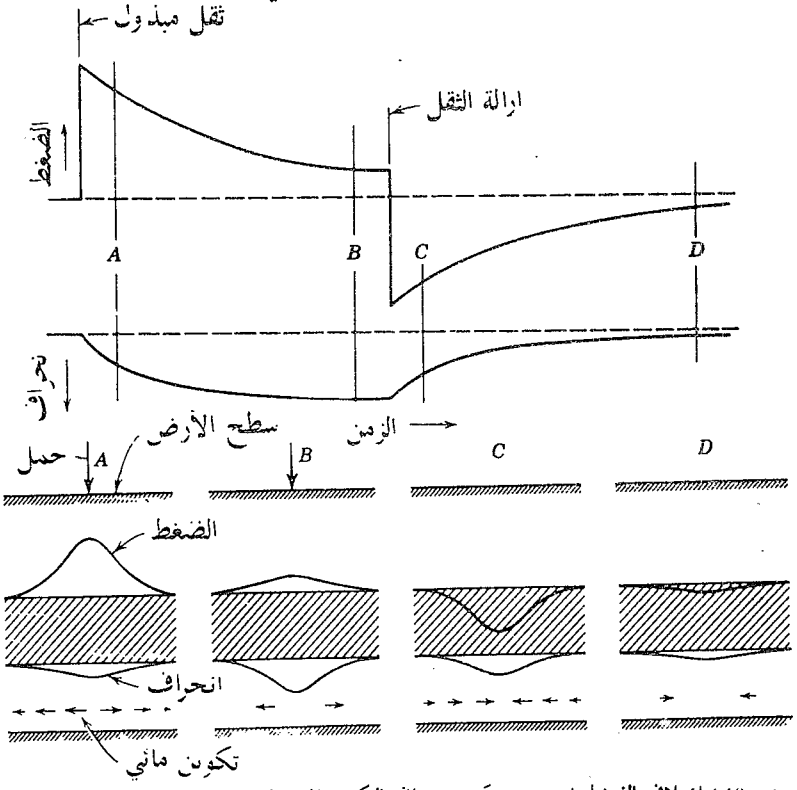
المحصورة والمواد الصلبة للتكوين المائي وعلى أي حال كلما كان جريان الماء شعاعيا باتجاه الخارج ، فان نسبة متزايدة من الثقل تحمل بواسطة تركيب التكوين المائي .



شكل (6 17) تذبذب مستوى الماء في التكوين المائي المحصور متكونة بواسطة توقف وابتداء السير لقطار قرب بئر الملاحظة

ان تسليط ثقل ما سيضغط على التكوين المائي ويزيد من الضغط الهيدروستاتي . لهذا فان الضغط يقل ويصل الى قيمته الاصلية محاذيا ، كلما كان جريان الماء بأية سرعة ما ، بعيدا عن النقطة التي طبق عليها الحمل . لهذا فان الحمل مبدئياً يكون مشاركا بواسطة المياه

ان الرسم التوضيحي بعد العالم جاكوب[18] (Jacob) في الشكل (6 18) يوضح هذا

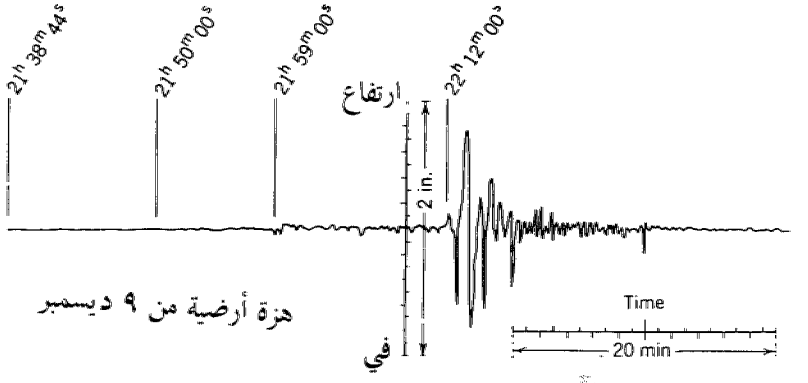


شكل (6 – 18) اختلاف الضغط الهيدروستاتيكي وانحراف التكوين المائي الناتج من نقطة الثقل المطبقة والمزالة عن سطح الأرض فوق التكوين المائي المحصور

التأشير . هنا يكون تمثيل حمل النقطة منطبقا لحظة حصوله ، وعلى افتراض ان السطح الأسفل للتكوين المائي ثابت فان اطوال الأسهم تدل على الكميات النسبية لسرع الجريان على مسافات مختلفة من الحمل . وخلال الفترة من (A) الى (B) يقل الضغط الهيدروستاتي وان انحراف (deflection) السطح الأعلى للتكوين المائي يزداد . ومن ثم فمتى ما ازيل الحمل ، انخفض الضغط الى الحد الاسفل وبعد ذلك يعود باتجاه قيمته الأولية كما هو مبين بالفقرات (C) و (D) .

الهزات الأرضيه (Earthquakes)

ان الملاحظات قد أظهرت ان الهزات الأرضية لها تأثيرات متنوعة على المياه الجوفية 25.38.39.50.59 اكثرها اثارة هي ارتفاعات او انخفاضات مفاجئة لمناسيب المياه في الآبار او تغيرات في تصريف العيون وظهور عيون جديدة وقذوفات المياه والطفل خارج الأرض [16] . وبصورة شائعة اكثر . وعلى أي حال فان صدمات الهزات الأرضية تنتج تذبذبات صغيرة في الآبار المخترقة للتكوينات المائية المحصورة . مثال جيد مجهز بتسجيل منسوب المياه على مقياس زمني متواصل موضح في الشكل (6–19) . هذه الهزة الأرضية كانت متمركزة على حدود الارجنتين – شيلي تقريبا (5000) ميل من البئر المسجلة في ملووكي (Milwaukee) . ومقاطعة وسكنسن .



شكل (6 – 19) تذبذب مستوى الماء بالهزة الأرضية في البئر قرب ميلاوكي Milwaulcee ناتجة من الهزة الأرضية المتمركزة على الحدود الأرجنتينية التشيلية (فورهز [58])

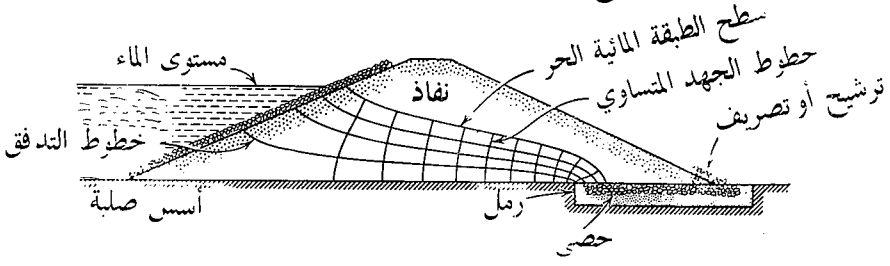
وعلى الرغم من المعرفة القليلة للتأثيرات الكمية التي تحدثها الهزات الأرضية على المياه الجوفية فان هذه التذبذبات افترض انها ناتجة عن التقلص والتمدد للتكوين المائي المحصور والمرن (elastic confined aquifer) وكذلك مرور موجات الهزة الارضية . هذه الموجات تسافر بسرع هي تقريبا (125) ميل / دقيقة . لذا فان التذبذبات تظهر بعد اكثر من ساعة واحدة بقليل ويحدث هذا ايضا في مراكز الهزات الأرضية البعيدة .

السيطرة بواسطة المصارف والآبار Control by Drains & Wells

ان مستويات الماء القريبة من سطح الارض يمكن السيطرة عليها بانشاء مصارف او آبار للمحافظة على المناسيب عند او تحت اعماق محددة .

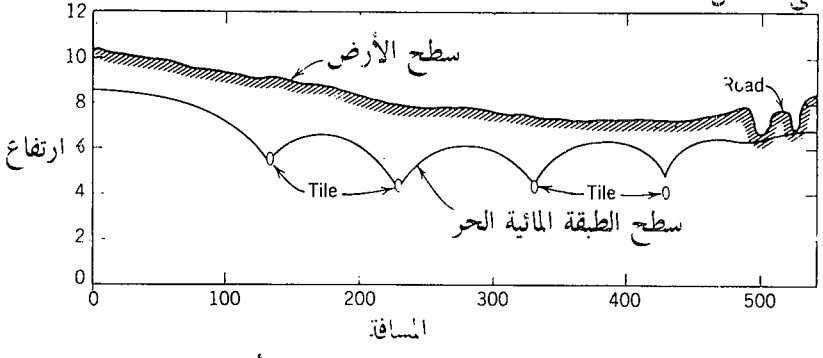
المصارف تصمم بعدة طرق . بعضها يتكون من رمل خشن أو حصى ، لذا فإن نفاذيتها أعلى من الاوساط المسامية الاخرى . والماء يجري خلالها بسرعة لذا فهي تعمل كمنفذ لتصريف المياه الجوفية المحيطة . الخطوط الافقية للانبوب الفخاري المفصل المفتوح او الانبوب المثقب يستخدم بصورة واسعة للتصريف المصارف الاخرى عبارة عن قنوات ري مفتوحة بسيطة مع الجزء المحصور من المياه الجوفية ، كلما ارتفع مستوى الماء فوق قعر قناة الري . ان المصارف لها عدة تطبيقات قليل منها فقط يمكن توضيحه هنا .

السد الارضي يحتوي عادة على مصارف في مقدمته لمنع الاشباع لوجه مجرى النهر[47] الشكل 20.6 يوضح التاثير . معظم اسس التراكيب تحوي مصارف حول محيطها لتقليل الضغط الهيدروستاتي او دخول الماء. ان معظم الطرق العامة الحديثة غالبا ما تحوي مصارف تحت سطحية لتجنب اشباع تحدر الطريق العام .



شكل (6 – 20) تأثير المصارف في أحد السدود لحماية التشبع من النهر السفلي المواجه (كريجر ، جستين ، هندز)

ان الترتيب المثالي لمستوى الماء في حقل يحتوي على مصارف انابيب فخارية موضح بالمظهر الجانبي في الشكل (6-21) .



شكل (6 – 21) السيطرة على سطح الماء بواسطة جهاز التصريف المبلط في الأرض الزراعية السهلة

الابار الضحية ايضا قد تسيطر على مناسيب الماء والعملية تكون مماثلة الابار الموفرة للتجهيزات المائية [27] . وحيثما تستخدم آبار التصريف على الأراضي الزراعية فان الماء المستخلص (Extracted) يمكن اعادة تطبيقه او استعماله في الأرض لغرض الري

بالنسبة للأراضي الزراعية ، تكون أنظمة المصارف المناسبة أساساً لغرض تثبيت مستويات الماء تحت منطقة الجذور [17.45.48] . مستويات الماء العالية قد تحدث طبيعيا في الأراضي المنبسطة المحادّة للأنهر . أو البحيرات ، او المحيط ، او يمكن انتاجها اصطناعيا بواسطة النفوذ من مياه الري الفائضة . لغرض تنظيم مناسيب المياه ضمن حدود ضيقة فوق منطقة كبيرة ، توضع المصارف في خطوط متوازية على اعماق ومسافات متحكمة بواسطة المحاصيل المحلية وظروف التربة .

او يمكن ان يبدد معتمدا على ملوحة المياه (انظر الفصل 7) نقاط الابار التي ذكرت في الفصل 5 هي خطوط من أبار ذات أقطار صغيرة ، غالبا ماتركب لغرض نزف المياه تحت الأرضية في مواقع التعمير (Dewatering sub surface construction sites) حيث أبار التخفيف توضع قرب مقدمات السدود والحواجز لتخفض من مستويات (relief wells) المياه وبهذا تقلل من الضغوط المرتفعة المتولدة بواسطة النضوح تحت التركيب [2.24.36.37] ان تصميم وانشاء المصارف للسيطرة على مناسيب المياه الجوفية هو خارج مجال هذا الكتاب الكتاب او النص والمبادىء الاساس تكون مشمولة على اي حال .

وتعتبر هي نفسها مثل تلك الموضوعة في الفصول القادمة .

ان الموضوع قد عولج بعناية فائقة خصوصا من مراجع الهندسة المدنية والزراعية وبالعديد من الكتب [7,28,45]

« الفصل السابع »

– نوعية المياه الجوفية –
QUALITY OF GROUND WATER

في السنوات الاخيرة عرف ان نوعية المياه الجوفية تكاد تكون مساوية الاهمية لكميتها ومع تعاظم التطور واستمرارية استخدام المياه الجوفية بالارتباط مع اعادة استخدام الماء فان نوعية المياه سوف تعاني مالم تراع بعض الاعتبارات لحمايتها ، وعلى نفس المنوال تجاوزت الانسان ، اذ هي تزيد من فرص واحتمالات التلوث . ان النوعية المتوخاة من مصدر للمياه الجوفيه تعتمد على الغاية المقصودة منها ، وهكذا فان الاحتياجات لمياه الشرب ، وللمياه الصناعية وللمياه الاروائية تختلف بصورة شاسعة . ولأرساء قاعدة للنوعية ، فان قياسات للمكونات الكيميائية الفيزيائية ، والبكتيرية يجب ان تحدد بالاضافة الى طرق قياسية لتدوين النتائج الخاصة بتحاليل المياه . ان الحدود المستوصى بها لنوعية المياه يمكن تحديدها عند ذلك لتعمل كأدلة للحماية المثلى ولتطوير احواض المياه الجوفية ..

– مصادر الملوحة – (Sources of Salinity)

ان جميع المياه الجوفية تحوي املاحاً نقلت في المحلول . ان انواع وتركيز الاملاح تعتمد على البيئة ، والحركة ، ومصدر المياه الجوفية .

ومن المعتاد أن نسب عالية من المكونات المذابة توجد في المياه الجوفية مقارنة بالمياه السطحية وذلك بسبب كثرة التعرض للمواد القابلة للذوبان في الطبقات الجيولوجية .

ان الاملاح المذابة الموجودة في المياه الجوفية تنشأ مبدئياً من ذوبان مواد الصخور في المناطق التي تطعم كميات ضخمة من الماء تحت الارض ، مثلا الجداول الغرينية او مناطق التطعيم الاصطناعي ولهذا فان نوعية المياه السطحية المترشحة يمكن ان تمتلك تأثيراً واضحاً على تلك المياه الجوفية . وعلى مستو محلي فان الغازات الممتصة من اصل صهاري (magmatic) يمكن ان تضيف نواتج معدنية مذابة الى المياه الجوفية وتعتبر مياه العيون الحارة المعدنية خير مثال على ذلك .

ان المياه الحبيسة (Connate) عادة تكون ذات معدنية عالية على الرغم من انها تنشأ من قطع معزولة من مياه متبقية كامنة (محتبسة) في الصخور الرسوبية منذ الازمنة الجيولوجية ، حتى مياه المطر الداخلة الى الارض تحتوي على تراكيز املاح صغيرة تكون

ملتقطة من طبقة الهواء في الجو . ان الاملاح التي تضاف الى المياه الجوفية مارة خلال التربة بواسطة النواتج المذابة من تجوية التربة والتعرية بواسطة هطول الامطار وجريان الماء ، كما ان الارواء الوافر متخللاً الى مستوى الماء قد يضيف كميات كبيرة من الملح والمياه المارة خلال منطقة الجذر للمناطق المحروثة عادة تحوي تراكيز ملحية أكثر عدة مرات من تلك المياه التي استعملت للارواء . الزيادات تنتج مبدئياً من عمليات التبخر النتحي التي تميل الى تركيز الاملاح من المياه المصرفة ، بالاضافة الى ذلك فان مواد التربة المذابة ، الاسمدة والامتصاص الانتقائي للاملاح بواسطة النباتات سوف يغير تراكيز الاملاح للمياه المترشحة .

ان العوامل المتحكمة في الزيادة تشمل نفاذية التربة تسهيلات التصريف ، وكمية المياه المستعملة والمحاصيل ، والمناخ ، لهذا فان املاح عالية توجد في التربة والمياه الجوفية للمناطق ذات المناخ الجاف حيث الاذابة بواسطة ماء المطر غير مؤثرة في تخفيف املاح المحاليل ، ونفس الشيء في المناطق الضعيفة التصريف وعلى الاخص الاحواض التي لها تصريف داخلي تحوي تراكيز املاح عالية ، كذلك بعض المناطق الحاوية بقايا ترسبات رسوبية تحت مياه مالحة . ان تسمية الاراضي الرديئة (bad land) تعني النقص من الانتاجية الناتجة من مكونات الملح الوافرة للتربة والماء ان المياه الجوفية المارة عبر الصخور النارية تذيب كميات صغيرة جداً من مواد المعادن بسبب عدم قابلية الذوبان النسبية لمكونات الصخور . ان مياه الامطار المترشحة تحوي غاز ثاني اوكسيد الكاربون (CO_2) الذي يكون مشتقا من الجو الذي يزيد من فعل الاذابة للماء .

ان المعادن السيليكية من الصخور النارية تؤدي الى كون السيليكا هي المكون الغالب على الرغم من قلة تماسها مع المياه الجوفية . ان الصخور الرسوبية تكون اكثر قابلية للذوبان من الصخور النارية بسبب قابلية ذوبانها العالية متحدة مع وفرتها العظيمة في القشرة الارضية لهذا فهي توفر جزءاً رئيسيا من المكونات المذابة الى المياه الجوفية . ان الصوديوم والكالسيوم تضاف عادة كـ (كات ايونات ، ions) مضافة على حين أن البيكاربونات . والكاربونات . الكبريتات مقابلة لـ (ان آيونات) (anions) مضافة وعلى حين أن الكلوريدات تتواجد الى درجة محدودة فقط تحت الظروف الاعتيادية . ان المصادر المهمة للكلوريدات على اي حال هي من مياه البواليع ، والمياه الحبيسة . ومياه البحر المقتحمة ، اما النترات فهي نادراً ماتكون مكونات طبيعية مهمة لهذا فتراكيز عالية قد تعني مصادر ماضية او حاضرة التلوث من المناطق الكلسية ، حيث ان ايونات الكالسيوم والكاربونات هي التي تضاف الى المياه الجوفية بالذوبان .

– عينات المياه الجوفية– (Ground water samples)

عند اخذ عينات للمياه الجوفية لغرض تحليل نوعيتها يجب ان يجمع الماء في قنانٍ زجاجية بحجم نصف غالون وبعد غسل القنينة بالماء المراد فحصه بعد ذلك يجمع النموذج ويسد بالفلين لحمايته ، ان الماء يجب ان يخزن في مكان بارد وينقل من غير ابطاء الى المختبر لغرض التحليل ، ان النماذج يجب ان تؤخذ من البئر فقط بعد ضخة لفترة من الوقت والا فالنماذج التي تستحصل تكون غير ممثلة وتشمل مياهاً راكدة او مياهاً ملوثة ، مع كل عينة يجب ان يتم تسجيل لموقع البئر ، وعمق النموذج ، وحجم البطانة ، والتاريخ ، وحرارة الماء ، والرائحة ، واللون والتعكر ، والظروف التشغيلية للبئر قبل اخذ النموذج مباشرة .

– قياسات نوعية الماء– Measures of water Quality

لغرض تحديد ميزات نوعية الماء فان خطوات كاملة تتطلب تحاليل كيميائية ، فيزيائية ، وصحية . وبكتريولوجية ، واحيائية للمياه الجوفية ، وعلى اي حال فالتحاليل الكيميائية والفيزياوية والبكتريولوجية المذكورة هي مهمة جداً اما الاخرى فانها تكون متصلة فقط بالحالات غير الاعتيادية ذات الطابع المحلي ، لهذا فان التحليل الكيميائي الكامل لعينّة المياه الجوفية يشتمل على تحديد التراكيز لكل المكونات غير العضوية الموجودة ان الاملاح المذابة في المياه الجوفية تكون بشكل ايونات مفككة ، بالاضافة الى ان المكونات الضئيلة الاخرى تكون موجودة ومدونة في شكل عنصري فقط . ان الايونات والكاتيونات الشائعة تكون موجودة في المياه الجوفية سوية مع مكونات ضئيلة مسجلة في جدول (أ – 7) ، كما ان التحليل ايضا يشمل قياس الـ (PH) والتوصيل الكهربائي النوعي

جدول 7 1

المكونات الكيميائية للمياه الجوفية

المكونات الأساسية						المكونات الثانوية
الكاتيونات الأعتيادية		الوزن المكافيء	الانيونات الأعتيادية		الوزن المكافيء	
الكالسيوم	(Ca)	20.04	الكاربونات	(CO_3)	30.00	الحديد (Fe)
المغنيسيوم	(Mg)	12.16	البيكاربونات	(HCO_3)	61.01	الألمنيوم (Al)
الصوديوم	(Na)	23.00	الكبريتات	(SO_4)	48.03	السليكا (SiO_2)
البوتاسيوم	(K)	39.10	الكلورايد	(Cl)	35.46	البورون (B)
			النايترايت	(NO_3)	62.01	الفلورايد (F)
						السيليتنويوم (Se)

اعتماداً على الغاية من استقصاء نوعية الماء ، كما ان التحليل الجزئي لبعض المكونات المعينة فقط يكون في بعض الاحيان وافياً بالغرض .

ان خواص المياه الجوفية التي قيمت بالتحليل الفيزيائي وهي تشمل الحرارة ، واللون ، والتعكر ، والرائحة ، والمذاق . ان التحليل البكتريولوجي يتكون من الفحوصات لاكتشاف وجود الاحياء العضوية والتي تعني أو تدل على النوعية الصحية للماء لغرض الاستهلاك البشري . ان بعض الاحياء العضوية تكون موجودة في امعاء الانسان والحيوانات ، ولهذا فإن وجود هذه في المياه الجوفية هو معادل أومساو لوجودها في مصادر مياه البواليع .

المكونات الكيميائية للمياه الجوفية : —

هناك طرق قياسية لتحليل الماء حددت بواسطة جمعية الصحة العامة الامريكية (American Public health association) وغيرها حيث ان معظم مختبرات تحليل المياه تتبع هذه الطرق .

التحليل الكيميائي : — Chemical Analysis

حالما يجمع نموذج المياه الجوفية ويحلل في المختبر ، فان الوسائل لتدوين تحاليل الماء يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار من فهم التعابير والوحدات لغرض وصف نوعية الماء ، كما ان القياسات من الممكن وضعها .بحيث ان التحاليل يمكن تفسيرها بمصطلحات الغاية القصوى منها تجهيز الماء . في التحليل الكيميائي للمياه الجوفية تراكيز الايونات المختلفة يمكن التعبير عنها بواسطة الوزن او المكافيء الكيمياوي ، ومجموع المواد الصلبة المذابة تقاس بمصطلحات التوصيل الكهربائي ، هذه وقياسات اخرى للنوعية الكيميائية مشروحة بالمقاطع الآتية : —

التراكيز بواسطة الوزن : — (Concentration by Weight)

ان تراكيز الايونات الشائعة الموجودة في المياه الجوفية هي غالبا ماتسجل بواسطة الوزن بالاجزاء لكل مليون (– PPM –). جزء واحد لكل مليون يعرف بانه جزء واحد الوزن للايون الى مليون جزء بالوزن للماء وهي عدديا مكافئة الى الملليغرام لكل لتر ، ان التركيز الايوني الكلي او مجموع المواد الصلبة المذابة هي ايضا تسجل بنفس الاسلوب في تطبيقات الري . فان الوحدة المستخدمة هي الاطنان من المواد الصلبة المذابة لكل فرسخ – قدم (Acre – foot) من الماء (tat) . وهناك عدة عوامل تحويل لنوعية الماء مدونة في الجدول (2 – 7)

جدول 2 . 7 عوامل تحويل نوعية الماء

1 ppm	= 1 mg/l
1 taf	= 735 ppm
1 grain/U.S. gallon	= 17.1 ppm
1 meq/l	= 1 me/l = 1 epm
meq/l of ion	= ppm of ion/equivalent weight of ion
1 meq/l of cations	= 100 EC × 10^6
1 ppm	= 1.56 EC × 10^6

Approximations for most natural waters in the range of 100 to 5000 μmho/cm at 25° C

المكافيء الكيمياوي : — (Chemical Equivalence)

ان الكاتيونات الموجبة الشحنة الانيونات السالبة الشحنة تتحد وتتفكك بنسب وزنية محددة ، بواسطة التعبير عن تراكيز الايونات في الاوزان المكافئة فهذه النسب تحدد بسهولة وذلك لان الوزن المكافيء الواحد من الكانيون سوف يتحد بالضبط مع وزن مكافيء من أنيون . ان الوزن المكافيء لايون هو النسبة بين وزنه الذري الى تكافئه . الجدول (7 – 1) يشمل الاوزان المكافئة للايونات الشائعة ، ولان الهيدروجين له وزن مكافيء واحد فهو يعتبر كعنصر مرجع او مصدر وهذه بالحقيقة هي اوزان مكافئة للهيدروجين ، على سبيل المثال الوزن المكافيء بالغرامات (كذلك يعرف بالوزن المكافيء الغرامي) لايون او مركب هو ذلك الوزن بالغرامات الذي يتحد او يحل بدل غرام واحد من الهيدروجين . وللسهولة فالتركيز تسجل بواحد من الالف من وزن مكافيء غرامي / لتر (meq/L) او ببساطة يستخدم ملي مكافيء / لتر (me/L) بالاضافة الى ذلك فانه بسبب واحد ملي مكافيء غرامي / لتر (meq/L) من الهيدروجين والذي يساوي جزء من المليون من الهيدروجين لهذا يمكن ان يقال بان واحد ملي مكافيء غرامي / لتر يساوي واحد مكافيء / مليون (epm) .

وبالتعريف ، فان مكافيء / مليون هو وزن مكافيء بالغرامات لايون او ملح / مليون غرام من المحلول . وهذا التبادل يتم فقط اذا كان الوزن النوعي للمحلول هو واحد 1.00 على اي حال فان اخطاء تدخل في هذه المتطلبات تكون قابلة للاهمال بالنسبة للمياه الجوفية . ان تركيز الايون بالجزء لكل مليون ppm مقسوما على الوزن المكافيء للايون يعطي عدد الملي مكافيء غرامي / لتر للايون .

عند التطبيق لهذا قد يتوقع ذلك بالنسبة لكل المواد الصلبة المذابة في نموذج المياه الجوفية . ان مجموع الكاتيونات ومجموع الانيونات عندما تعبر بالملي مكافيء / لتر فسوف تعادل كل واحدة نصف التركيز الكلي . اذا كان التحليل الكيمياوي للمكونات الايونية المختلفة يدل على اختلاف عن هذا التوازن فقد يستنتج بانه اما قد توجد مكونات اخرى لم تحدد او هناك خطأ موجود في التحليل ، والجدول (3.7) يرينا تحليل تسعة نماذج من

جدول (7 3) التحليل الكيميائي لمياه جوفية منتخبة في كاليفورنيا

(After Doneen [19])

Number	EC × 10⁶ at 25° C	B, ppm	Major Constituents, me/l						Per Cent Na	Water Class *
			Ca	Mg	Na	CO_3 + HCO_3	Cl	SO_4		
1	260 †	0.13	1.41	0.44	0.89	1.88	0.34	0.33	32	Good
2	270	0.10	0.21	0.05	2.42	1.20	0.68	0.67	90	Unsuitable
3	790	6.90	0.24	0.02	7.28	2.39	2.47	2.48	96	Unsuitable
4	900	0.51	2.49	5.81	2.83	8.87	1.13	1.02	25	Permissible
5	1090	...	1.20	2.00	8.10	8.10	1.00	2.60	72	Doubtful
6	1370	0.25	8.30	0.75	3.96	2.46	2.73	4.47	30	Permissible
7	1740	0.71	2.14	0.08	12.67	1.02	12.04	1.80	85	Unsuitable
8	2550	0.50	11.40	5.70	12.90	2.80	2.80	23.00	45	Doubtful
9	4330	1.63	12.37	16.71	27.39	2.75	8.55	41.74	49	Unsuitable

* Based on classification in Table 7.7.
† Underlined values determine water class.

المياه الجوفية المستعملة للارواء في كاليفورنيا حيث هناك مكونات ضئيلة اخرى عوضا عن البورون قد حذفت .

المواد الصلبة المذابة بواسطة التوصيل الكهربائي : —

(Total Dissolved Solids by Electrical Conductivity)

من الممكن اجراء تحديد سريع لمجموع المواد الصلبة المذابة في الماء بواسطة قياس التوصيل الكهربائي لنموذج المياه الجوفية ، حيث ان التوصيل الكهربائي مفضل على مقلوبه وهو المقاومة بسبب كونه يزيد مع ازدياد احتواء الملح ويقاس الـ (مهوmhos)(من معكوس الـ أوم ohm) لغايات المقارنة للنتائج تدّون كتوصيل كهربائي (EC) او التوصيل الكهربائي النوعي مقاسة بالـ مهو / سم mhos/cm ان معنى التوصيل (EC) غالبا مايبدل الـ (K) ولكن المعنى متماثل ، بسبب ان معظم المياه الطبيعية لها توصيل اقل بكثير من واحد مهو / سم لهذا فمن السهولة ان نشير الى كسر عشري من الوحدة وعلى سبيل المثال نموذج ماء يقيس 0.00125 مهو / سم يمكن ان يعبر عنه : — التوصيل الكهربائي

(EC) = 0.00125 مهو / سم

(EC) 1.250 × 10^3 = او مللي مهو / سم (mmho/cm)

(EC) 125.0 × $^5 10$ =

(EC) 1250 × 10 = مايكرو مهو / سم (μmh_0 / cm)

ان التوصيل هو دالة لحرارة الماء ، لهذا فالحرارة القياسية هي (٢٥م) يجب ان تحدد في تسجيل التوصيلات ، وهناك علاقة تقريبية موجودة بين التوصل الكهربائي والتركيز الملحي لمعظم المياه الطبيعية في مدى من 100 – 5000 مايكرو مهو / سم في درجة حرارة ٢٥ م .

تقودنا الى تحويلات مللى واحد مكافيء غرامي الكايتوتات $(100EC \times 10^6)$ وواحد جزء من المليون $(1.56\ EC \times 10^6)$.

العسرة الكلية :– (Total Hardness)

ان العسرة الكلية (TH) هي قياس لمحتوى الكالسيوم والمغنيسيوم ويعبر عنها عادة كمكافيء لكاربونات الكالسيوم ، اذن .

$$\text{العسرة الكلية} = \text{الكالسيوم} \times \frac{\text{كاربونات الكالسيوم}}{\text{الكالسيوم}} + \text{المغنيسيوم} \times \frac{\text{كاربونات الكالسيوم}}{\text{المغنيسيوم}} \quad \text{... معادلة (7.1)}$$

$$(TH) = CA \times \frac{Ca\ Co_3}{Ca} + Mg \times \frac{CaCO_3}{Mg} \quad \text{.....eg .7–1}$$

حيث ان (العسرة الكلية TH) مقاسة بالاجزاء / مليون من كاربونات الكالسيوم $CaCO_3$ Mg,Ca بالاجزاء / مليون والنسب بالاوزان المكافئة ، وان المعادلة (7–1) يمكن ان تختزل الى : –

العسرة الكلية = 2.497 كالسيوم + 4115 مغنيسيوم :

$$(TH) = 2.497\ ca + 4.115\ mg$$

التمثيل البياني :– (Graphical Representation)

بعد أن يتم الحصول على التحليل الكيميائي فان المتبقي هو مشكلة تفسير التحاليل لغرض معين ان مثل هذه البيانات التحليلية تستطيع المساعدة في حل عدة مسائل عملية تشتمل على ملاءمة الماء لاستعمال معين ودراسة امتزاج الماء من مصادر مختلفة .

وتحديدات الاختلاف في النوعية ، وحركة المياه المالحة . للمساعدة في هذه الحلول فان عدة انظمة بيانية لتمثيل نوعية الماء الكيميائية قد اقترحت من قبل كولنز15(Collins) الذي حدد نظام رسم بياني خطي (bardiagram) لتمثيل التحاليل ، التي استعملت من قبل المسح الجيولوجي الامريكي (U.S Geol.Surv) (على سبيل المثال انظر الصورة 12.14) تصنيفات اخرى مختلفة لرسوم بيانية ثم تأييدها من قبل هل[29] Hill ولانكلير Langelier ولدوج [32] Ludwig, وبيبر [38] Piper ، لم يقبل احدها بصورة عامة بسبب تنوع الاحتياطات لتحاليل المياه ، الصعوبة في فهم التصانيف المفصلة وعدم ملائمة التمثيلات البسيطة ان الدلالة للملائمة نظام معين هوفيما اذكان بوضوح لحالة يمكن ان تكون مفهومة بشكل جاهز .

التحليل الفيزيائي :- (physical Analysis)

في التحليل الفيزيائي للمياه الجوفية تسجل الحرارة بدرجة (^{0}C) ويجب ان تقاس بوضوح تام وانيا بعد جمع النموذج ، اللون في المياه الجوفية قد يكون بسبب المعادن اوالمواد العضوية في المحلول وتسجل بالاجزاء / مليون ومقارنتها بمحاليل قياسية ، العكورة اوالتعكر هو قياس المواد العالقة والغروية في الماء كما في الطفل (Clay) . الطمي (Silt) ، والمواد العضوية ، والاحياء المجهرية ، والقياسات تكون على اساس طول مسار الضوء خلال الماء الذي يسبب تماماً اختفاء صورة اللهب لشمعة قياسية .

ان الترشيح الطبيعي الناتج من تكوينات مائية غير متماسكة ، يختزل التعكر كثيراً لكن الانواع الاخرى من الطبقات المائية يمكن ان تسبب للمياه الجوفية بعض التعكر . الطعم والرائحة مشتقان من البكتريا ، والغازات المذابة انما هي مواد معدنية او فينولات وهذه الميزات هي احاسيس ذاتية يمكن التعرف عليه بالمصطلحات الانفة الذكر ومن خلال خبرة الانسان ان التحديدات الكمية للرائحة طورت معتمدة على الدرجة العظمى من التخفيف التي يستطاع تمييزها من رائحة الماء عديم الرائحة ، ليست هناك طريقة مقبولة تنصح لقياس الاطعمة

التحليل البكتريائي :- (Bacterial Aualysis)

وضحنا سابقا ان التحليل البكتريائي مهم للكشف عن تلويث المياه الجوفية بمياه البواليع ومع ان معظم البكتريا المسببة للمرض الموجودة في الماء هي فطرية في المناطق المعوية للانسان والحيوان ، الا ان عزلها عن الماء الطبيعي يعتبر صعبا في المختبر ، لان البكتريا من المجموعة العضوية (Coliform) سهلة نسبيا لغرض

العزل والتشخيص وهناك فحوصات قياسية لتحديد وجودها او غيابها في نموذج الماء وتؤخذ كدليل مباشر لامان الماء لاغراض الشرب ان نتائج فحص هذه الانواع من البكتريا (Coliform bacteria) تسجل العدد الاكثر احتمالا (MPN) من احياء انواع هذه المجموعة العضوية في حجم ثابت من الماء بواسطة تحاليل عدد من الاجزاء المنفصلة نموذج الماء .

ان الـ (MPN) يحسب من جداول الاحتمالات المرسومة لهذا الغرض .

مقاييس نوعية الماء : — (Water Quality Criteria)

اذا كانت المياه الجوفية لنوعية معطاة ، ملائمة لغرض معين ، فانها تعتمد على قواعد اوقياسات النوعية المقبولة لذلك الاستخدام . ان النوعية عادة تحدد تجهيز الماء لغرض الشرب ، والاغراض الصناعية والري تطبق على المياه الجوفية بسبب تطورها الكبير لهذه الاغراض .

مقاييس مياه الشرب : — (Drinking Water Standards)

ان معظم تجهيزات مياه الشرب في الولايات المتحدة مطابقة للقياسات الملاحظة بواسطة خدمات الصحة العامة للولايات المتحدة وهذه القياسات بنيت على اسس وضعت من قبل جمعية مشاريع الارواء الامريكية (American Water Works Association) [2,5] ومن قبل معظم اقسام الصحة العامة (State Dept. of pub. Health) ان خلاصة الاحتياطات الاساس العائدة الى الحدود الكمية موضحة في الجدول (7 – 4)

قياسات المياه الصناعية : — (Industrial Water Criteria)

يجب ان يكون جليا أن متطلبات نوعية المياه المستخدمة في العمليات الصناعية المختلفة تختلف بصورة كبيرة [17]. وهكذا فان تركيب اوبنية الماء لمراجل الضغط العالي يجب ان توافق قواعد مضبوطة جداً على حين ان الماء ذا النوعية المنخفضة كماء البحر يمكن ان يستخدم بصورة مرضية لتبريد المكثفات ، المرتبطة بمعظم الصناعات والقياسات . ولايمكن لكل صناعة من هذه الصناعات وضع تفاصيل ثابتة ، بل يمكن اقتراح الحدود العليا والدنيا لها [8.12.29].

من دراسات مستفيضة لنوعية الماء الصناعية بواسطة هيئة جمعية انكلترا الحديثة للاعمال الاروائية [4] (Committee of the New England Water Work Assoc.) حيث اقترحت اللجنة حدودا نوعية لصناعات مختارة ممثلة في الجدول5–7 بنفس اهمية نوعية المياه للاغراض الصناعية الثبوت النسبي للمكونات المختلفة .

ويمكن غالبا معالجة النوعية الضعيفة لنوعية الماء اوتكييفها حتى تصبح ملائمة لغرض ما .

جدول (٤٠٢) قياسات ماء الشـرب

النوعية البكتيرية

ان الحد الادنى لعدد النماذج التي يجب جمعها وتحليلها كل شهر . وكذلك اعداد هذه النماذج والاجزاء التي تظهروجود البكتريا من المجموعة العصوية يجب تشخيصها . وهذه الاحتياجات تحدد معدل المجموعة القصوية الشهرية المحتوية MPN لواحد لكل 100 مول

الخواص الفيزيائية	الحد الأعلى	الخواص
Turbidity	10 ppm (silica scale) جزء بالمليون (مقياس سليكا)	التعكر
Color	20 (std cobalt scale) مقياس الكوبالت الاعتيادي	اللون
Taste	Not objectionable غير محدد	المذاق
Odor	Not objectionable غير محدد	الطعم

ان هذه الحدود هي خصوصا للماء المصفى لغرض التجهيزات . وللأغراض الأخرى . فان تطبيقها خاضع لأحكام معقولة مبنية على الظروف المحلية المختلفة

الخواص الكيمياوية الحد الأعلى جزء بالمليون	المواد	
0.1	Lead (Pb)	الرصاص
1.5	Fluoride (F)	الفلورايد
0.05	Arsenic (As)	الزرنيخ
0.05	Selenium (Se)	السليبويوم
0.05	Hexavalent chromium	الكروم السداسي
3.0	Copper (Cu)	النحاس
0.3	Iron (Fe) and Manganese (Mn), together	الحديد
125	Magnesium (Mg)	المغنيسيوم
15	Zinc (Zn)	الزنك
250	Chloride (Cl)	الكلوران
250	Sulfate (SO_4)	الكبريتات
0.001	Phenol	الفينول
500	Total solids, desirable	مجموع المواد الصلبة المواد الصلبة المرغوبة
1000	Total solids, permitted	مجموع المواد الصلبة

تحدود بالنسبة للمواد الخمسة الاولى هي اساسية اما البقية فهي مقترحة .

ولكن اذا كانت النوعية تتذبذب بصورة كبيرة فيجب ان تشمل بالانتباه المستمر . التذبذبات في حرارة الماء يمكن ان تكون قلقة . من هذا المنطلق تكون تجهيزات المياه الجوفية مفضلة على تجهيزات المياه السطحية التي تكون عادة معرضة للتغيرات الفصلية في النوعية الفيزيائية والكيميائية . وبالنتيجة ، التجهيز الكافي او المناسب للمياه الجوفية ذات النوعية الملائمة أصبح واحداً من الاعتبارات الأولية في انتخاب مواقع صناعية جديدة .

مقاييس مياه الري : — (Irrigation Water Criteria)

ان ملاءمة المياه الجوفية للارواء متوقف على تأثيرات المكونات المعدنية للماء على النبات والتربة معاً [6,29,31,42,49] فوجود الأملاح يؤذي نمو النبات فيزيائياً بواسطة تحديدها لامتصاص الماء خلال عمليات التنافذ اوكيميائيا بواسطة التفاعلات الأيضية (او التفاعلات الحيوية) .

الايض : — مجموع العمليات المتصلة ببناء البروتوبلازما ودثورها وبخاصة التغيرات الكيميائية في الخلايا الحية التي بها تؤمن الطاقة الضرورية للعمليات والنشاطات الحيوية والتي يتسم بها تمثيل المواد الجديدة للتعويض عن المندثر منها) وان تأثيرات الاملاح على التربة تسبب تغييراً في بنية التربة ، والنفاذية ، والتهوية مما تؤثر على نمو النبات بصورة غير مباشرة . وان الحدود النوعية لتراكيز الاملاح المسموح بها لسقي الماء لايمكن ان تحدد بسبب الاختلافات الواسعة في تحمل الملوحة خلال نباتات مختلفة . على اي حال ، فان دراسات على نطاقات حقلية لمحاصيل وتنمو في تربة منظمة اصطناعيا

TABLE 7.5 Suggested Water Quality Tolerances for Industrial Uses *

(Allowable limits in ppm)

Industry or Use	Turbidity	Color	Odor and Taste	Iron as Fe †	Manganese as Mn	Total Solids	Hardness as $CaCO_3$	Alkalinity as $CaCO_3$	Hydrogen Sulfide	Health	pH	Other Requirements
Air Conditioning	...	...	Low	0.5	0.5	...	...	...	1.0	...	...	No corrosiveness or slime formation
Baking	10	10	Low	0.2	0.2	...	...	...	0.2	Potable	...	
Boiler Feed												
Pressure 0–150 psi	20	80	...	...	...	3000–500	80	...	5	...	8.0 ‡	No corrosiveness or scale formation §
Pressure 150–250 psi	10	40	...	...	...	2500–500	40	...	3	...	8.4 ‡	No corrosiveness or scale formation §
Pressure 250–400 psi	5	5	...	...	...	1500–100	10	...	0	...	9.0 ‡	No corrosiveness or scale formation §
Pressure >400 psi	1	2	...	..	...	50	2	...	0	...	9.6 ‡	No corrosiveness or scale formation §
Brewing and Distilling												
Light beer, gin	10	...	Low	0.1	0.1	500	...	75	0.2	Potable	6.5–7.0	NaCl 275
Dark beer, whiskey	10	...	Low	0.1	0.1	1000	...	150	0.2	Potable	7.0 ‡	NaCl 275
Canning												
Legumes	10	...	Low	0.2	0.2	...	25–75	...	1.0	Potable	...	
General	10	...	Low	0.2	0.2	...	...	...	1.0	Potable	...	
Carbonated Beverages	2	10	Low	0.2	0.2	850	250	50–100	0.2	Potable	...	Organic matter infinitesimal; oxygen consumed 1.5 ‖
Confectionery	...	...	Low	0.2	0.2	100	...	...	0.2	Potable	7.0	
Cooling	50	...	...	0.5	0.5	...	50	...	5	...	...	No corrosiveness or slime formation
Food, general	10	...	Low	0.2	0.2	...	...	...	...	Potable	...	
Ice	5	5	Low	0.2	0.2	1300	...	...	...	Potable	...	SiO_2 10
Laundering	...	...	...	0.2	0.2	...	50	...	...	...	...	

Plastics, clear	2	2	...	0.02	0.02	200	...	...	...	...	...	
Paper and Pul.												
Ground wood	50	20	...	1.0	0.5	...	180	...	...	...	...	No grit or corrosiveness
Kraft pulp	25	15	..	0.2	0.1	300	100	...	...	...	...	
Soda and sulphite pulp	15	10	...	0.1	0.05	200	100	...	...	. .	...	
High-grade light papers	5	5	...	0.1	0.05	200	50	...	...	...	...	No slime formation
Rayon (Viscose)												
Pulp production	5	5	...	0.05	0.03	100	8	50	...	...	...	OH 8, Al_2O_3 8, SiO_2 25, Cu 5
Manufacture	0.3	...	...	0.0	0.0	...	55	...	...	...	7.8-8.3	
Steel Manufacture ‖	...	...	...	...	...	...	50	...	...	...	6.8-7.0	Temperature 75° F, Cl 175, suspended matter 25, minimum organic content and corrosiveness
Sugar Manufacture ‖	...	...	...	0.1	...	...	...	...	...	...	...	Ca 20, Mg 10, SO_4 20, Cl 20, HCO_3 100
Synthetic Rubber ‖	...	...	...	...	...	...	50	...	...	...	...	Oxygen consumed 3.0, minimum organic content and corrosiveness
Tanning	20	10–100	...	0.2	0.2	...	50–135	135	...	...	...	OH 8
Textiles												
General	5	20	...	0.25	0.25	...	...	...	...	...	...	
Dyeing	5	5–20	...	0.25	0.25	200	...	...	...	...	...	Constant composition; residual alumina <0.5

* Data from Reference 4 unless otherwise specified.
† Limit applies to both iron alone and the sum of iron and manganese.
‡ Minimum value.
§ Other limits stated for oxygen consumed, dissolved oxygen, Na_2SO_4 'Na$_2CO_3$ ratio, Al_2O_3, SiO_2, HCO_3, CO_3, and OH.
‖ Data from Reference 12.

الى مستويات ملوحة مختلفة تعطينا معلومات قيمة عن تحمل الاملاح . في الجدول (7 – 6) تحملات نسبية لمحاصيل الى تراكيز املاح المياه الخاصة بالتربة مدونة لاقسام محاصيل رئيسية . ان القاعدة المطبقة هي العطاء النسبي للمحصول في تربة مالحة مقارنة بعطائها في تربة غير مالحة تحت ظروف نمو مشابهة . ضمن كل مجموعة تسجل المحاصيل تبعا لازدياد تحمل الاملاح . قيم التوصيل الكهربائي عند القمة والقاعدة لكل عمود ، حيث يمثل مدى مستوى الملوحة اذ ان 50% نقص في العطاء يمكن ان يتوقع ويجب ان يلاحظ أن هذه التراكيز تعزى الى ماء التربة التي قد تحوي تراكيز اكثر من (5 – 10) مرات عن مياه

TABLE 7.6 (*continued*)

Crop Division	Low Salt Tolerance	Medium Salt Tolerance	High Salt Tolerance
Forage Crops	$EC \times 10^3 = 4$	Reed canary Meadow fescue Blue grama Orchard grass Oats (hay) Wheat (hay) Rye (hay) Tall fescue Alfalfa Hubam clover Sudan grass Dallis grass Strawberry clover Mountain brome Perennial rye grass Yellow sweetclover White sweetclover $EC \times 10^3 = 12$	Nuttall alkali grass Salt grass Alkali sacaton $EC \times 10^3 = 18$
Field Crops	$EC \times 10^3 = 4$ Field beans	$EC \times 10^3 = 6$ Castorbeans Sunflower Flax Corn (field) Sorghum (grain) Rice Oats (grain) Wheat (grain) Rye (grain) $EC \times 10^3 = 10$	$EC \times 10^3 = 10$ Cotton Rape Sugar beet Barley (grain) $EC \times 10^3 = 16$

Fruit Crops	Avocado Lemon Strawberry Peach Apricot Almond Plum Prune Grapefruit Orange Apple Pear	Cantaloupe Date Olive Fig Pomegranate	Date palm
Vegetable Crops	EC $\times 10^3 = 3$ Green beans Celery Radish EC $\times 10^3 = 4$	EC $\times 10^3 = 4$ Cucumber Squash Peas Onion Carrot Potatoes Sweet Corn Lettuce Cauliflower Bell pepper Cabbage Broccoli Tomato EC $\times 10^3 = 10$	EC $\times 10^3 = 10$ Spinach Asparagus Kale Garden beets EC $\times 10^3 = 12$
Forage Crops	EC $\times 10^3 = 2$ Burnet Ladino clover Red clover Alsike clover Meadow foxtail White Dutch clover	EC $\times 10^3 = 4$ Sickle milkvetch Sour clover Cicer milkvetch Tall meadow oat-grass Smooth brome Big trefoil	EC $\times 10^3 = 12$ Bird's-foot trefoil Barley (hay) Western wheat grass Canada wild rye Rescue grass Rhodes grass Bermuda grass

الارواء التطبيقية . وان نوع التربة ، والظروف المناخية ، والارواء الممارس قد يؤثر على ردود الفعل لمحصول معطى الى مكونات ملحية . لهذا فان موقع كل محصول في جدول 6-7 يظهر مدى تحمله النسبي للاملاح تحت ظروف الارواء المعتادة . هنالك عامل مهم متصل بعلاقة نمو المحاصيل بنوعية الماء وهو التصريف ، فاذا كانت التربة مفتوحة وذات تصريف جيد فالمحاصيل قد تنمو عليها برغم وجود كميات متنوعة من المياه المالحة . ولكن من الجهة الثانية فان المناطق الضعيفة التصريف التي تكون متحدة مع ماء ذي نوعية جيدة قد تفشل في انتاج محصول مرضي او مقبول . ان التصريف الضعيف يسمح لتراكيز الاملاح في منطقة الجذر بانشاء اجزاء سامة ، في الوقت الحاضر ، فالتصريف الملائم معروف بوضوح لكي نحصل على توازن ملحي ملائم ذلك ان اجمالي المواد الصلبة المذابة يجلب الى الأرض سنويا بواسطة مياه الري هو اقل من مجموع المواد الصلبة المنقولة للخارج سنويا بمياه التصريف ومن المعتقد بان هذا العامل سبب في فشل كثير من انظمة الري المتقنة في الأوقات التاريخية .

بدل تحديدات صارمة الملوحة لمياه الارواء ، يعبّر عن النوعية عادة بواسطة فصائل التلاؤم النسبي . مثال ذلك الجدول 7-7 ، اذ ان التصنيف المذكور تم بواسطة ولكوكس (Wilcox[50]) وتحت هذا المخطط تتوقف الصلاحية على قياسات قابلية التوصيل الكهربائي (معبرة عن اجمالي الصلب المذاب) ، وكمية الصوديوم ، وتسجل كنسبة مئوية للصوديوم ، وتركيز البورون .

ولتطبيق الجدول (7-7) ، فان التقدير الاقل لأي من العوامل الثلاث تحدد رتبة الماء ، امثلة من التصنيفات ظاهرة في الجدول (7 - 3) التصنيف الجيد نسبة الى قابلية التوصيل

جدول (7 - 7) تصنيف الماء النوعي لغرض الري (ولكوكس [50])

TABLE 7.7 Quality Classification of Water for Irrigation

(After Wilcox [50])

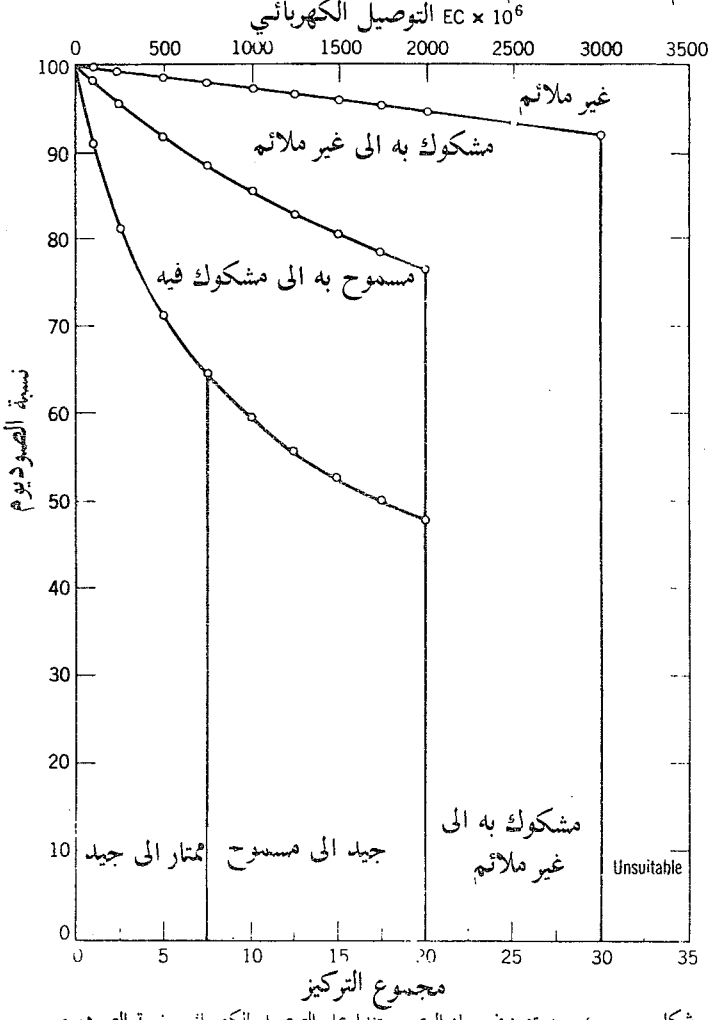
صنف الماء	نسبة الصوديوم	$EC \times 10^6$ at 25° C	البورون جزء بالمليون: النباتات الحساسة	النباتات شبه المتحملة	النباتات المتحملة
ممتاز	<20	<250	<0.33	<0.67	<1.00
جيد	20–40	250–750	0.33–0.67	0.67–1.33	1.00–2.00
مقبول	40–60	750–2000	0.67–1.00	1.33–2.00	2.00–3.00
مشكوك فيه	60–80	2000–3000	1.00–1.25	2.00–2.50	3.00–3.75
غير مستعمل	>80	>3000	>1.25	>2.50	>3.75

الكهربائي ونسبة الصوديوم المئوية يمكن الحصول عليها بواسطة الرسم البياني للشكل (7 - 1) ان العلاقة المتداخلة لنسبة الصوديوم العالية مع اجمالي الملح القليل ، لوحظ بانها تناسب ظروف حقيقية .

ان تركيز الصوديوم مهم في تصنيف مياه الرى ، وذلك لأن الصوديوم يتفاعل مع التربة ليختزل من نفاذيتها (انظر الاجزاء التالية) .

التربة الحاوية على نسب كبيرة من الصوديوم مع الكاربونات كأيونات غالبة يطلق عليها اسم تربة قاعدية ، وتلك التي معها كلوريدات اوكبريتات كأيونات غالبة تعد ترب ملحية . اعتياديا ، اي نوع من تربة مشبعة بالصوديوم سوف تكون قليلة اوعديمة الاسناد لنمو الزرع .

ان كمية الصوديوم يعبر عنها عادة بمصطلحات النسبة المئوية للصوديوم (كذلك تعرف بنسبة الصوديوم ونسبة الصوديوم المذاب) معرفة بواسطة : —



شكل (7 - 1) يبين تصنيف مياه الري مستندا على التوصيل الكهربائي ونسبة الصوديوم

$$\%Na = \frac{(Na + K)100}{Ca + Mg + Na + K} \quad .....(7-3)$$

حيث ان كل التراكيز الايونية تعبر بواسطة مللي مكافيء / لتر . ان مختبر الملوحة في قسم الزراعة[42] اوصى بنسبة ابتزاز الصوديوم SAR بواسطة التربة وتعرف بواسطة : —

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca + Mg)/2}}$$

حيث أن تراكيز المكونات يعبر عنها بالمللي مكافيء / لتر وتصانيف الماء لنسبة امتصاص الصوديوم (ن . أ . ص) (SAR) كالاتي : —

صنف الماء	ن . أ . ص .
ممتاز	10
جيد	10 – 18
وسط	18 – 26
ردىء	26

ان البورون ضروري بكميات صغيرة جداً للنمو الطبيعي لكل النباتات ، ولكنه يكون ساماً اذا ازداد تركيزه . ان الكميات المطلوبة تختلف بحسب نوع المحصول وتتطلب المحاصيل الحساسة كميات صغرى . على حين أن المحاصيل ذات التحمل سوف تعمل أعظم نمو على عدة اضعاف هذه التراكيز . ان قابليات التحمل النسبية الخاصة بالبورون لعدد من المحاصيل قد حددت من قبل (ايتون Eaton[21]) وتراكيز البورون في فصائل مياه الارواء مدونة بواسطة تحمل المحصول . والجدول (7 – 7) يوضح المحاصيل التي يمكن تطبيقها ويظهر ذلك في الجدول (7 – 8) . في التحريات العائدة الى نوعية الماء للارواء وملوحة محلول التربة خصوصاً ، ينبغي ايجاد برامج نموذجية لهذا الغرض . ومن المهم معرفة توزيع الأملاح ضمن التربة . ولتوضيح ذلك ، فإن توزيع الأملاح تحت نباتات القطن المروية مبيّن في الشكل (7 – 2)

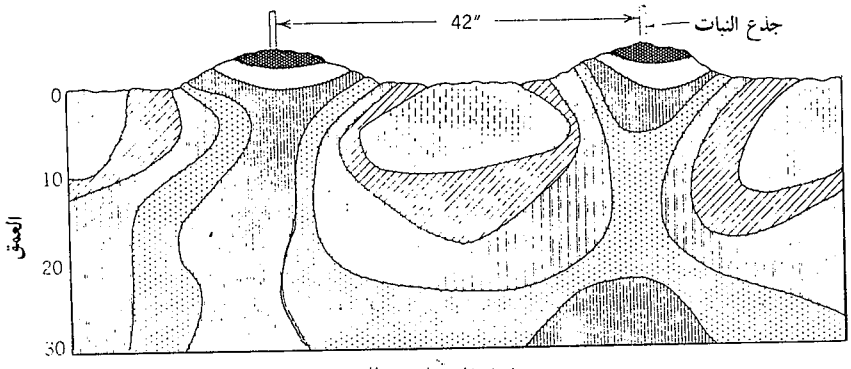
وجلي أن تأثير الاذابة لمياه الارواء في الاخدود يسير مع اتجاه حركة النباتات على الحواجز ، وتخلق اختلافات واسعة في تراكيز الأملاح ضمن مسافات قصيرة .

TABLE 7.8 Relative Tolerance of Plants to Boron [42]

(Listed in order of increasing tolerance)

Sensitive	Semitolerant	Tolerant
Lemon	Lima bean	Carrot
Grapefruit	Sweet potato	Lettuce
Avocado	Bell pepper	Cabbage
Orange	Pumpkin	Turnip
Thornless blackberry	Zinnia	Onion
Apricot	Oat	Broadbean
Peach	Milo	Gladiolus
Cherry	Corn	Alfalfa
Persimmon	Wheat	Garden beet
Kadota fig	Barley	Mangel
Grape	Olive	Sugar beet
Apple	Ragged Robin rose	Date palm
Pear	Field pea	Palm
Plum	Radish	Asparagus
American elm	Sweetpea	Athel
Navy bean	Tomato	
Jerusalem artichoke	Cotton	
English walnut	Potato	
Black walnut	Sunflower	
Pecan		

جدول (7 – 8) تحمل النباتات النسبي للبورون (مسجلة حسب ازدياد التحمل)



شكل(7 – 2)توزيع الملح تحت اخدود الري لنبات القطن حيث الرمل مملح بدائياً الى 0.2 بالمئة ملح . 3.1 ميلـــــلي لمو / في 25 م وتسقى بالماء المتوسط الملوحة (وادليخ دفايرمان) [48]

تبادل القاعدة : — (Base Exchange)

ان الطمى الناعم ، الطفل ، والمواد العضوية التي هي جزء من الطبقات الصخرية الحاوية للماء تمتاز وتحتفظ بالكاتيونات (الايونات الموجبة) على اسطحها . وتكون الأيونات الموجبة ممسوكة بواسطة الشحنات الكهربائية الدقيقة على سطح الدقائق وعلى أي حال ، فقد تحل بواسطة أيونات موجبة تحتويها المياه الجوفية . هذا التفاعل يسمى تبادل القاعدة (أو تبادل الكاتيونات) (الايونات الموجبة) . ان الصوديوم والكالسيوم ، والمغنيسيوم هي الكايتونات الأساس .

ان اتجاه التبادل هو نحو التعادل للقواعد الموجودة في الماء وعلى المواد الأدق للمكونات المائية [23.33] عندما يسلط ماء ذو صوديوم عال على التربة ، فإن عدد أيونات الصوديوم المتحدة مع التربة تتزايد ، على حين تزاح الكمية المكافئة من الكالسيوم أو الايونات الأخرى

ان هذه التفاعلات تغير من خواص التربة مسببة اختزالاً في النفاذية [18.22.26.35] وفي الحالة المعاكسة ، يكون الكالسيوم هو الأيون الموجب السائد . هذا التبادل يحدث في الأتجاه المعاكس مكوناً تربة متلبدة وأكثر نفاذية ، ان من محاسن اضافة الـ gypsum ($CaSO_4$) الى التربة هو أنه ، بواسطة عملية تبادل القاعدة يجعل نسيج التربة وقابلية تصريفها أفضل مما هما عليه .

في المناطق الساحلية حيث مياه البحر تدخل أو تتخلل الطبقات الصخرية الحاوية على الماء . قد ينتج تبادل القاعده مياها جوفية ذات نوعية تعوض عن المزيج المباشر لمكونات مائية ثنائية . (انظر الفصل 12) .

تدهور نوعية المياه الجوفية : (Deterioration of Ground Water Quality)

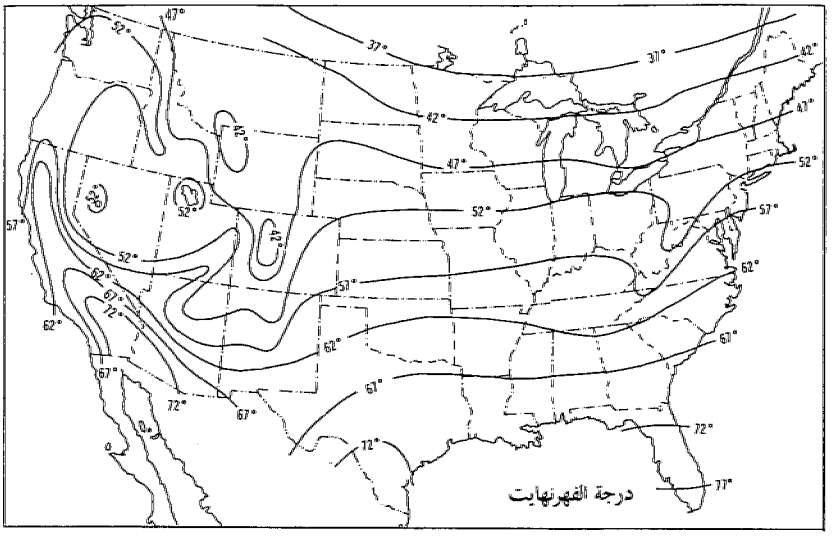
ان نوعية المياه الجوفية تعتمد على نوعية مياه المصدر ومن هنا فان التغييرات في نوعية مياه المصدر تصبح مهمة وهذه التغييرات قد تشمل مياهاً من مصدر جديد اوذات نوعية متناقضة للتجهيزات الطبيعية ، والمصادر الواضحة مثل مياه البواليع والنفايات الصناعية الداخلة الى الطبقات الحاوية على الماء ، يمكن أن تلوث تجهيز المياه الجوفية فاذا كان التلف أو الفساد منطوياً على خطورة للصحة العامة ، فان هذه المصادر يمكن وصفها بانها ملوثة للمصدر أو التجهيز ، الجدول (7 9) حدد أسباباً مختلفة للتدهور ، نوقش عدد منها بصورة أنفرادية

في أجزاء أخرى من الكتاب أكثر من أي شيء آخر . وهذه القائمة تدل على الاختلاف الواسع في أنواع التدهور وتشمل أهمية الانتباه الملائم والتحذير لوقاية تجهيزات المياه الجوفية للمستقبل . ويعتبر التلوث العضوي العام للمياه الجوفية ، نادر الحدوث بسبب الصعوبات الملازمة في ادخال كميات كبيرة من النفايات او الفضلات تحت الارض . (أنظر الفصل 11).

واذا استثنينا الطبقات المتصلبة والحاوية على الماء كما في الصخور المكسرة وحجر الكلس ، فان المواد الصلبة العالقة تزال بالترشيح ، اما البكتريا والمواد الغروية فتزال بواسطة الفعل الاحيائي . المحاليل غير العضوية ، على اي حال ، تمر بصورة جاهزة خلال التربة وحالما تدخل يكون من الصعوبة ازالتها ؛ بسبب ان التخفيف الطبيعي بطيء وعملية الغسل الصناعي باهظة (غير اقتصادية) والعلاج غير عملي . ان تاثيرات مثل هذا التلوث قد يستمر لفترات غير محددة ، لهذا فان تحري دقيق يجب عمله قبل التخلص من اي نفاية أو فضلات تحت الارض ، لكي تتاكد ان سعة خزين المياه الجوفية لايتاذى بشكل لايمكن اصلاحه .

الحرارة : (Temperalure)

من اهم المميزات التي قلما تتغير في المياه الجوفية هي الحرارة . التغيرات السنوية تحت الظروف الطبيعية هي غالبا ماتكون مهملة . والنوعيات العازلة للقشرة الأرضية تتضاءل أو تختفت نتيجة التغيرات الحرارية الشديدة الموجودة على سطح الأرض ولقد أوضحت الدراسات بان المدى السنوي للحرارة الأرضية عند عمق 30 قدم يتوقع بان يكون أقل من 1° ف . ونتيجة لتحليل آلاف التسجيلات لحرارة المياه الجوفية في الولايات المتحدة أظهرت النتائج أن حرارة المياه الجوفية الموجودة على عمق 30 – 60 قدم سيزيد عموما على معدل حرارة الهواء السنوية بواسطة 2 – 3 درجة ف هذه المعلومات تسمح بعمل خريطة مياه جوفية حرارية للولايات المتحدة موضحة في الشكل (7 – 3) . لكي تبنى او تشكل من الحقائق والبيانات المناخية ، تحت هذه الأعماق الضحلة ، فان الحرارة تزداد تقريبا درجة مئوية 100 قدم عمق انسجاما او طبقا للازدياد الحراري (Geothermal) للقشرة الارضية ، وبشكل متطرف فان حرارة المياه الجوفية تتغير من أقل من درجة الانجماد في مناطق الجمد السرمدي الى أعلى من درجة الغليان في مناطق شديدة الحرارة والمياه القريبة من الحمم .



شكل (7 – 3) الحرارة التقريبية للمياه الجوفية في الولايات المتحدة الامريكية تحت عمق ٣٠–٦٠ قدم .

(الفصل الثامن)

(الأحواض الواسعة وتطور المياه الجوفية)

(Basin - Wide Ground Water Development)

لتوفير اعظم تطوير لموارد المياه الجوفية لغرض الاستعمالات المفيدة ، ينبغي التفكير في مصطلحات لحوض المياه الجوفية باكمله ، متصورين الحوض مخزناً طبيعياً كبيراً تحت الارض.ومن الواضح أن استغلال المياه الجوفية بواسطة احد مالكي الارض سيؤثر على تجهيز الماء لكل مالكي الارض الآخرين ، ولغرض الحفاظ على المورد بصورة غير محددة فان توازناً هيدروليكيا يجب تواجده بين كل المياه الداخلة والمغادرة للحوض وفي نفس الوقت فان النواحي الاقتصادية والقانونية والنوعية يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار .

ويعّرف « صبيب الضمان» Safe Yield : بأنه كمية المياه المسحوبة من الحوض التي يمكن ان يستمر سحبها بصورة غير محددة بدون ايذاء التجهيز اومالكي الحوض . ان الضخ بصورة فائضة على صبيب الضمان هو فرط الاستغلال (overdraft).وهناك عدة طرق متوفرة لحساب صبيب الضمان تحت ظروف محددة . آخذين بنظر الاعتبار التطوير الاعظم لكل موارد المياه لمنطقة ما فان هناك فوائد اقتصادية بتنسيق استخدام خزانات المياه الجوفية والسطحية .

ان المفهوم والفكرة للفائدة المترابطة (Conjunctive Utilization) تستحق الاستقصاء في تخطيط كل تطويرات موارد المياه الجديدة بالاضافة الى تحسين الانظمة الموجودة .

صبيب الضمان وفرط الاستغلال Safe Yield and Overdraft

ان صبيب الضمان لحوض المياه الجوفية هوكمية الماء التي يمكن سحبها منه سنويا بدون احداث نتائج غير مرغوب فيها . ان اي استغلال متجاوز لصبيب الضمان يطلق عليه فرط الاستغلال (overdraft) ولأول وهلة تبدو فكرة صبيب الضمان سهلة تماماً وتدخل الحوض كمية محدودة من الماء ، ولـذلك لايمكن ضخ غير تلك الكمية .

ان اعتبار التعريف على اي حال يظهر امكان وجود اكثر من « نتيجة غير مرغوبة» من ضخ حوض المياه الجوفية ، ذلك بأن صبيب الضمان قد يحدد الى كمية أقل من صافي كمية الماء المجهزة الى الحوض ، وذلك بأن صبيب الضمان يمكن ان يتغير بتغير الظروف المتحكمة به .

اذا اعتبرت المياه الجوفية كمورد طبيعي متجدد ، فان كمية معينة فقط من الماء قد تسحب سنويا من حوض المياه الجوفية . ان كمية الماء العظمى التي يمكن استخلاصها من الخزان التحت السطحي تبقى مع ذلك محافظة على ذلك التجهيز غير الضعيف ، معتمدة على كمية صبيب الضمان .

ان مناطق فرط الاستغلال تكون المشكلة الاكبر للمياه الجوفية في الولايات المتحدة . ومالم يختزل فرط الاستغلال الى الصبيب المضمون في هذه الاحواض ، فان ضررا دائماً وانخفاضاً في تجهيز المياه يمكن توقعه حتما ..

العوامل المتحكمة في صبيب الضمان (Factors Governing Safe Yield)

ان تحديد صبيب الضمان لحوض المياه الجوفية يتطلب تحليل النتائج غير المرغوبة التي قد تتضخم اذا حدث تجاوز للصبيب المضمون وهناك اربعة عوامل تؤخذ قيد الاعتبار عموماً . وهي : تجهيز المياه المتوفر الى الحوض واقتصاديات الضخ من الحوض ، ونوعية المياه الجوفية . وحقوق المياه في الحوض وقريباً منه واذا طوّر او حوّر اي واحد من هذه الامور يخلق نتيجة غير مرغوب فيها فسيوجد ذلك فرطاً في الاستغلال .

ان قاعدة تجهيز المياه هي الاكثر اهمية وهي الاكثر تعرضا الى عملية التحديد الكمي لها .

تجهيز المياه

Water Supply

تجهيز المياه : يجب ان يكون واضحاً بان صبيب الضمان لايمكنه تجاوز معدل الفترة الزمنية البعيدة المدى لتجهيز المياه السنوي الى الحوض . ان سحوبات متجاوزة لهذا التجهيز يجب ان تأتي من الخزين ضمن التكوين المائي . مثل هذا النضوب الدائم (Permanent depletion) غالباً مايشار اليه باستخراج (mining) المياه الجوفية ؛ بسبب مشابهته الى استخراج الخامات والنفط .

في معظم الاحواض تكون كمية الماء من الخزن اضعاف كمية المياه المطعمة سنويا او المستغلة. ولهذا ، في اي سنة واحدة يمكن لكمية المياه المستغلة او المسحوبة أن تتعدى التطعيم بدون تسبيب نضوب دائم ولكن على اساس فترات طويلة (Long – termbasis) حينما تحاول سلاسل من السنين الجافة والرطبة المتعاقبة على معادلة بعضها، فان الاستغلال يصبح فرط استغلال اذا تُخطيّ معدل التجهيز (mean supply) .

ان تجهيز الماء الى الحوض يمكن ان يحدد اما بواسطة الحجم الفيزياوي للحوض تحت الارض او بواسطة المعدل الذي به يتحرك الماء خلال الحوض من منطقة التطعيم الى منطقة السحب . تعريفات صبيب الضمان اذن قد تعزى الى فكرة الكمية او فكرة المعدل . لقد فضل العالم توماس[28](Thomas) التسهيلات : مشاكل خزن ومسائل خطوط الانابيب ، على التوالي . وفي الاحواض حيث الاثنان قد يطبقان فان القيمة الاصغر هي التي تتحكم . ان فكرة الكمية اكثر اهمية عادة للتكوينات المائية – غير المحصورة ، حيث ان مناطق التجهيز والتخلص متقاربة ، على حين ان فكرة المعدل هي اكثر قابلية للتطبيق للتكوينات المائية – المحصورة حيث مناطق التجهيز والتخلص قد يكون بعضها على عدة اميال عن بعض .

النواحي الاقتصادية (Economics)

ان اعتبارات الاقتصاد قد تتحكم بصبيب الضمان في الاحواض حيث ان كلفة ضخ المياه الجوفية تصبح باهظة . اذا كان التشمير في تطوير تجهيز المياه الجوفية قد اهدر نتيجة الترك ولصالح مصادر اخرى من الماء تعتبر اكثر اقتصادية ، فان ضررا سينتج عن ذلك . تكاليف الضخ المفرطة عادة تكون مرتبطة بانخفاض مناسيب المياه الجوفية الذي قد يتطلب كذلك عملية تعميق الآبار . ان تخفيض تجويف المضخة وتركيب مضخات اكبر في الولايات الغربية من امريكا حيث الضخ بصورة كبيرة لغرض الارواء تكون الاقتصاديات الزراعية ، التي تشمل وحدات مثل اسعار المحاصيل واعانات الحقول – الحكومية ، قد ترسي حدا اقتصاديا لضخ المياه الجوفية .

ان تأسيس مثل هذا الحد لصبيب الضمان يتعلق بمواصفات الارتفاعات العظمى للضخ او مناسيب المياه الجوفية الدنيا .

نوعية الماء (Water quality)

ان صبيب الضمان يمكن ايضا ان يُجتاز اذا كان السحب او الاستغلال للحوض ينتج مياها جوفية ذات نوعية رديئة . ان اي من الاحتمالات العديدة يمكن ظهورها « انظر الفصل 7 » .

ان الضخ في التكوينات المائية الساحلية يمكن ان يستحث اقتحام مياه البحر الى الحوض ، مناسيب المياه الجوفية المنخفضة قد تؤدي الى ضخ المحاليل الملحية الحبيسة التحتية ، او المياه ذات النوعية الرديئة قد تسحب من المناطق المجاورة الى التكوين المائي نتيجة الضخ العالي .

ان تحديد النوعية بالنسبة لصبيب الضمان يعتمد على المقياس الادنى لنوعية الماء المقبولة ، التي بدورها ، تعتمد على الاستعمال المعمول به للماء المضخوخ ، من هذا – يتبع ان التغيرات في الغاية التي لاجلها يضخ الماء تستطيع التأثير على صبيب الضمان للحوض .

الحقـوق المائيـة (Water rights :

ان الاعتبارات القانونية قد تحدد صبيب الضمان اذا كان هنالك تداخل مع حقوق مياه سابقة ضمن حوض او في الاحواض المجاورة . أي تحديدات شرعية على الضخ كان ينبغي تثبيتها قبل ان يحدد صبيب الضمان . ان مشكلة حقوق المياه في المناطق المفرطة الاستغلال قد نوقشت في الفصل 13 .

اذ لم تكن هناك مشاكل اقتصادية . نوعية اوشرعية ناتجة من ضخ حوض المياه الجوفية فان تجهيز المياه المتوفر سوف يتحكم بصبيب الضمان في عدة حالات.اذ ان واحدا او اكثر من النتائج الاخرى غير المرغوبة سوف تستحث بالضخ المتعدى التجهيز . ان التحديد الـكمي لصبيب الضمان حيث يكون تجهيز المياه هو العامل المحدد يمكن عمله تحت ظروف مخصصة اذا توفرت المعرفة المناسبة لهيدرولوجية الحوض . ومعظم الطرق مبينة على حلول مبسطة لمعادلة التوازن الهيدرولوجي .

معادلة التوازن الهيدرولوجي : Equation of Eydrologic equillibrium

ان الدورة الهيدرولوجية وعناصرها قد تم مراجعتها في الفصل (1) .
باصطلاحات الدورة الهيدرولوجية لحوض معين من المياه الجوفية ، فان ثمة توازن يجب ان يوجد بين كمية المياه المجهزة الى الحوض وكمية المياه المخزونة ضمن الحوض او التاركة للحوض . ان معادلة التوازن الهيدرولوجي تمدنا بنص كمي لهذا التوازن . بشكلها الاكثر عموما يمكن التعبير عنها كما في المعادلة (8.1)

$$\left.\begin{array}{l}\text{الدفق السطحي الداخل + الدفق تحت السطحي الداخل + هطول مطر +}\\ \text{مياه مستوردة + نقص في المخزون السطحي + نقص في مخزون المياه}\\ \text{الجوفية .}\\ \\ \text{= دفق سطحي خارج + دفق تحت سطحي خارج + الاستخدام}\\ \text{الاستهلاكي + مياه مصدره + ازدياد في الخزن السطحي + ازدياد في}\\ \text{خزن المياه الجوفية .}\end{array}\right\} \quad \ldots (8.1)$$

في هذه الصيغة تشمل المعادلة كل المياه السطحية وتحت السطحية الداخلة الى الحوض والخارجة منه . وفي عدة حالات يحتمل التخلص من بنود معينة من المعادلة بسبب كونها قابلة للاهمال او بسبب كونها عديمة التأثير في حل المعادلة . على سبيل المثال ، فان تكويناً مائيا محصورا قد يكون له توازن هيدرولوجي غير معتمد على المياه السطحية المغطية ،

لذا . فان بنود الدفق السطحي ، والهواطل ، والاستخدام الاستهلاكي والمياه المصدرة او المستوردة والتغيرات في الخزن السطحي يمكن ان تحذف من المعادلة .

ان كل بند من المعادلة يمثل التصريف (الصبيب) الذي يعبرعنه بحجم الماء لكل وحدة زمن . اي وحدات متناسقة للحجم والزمن من الممكن استعمالها ، حيث ان وحدة ال : acre – feet/Year الايكر – قدم / سنة هي الشائعة في الولايات المتحـــدة . ان السنة المائية . تمتد من (1) تشرين اول الى (30) ايلول هي المفضلة على السنة التقويمية ، لغرض حساب صبيب الضمان ، فان قيم معدل فترة زمنية طويلة لكل بند ضرورية لبعض الطرق . ان المعادلة يمكن تطبيقها على المناطق بأي حجم كان ، مع انه للحصول على نتائج ذات معنى فتطبيقها على وحدة هايدرولوجية مثل تكوين مائي ، وحوض مياه جوفية ، او وادي نهر هو الافضل . ان معادلة التوازن الهيدرولوجي نظريا يجب ان تكون متوازنة . في الممارسة ، اذا امكن تقييم كل البنود ، فانها نادرا ماتتوازن بالضبط . وهذا قد يعزى الى عدم الدقة في القياسات ، والافتقار الى معطيات أساس ملائمة ، أويعزى الى تقريبات غير صحيحة .

ان مقدار عدم التوازن يجب ان لايتعدى حدود الدقة للمعطيات الاساس . ولغرض انجاز التوازن ، فان التسويات او التعديلات يجب عملها في البنود المعرضة لخطأ كبير اما اذا تجاوز عدم التوازن حدود الدقة للمعطيات الاساس فمن الضروري اجراء تحريات اضافية .

ان تطبيق المعادلة يتطلب اجتهاداً جيداً ومعطيات هيدرولوجية ملائمة ، اضافة الى تحليل دقيق لجيولوجية وهيدرولوجية المنطقة المخصوصة . ويتم هذا التحليل بعناية جيدة . ويتبين من المعادلة ان صبيب الضمان او فرط الاستغلال من حوض المياه الجوفية يمكن ان يحدد تحت ظروف حالية كما لوكان تحت اي ظروف مستقبلية محددة . كذلك يمكن تحديد أي من البنود غير المعروفة اذا كانت الاخرى كلها معروفة .

هذا التطبيق الاخير يمكن ان يكون مع ذلك مضللاً ، لان الاخطاء في واحدة أو اكثر من الكميات المعروفة قد تتجاوز هذه قيمة الكمية المجهولة .

جمع المعطيات لتحريات الحوض

Data Collection for Basin Investigations

يتطلب حل معادلة التوازن الهيدرولوجي جمعاً شاملاً للمعطيات الاساس ضمن الحوض الذي تحت الدراسة ، ان الموجز التالي يلخص أنواع المعطيات الأساس المطلوبة وطرق تحليلها ، لغرض الاستعمال في المعادلة . وكثير منها قد بني على توصيات سمسون [25] (Simpson) .

التدفق السطحي الداخل والخارج ، والمياه المستوردة والمصدرة :

Surface inflow and out flow

مثل هذه الكميات قابلة للقياس بواسطة طرق قياسية للرسم المائي (Hydragraph) والهايدروليكي ، حيث المعطيات الكاملة للتدفقات السطحية الى ومن الحوض غير متوفرة من دائرة المسح الجيولوجي أو من الوكالات الاخرى ، ومحطات قياس المجرى التكميلية (Supplemental stream gaging stations) يجب ان يتم انشاءهـــــا .

الهطول : Precipitation

تسجيلات الهطول يمكن الحصول عليها من دائرة الأنواء الجوية للمعطيات المناخية — المعايير او المقاييس (gages) يجب ان تكون موزعة بانتظام فوق حوض التجهيز لتوفر تقديراً جيداً للمعدل الوزني للهطول السنوي وباستعمال طرق مختلفة كطريقة المضلعات لتايسن (Thiessen polygon) او الطريقة التماطرية (isohyetal)* اما اذا كانت المعايير او المقاييس غير مثبتة على هذا المنوال فان محطات تكميلية يجب ان يتم تأسيسها .

الاستعمال الاستهلاكي : Consumptive Use

ان كافة المياه السطحية ، وتحت السطحية المتحررة الى الغلاف الجوي بواسطة عمليات التبخر والنتح التي تعتبر من الاستخدامات الاستهلاكية ، او التعرق (Evapotranspiration). لغرض حساب هذا التصريف من حوض معين من الضروري اولا عمل مسح لاستعمالات الارض (Land use survey) او مسح زراعي اللذين سيعطيان كمية استهلاك الماء في كل منطقة حسب نوعها . ان التصاوير الجوية (Aerial photographs) تساعد في هذه المهمة ، ثم يتم بعد ذلك تحديد قيم وحدة الاستخدام المستهلك .

للمحاصيل والنباتات الفطرية ، تكون الطرق المبنية على الحرارة المتوفرة مثل طريقة بلانسي — كردل (Blancy-Criddle) ، تكون عموما واقعية . وللمياه السطحية المحلية ، يجب ان تستخدم تسجيلات التبخر . ان المناطق المدنية والصناعية تتطلب تصريحاً دقيقاً من النماذج لمناطقها الممثلة . وبضرب قيمة وحدة الاستخدام الاستهلاكي بواسطة المساحة الاكرية (Acreage) المقابلة تعطي استهلاك الماء لكل منطقة . ان حاصل جمع هذه النتائج تعطي الاستخدام الاستهلاكي الكلي في الحوض .

---

* انظر ، كمثال على ذلك :

Linsley, R.K.,M.A. Kohler. and J.L.H. Paulhus,.
Applied Hydrology, McGraw-Hill, New Yourk, 689 pp., 1949.

التغييرات في الخزين السطحي : Changes in surface storage

ويمكن احتسابها مباشرة من التغيّر في مناسيب الماء في الخزانات السطحية.

التغييرات في الخزين تحت السطحي : Changes in subsurface storage

في الممارسة هذه محددة بالتغيرات في الخزين في منطقة الاشباع . التغيرات في محتويات الماء التي يمكن فعلا ان تحدث في منطقة التهوية (Zone of Aeration) . على اي حال ، فمن الصعوبة تحديدها على اساس حقلي ويمكن تقليلها بواسطة اختيار فترات تغير الخزن بحيث ان كمية الماء في الخزن غير المشبع عند بداية ونهاية الفترة متساوية تقريبا في المناطق التي يتم ارواؤها فان حدود الفترة يجب ان تقابل بدايات اونهايات فصول الري . ان تحديد التغيرات في خزن المياه الجوفية يمكن انجازه فقط من المعرفة المناسبة لوجود المياه الجوفية في الحوض ، وثمة دراسة جيولوجية عامة يجب عملها تشمل تحليل كل تسجيلات الآبار . ان التكوينات المائية يجب تحديدها وتعيين درجة انحصارها .

ان المعلومات السابقة عن مناسيب المياه الجوفية وتسجيلات الضخ وفحوصات الضخ ، والتطعيم الاصطناعي يجب ان يتم جمعها . ان العطاءات النوعية للتكوينات المائية غير المحصورة ، ومعاملات الاختزان للتكوينات المائية المحصورة ضمن الحوض يجب تقييمها . كذلك اختار شبكة لقياس الآبار متباعدة بحوالي ثلاثة ارباع الميل فوق الحوض تعزز بثقوب تجربة محفورة بالنفث (Jetted test holes) كلما دعت الحاجة لها . ان مناسيب الماء في هذه الآبار يجب ان تقاس تحت ظروف ساكنة تقريبا بقدر الامكان . فضلا على انه بعد فصل السحب (draft) المفرط ومرة ثانية بعد فصل التطعيم ان عددا قليلا من آبار السيطرة يجب ان تجهز بمسجلات اوتوماتيكية لمنسوب الماء اوها مناسيب الماء المقاسة شهريا لتسهيل الدراسة المفصلة لتذبذبات المياه الجوفية . ان خريطة الحوض موضحة خطوط التغير المتساوي في مناسيب المياه الجوفية تكون مهيأة بعد ذلك .

أن حاصل التغير في منسوب الماء مضروبا بالعطاء النوعي (اومعامل الاختزان) مضروبا بالمساحة تعطي التغير في خزين المياه الجوفية لكل طبقة منتظمة من الحوض . ان جمع هذه النواتج يعطي التغير الكلي في الخزين .

انظر كمثال على ذلك :

Blaney, H.F., and others, "Consumptive Use of : Water-A symposium, "Trans. Amer. Soc. Civil Engrs., Vol. 117 pp.948-1023, 1952.

التدفق الداخلي تحت السطحي والتدفق الخارجي

Subsurface Inflow and outflow

الجريان تحت السطحي الداخل والخارج :

هذه البنود من المعادلة هي الاكثر صعوبة للتقييم ، بسبب كونها لاتقاس مباشرة وغالبا ما يثبت احد هذه البنود ، اوالفرق بسبب كونه المجهول الوحيد فقط في المعادلة

وقد امكن من التحري الجيولوجي قد يكتشف بانه اما الجريان تحت السطحي الداخل او الخارج مفقوداً ، اويكونان مفقودين معاً . عدة مرات بعد الدراسة ، يمكن للجريان تحت السطحي الداخل ان يقدر بانه مساو للجريان تحت السطحي الخارج . لذا فان البنود تختزل .

ان الصعوبات تنشأ في حالات حيث الجريان تحت الارضي من احد الاحواض الى حوض آخر معروف بانه يحدث . ان اتجاه الجريان يمكن ان يحدد من انحدار مستويات الماء اوالسطح المعصاري ومن التقديرات اوقياسات الانحدارات ، والنفاذيات ومساحات المقطع العرضي للجريان.ان الجريان تحت السطحي يمكن حسابه من قانون دارسي . حيث المجاري السطحية وانظمة التصريف تحت السطحية تنظم مناسيب المياه الجوفية . ان التقدير الأفضل اوالاحسن للجريان تحت السطحي ممكن عادة بسبب توفر معطيات أكثر .

طرق حساب صبيب الضمان (Methods of Computing safe yield)

ان صبيب الضمان سبق تعريفه بتعبيرات الكمية السنوية من الماء التي يمكن سحبها من الحوض في التكوينات المائية المحصورة ، حيث الاتصال مع المياه السطحية غير موجود في الحوض والصبيب المضمون يمكن ان يعرف في مصطلحات من الضخ السنوي الاجمالي . في التكوينات المائية غير المحصورة يمكن ان يعرف صبيب الضمان بانه الاستعمال الاستهلاكي السنوي الحقيقي للمياه الجوفية المضخة رائداً المياه الجوفية المصدرة . وهذا مكافيء للضخ السنوي الاجمالي ناقصا التدفق العائد . الطرق الاتية تم تطويرها لحساب صبيب الضمان كما يأتي حيث ان التجهيز هو المقياس المتحكم في اي حوض مغطى.ان واحدة اواكثر من الطرق قد تكون قابلة للتطبيق معتمدة على الظروف الجيولوجية ، درجة تطوير المياه الجوفية ، والمعطيات المتوفرة يجب أن يلاحظ فيهما

أند على الرغم من عدم تحديدها لتقييم بند فبند اخر (item-by-item evaluation) فهي مبنية على المعادلة العامة للتوازن الهيدرولوجي ، لذا ، متى ما كان التجهيز

الى الحوض متطلباً ، فإن كل مصادر الماء الداخلة للحوض ، يجب ان تكون مشمولة .

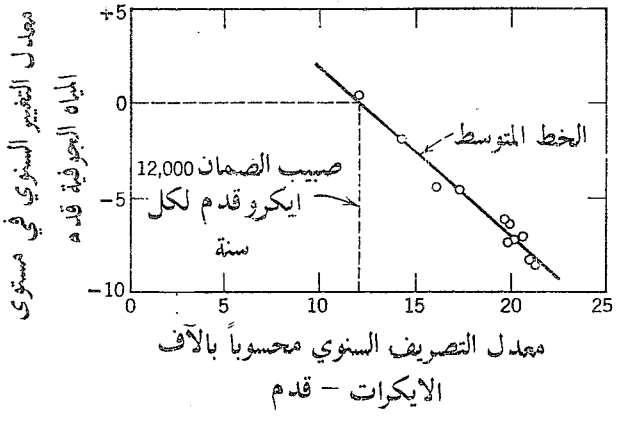
طريقة هل (Hill) المبنية على السحب والتغير في ارتفاع المياه الجوفية

Hill method-Based on Draft and Change in Ground Water-Elevation

ان هذه الطريقة كانت قد طورت بواسطة العالم هل (R.A. Hill) لتحريات المياه الجوفية في اريزونا وكاليفورنيا الجنوبية . حيث التغيير السنوي في ارتفاع مناسيب المياه الجوفية ومستوى الماء او السطح المعصاري في الحوض ترسم مقابل السحوبات السنوية (Annual drafts) . اذا كان تجهيز الماء الى الحوض ثابتاً بشكل معقول فان النقاط يمكن ان تطبق على خط مستقيم . ان السحب المقابل الى تغير الصفر في الارتفاع يساوي صبيب الضمان .

ان التجهيز خلال فترة التسجيل يجب ان يقارب متوسط التجهيز لفترة زمنية طويلة (long - time mean supply). أن الطريقة لها ميزة وهي ان السحب خلال فترة التسجيل بأكملها قد يكوّن فرطاً بالاستغلال ، مع ان اطالة الخط المستقيم المنطبق يُعرّف صبيب الضمان عند المقطع (Intercept) بالتغير الصفري في خط الارتفاع .

ان الشكل (1.8) يوضح طريقة العمل لحوض باسدينا (Pasadena) ، مقاطعة لوس انجليس (Los Angeles) ، كاليفورنيا (Calif.) .



شكل (1 – 8) حساب صبيب الضمان بواسطة طريقة هل لحوض باسادينا في لوس انجلوس ، كاليفورنيا (تونكلنج)

ان المعطيات كانت متوفرة للفترة من سنة 1922 الى 1938 رسمت كمعدلات متحركة لكل خمس سنوات تبسط التغييرات السنوية في التجهيز .
(five-year moving averages to smooth out annual variations in supply)

ان صبيب الضمان المشار اليه من 12000 ايكر قدم / سنة هو اساسياً اقل من معدل الضخ السنوي والذي هو 18500 ايكر قدم لكل سنة لذا فان فرط استغلال كبير حدث في الحوض .

طريقة هاردنك Harding المبنية على الجريان للداخل المحتجز سنويا والتغيير في ارتفاع مستوى الماء :

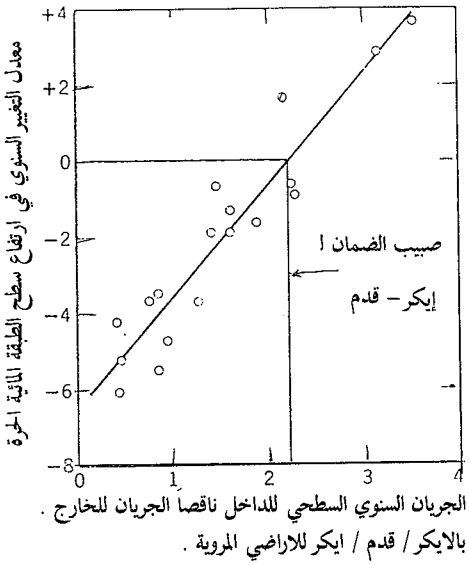
(Harding Method - Based on Annual Retained Inflow and change in Water Table Elevation).

ان العالم هاردنك S.T. Harding طور هذه الطريقة لتحليل موارد المياه الجوفية في وادي سان جاكون San Joaquin في كاليفورنيا[44] . ان القيم السنوية للجريان الداخل المحتفظ للحوض رسمت مقابل التغيرات السنوية في ارتفاع مستوى الماء مثل ما في طريقة هل Hill . فان النقاط تطبق بخط مستقيم .

والجريان الداخل المحتجز المقابل للتغيير الاصغر في ارتفاع مستوى الماء هو صبيب الضمان . ان الاستغلال على الحوض يجب ان يكون ثابتا بشكل معقول من سنة الى اخرى الذي يعني بانه لايوجد تغيرات مهمة في المساحة المروية او الاستعمال الاستهلاكي .

ان هذا الشرط يواجه في مناطق الري الجافة ، حيث تجهيزات الهطول كمية صغيرة من الماء فقط والنقص يخلق بواسطة الضخ من المياه الجوفية . ان الجريان الداخلي (inflow) المحتجز سنويا هو الفرق بين الجريان الكلي الداخلي والجريان الكلي الخارجي (outflow) ان معدل التجهيز خلال الفترة يجب ان يقارب معدل الفترة الزمنية الطويلة للحصول على تقدير جيد لصبيب الضمان . وثم تحديد مهم لهذه الطريقة ، وهي انه يجب ان يكون هنالك اتصال مباشر بين المياه السطحية وتحت السطحية محددة اياها بالتكوينات المائية غير المحصورة .

وكمثال على هذه الطريقة ماقدمه (انكرسون[15]) (Ingerson) لمنطقة نهر تول (Tule River - Dear Creek) بوادي سان جاكوين (San Joaquin) في كاليفورنيا والموضح في الشكل 2.8 . لقد غطت المعطيات فترة مقدارها (18) سنة ، ، من 1921 الى سنة 1939 . ان الجريان تحت السطحي قد اهمل ، لذا فان الاحداثي السيني يوضح الجريان السطحي الداخل السنوي (Annual Surface inflow) ناقصا الجريان الخارج لكل ايكر مروي . وبالامكان ملاحظة أن صبيب الضمان قد ساوى — 2.22 acre - ft/acre



شكل(2 – 8) حساب صبيب الضمان بطريقة هاردنج لنهر تول في وادي سانجاكوين في كاليفورنيا (انكرسن 15)

على اية حال فان معدل الجريان الداخل المحتبس سنويا يساوي الى 1.53 acre - ft/acre
ان فرط الاستغلال هذا ينتج 2.06 ft كمعدل تخفيض سنوي لمستوى الماء لفترة (18) سنة .

الطريقة المبنية على التذبذب الصافي الصفري لمستوى المياه الجوفية :

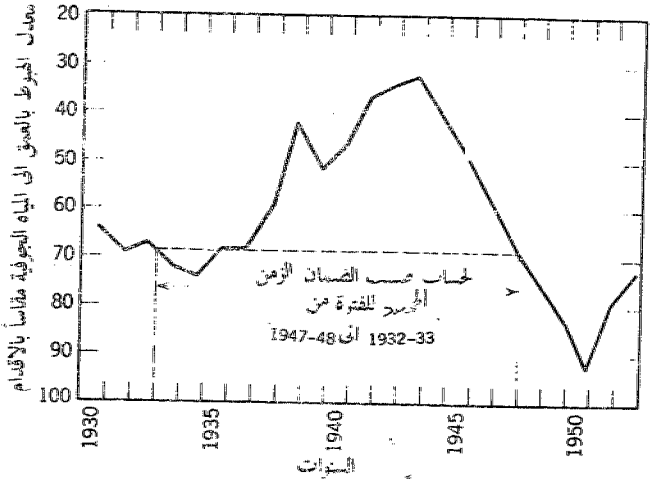
Method Based on Zero Net Ground Water-Level fluctuation

اذا كان ارتفاع المياه الجوفية عند بداية ونهاية فترة من الوقت ، المعادلة بالغة عدة سنوات في الأقل ، هي نفسها ، فان معدل الاستغلال الصافي السنوي على الحوض هو قياس لصبيب الضمان . للتكوينات المائية غير المحصورة ، اذ أن الاستغلال الصافي هو الاستخدام الاستهلاكي للمياه الجوفية المضخة يضاف اليها مياه جوفية مصدرة للتكوينات المائية المحصورة هو الضخ الاجمالي .

ان معدل التجهيز السنوي يجب ان يقارب معدل الفترة الزمنية الطويلة . والاستغلال قبل الفترة وبعدها يجب ان يصل الى ظروف فرط الاستغلال .

كتقدير لصبيب الضمان لوادي سانتا كلارا (Santa Clara) الجنوبي في كاليفورنيا ، فقد هيأت المعطيات في الشكل 3.8 . ان مستويات المياه الجوفية في الفصول 1933 –

1932 و 1948 – 1947 كانت متساوية تقريبا . لذا ، فان معدل الاستغلال الصافي السنوي لمساحة 14600 إيكر/قدم خلال الفترة بين هذه الفصول . متى ماصححت الفروقات بين المعدل وقيم الفترات للترشيح والهطول وكذلك للتغيرات الصغيرة في خزين المياه الجوفية . فقد اعطت صيب الضمان بقيمة 39,300 إيكر–قدم .



شكل (8 3) توضيح صيب الضمان معتمداً على التراوح الكلي للمياه الجوفية من الصفر في وادي سانتا كلارا ، كاليفورنيا (هيلي والأخرين 13)

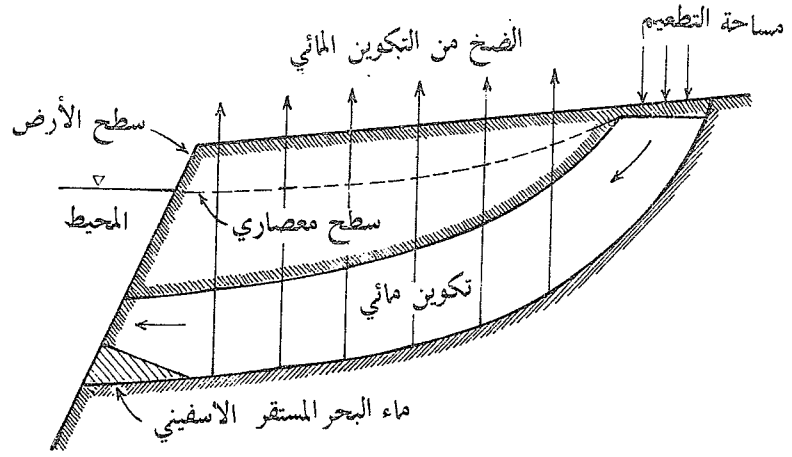
معدل الزمني للتصريف الكلي خلال الزمن الاختلاف بين المعدل السنوي ومتوسط الترشح

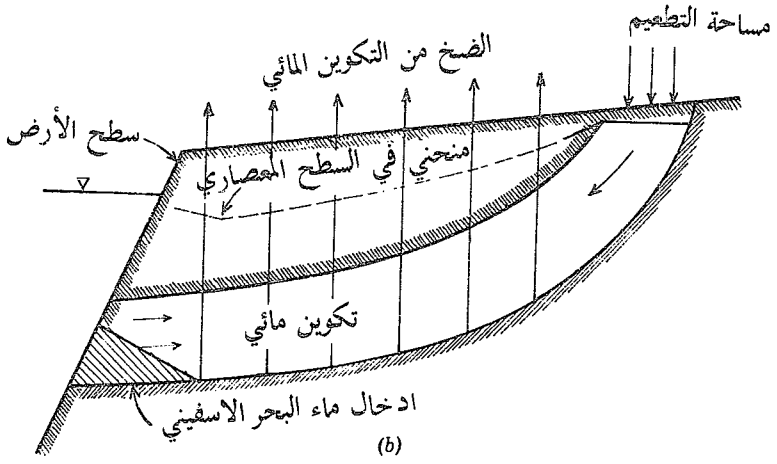
الاختلاف بين المعدل السنوي ومتوسط الترسيب معدل خزن المياه الجوفية في التغير الزمني

طريقة سمبسون المبنية على غور الضخ في التكوينات المائية الساحلية :

(Simpson Method-Based on a Pumping Trough in a Coastal a Aquifers).

ان فرط الاستغلال في التكوينات المائية الساحلية الممتدة الى المحيط يؤدي الى اقتحام مياه البحر متى ماوقع مستوى الماء أو مناسيب السطوح المصارية تحت مستوى سطح البحر (انظر الفصل 12) . اما صيب الضمان فيمكن حسابه بالطريقة المتطورة بواسطة سمبسون T.R. Simpson خلال التحري في وادي نهر سالیناز Salinas في كاليفورنيا افترض وجود تكوين مائي محصور يقطع الساحل ، كما هو مبين في الشكل 8.4 . ومتى ماساوى استغلال الحزض صيب الضمان فان السطح المصاري ينحدر الى الأسفل باتجاه المحيط (الشكل 8.4 a) ولذا فان كمية صغيرة من الماء المذب تضيع في المحيط لكي تثبت موقع اسفين مياه البحر هذه العلاقة قد وصفت في الفصل ١٢) تحت ظروف فرط الاستغلال . فرط الاستغلال . على اي حال فان الجريان أسفل الوادي (Down - valley flow) اقل من السحب ، مسبباً هبوط السطح المصاري . وان غور ضخي كما هو مبين في الشكل (4.8) b





شكل (4 8) توضيح (a) صبيب الضمان (b) حالة فرط الاستغلال في التكوين المائي المحصور ماراً بالساحل

سيتكون . أما من حيث موقعه وأبعاده فهو محدد بواسطة شكل ومقدار ضخ الحوض من المهال المائي . فمن الواضح أن السحب على الجانب الداخلي (inland) للغور مجهز بواسطة الجريان أسفل الوادي من منطقة التطعيم ، على حين أن السحب على جانب اتجاه البحر، من الغور يأتي من المياه الجوفية المتحركة داخلاً من البحر . ان الفعل الأخير يجعل إسفين مياه البحر يمتد أكثر الى داخل التكوين المائي . ان الآبار القريبة من الساحل تبدأ الضخ عالية الملوحة من التكوين المائي ، ولذا يجب ان تترك أو تهجر .

ويتبع بعد ذلك ان استغلال الحوض تماماً سابق لظهور الغور او في نفس الوقت بعد اختفائه هو صبيب الضمان .

في وادي نهر سالیناز Salinas حيث التكوين المائي الرئيسي له شكل يشبه ذلك الموضح في الشكل 8.4 لوحظ أن غور الضخ يتكون كل ربيع كلما تقدم موسم الأرواء ويقلص كل هبوط بعد ذروة موسم الري عند وجود الغور. فان الاستغلال داخل من الغور قد حدد من آبار سيطرة ممثلة ، ويعبر عنه بـ (الجريان المستمر اسفل الوادي) في نفس الوقت ، فان معدل انحدار السطح المعصاري من منطقة التطعيم الى خط المركز للغور قد تم قياسه . ان هذه القيم قد ادخلت في معادلة دارسي للحصول ، بالتقريب على حاصل ضرب معامل النفاذية ومساحة المقطع العرضية (KA) وبالنهاية فان الانحدار المعصاري للداخل قد قيم لاختفاء الغور ، أي حينما كان ارتفاعه الى مستوى سطح البحر وموقعه عند الساحل.

وبتعويض هذا الانحدار وقيمه (KA) المحددة سابقا في معادلة دارسي ، يمكن الحصول على الاستغلال الذي هو صبيب الضمان. وثم مثال مأخوذ من سمبسون Simpson هو الآتي :

الملاحظات :

تاريخ قياس الغور :- 3 حزيران 1945

الجريان المستمر في اسفل الوادي : 250 قدم^3 / ثا .

ان الفرق في الارتفاع للسطح المعصاري من منطقة التطعيم الى خط مركز الغور: 104.5 قدم . والمسافة من منطقة التطعيم الى خط مركز الغور : 130,000 قدم .

لذا ، يتبين من قانون دارسي أن :

$$KA = \frac{Q}{h/L} = \frac{250}{104.5 / 130,000} = 311,00 \text{ قدم}^3 / \text{ثا}$$

حساب صبيب الضمان

ان فرق ارتفاع السطح المعصاري من منطقة التطعيم الى مستوى سطح البحر = 100 قدم . والمسافة من منطقة التطعيم الى خط الساحل هي : 135,000 قدم . KA (من اعلى) = 311,000 قدم^3 / ثا .

لذا فان صبيب الضمان =

$$\text{Safe yield} = Q = KA\ h/L = 311,000 \left(\frac{100}{135,000} \right) = 230 \text{ قدم}^3 / \text{ثا}$$

ان التجهيز من منطقة التطعيم عند وقت ملاحظة الحوض يجب ان تقارب معدل الفترة الزمنية الطويلة. ان الطريقة فريدة من نوعها من حيث أنها مبنية على قانون دارسي ، ولكنها لا

تتطلب تحديداً مفصولاً لمعامل النفاذية ومساحة المقطع العرضية . وقد أمكن تطبيقها على التكوينات المائية الساحلية غير المحصورة على شرط أن كل الجريان الداخل اساسا هو جانبي وينشأ من مصدر ذي ارتفاع منتظم تقريبا. وحتى توجد احتمالية بان الطريقة قد تبرهن فائدتها للتكوينات المائية الداخلية ، بحيث تؤخذ الاعتبارات الشرعية التي تحدد او تعيّن الاستغلال على الحوض بحيث لاتستحث أي جريان داخل من حوض مجاور .

الطريقة المبنية على قانون دارسي : Method Based on Darcy's Law

اذا كان الجريان الداخل الى الحوض جانبيا والاتجاه معلوم، فان صبيب الضمان يمكن الحصول عليه من معدل الجريان الداخل الطويل الأمد بواسطة قانون دارسي . حيث أن معدل الممال المائي النفاذية ، ومساحة المقطع العرضية العمودية على الجريان يجب أن تكون معلومة. وهذه التغييرات تحدد من مناسيب المياه الجوفية ، والضخوخ التجريبية ، والمعطيات الجيولوجية على التوالي . وهذه الطريقة مؤاتية اكثر للتكوينات المائية المحصورة التي لها جريان أحادي الاتجاه. ان المسح الجيولوجي قد طبق هذه الطريقة في عدة مناطق لتحديد عطاءات الآبار (well yield) والفراغات التي بينها .[2]

طريقة مبنية على العطاء النوعي ومعدل الارتفاع السنوي في مستوى الماء :

Method Based on Specific Yield and Average Annual Rise in Water Table

في التكوينات المائية غير المحصورة حيث التطعيم السنوي مستمر يمكن التعبير عنه بحاصل ضرب العطاء النوعي ، والارتفاع السنوي في مستوى الماء ، ومساحة التكوين المائي. ان العطاء النوعي يمكن تحديده من خلال الطرق المشروحة في الفصل (2).

ان التغيرات الناتجة في مستوى الماء يمكن قياسها في آبار المراقبة او الملاحظة (Observation wells) والامتداد المساحي للتكوين المائي يمكن ايجاده من المعطيات الجيولوجية ان معدل الارتفاع السنوي يجب ان يقارب متوسط الزمن الطويل ان هذه الطريقة قد استخدمت بواسطة كيزمان (Kazmann) ، لتقدير صبيب الضمان لوادي نهر ميامي (Miami) قرب هاملتون (Hamilton) او هايو Ohio .

متغيّرية صبيب الضمان : Variability of Safe Yield

من النادر ان أي قيمة مفردة لصبيب الضمان من حوض المياه الجوفية يمكن بقاء صحتها لفترة ممتدة . ان اي تحديد لصبيب الضمان مبني على ظروف محددة، اما موجودة

او مفترضة ، وأي تغيرات في هذه الظروف سوف تغير صبيب الضمان . هذه الحقيقة تطبق على درجة وشكل تطور المياه الجوفية ضمن الحوض كذلك على عوامل اخرى تم شرحها سابقا ، تلك العوامل تتحكم بصبيب الضمان، حتى أن هبوط (Land subsidence) الأرض ناتج عن مناسيب المياه الجوفية المنخفضة (انظر الفصل 6) التي يمكن أن تفرض حدا. ان فكرة ومفهوم صبيب الضمان قد انتقدت بعنف [10.17] . حيث ان الصعوبة الرئيسة تنشأ بسبب تفسيرها تفسيراً خاطئا بواسطة اشخاص غير مطلعين على هيدرولوجية المياه الجوفية كما تعني تجهيزاً ثابتاً للمياه تحت الأرضية .

ان معظم طرق تقدير صبيب المياه مبنية على تحليل للمعطيات الهيدرولوجية لعدة سنوات واستخدام المياه الجوفية في الحوض .

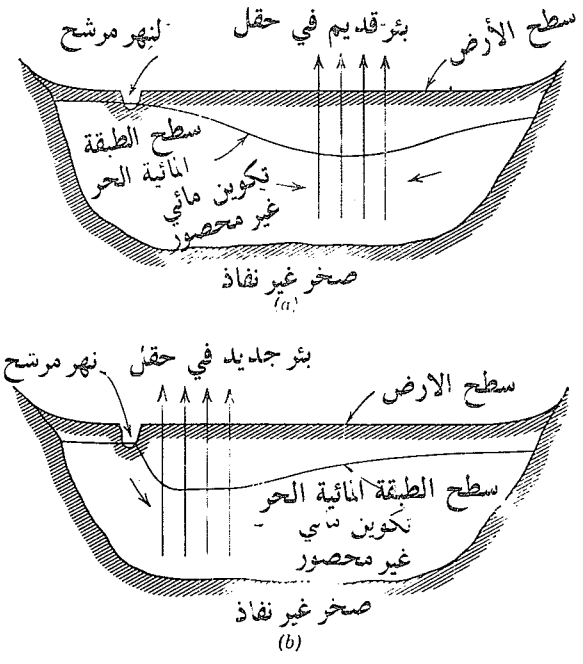
ربما لسوء الحظ أن معظم التحريات للتحقق من صبيب الضمان لاتبتدىء الى ان ينتج تطور الحوض فرطا في الاستغلال، مع ان هذا ضروري لكي يمكن الحصول على قيمة مضبوطة لصبيب الضمان .

ان العالم كونكلنج [9] (Conkling) اشار الى انه من الصعب جداً تحديد صبيب الضمان في حوض باكر (Virgin basin) واحد مملوء بالماء بتوازن – موجود بين الجريانين الطبيعيين الداخل والخارج ولا يوجد فيه اي ضخ . وبنفس الشيء فان تقدير صبيب الضمان المستقبلي للحوض تحت التطور الأعظم بالقياس الى الوقت الحاضر يتطلب تقييماً دقيقاً للبنود في معادلة التوازن الهيدرولوجي .

في الأحواض حيث كمية الماء في الخزان تحت الأرضي تتحكم بصبيب الضمان ، ان تخفيض مناسيب المياه الجوفية سيزيد من تجهيز المياه بزيادة الجريان الداخل تحت السطحي وانخفاض الجريان الخارج تحت السطحي ، بازدياد التطعيم من الجداول المرشحة (influent streams) وتقليل التصريف الى الجداول المتدفقة (effluent streams) ، وبواسطة اختزال خسائر البخار الناتج من عملية التعرق (evapotranspiration) غير الاقتصادي وعلى العكس من ذلك ارتفاع في مناسيب المياه اذ سيكون له تأثيرات معاكسة . لذا ، فحيثما يكون التطعيم كافياً وكلما كان استخدام المياه الجوفية اكبر . ازداد حجم صبيب الضمان . ان القسم الأعظم سيكون مسيطرا او متحكماً بواسطة وقوعات ضخ اقتصادية ، ونوعية الماء او الاعتبارات الشرعية . ان حوضاً غير محصور (Unconfined) مغذى بمصدر مناسب للتطعيم يستطيع ان يزيد من صبيبه المضمون . ليس فقط بزيادة الضخ ولكن ايضاً باعادة تنظيم اشكال الضخ (pumping patterns) . واذا حُرف تركيز الآبار الى قرب مصدر التطعيم ، فان جرياناً للداخل اكبر

سيستحث . ان اعادة التنظيم ميزة اضافية ، وهي ان التجهيز الاكبر قد يمكن الحصول عليه من دون ضرورة زيادة وقوعات الضخ . على سبيل المثال ، في المقطع العرضي المبين في الشكل (5.8) a حيث افترض ان الجدول هو مصدر التطعيم الاساس . وبنقل حقل الابار ليكون اقرب الى الجدول كما في الشكل (5.8) b ازداد انحدار مستوى الماء ونتج عطاء اكبر لنفس اعماق الضخ . للتكوينات المائية المحصورة مع منطقة التطعيم الواقعة على مسافة ما من المنطقة الضخية ، فان معدل الجريان خلال التكوين المائي سيتحكم بصبيب الضمان . في التكوينات المائية المحصورة والكبيرة – نسبياً يمكن استمرار ضخ من الخزان لعدة سنوات بدون ترسيخ او تأسيس توازن مع تطعيم الحوض .

وعلى الرغم من أن ميل السطح المعصاري سيزداد ، فان نفاذية التكوين المائي نادرا ما تكون كافية للمحافظة على الجريان المكافيء او المعوض (compensating flow) في الحوض لقد وصف توماس[28] (Thomas) عدة احواض في الولايات المتحدة حيث تتواجد هذه الحالة في تلك الاحواض . بيكر[2] (Baker) اوضح ان التعديلات تدريجية



شكل (5 – 8) مثال على زيادة انتاج المياه الجوفية لنفس عمق الضخ مستخلصة من ابتعاد الابار من مصدر التطعيم

ودقيقة في الحوض غالباً ماتغيرمن صبيبه المضمون . والتغيرات في النباتات وحتى في المحاصيل خصوصا عندما يكون عمق الجذر مؤثرا . وهي تؤثر على الترشيح السطحي والترشيح اللاحق الى مستوى الماء .

ان تحضر وتمدن منطقة ما ، مصحوباً بجريان سطحي اعظم وانشاء البواليع للامطار الغزيرة من المتوقع ان يختزل التطعيم . التغيرات في الغاية من ضح المياه الجوفية ، مثال ذلك تغير الاستعمال الاروائي الى الاستعمال المحلي او الصناعي الذي قد يشكل نقطة اقتصادية تسمح برافعات ضخية اكبر ، وبالتالي ، فان صبيب الضمان يمكن ان يزداد . وثمة عوامل اقتصادية اخرى تشمل التغيرات في قيمة المحاصيل المروية وزيادة الكفاءة للابار الجديدة والمضخات .

الاستعمال المتحد لمستودعات المياه الجوفية والسطحية :

Conjunctive Use of Surface and Ground Water Reservoirs

في الولايات المتحدة الغربية ، الطلبات المستقبلية للمياه الجوفية لايمكن مواجهتها كليا من خزانات سطحية جديدة ، حيث ان مواقع خزن ملائمة اقتصادياً غير موجودة . ان التطور الاعظم للمياه يمكن الحصول عليه فقط بواسطة الاستعمال المتحد او المتلاحم لمستودعات المياه الجوفية والسطحية . بصورة أساس يتطلب هذا خزانات سطحية لجمع جريان الجدول الذي ينقل بعد ذلك الى خزان المياه الجوفية بمعدل امثل .

الخزان السطحي يجهز معظم متطلبات المياه السنوية ، في حين ان مستودعات المياه الجوفية التي غالباً ماتكون اكبر بعدة مرات* من سابقتها والتي يمكن استبقاؤها بصورة رئيسية للخزن الدوري والذي يغطي سلسلة من السنوات التي يكون هطول المطر خلالها دون المعتاد . وهكذا فان مناسيب المياه الجوفية يمكن تخفيضها خلال دورة من السنين الجافة ورفعها خلال الفترة الرطبة التالية . ان المعدل الأمثل للنقل من الخزن السطحي الى خزين المياه الجوفية يجب ان يكون كبيراً بما فيه الكفاية ، بحيث يمكن للخزانات السطحية ان تسحب بصورة كافية للاحتفاظ بالجريان العالي المقبل وللحصول على اقصى نقل عملي يجب ان يتم تطعيم الماء اصطناعيا الى الارض . والطرق الشائعة تشمل : نشر المياه في برك او احواض للترشيح والنفوذ الى المياه الجوفية ، حفر لتطعيم وآبار التطعيم والجريان العائد من الري . التسرب من القنوات والخزانات هوالاخر يعتبر تطعيما اصطناعيا

---

* مثال ذلك في الوادي المركزي في كاليفورنيا ، حيث أن السعة التامة للمياه الجوفية قد تم تقديرها بما يساوي 13000000 ايكر – قدم أوأكثر من أربع مرات 30000000 ايكر – قدم للخزين السطحي والذي تم تخطيطه لمشروع في عموم وسط الوادي.

للمياه الجوفية . الطرق الحاضرة غير مثالية لحد الآن ، وعلى اي حال فالمتوقع ان تحسن الابحاث معدلات التطعيم وبالتالي تقلل التحديدات الفيزياوية والاقتصادية .

ان التطعيم الاصطناعي قد جرى بحثه في الفصل 11 .

ان الاختلاف الأساس بين التطوير الاعتيادي للمياه السطحية مع تطوير المياه الجوفية المرتبطة بها والعمل المترابط لمستودعات المياه السطحية والجوفية هو ان العطاءات الكثيرة المنفصلة السابقة قد يستعاض عنها بعطاء مشترك اكثر اقتصاديا من اللاحق .

ان الخطط القصوى لتطوير تجهيزات المياه في كاليفورنيا يعزى الى الاستعمال المتحد لمستودعات المياه السطحية والجوفية [3,10,29] . ان تنسيقا كهذا سيجهز مياها اكثر بسعر اقل مما يمكن تحصيله بأي طريقة اخرى . ان الاستعمال المتحد او المترابط يتطلب الشيء القليل في طريقة التسهيلات الخاصة فضلا عن التطعيم الاصطناعي . واكثر من ذلك فالقضية قضية تشغيل مناسب لأقصى فعالية – لخزانات المياه السطحية والجوفية . ان التدرب على الاستعمال المترابط يتطلب تحليلا دقيقا لتجهيزات المياه ، ومتطلبات المياه ، والظروف الجيولوجية . وحيث ان كل مشروع لتطوير المياه هو شيء فريد فانه من المستحيل تقديم اعتبارات اقتصادية عامة فيما يخص التشغيل المترابط وجعلها تطبق على وجه التخصيص لأي وضع معطى . ومع ذلك فانه من الممكن تلخيص الاعتبارات الاساس مما يمكن مواجهة . ان الخطوط العامة الآتية للعوامل الاقتصادية السلبية والايجابية تقارن الاستعمال المترابط نسبة الى تطوير التجهيزات السطحية فقط ، وليست جميعا بطبيعة الحال يمكن تطبيقها الى اي وضع معطى.

هذا الملخص يستند على اعمال كلندنن [5,6] (F.B. Clendenen).

العوامل الاقتصادية السلبية للاستعمال المترابط : –

Positive Economic Factors of Conjunctive Use

أ– حفظ اعظم للمياه – تشغيل كلا من المستودعات تحت الارضية والسطحية لتوفير يخزن كميات اكبر من المياه .

ب خزن سطحي اصغر – خزين المياه الجوفية يمكن تزويد متطلبات المياه خلال سلسلة من السنين الجافة .

جـ– نظام توزيع سطحي اصغر – استخدام اعظم للمياه الجوفية من الابار الموزعة بصورة متباعدة .

د- نظام تصريف اصغر - الضخ من الآبار يساعد في السيطرة على مستوى الماء .

هـ- بطانة قناة مختزلة - النضوج من القنوات هو شيء مساعد ؛ وذلك لأنها تجهز التطعيم الاصطناعي للمياه الجوفية .

و- السيطرة العظمى على الفيضان - تحرير المياه السطحية المخزونة للتطعيم الاصطناعي يتطلب تحفظاً اقل للسيطرة على الفيضان وتعمل على حفظ الماء والحماية من الفيضان معا

ز- تكامل جاهز مع تطوير موجود - على العموم فان التشغيل المترابط يحدث بعد تطور الحوض الواسع ، ولكن التكامل يمكن ان يعمل ليزيد من تجهيزات المياه بدون خسارة الاستثمار في المشاريع الضخمة .

ح- التطور المرحلي يسهل الانجاز النهائي للمشاريع الذي قد يستغرق (20) الى (40) سنة ، لذا ، فان التطور بمراحل مرغوب حيث انه اختزال للجهد العديم الجدوى للمشروع ، الانشاء المرحلي للخزانات السطحية ذوكلفة باهظة ولكن يمكن تقليله بخزانات اصغر .

ط- خسائر تعرق (evepotranspiration) أصغر - خزن اعظم للمياه الجوفية مع مناسيب المياه الجوفية المنخفضة سيقلل من الخسائر .

ي- سيطرة اعظم على الجريان الخارج - الخسارة السطحية والدفق الخارج تحت السطحي قد اختزلت بالاستعمال المترابط ، لذا فانها توفر حفظ اكبر للماء .

ك- تحسين حمل الطاقة وعوامل استعمال المشروع الضخي - في مناطق يمكن أن تزود اما بواسطة المياه السطحية او الجوفية فان المياه السطحية يمكن استعمالها للارواء خلال فترات طلب ذروه الطاقةpeak power لينتج توفير في تكاليف القدرة .

ل- تقليل خطر عجز السدود - اذا ماحدث اخفاق في اي وقت ، كلما كان السد وخزن الخزانات اصغر كان الضرر اصغر .

م- تقليص انتشار بذور الاعشاب الضارة الدغل - مع نظام انتشار سطحي اصغر هناك فرصة اقل لانتشار بذور الاعشاب الضارة (noxious weed seeds)

ن- توقيت افضل لتوزيع المياه - حيث ان الساقي (irrigator) يفضل ان يكون له ماء متوفر متى ماارادة ، مثال ذلك الماء المأخوذ من المضخة على مواعيد ، والجاري في قنوات سطحية .

العوامل الاقتصادية السلبية للاستعمال المترابط :-

Negative Economic Factors of Conjunctive Use

أ- قوة كهرومائية اقل الخزانات السطحية الاصغر تولد طاقة اقل وعملية الاستعمال المترابط تجهز قوة اقل ثباتا .

ب – استهلاك اعظم للطاقة – ضخ اكثر ومن اعماق اعظم .

جـ – كفاية قليلة للضخ – تذبذبات كبيرة في مناسيب المياه الجوفية تقلل من الكفاية الضخية.

د – تمعدن اعظم للمياه – المياه جوفية المطعمة طبيعياً أو اصطناعياً تحوي مواد صلبة مذابة اكثر مما هو موجود في المياه السطحية .

هـ – تعقيد اكثر في تشغيل المشروع – اشراف اعظم لتشغيل المشروع يكون مطلوبا واعمال التطعيم الاصطناعي تحتاج الى ادارة دقيقة .

و – صعوبة اكثر لتحديد الكلفة – اختلاف تجهيزات المياه من مصدرين مختلفين يتطلب تحليلاً لتثبيت معدلات المياه العادلة .

ز – التطعيم الاصطناعي يكون متطلبا – وهذا يكون مكلفا لتشغيل ، صعب الانجاز على الارض المحتوية تربة تحت سطحية غير نفاذة نسبيا ، ويشغل مكانا من الارض والتي لولا ذلك لتم توفيرها للاغراض الزراعية .

ح – الخطر من هبوط او خسوف الارض – مناسيب المياه الجوفية المختزلة ، خصوصا في التكوينات المائية المحصورة ، قد يشجع هبوط الارض التي تستطيع ان – تسبب اضرارا للقنوات والاعمال السطحية الاخرى .

ان العمل لتطوير عملية استعمال مترابط سليم يتطلب تخميناً للعناصر المختلفة لتجهيز الماء والتوزيع . ان عملية التجربة تنفذ بافتراض تواجد ظروفاً خلال فترة الجفاف الاكثر حرجا للتسجيل . والتقديرات الابتدائية تحوّر الى ان يمكن الحصول على استخدام عملي للماء باكثر فاعلية . أمثلة على طريقة العمل يمكن ان توجد في دراسات – بواسطة توماس وكلفدنن [29] (Thomas و Clendenen) .

الفصـــل التاســـع
التحـريات السطحية عن المياه الجوفية

بواسطة العمـل فوق سطح الارض وفـي بعض الاحيـــان مـــن المحتمـل تحديد مكان تواجد المياه الجوفية ، وتحت ظروف خاصة من الممكن الحصول على معلومات حول نوعية الماء .

استقصاء المياه الجوفية من السطح هي في أحسن الاحوال ليست سهلة وليست نتائجها ناجحة دوما ، على اي حال ، مثل هذه الطرق هي عادة ذات كلفة اقل من الاستكشاف تحت السطحي ، والطرق الجيوفيزيائية تطورت في الثلاثين سنة الاخيرة لاغراض الاستكشاف النفطي والمعدني واثبتت فائدة في تحديد وتحليل المياه الجوفية وعلى الرغم من ان هناك عدة طرق يمكن سردها تحت موضوع الجيوفيزياء فان المقاومة الـكهربائية وطرق الانكسار الزلزالية فقط لها اكثر من تطبيقات محدودة للمياه الجوفية والبحث والاستطلاع الجيولوجي تمثل الاقتراب الثاني للمسألة .

اما الاقتراب الثالث فهو مبنى على تفسير الصور الجوية لسطح الارض ، وجميع هذه الطرق تحقق فقط دلائل غير مباشرة للمياه الجوفية ، كما ان الحقائق أو البيانات الهايدرولوجية لتحت الارض يمكن استنتاجها من المعلومات السطحية .

والتفسير الصحيح يتطلب بيانات تكميلية من الاستقصاء تحت سطحي والموصوفة في الفصل 10 نتائج السطح .

الاستكشـــاف الجيـــوفيزيائي : — Geophysical Exploration

الاستكشاف الجيوفيزيائي يعود الى القياس العلمي للخواص الفيزيائية للقشرة الأرضية لغرض التحري عن ترسبات المعادن اوالتراكيب الجيولوجية 7.16.18 ، مع استكشاف النفط بواسطة الطرق الجيوفيزيائية في سنة 1926 للضغوط الاقتصادية لتحديد مواقع النفط وترسبات حفزت على تطوير وتحسين العديد من الطرق والاجهزة الجيوفيزيائية وان تطبيق استقصاء المياه الجوفية كان بطيئا بسبب القيمة التجارية للنفط ورجوحه على الماء ، وفي السنوات الاخيرة على اي حال وكنتيجة لتحسين التكنولوجيا الجيوفيزيائية اضافة الى ازدياد التعريف بمحاسن الطرق لدراسة المياه الجوفية قد غيرت الحالة ، وحاليا هناك عدة منظمات مسؤولة عن تجهيز طلبات الماء مستخدمة الطرق الجيوفيزيائية ، ان الطرق هي غالبا غير مضبوطة وصعبة التفسير وهي اكثر فائدة متى كمل بواسطة الاستقصاء تحت سطحي .

ان الطرق الجيوفيزيائية تتحسس الفروقات او الشذوذ للخواص الفيزيائية ضمن القشرة الارضية كالكثافة ، والمغناطيسية ، والمرونة ، وقابلية المقاومة الكهربائية وهي صفاة تقاس على الأغلب الخبرة والبحـــث مكن من تفسير الاختلافات في الصفات بلغة التركيب الجيولوجي ، ونوع الصخور ، والمسامية واحتواء الماء ، ونوعية الماء .

طريقة المقاومية الكهربائية : — Electrical Resistivity Method

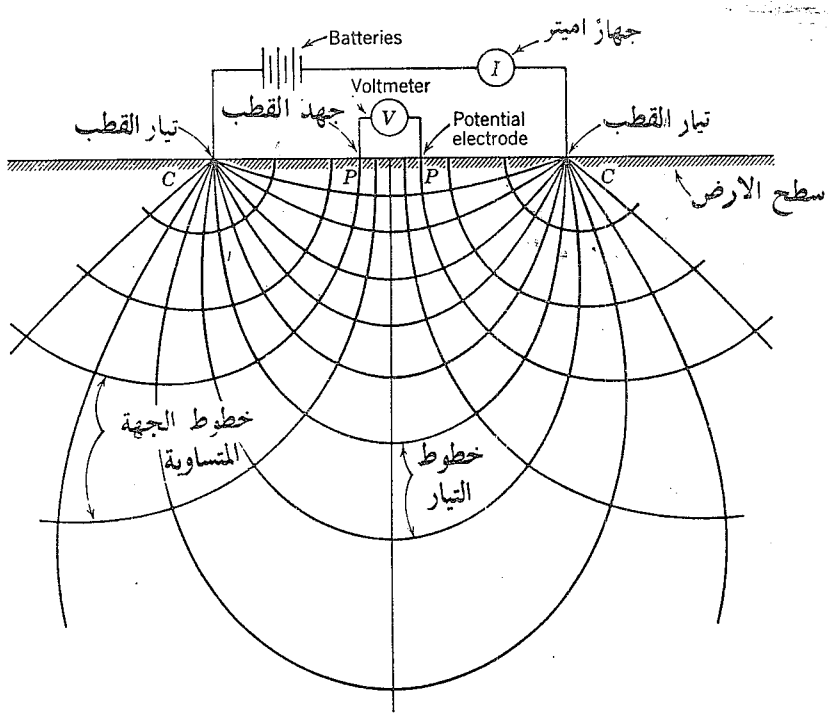
ان المقاومة الكهربائية لتكوين صخري تحدد كمية التيار المار عبر التكوين عندما يسلط جهد كهربائي ويمكن ان تعرف بأنها المقاومة بالأومات (ohms) لوجهين متقابلين من وحدة مكعبة من المادة فاذا كانت المادة ذات مقاومة (R) لها مقطع عرضي مساحته (A) وبطول (L) فالمقاومة يمكن ان يعبر عنها بالمعادلة الآتية :

$$\rho = \frac{RA}{L} \qquad \ldots (9.1)$$

في النظام المتري وحدات المقاومية هي أوم.م^2/م أو ببساطة أوم—م(ohm-m) .
ان مقاوميات تكوينات الصخور تتغير على مدى واسع معتمدة على المادة ، والكثافة ، والمسامية ، وحجم المسام ، والشكل ، ومحتوى الماء ، والنوعية ، والحرارة ، ولاتوجد حدود ثابتة للمقاوميات للصخور المختلفة . الصخور النارية المتحولة تعطي قيماً في مدى(10^{8}—10^{2}) أوم—م.والصخور الرسوبية وغير المتماسكة تكون في مدى(10^{4}–10) اوم—م ، في التكوينات المسامية نسبيا تكون المقاومية مسيطرة اكثر بواسطة محتويات الماء والنوعية ضمن التكوين اكثر من مقاومية الصخور [41] . لهذا فللتكوينات المائية والمتكونة من مواد غير متماسكة تكون فيها مقاومية المياه الجوفية هي المتحكمة مقاومية التكوينات المائية يمكن تعبيرها في مصطلحات المقاومية للمياه الجوفية والمسامية لحشوات منتظمة لحبيبات المعدن الكروية . فاذا كانت (ρ) هي مقاومية الطبقات الحاوية على الماءو (ρ_w) هي تلك المياه الجوفية (مفترضين ان تكون الفراغات كلها مملوءة و(α) هي المسامية فيمكن توضيحها كما يأتي : —

$$\frac{\rho}{\rho_w} = \frac{3-\alpha}{2\alpha}$$

وهذه العلاقة تطبق فقط في الظروف المتساوية الخصائص . وفي حالة الظروف غير المتجانسة او غير متساوية الخصائص فان توجيه التيار بالنسبة الى الطبقات سوف تنتج اختلافات مقاوميّة ان المقاوميات الحقيقية تحدد من المقاومية الظاهرة التي تحسب من قياسات فروقات التيار والجهد بين ازواج من الأقطاب موضوعة على سطح الأرض ، ان العمل يشتمل على قياس فرق الجهد بين قطبين (انظر الشكل) .



شكل (9 - 1) دائرة كهربائية لتوضيح المقاومة والمجال الكهربائي للطبقة تحت السطحية المتجانسة

ناتجا عن تيار مطبق خلال قطبين آخرين (انظر الى C في الشكل 9 - 1) ويكون الى الخارج ولكن في خط جهد الاقطاب اذا كانت المقاومية في كل مكان منتظمة في المنطقة تحت سطحية تحت الاقطاب .

شبكة عمودية ذات اقواس دائرية سوف تتكون بواسطة التيار وخطوط الجهد المتساوية كما هو موضح في الشكل (9 - 1) . ان فرق الجهد المقاس هو ذو قيمة موزونة فوق المنطقة تحت السطحية التي تكون مسيطرة بواسطة شكل الشبكة ، لذا فان التيار المقاس وفروق الجهد تعطي مقاومية ظاهرة عبر عمق غير معين . فاذا ازدادت المسافة بين الاقطاب فان اختراقا اعمق للمجال الكهربائي سوف يحدث ومقاوميّات ظاهرية مختلفة سوف تستحصل ، عموما ، فان المقاوميات تحت السطحية الحقيقية تتغير مع العمق . لهذا فان المقاوميات الظاهرة سوف تتبدل كلما زادت المسافة بين الاقطاب ، ولكن ليس في نفس السلوك . بسبب ان التغيرات في المقاوميات عند اعماق كبيرة لها فقط تأثير بسيط على المقاومية الظاهرة مقارنة بتلك التي عند الاعماق الضحلة ، فان الطريقة هي نادرا ماتكون مؤثرة في تحديد

المقاوميات الحقيقية تحت مئات قليلة من الاقدام . ان اقطاب التيار تتكون من عصي معدنية تغرس في الارض . اقطاب الجهد هي عبارة عن اقداح مسامية مملوءة بمحلول مشبع لكبريتات النحاس لكن تمنع المجال الكهربائي من ان يتكون حولها ولكي نقلل من تأثير الاستقطاب فيفضل ان يكون هناك اما تيار a – c ذو تردد واطيء او تيار مباشر معكوس يجب توفره في الممارسة ، فان تنظيمات مختلفة للمسافات بين الاقطاب يجب ان اتخذت . والأكثر شيوعاً هي تنظيمات فينر وشلمبرجر) . (Wenner & Schlumberger) ان تنظيم (فينر Wenner) كما يشاهد في الشكل 9.2a له اقطاب جهد معينة عند نقاط ثالثة بين اقطاب التيار . المقاومية الظاهرة تعطي بواسطة النسبة بين الفولتية الى التيار مضروبة بعامل المسافة ، لهذا فان المقاومة الظاهرة في تنظيم (فينر Wenner) هي :–

$$\rho_a = 2\pi a \frac{V}{I} \qquad \ldots (9.3)$$

حيث ان (a) هي المسافة بين القطبين المتجاورين (V) هو فرق الفولتية بين قطبي الجهد ، و (I) هو التيار المطبق .

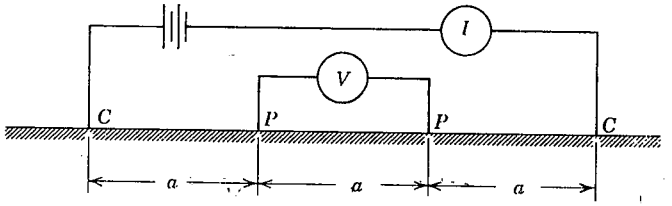
اما في تنظيم (شلمبرجر Schlumberger) كما هو واضح في الشكل 9.2 b فان له اقطاب جهد متقاربة معاً . والمقاومية الظاهرة تعطي بواسطة : –

$$\rho_a = \pi \frac{(L/2)^2 - (b/2)^2}{b} = \frac{V}{I} \qquad \ldots (9.4)$$

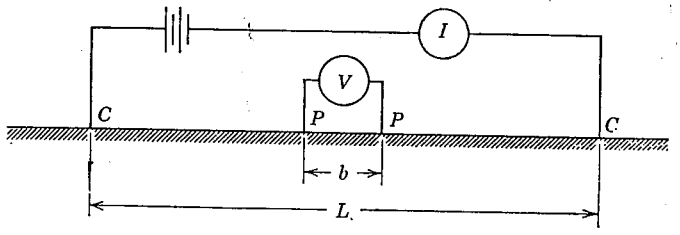
حيث ان : –

(L) و (b) هي المسافة بين اقطاب التيار واقطاب الجهد على التوالي (شكل 9.2b) . نظرياً ، (L) اكبر بكثير من (b) ($L > > b$) ، ولكن للتطبيقات العملية فان نتائج جيدة يمكن الحصول عليها اذا كانت (L) اكبر او مساوية لخمسة امثال (b) اي ان $L \geq 5b$). متى ما ثبتت المقاومية الظاهرة مقابل المسافة بين الاقطاب (a في حالة Wenner ، و L/2 في حالة (Schlumberger) لمسافات مختلفة عند موقع واحد .

فان منحني املس يمكن ان يرسم خلال النقاط . ان التفسير لمنحني المقاومية – المسافة هذا بمصطلحات الظروف تحت السطحية معقد ، (Resistivity - Spacing Curve) وغالباً مسألة صعبة ، ولكن الحل يمكن الحصول عليه في جزأين : –



(a)



(b)

شكل (2 – 9) الترتيب العام للقطب لتوضيح المقاومة
(a)طريقة فيز و(b) طريقة شلمبرجر

1 التفسير بمصطلحات الطبقات المختلفة ذات المقاومات الحقيقية (لتميزها من الظاهرة) واعماقها .

2 تفسير المقاوميات الحقيقية بمصطلحات جيولوجية تحت سطحية وظروف المياه الجوفية ، ان الجزء الاول يمكن انجازه بواسطة الحساب النظري منحنيات المقاوميات – المسافة ويحسب نظرياً لحالات 2 , 3 , 4 طبقات لنسب مختلفة من المقاوميات . المنحنيات وتوضيح أسلوب المنحني المثيل او النظير (curve-matching) نشرت بواسطة موني (Mooney) وواتزل[29] (Wetzel) لترتيب (فينر Wenner) كذلك بواسطة الـ : Lacompagnie Generalede Geophysique[20] بترتيب (شلمبرجر * Schlumberger)

اما الجزء الثاني فانه يعتمد على المعطيات التكميلية او الاضافية ، مقارناً اختلافات المقاومية الحقيقية مع العمق الى المعطيات من الآبار المجاورة التي اجري عليها فحص استكشافي (logged test hole) تمكن تثبيت المقارنة من ان تلاحظ مع جيولوجيا تحت السطح وظروف المياه الجوفية ، هذه المعلومات يمكن ان تستخدم بعد ذلك لتفسير قياسات المقاومية في المناطق المحيطة .

---

* (كذلك هناك منحنيات لتنظيم شلمبرجر Schlumberger يمكن ان تحسب من جداول الجهد حول نقطة القطب في (موني Mooney وواتزل wetzel[29]) .

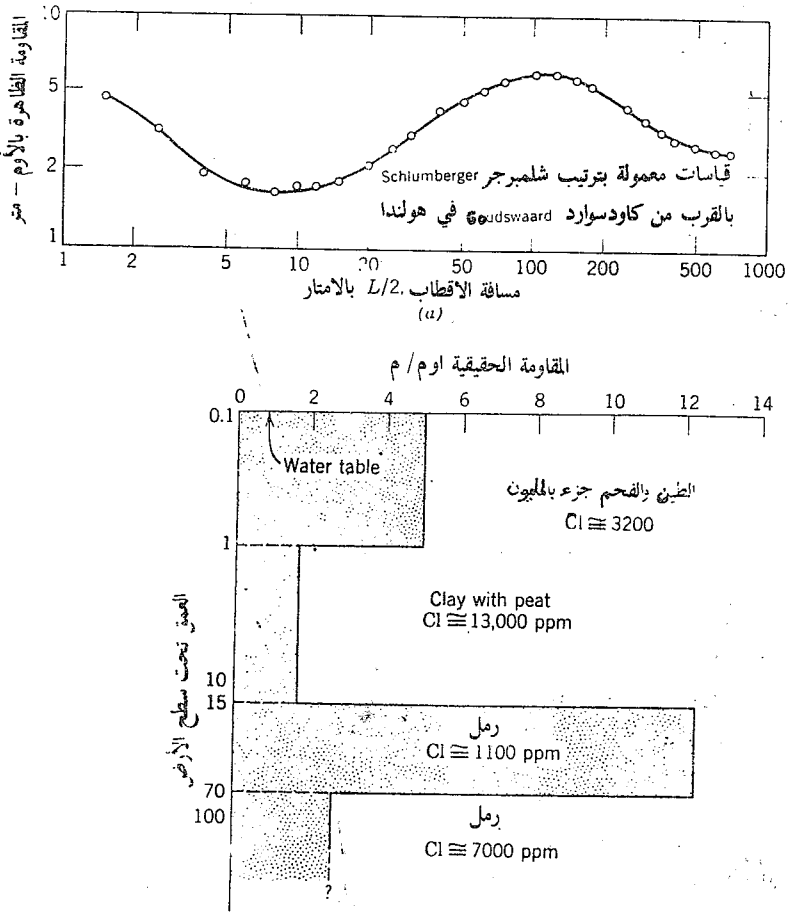
ان الاعماق والمقاوميات الحقيقية قد حددت بواسطة التماثل مع منحنيات شلمبرجر Schlumberger.[20] ان المعطيات الجيولوجية تستحصل من ثقوب فحص مجاورة ، ولكن كميات الكلوريدات المقدرة او المخمنة في المياه الجوفية كانت اعتماداً على العلاقة بين المقاومية الحقيقية للمكونات الصخرية المشبعة بالماء والمقاومية للمياه الجوفية المستحصلة من القياسات عند ثقوب الآبار المحيطة .

ان من الواجب القول بأن المقاومية هنا هي عادة منخفضة بسبب مياه البحر الداخلة او المقتحمة بشدة (أنظر الفصل 12) . القيم من(100 –10) مرة اعلى يمكن توقعها تحت الظروف الاعتيادية .

ان المسح المقاومي يمكن ان يغطي اما بالأستقصاء العمودي عند مواقع مختارة بواسطة تغيير مسافات الاقطاب ، اوبتهيئة خرائط للمقاوميات المتساوية [3.21.31.44.47] لمنطقة ما . في الدراسات المساحية مسافات ثابتة قد تتخذ لقياس المقاوميات فقط عند عمق معين ذات اهمية مثل التكوين المائي . والتغيرات المقاومية المساحية يمكن ان تفسر في مصطلحات حدود التكوين المائي ، والتغيرات في نوعية المياه الجوفية ، على حين ان المسوحات ذات العمق المتغير قد تبين تكوينات مائية ، ومستويات الماء ، والملوحات ، والتكوينات غير النفاذة ، واعماق صخور الطبقات .

ان أي عوامل تسبب اضطرابا في المجال الكهربائي في جوار الاقطاب قدتبطل قياسات المقاوميه. كخطوط الانابيب المدفونة ، والكابلات ، وسياج الاسلاك ، هي مصادفات شائعة .
الظروف شديدة الجفاف قد تستلزم او تستوجب ترطيب الارض حول الاقطاب لتثبت التماس الارضي المناسب .

لكل الطرق الجيوفيزيائية السطحية يمكن تطبيق طريقة المقاومية الكهربائية على نطاق واسع في التحريات عن المياه الجوفية . فهو جهاز متنقل وسهل العمل ويعطي قياسات سريعه . ان هذه الطريقة تعتبر غالباً مساعدة في تخطيط برامج الحفر الاختباري بشكل كفوء واقتصادي . فهي خصوصاً جيدة التكيف في تحديد حدود المياه تحت سطحية المالحة ، وذلك لأن النقص في المقاومية متى قوبل الماء الملح يصبح واضحاًعلى منحني المقاومية – العمق [37] . في جزر هاواي تكون الاعماق المتنبئة من قياسات المقاومية والأعماق الملاحظة من الحفر مطابقة للسطح البيني بين المياه العذبة والمياه المالحة . الى حد قدم واحد في غالبية قياسات الاعماق في مراتب مئة قدم [42.43] . في هولندا ، ترسبات عميقة من الرمل تحت الأرض المنخفضة اوالارض



شكل (3 - 9) مثال على المقاومة الكهربائية مبينة : (a) النتيجة (b) التفسير

المستقاة من البحر مكنت تفسير منحنيات المقاومية في مصطلحات من تغيرات التركيز للماء الملح تحتها [46] . في الينويز [2/3] . فان تطبيق الطريقة لتحديد تجهيزات المياه المحلية للمواد غير المتماسكة اعطى تسجيلاً جيداً بشكل غير اعتيادي لـ 92% . من التفسير الصحيح الذي أثبت بواسطة الحفر الاختباري لمواقع مستنصح بها . ان الطريقة قد اخذت بنظر الاعتبار في تحديد مناطق التسرب والنضوح المفقودة على طول القنوات .

طريقة الانكسار الزلزالي : – Seismic Refraction Method

ان طريقة الانكسار الزلزالي تشتمل على خلق هزة صغيرة عند سطح الارض اما بواسطة صدمة من جهاز ثقيل أو بواسطة تفجير شحنة صغيرة من الديناميت وقياس الوقت المطلوب

لموجة الصوت او الهزة الناتجة للانتقال مسافات معلومة . ان الموجات الزلزالية تتبع نفس قوانين الانتشار مثل اشعة الضوء وقد تعكس اوتكسرعند اي سطح بيني يحدث فيه تغيرفي السرعة .

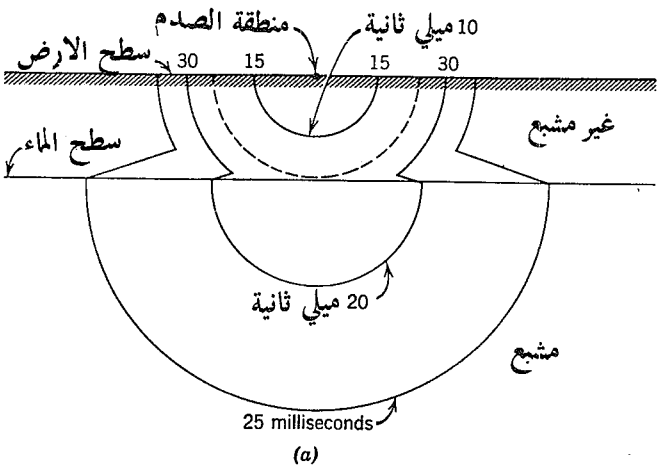
ان طرق الانعكاس الزلزالي تعطي معلومات عن التراكيب الجيولوجية على عمق آلاف الاقدام تحت السطح ، على حين أن طرق الانكسار الزلزالية ذات اهمية في دراسات المياه الجوفية – وتغطي فقط مئات قليلة في العمق . ان زمن انتقال الموجة يعتمد على الاوساط التي تمر خلالها . والسرع اعظم في الصخور النارية الصلبة وادنى في المواد المفككة وغير المتماسكة .

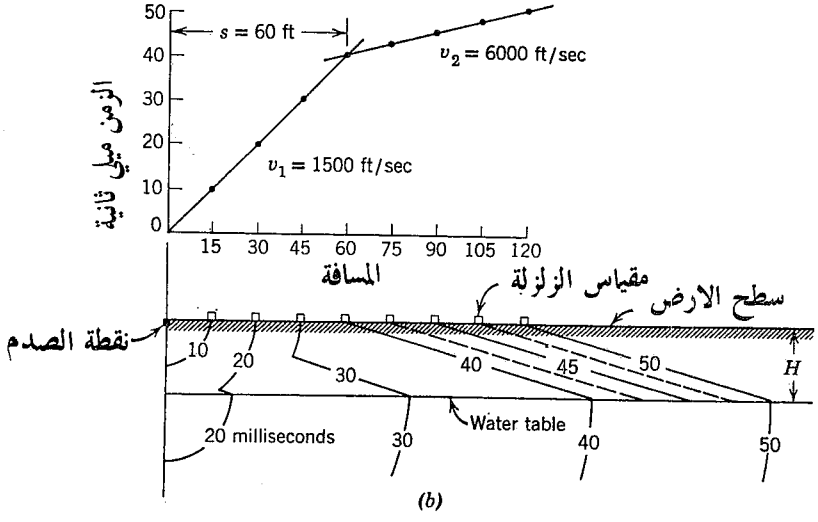
سرع الموجات في الطبقات المفككة ،والطبقات غير المشبعة هي في ترتيب 3000 – 1500 قد /ثا الى 6000 قد /ثا في التكوينات المائية المفككة و 10000 – 6000 قد /ثا في التكوينات المائية الفقيرة الحاوية على كمية من الطفل والطمى .

ان التغيرات في سرع الموجات الزلزالية متحكمة بالتغيرات في خواص المرونة للتكوينات ، فكلما كان الفرق بين هذه الخواص اعظم كان وضوح التكوينات وحدودها ممكنة التشخيص في الصخور الرسوبية ، يكون النسيج والتاريخ الجيولوجي اكثر اهمية من التركيب المعد . من حيث ان المسامية تحاول تقليل سرعة الموجة ولكن احتواء الماء يزيدها

ان موجة كروية تمتد بالاتجاه الخارج من نقطة الصدمة كما هوموضح في الشكل 9.4 a ، انها تنتقل بسرعة تعين بواسطة المادة التي تمر الموجة خلالها ، مثال ذلك : اذا افترض مادة مفككة متجانسة ذات مستوى ماء فان الموجة حال وصولها سطح أو مستوى الماء سوف تنتقل على طول السطح البيني ، اثناء انتقال الموجة على طول السطح البيني تنتشر موجات متتالية الى الوراء في الطبقة غير المشبعة . مواقع جبهة الموجة المرسومة على فترات قليلة من المللى كما هي ظاهرة في الشكل 9.4 a يوضح مثل هذا الانكسار . عند اي موقع على السطح ، ستصل الموجة الأولى إما مباشرة من نقطة الانفجار أو من المسار المنكسر . وبقياس فترة الوقت للوصول الاول عند مسافات متباينة من نقطة الانفجار ، فان رسماً بيانيا أو منحني لزمن – مسافة يمكن ان يثبت مقلوبات الانحدارات أو الميل في الرسم البياني (زمن – مسافة) للشكل 9.4 b يعطي (1500 قد /ثا) للسرعة (v_1)فوق مستوى الماء و(6000 قد/ثا) للسرعة (v_2)تحت مستوى الماء .

في حالة وجود طبقتين افقيتين كالموصوفتين هنا ، فان العمق (H) الى مستوى الماء يمكن ان يحسب من السرعتين (v_1)و(v_2)والمسافة (s)الى التقاطع على الرسم البياني كما هوموضح في الشكل 9.4 b والمعادلة هي : –





شكل (4 – 9) طريقة الانكسار الزلزالية لمعرفة عمق سطح لماء

(a) الموجه الامامية المتقدمة (b) خط بياني زمن – مسافة

$$H = \frac{s}{2}\sqrt{\frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1}} \qquad \ldots (9.5)$$

التي بعد تعويض قيمها في المثال تعطي (23) قدماً .

أما المسائل المتعددة الطبقات فيمكن حلها بأسلوب مشابه . ارتفاعات السطح المختلفة ، والتكوينات المائلة ، والفوالق ، والتغيرات في الشكل السطح البيني يتطلب تحاليل خاصة للعمليات الحسابية والمشروحة في الكتب المقررة للجيوفيزياء . 7.16.18

العمل الحقلي لاستكشافات الانكسار الزلزالي قد بسطّت بمساعدة الاجهزة ذات الكفاية المحكمة . وبالديناميت فان شحنة اقل من واحد باوند هي اعتياديا كافية وتوضع في حفرة مصنوعة بمثقب يدوي ذي عمق من (3) الى (5) قدم . والحفرة يعاد ملؤها بعد وضع الديناميت .

وهنالك عدد من انواع المعدّات تعد حساسة بشكل كبير ، حيث ان عصف لمطرقة الثقيلة على سطح الارض سوف يعطي موجة بشكل صدمة قابلة للقياس .
ان اجهزة قياس الهزة أوالزلزال Seismometers وتعرف ايضا بال المتحسسات (Geophones) أاو اللاقطات توضع على مسافات في خط من الانفجار بحوالي (10) الى (50) قدم فيما بينهما ، وتقوم اللاقطات باستلام موجة الصدمة وتحوّل الذبذبات الى نبضات كهربائية ، ثم دائرة كهربائية توصل اجهزة قياس الهزة الى مكبّر وقياس لرسم الذبذبات التي تسجّل اوتوماتيكيا لخطة الانفجار والوصول الأولى لموجة الصدمة المختلفة ، تحديدات العمق من (200) الى (300) قدم نموذجية بهذه المعدات . على الرغم من ان العمل الى اعماق (2000) قدم قد انجز بشكل مرضٍ .

ان تفسير معطيات الانكسار الزلزالية تفترض طبقات متجانسة محاطة بواسطة مستويات بينسطحية حيث لا وجود لحد واضح ولكن يستعاض عنها بمنطقة انتقال تدريجي ، حيث المنحني يحل محل الأنكسار في الميل على الرسم البياني زمن – مسافة . ولحسن الحظ فان مستويات الماء هي نفسها تقريبا تعد مستويات . لهذا فكثير من المسائل المفترضة بهيئات غير منتظمة لتراكيب جيولوجية قد تجنبت . التطبيق والاستخدام الكفء للطريقة يتطلب مهارة في تفسير ملائم بمصطلحات من المواد الصخرية ، واعماقها ، وشذوذاتها .
ان معرفة اخرى بالمواد تحت السطحية واشكالها تساعد في التحليل الملائم للقياسات الحقلية .
ان الوجود الحقيقي للمياه الجوفية صعب التحديد بدون معلومات تكميلية ؛ وذلك لأن السرع تتداخل في المناطق المشبعة وغير المشبعة ، ان سرع موجات الهزة يجب أن تزداد مع العمق ، لكي يمكن الحصول على نتائج مقنعة ومرضية . وكنتيجة لوجود طبقة كثيفة مغطية لتكوين صخرى مفكك محتوعلى الماء ، سيحتجب وجود التكوين المائي ان طريقة الانكسار الزلزالي في المناطق الملائمة الأستخدام تستطيع التجاهل بسرعة وبصورة اقتصادية اهمال

المناطق غير الملائمة للحفر التجريبي ، وهي ليست سريعة التكييف للاستعمال في المناطق الصخرية ، على حين أن المسافات الادنى لعدة مئات من الاقدام مطلوبة للمظاهر الجانبية الزلزالية في اتجاهات مختلفة ، فإن التذبذبات أو الضوضاء المحلّية من مصادر مثل الطرق العامة ، والمطارات ، ومواقع بناء أو انشاء قد تسبب تداخلاً مع العمل الزلزالي. وحيث ان الطريقة الزلزالية بسبب تطلبها لمعدات خاصة وكوادر متدربة للتشغيل والتفسير فقد طبقت فقط على مدى محدود نسبيا لاستكشافات المياه الجوفية [4] ، متفقة مع الاستكشافات الأساس بواسطة الانكسار الزلزالي للسدود المعتزم انشاؤها في حوض نهر اوهايو.[38] فان مواقع مستويات الماء قد اعدت استنادا الى اختلافات السرعة بين الطبقات المشبعة وغير المشبعة . ان العمل الناجح الذي قام به لاينهان [24,25] (Linehan) وغيره في تحديد مواقع المياه الجوفية المجهزة في ماشوستس وكنتكي وفرّت امثلة يمكن ملاحظتها على قابلية استخدام هذه الطريقة . هنا ، الاستكشافات وجهت نحو ايجاد طبقات الحصى لتجهيزات الماء التي يمكن بعد ذلك ان تؤكد وتعزز بواسطة الحفر التجريبي أو الاختياري.

الطرق الجذبيّة والمغناطيسية : — Gravity and Magnetic Methods

ان الطريقة الجذبية تقيس الاختلافات في الكثافة على سطح الارض التي قد تدل على تركيب جيولوجي . وحيث ان الطريقة باهظة الكلفة وبسبب الاختلافات في كمية الماء في الطبقات تحت السطحية نادرا تتضمن اختلافات في الوزن النوعي يمكن قياسها عند السطح . لهذا فان الطريقة لها استخدام قليل لاستكشافات المياه الجوفية عدا احتمالات بعض الظروف الجيولولوجية الخاصة مثل الترسبات النهرية السمكية المحددة بمنطقة جبلية أو اجسام مقحمة أو مخترقة مكونة حداً لتكوين مائي قد يمكن تحسسها من اختلافات الجذب . ان الطريقة المغناطيسية تمكن المجال المغناطيسي للارض من ان يرسم . وبما ان الفروقات المغناطيسية هي نادرا ماترتبط بوجود المياه الجوفية فان الطريقة صلتها غير وثيقة باستعمالات المياه والمعلومات التي تعطيها غير مباشرة بارتباطها بدراسات المياه الجوفية خصوصا وجود السدود القاطعة DYKES التي تكون حدود تكوين مائي أو حدود الجريان البازلتي الذي يمكن الحصول عليه باستعمال هذه الطريقة .

الطرق الجيولوجية : — Geologic Methods

ان الفائدة البارعة من المعلومات الجيولوجية المنشورة تكتمل بواسطة الاستطلاع الحقلي الجيولوجي الذي يجهز ويعطي التثمين المؤقت لظروف المياه الجوفية . [10,23] هذه الطريقة يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار كخطوة اولى في اي تقدير لتجهيز المياه تحت السطحية . كما انه لايتطلب معدات باهظة الكلفة . وتعتبر المعلومات للتكوينات والتراكيب الجيولوجية تسمح بتقدير الحاجة للاستكشاف الحقلي بواسطة طرق اخرى . ان المعرفة بالاحداث الترسيبية

والتآكلية في منطقة ماقد تدل على امتداد وانتظام التكوينات الحاملة للماء .
ان نوع التكوين الصخري سوف يوحي بالكمية المتوقعة لعطاء الماء ، تكوين واحد قد يكون ملائما وكافيا للاغراض المنزلية ولكنه غير مقنع تماماً للتجهيزات والاغراض الصناعية والمحلية . ان علم طبقات الارض والتاريخ الجيولوجي للمنطقة قد يظهر تكوينات مائية تحت طبقات عليا غير مناسبة ، الاستمرارية والترابط للتكوينات المائية – أوحدود مهمة للتكوين المائي .

ان طبيعة وسمك الطبقات المغطية وكذلك ميل التكوينات الحاملة للماء يؤهلان امكانية تقدير أعماق الحفر التي يجب عملها . وبالمثل ، قد يمكن ملاحظة تكوينات مائية محصورة ، والتكهن باحتمال وجود ابار متدفقة أوارتفاعات ضخ واطئة . ان العالم ماينزر (Meinzer)[27] اكد تاثير التركيب الصخري على المياه الجوفية حيث ان العلاقة الأساس بين التراكيب والمياه الجوفية مقدمة في مكان اخر. التكوينات الجيولوجية بلغة قدراتهاكتكوينات مائية في الفصل (2) وكذلك نوعية المياه الجوفية حين تتأثربواسطة مصادرجيولوجية مختلفة ، انظر الفصل (7) .

تفسير الصور الجوية Air Photo Interpretation

حيث ان وجود المياه الجوفية يعتمد الى حدّ كبير على خواص تضاريس الارض ، فان التفسير المناسب للتصاوير الجوية لمنطقة مايستطيع تزويدنا بمعلومات ثمينة في هذا المضمار[17] نمو النباتات ، شكل الارض واستعمالها ، واشكال التصريف ، والتعرية ، واللون ، وميزات ارضية خاصة مثل : كثيبات متخلفة من انهار جليدية(eskers)والمساند النهرية (terraces) والسهول النهرية او الفيضية . وحفر الحصى تظهر على التصاوير الجوية وتدل على الظروف تحت السطحية .

ان صورة جوية مفردة تؤخذ فوق منطقة تحت البحث والاستقصاء وتجمع الى شكل خريطة فسيفسائية مغطية للمنطقة . ومن دراسة هذه الخرائط بواسطة الاستريوسكوبية أوالمجسامية للأزواج المفردة من هـذه الصور ، فـان خرائط للتربـة وللتصريف يمكـن أن تهيـأ . هذه الوسائل يمكن بعد ذلك استخدامها لتطوير خارطة تنبؤ المياه الجوفية .(هاوي Howe[6]) (ولكي Wilke) و(بلوودكود Bloodgood[17]) مثال ذلك خريطة مقاطعة تيبكانو – انديانا Indiana , Tippecanoe County ، بحيث ان المقاطعة قد قسمت الى مناطق جيدة ، معتدلة ، وفقيرة العطاء للمياه الجوفية بواسطة التصنيف الموجود في الجدول 9.1 . فحص معطيات الابار عزز هذا التحليل .