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 .

جدول (1.9) التصنيف الجوي للمياه الجوفية لمقاطعة تيبكانو – انديانا (هاوي ، ولكي وبلوود كوود)

الصنف	اسس التصنيف	نتاج المياه الجوفية
A	Granular deposits in stream terraces, alluvial plains, outwash plains, glacial sluiceways and filled valleys, all at low elevations	جيد (>200 gpm) غالون بالدقيقة
B	Morainal deposits, eskers, kames; all of small extent and generally at higher elevations	اعتيادي (50 to 200 gpm)
C	Upland till and organic topsoils	ضعيف (<50 gpm)

ان خرائط المياه الجوفية المجهزة من الصور الجوية تستطيع تخطيط المناطق الأقل ، والأكثر المرجوة لها مستقبل مرموق لتجهيزات المياه الجوفية . هذه الخرائط تساعد في انتخاب مواقع الحفر الاختبارية وتختزل تكاليف تحريات المياه الجوفية وتساعد في تعيين المنشآت الصناعية المتطلبة تجهيزات مائية كبيرة .

(جـــــدول –1.9–)
التصنيف المساحي للمياه الجوفية فـــي INDIANA TIPPECANOE

البحث عن الماء بعصا الاستنباء Dowsing :–

ان فن استخدام عصا للتنبوء بتعيين موضع الماء تسمى بعصا الاستنباء او العصا الباحثة عن الماء ، وعلى الرغم من الافتقار للتبرير العلمي للطريقة فان الباحثين عن الماء بعصا الاستنباء يتبعون باتقان ماتليه عليهم هذه العصا حيثما يقتنع الناس بقيمتها الـكامنة .

ان الطريقة بابسط مظاهرها شيوعاً تتأتى من حمل العصا بشكل شوكة ذات نهايتين كل نهاية بيد بحيث يبقى الطرف السائب طليقاً والمشي بها فوق المنطقة المحلية حتى تنجذب النهاية السائبة الى الاسفل ظاهرياً بواسطة المياه تحت السطحية وقد وجد عدد من المتنبئين ان الطريقة مربحة ليس لتحديد موضع المياه الجوفية فقط بل ايضاً لغايات متنوعة كما في ايجاد ترسبات الخامات ، والكنز ، والجرائم ، وحدود الاملاك الخاصة ، والحيوانات المفقودة [4] .

وقدنفذ (هيلاند Heiland[15]) الى لب المسألة حينما كتب :- قد يكون معقولاً جداً أن اشخاصاً معينين ذوي قدرات فوق طبيعية يستطيعون تحسس وجود الماء ، ولكن هذا الشيء تفترض مناقشته من قبل علماء النفس وليس من قبل الجيوفيزيائيين . بالاضافة الى انه اذا كان العديد من المحترفين والمتظاهرين بالقدرة على تحديد موضع الماء ، يمتلكون فعلاً قدرة كهذه فانه لا حاجة لهم والحالة هذه الى استخدام اي من هذه الوسائل العجيبة كهذه العصى . ومن المذهل أن فكرة القوى فوق الطبيعية لها مثل هذا الافتتان المستمر لـــدى النـــاس . ان مجموع ماكتب على هذا الموضوع واسع ، وامتد لفترة اربع قرون من الزمان * .

ان افادة الدكتور (ماينزر O.E. Meinzer[8]) رئيس فرع المياه الجوفية في دائرة المسح الجيولوجي الامريكي سوف يكون موفياً بالغرض ليبدد سذاجة الاشخاص الباحثين لتعيين موضع الماء على اسس من هذه الطريقة . ومن المشكوك انه اذا جرت تحريات كثيرة ومناقشة قد بذلت على اي موضوع آخر فيه نقص مطلق للنتائج الايجابية كما هو الحال هنا . ومن الصعب ان نرى كيف انه للاغراض العملية يمكن للحالة بكليتها ان تصبح مخزية بصورة اعمق . ويجب ان يكون واضحاً للجميع بأن الاختبارات الاضافية بواسطة دائرة المسح الجيولوجي الامريكي لما يسمى : « البحث بعصا الاستنباء » عن الماء ، والنفط ، او لمعادن أخـــرى ستكون اساءة استعمال للصالح العام . وليس صحيحاً بأي حال من الاحوال بأن كل الاشخاص المستعملين طريقة الشوكة او اي وسيلة اخرى لغرض تحديد موضع الماء او معدن آخر هم مخادعون قصداً . فبعض منهم رجال يؤدون الطريقة وهم واثقون منها ، ذووخصائص طيبة ولهم مقاصـــد خيرّة .

على اي حال ، بما ان كل شيء مبطن بخفاء بحيث يتيح الفرصة للدجالين ، فليس معقولاً ، أن العديد من الطبقة الكبيرة من محترفي هذه الطريقة يسلبون الناس عن سبق اصرار وان مجمل مايحصلون عليه من الاموال كبير .

لذا تنصح دائرة المسح الجيولوجي الامريكي كل المستفسرين بعدم انفاق اموالهم لخدمات اي من الباحثين عن الماء بواسطة عصا الاستنباء او لاستعمال او ابتياع اي ماكنة او جهاز مخصص لتحديد مواضع المياه الجوفية والمعادن الاخرى .

---

* استخدام حديث لرموز البحث عن الماء بعصا الاستنباء قام بواسطة الكاتب كينيث روبرتز . ان قصصه المتعلقة بعصا الاستنباء (ومنها هنري كروص وعصا الاستنباء . 1951 . الحاسة السابعة 1953 . والماء غير المحدود . 1957 . شركة دبل دي ، كارون سيتي – نيويورك) هي من القصص الشيقة للقراءة للفكاهة واحياناً للمرارة او القسوة التي تم الرد على السيد روبرتز ...اقرأ البحث بواسطة رديك Riddick[33] .

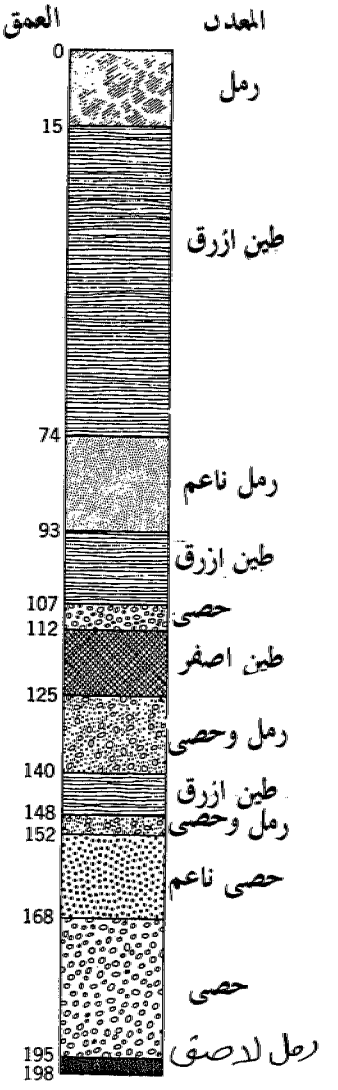
الفصل العاشر
Subsurface Investigations of the Ground Water
التحريات تحت السطحية للمياه الجوفية

ان دراسة مفصله وشاملة للمياه الجوفية والظروف التي تكونت فيها يمكن القيام بها بواسطة التحريات تحت السطحية فقط فيما اذا كانت المعلومات التي نحتاجها تتعلق بالتكوين المائي وخاصة (موقعه وسمكه ، وتكوينه . ونفاذيته ، وعطاءه) أو المياه الجوفية (موقعها حركتها ، نوعيتها) ان المعطيات الكمية يمكن الحصول عليها من الفحوصات تحت السطحية . لذا يجب تأكيد أن كافة هذه الاعمال تصنف على انها تحريات تحت سطحية هي تداركليا باشخاص على السطح يقومون بتشغيل المعدات الممتدة تحت الارض . ان الحفر الاختباري يمدنا بالمعلومات عن الطبقات تحت السطحية في خط عمودي من السطح . تقنيات سجل الاداء (Logging techniques) ضمن البئر تستطيع تجهيزنا بالمعطيات حول خصائص التكوين ، ونوعية المياه ، وحجم تجويف البئر ، ومعدل حركة المياه الجوفية . ان – تقييم هذه العوامل يساعد في تعيين موقع البئر ، انشاؤه ، وتطوير البئر بشكل مناسب .

الحفر الاختباري
Test Drilling

ان الحفر الاختباري للثقوب ذات القطر الصغير – وذلك للتحقق من الظروف الجيولوجية وظروف المياه الجوفية – يكون مفيدا للتأكد من طرق اخرى من التحريات وللحصول على ضمان للظروف تحت – الارضية السابقة لحفر البئر [27.30] . في كثير من الأحيان إذا جاء البئر الاختباري مثمرا واثبت نجاحه ، أعيد حفره أو توسعه بقطر اكبر لتكوين بئر ضخ .

ان حفر الاختبار Test holes أيضاً يمكن ان تعمل عمل آبار مراقبة لقياس مناسب المياه أو لادارة فحوصات الضخ ، أو لاعطاء سجلات الأداء(Logs)أو نماذج طبقات الصخور المواجهة في الحفر وتمكن تحديد التكوينات المائية من ان تكون موصوفه ان سجل اداء البئر (well log) المنشأ من نماذج الحفر موضح في الشكل (10.1). إن نماذج المياه المجمعه في نفس الوقت تدل على نوعيه الماء ، على حين أن قياسات مناسيب المياه سوف تظهر التكوينات المائية المحصورة أوغير المحصورة ودوران المياه اعلى أواسفل الحفرة من احدى الطبقات الى الاخرى . تقريبا اي طريقة حفربئر يمكن استخدامها



شكل (10 – 1) سجل اداء البئر من قبل الحفّار

لغرض الحفر الاختباري ، وعلى اي حال ، في التكوينات الرخوة غير المتماسكة (Unconsolidated Formations) الحفر بالالة السلكية (Cable tool) والطرق – الدوارة المائية (hydraulic Rotary methods) هي الشائعة غالبا (طرق الحفر وصفت في الفصل 5) .

ان الطريقة المذكورة أولا تكون ابطاء ، ولكن تزودنا بنماذج اكثر دقة من معرفة الحفر . (Bailer) على حين تكون الاخيرة اسرع ولكنها في بعض الاوقات تكون صعبة لتحديد الميزة المضبوطة للتكوينات . هذه الحقيقة صحيحة خصوصا حينما تتم مواجهة المواد ذات الحبيبات الناعمة مع سائل الحفر ويتم امتزاج الاثنين . للاعماق السحيقة – والرمال المنتظمة الى حدما ، تكون طريقه الدوارة المائية اسرع وارخص . ان النماذج المضبوطة يمكن الحصول عليها بسحب ساق الحفر واستخدام جامعة العينات (Sampler) عند قعر الحفرة، او اذا كان اللب (Core) السليم مرغوبا في الحفر الاستكشافي ،فان رأس القاطعة ذات الساق المجوف يمكن ان يثبت لقطع الباب اسطوانية الشكل .

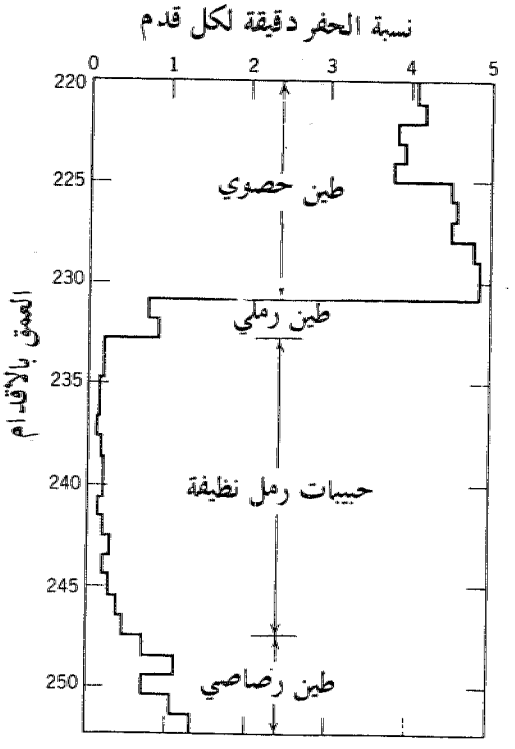
لغرض الحفر الاختبارية في الارض اللينة (Soft) والاعماق الضحلة يكون الحفر بواسطة – منقب او بريمة سريعا واقتصاديا . ان الثقب بالنفث (Jetting) قد برهن على انه الطريقة الاقتصادية لحفر الحفر الضحلة ذات القطر الصغير لاغراض التحريات .

انسرعة عملية الثقب النفاث متحدة مع جهازها النقال الخفيف الوزن قد اعطت لها محاسن مهمة ولكن افتقارها الى النماذج الجيدة هواحد مساوئها . ان اختيار طريقة ماللحفر الاختباري يعتمد على ماهي المعلومات الضرورية . ونوع المواد المواجهة ، وعمق الحفر ، والموقع . ان سجل الاداء حفر – وقت drilling – time هو مكمل مفيد للحفر الاختباري ويتكون من مسجل دقيق للوقت ، في الدقائق والثواني ، اللازم لحفر كل قدم من الثقب .

ان التقنية هي الاكثر عملية مع الحفر الدوار المائي بالرغم من قابلية تطبيقها الى طرق اخرى كذلك . بسبب ان نسيج الطبقة المخترقة تتحكم بمعدل الحفر بصورة كبيرة ، فان سجل اداء الوقت الحفر يمكن ان يفسر بسهولة بمصطلحات من انواع التكوينات والاعماق . رقم جزء من واحد والمحصل بواسطة الطريقة المائية الدوارة مبين في الشكل 10.2 سويا مع سجل الثقب الاختباري المبني على القطع .

سجل اداء المقاومية Resistivity Logging

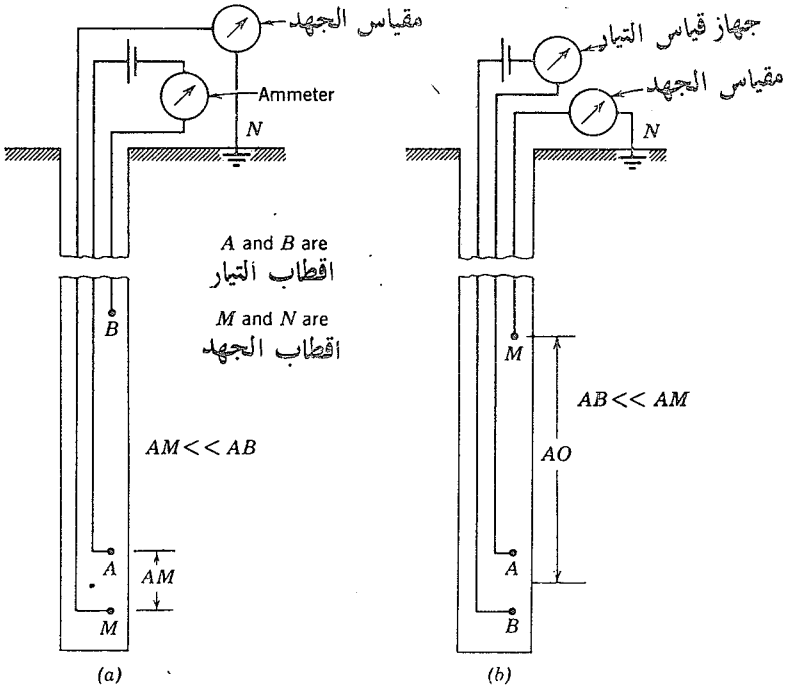
ضمن البئر غير المبطن ، فان اقطاب الجهد والتيار يمكن انزالها لقياس المقاومات الكهربائية للاوساط المحيطة وللحصول على رسم لتغيرهما مع العمق والنتيجة هو سجل اداء المقاومية (او الكهربائية) ان مثل هذا السجل يتأثر بالسائل ضمن البئر ، بقطر البئر ، وبخاصية الطبقات المحيطة واخيرا بواسطة المياه الجوفية .



شكل (10 - 2) تقرير عن سجل اداء زمن الحفر والطبقات المخترقة (كربي [19])

وهنالك العديد من الطرق التي يمكن بواسطتها قياس المقاوميات تحت الارضية . وتعتبر طريقة الاقطاب المتعددة الاكثر شيوعا في الاستخدام.اذ ان ميزتها تقلل الى الحد. الأدنى من تأثيرات مائع الحفر وقطر البئر . وأيضاً تعطي امكانية مقارنة مباشرة لعدة منحنيات مقاومية مسجلة . حيث هناك اربعة اقطاب ، اثنان لانبعاث التيار والآخران لقياس الجهد وهذه الاقطاب تكون نظام الجهار . ان المنحنيات المسجلة تسمى المنحنيات الاعتيادية (normal) – او المنحنيات الجانبية (Lateral) اعتماداً على طريقة تنظيم الاقطاب كما هو مبين في الشكل (3.10) .

في طريقة الترتيب الاعتيادي للأقطاب normal arrangement فان الفسحة المؤثرة (effecting spacing) يمكن اعتبارها المسافة (AM) (الشكل a 3.10) والمنحني المسجل يرمز له (AM) أما بالنسبة الفسحة للمنحنيات الجانبية (AO) تؤخذ المسافة (AO) المقاسة بين (M) ونقطة في الوسط بين القطبين B,A الشكل b 3.10) . في بعض الأوقات يسجل

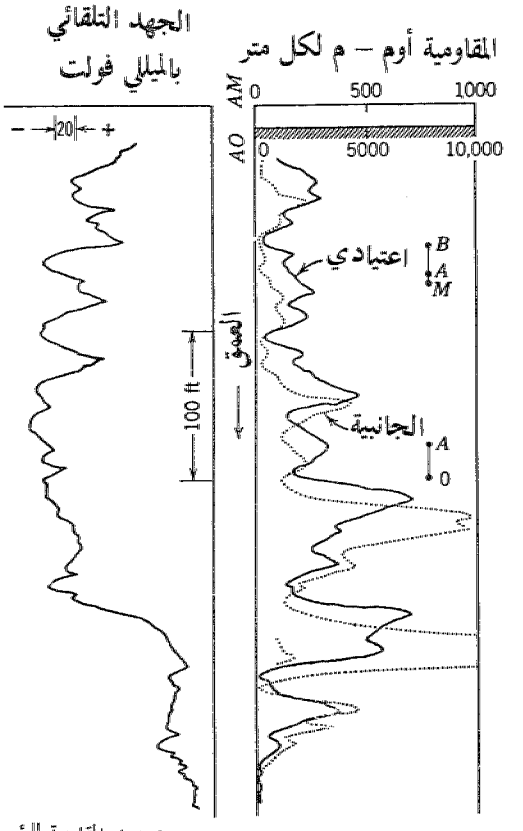


شكل (10 - 3) ترتيب الاقطاب للتسجيل (a) الاعتيادي (b) اداد المقاومة الجانبية للبئر

المنحني الاعتيادي الطويل الـ long normal Curve (AM) اعتماداً على نفس تنظيم الاقطاب مثل التنظيم الاعتيادي ولكن بمسافة(AM)التي هي أكبر عدة مرات . نفس الشيء ، فان المنحني الجانبي الطويل (AO)له مسافة(AO)اطول من المنحني الجانبي المنتظم . ان حدود التكوينات التي لها مقاوميات مختلفة تثبت بسهولة اكثر بفسحة اقطاب قصيرة في حين أن المعلومات عن الموائع في التكوينات النفاذية يمكن الحصول عليها بصورة افضل بفسحات طويلة (long spacings) .

ان سجل الاداء الكهربائي (Electric log) لبئر يتكون عادة من خطوط معترضة عمودية (Vertical traverses) ، تسجل اما واحد من اوكلا المنحنيات الاعتيادية والجانبية (Lateral, normal) وعلى أي حال ، فان المنحنيات الاعتيادية الطويلة او المنحنيات – الجانبية الطويلة (long normal long lateral) ومنحنيات الجهد التلقائي (spontaneous potential Curves) تسجل ايضا (انظر المقطع التالي) .

وثم توضيح لسجل الاداء الكهربائي معطى في الشكل 4.10 . ان التفسير المضبوط لسجلات اداء المقاومية صعـــــب ، ويتطلب اعتناء ملحوظاً اثناء التحليل ويفضل عمله بواسطة متخصصين .



شكل (10 - 4) الجهد التلقائي وسجل اداء المقاومية للبئر

ان المنحنيات المقاومية تدل على طبيعة تكوين الصخور لطبقات الصخور المخترقة بواسطة البئر وتمكن من تمييز المياه المالحة والعذبة في المواد المحيطة .

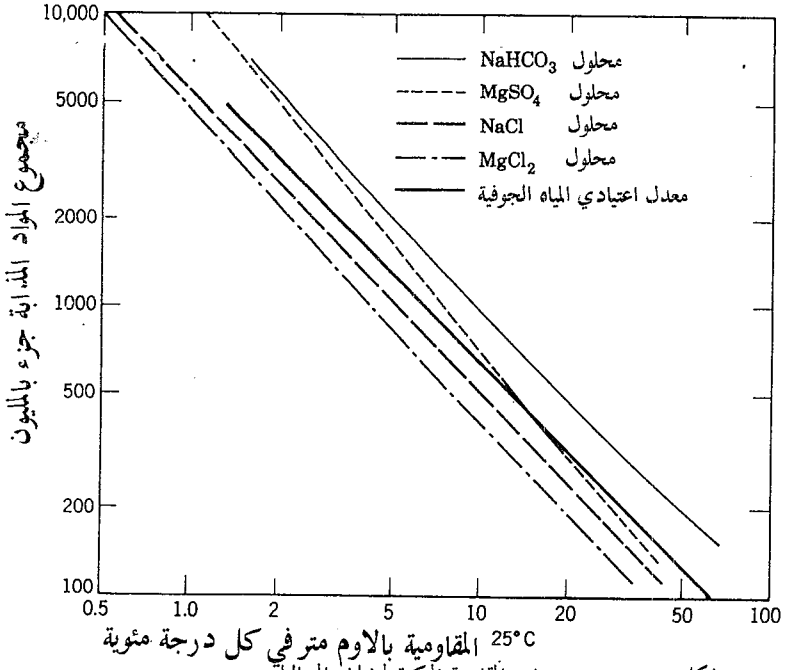
في الآبار القديمة يمكن تحديد المواقع المضبوطة للبطانات (Casings) . ان سجل اداء المقاومية يمكن استخدامه في تحديد المقاومات النوعية للطبقات وقد يدل نوعيا على التغيير في الأهمية . كما هو موضح في الفصل السابق . فان مقاومية التكوين المائي غير المتماسك (Unconsolidated) تكون متحكمة رئيسياً بواسطة المسامية والتراص (packing) ومقاومية الماء ، ودرجة الاشباع ، والحرارة .

وعلى الرغم من ان قيم المقاومية النوعية لايمكن تعيينها لتكوينات مائية مختلفة على الاساس النسبي فان الطين الصفحي . والطفل ورمل المياه المالحة تعطي قيماً منخفضة . اما رمل المياه العذبة فيعطي قيماً متوسطة الى قيم عالية على حين أن الحجر الرملي (Cemented sandstone) المتماسك وحجر الكلس غير المسامي ـــ قيما عالية وبطبيعة الحال فان البطانة والاجسام الفلزية تدل على مقاومات منخفضة

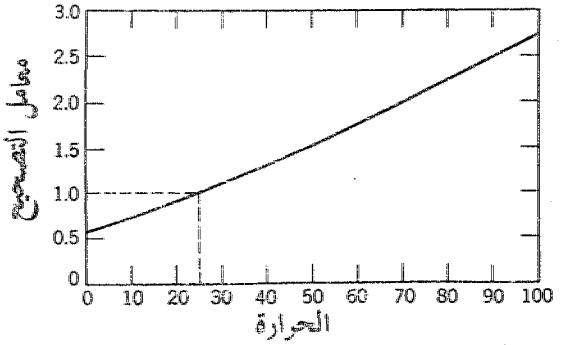
ان مقارنة نماذج الصخور المأخوذة من الآبار اثناء الحفر مع منحنيات المقاومية تمدنا باساس راسخ لتفسير المنحنيات المقاسة في الآبار المجاورة من دون نماذج متوفرة .

ان مقاومية المياه الجوفية تعتمد على التركيز الايوني وقابلية الحركة الايونية للمحلول المالح وتعود قابلية الحركة هذه الى الوزن الجزيئي والشحنة الكهربائية ، لذا فان هنالك فروقات كبيرة موجودة لمركبات مختلفة ، على سبيل المثال قابلية الحركة الايونية لـكلوريد الصوديوم فانه اكثر بعدة مرات من محلول كاربونات الكالسيوم مقارن . ان العالمين مورسن [25] Morrison وبولند Poland بيّنا ان منحنيات المقاومية للملوحة تختلف بين مياه البحر والمياه الجوفية لهذا السبب .

ان العلاقات بين المقاومية ومجموع المواد الصلبة المذابة (Total dissolved solids) لعدة محاليل ملحية والمياه الجوفية الطبيعية موضحة في الشكل 5.10 وكلما ازدادت درجة حرارة المياه الجوفية كان لها قابلية حركة ايونية اعظم ، مرتبطة مع نقصان في اللزوجة. لذا فثمة علاقة عكسية موجودة بين المقاومية ودرجة الحرارة . ان هذه العلاقة يعبر عنها كعامل تصحيح (Correction factor) وهي موضحة في الشكل 6.10 ان المقاومية في قياس الحرارة المقاسة ، عند ضربها بمعامل التصحيح لتلك الحرارة تعطي المقاومية عند درجة الحرارة – القياسية لـ 25 متر .



شكل (10 – 5) منحنيات المقاومية المركزة لمختلف المحاليل الملحية والمياه الجوفية الطبيعية (الكتاب الزراعي المساعد 60 وزارة الزراعة الامريكية)



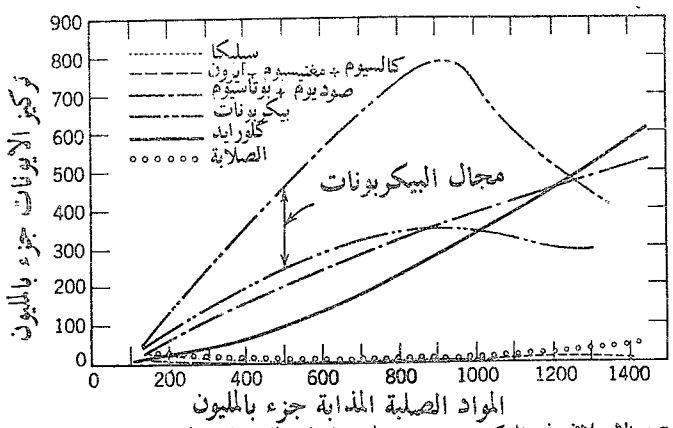
شكل (10 6) معامل التصحيح لتحويل المقاومة في مختلف الدرجات الى المقاومة في درجة 25 درجة مئوية (جونز وبفورد 16)

من الاستقصاء في مقاطعة لويزيانا (Louisiana) للتكوينات المائية يتبين أن العالمين جونز وبفورد [16] (Jones و Buford) قد وسعا من قابلية استخدام سجلات اداء المقاومية بتثبيت العلاقات التجريبية لتخمين مسامية التكوين المائي والتحليل الكيميائي للمياه الجوفية . ان المسامية (α) قد حددت من :

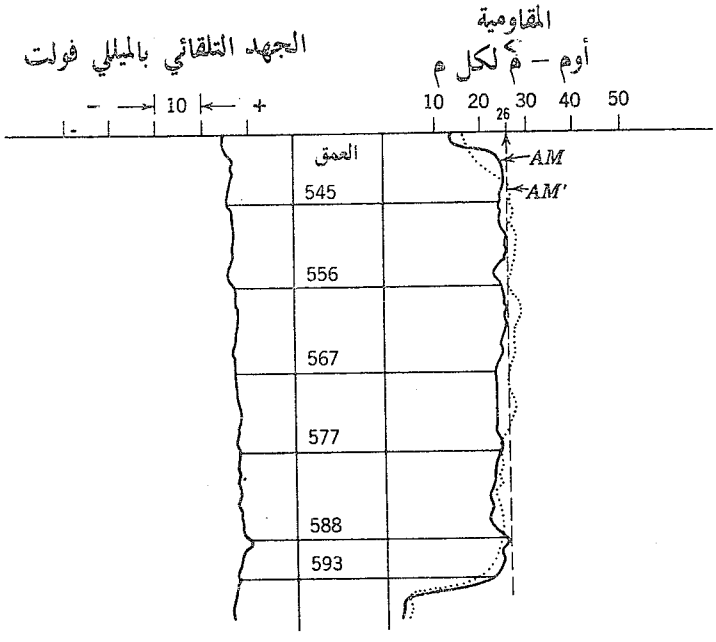
حيث ρ هي مقاومية التكوين في المكان ، ρ_w مقاومية الماء ، و m هي معامل توزيع الفراغ (void-distribution) ، او معامل التماسك (cementation) ان الفحوصات المختبرية على اختلاف نماذج مختلفة من الرمل من التكوينات المائية قد اعطت قيمة متوسطة لـ m، 1.56 ومدى من 0.97 الى 2.71 . ان تقدير التركيب الكيمياوي للمياه الجوفية في تكوين مائي واسع متوقف على وجود الاختلاف النظامي لتراكيز الايونات مع اجمالي المواد الصلبة المذابة . ان الخطوط البيانية الموضحة لتراكيز الايونات مقابل مجموع المواد الصلبة المذابة ، قد اعدت لكل من التكوينات المائية لمقاطعة لويزيانا Lousiana التي هي تحت الدراسة . كمثال فان المعطيات من احدى التكوينات المائية موضحة في الشكل 7.10 بمعرفة التكوين المائي المصدر ومقاومية التكوين المائي المقاسة . – تقدير لتراكيز الأيونات المهمة قد هيأت تقدير احد المعطيات الممثلة في الشكل 8.10 . والمثال الآتي يدل على ان تقدير التركيب الكيمياوي كان مرضيا ، ولكن تحديد المسامية لم يكن كذلك . حيث ان تحسين مثل هذه الطرق قد تزيد من فائدة سجلات اداء المقاومية .

مثال على تفسير المقاومية للمسامية والتركيب الكيميائي جونز وبفورد [16] (Buford Jones) : –

البئر : (USGS Na-57) . La; Natchitoches درجة حرارة التكوين المائي = 24.4°C.



شكل (10 - 7) الاختلاف في التركيز مع مجموع المواد الصلبة المذابة في التكوين المائي في لوسيتانا (جونز و بفورد[10])



شكل (10 - 8) جزء من وصف سجل الاداء الكهربائي خلال التكوين المائي (جونز وبفورد [10])

التحديد الكيمياوي :– معطياً $\rho = 26$ ohm-m²/m (من الشكل 8.10) $m = 1.66$ (المعدل من نماذج التكوين) : و $\alpha = 41.4$ °/₀ المعدل من نماذج التكوين).

من $\rho_w = \rho\alpha^m$ (المعادلة 1.10) و $\rho_w = 6.01$ ohm-m²/m بتطبيق عامل التصحيح 0.98 من الشكل 6.10 ρ_w at 25°C = 5.88 ohm-m²/m من الخط البياني (غيرمبين) مشابه

الى الشكل 5.10 ولكن للمياه الجوفية للتكوين المائي المنفرد ، مجموع المواد الصلبة المذابة =920 ppmمع هذه القيمة والشكل 7.10 فانه قد حصل على التحليل الكيمياوي الآتي : —

التركيز الحقيقي ppm التركيز المفترض ppm , (hypothetical) (من التحليل المختبري) (من الشكل 7.10) .

SiO_2	20	...
Ca + Mg + Fe	20	5
Na + K	360	321
HCO_3	350 – 790	262
Cl	290	347
Total hardness as $CaCo_3$	14	12
Total dissolved solids	920	818

تحديد المسامية : معطياً $\rho_w = 5.58$ ohm-m^2/m , $\rho = 26$ ohm-m^2/m (مقاسة في المختبر) و $m = 1.52$ (معدل الرمال التكوين المائي من $\alpha^m = \rho_w / \rho$ (المعادلة 1.10) . القيمة المقاسة $\alpha = 23.1\%$ / 41.4 احدى الاستعمالات الشائعة لسجل اداء الكهربائية هو تعيين المكان الملائم لوضع مصافي الآبار (well screens) .

ان سجل الاداء يوفر اسس لاختيار الاطوال المناسبة للمصافي ولوضعهم مقابل أفضل التكوينات . بسبب هذا التطبيق ، فان عدة حفارين ابارلهم سجلات الاداء الخاصة بهم لهذا الغرض .

ان سجلات اداء المقاومية مفيدة لتقدير تراكيز الاملاح في مياه الآبار[20] ان الملح قد يوجد في المصادر المحبوسة (Connat) ناضحة الى الآبار او من اقتحام مياه البحر (انظر الفصل 12) . ان الابار القاطعة لكلا المياه المالحة والعذبة للتكوينات المائية قد تعمل كمصادر للتلوث بسبب التداخل البيني .

ان الدوران تحت ظروف غير ضخية يعتمد على الاعمدة الهيدروستاتيكية النسبية ، وكثافات المياه ، وسمك التكوين المائي ، والبنية الفيزياوية وظروف البئر .. وثمة ظروف هيدرولوجية مختلفة لآبار الضخ وآبار عدم الضخ مبينة توضيحيا في الشكل 4.10 . سوية مع منحنيات المقاومية المقابلة .وسجلات اداء المقاومية تستخدم أيضاً التعيين التكوينات المائية تحديد تتابع الطبقات ، مقارنة التكوينات المائية وتقدير التغيرات في نوعية المياه الجوفية.

سجل اداء الجهد : Potential Logging

ان طريقة الجهد تقيس الجهد الكهربائي الطبيعي الموجود في الارض.
ان الجهود يمكن أن يشار اليه بالجهود الذاتية والجهود التلقائية او ببساطة " SP " عادة القياسات بالملي فولت ويمكن الحصول عليها من مسجل مقياس الجهد (Potentiometer) الموصل بقطبين متشابهين .

وعادة أحد القطبين ينزل الى داخل البئر في حين يربط الآخر الى سطح الارض . كما هو موضح بواسطة القطبين M و N في الشكل 3.10
ان تفسير سجلات الجهد للحصول على معلومات عظمى صعب 11,28 ويجب عمله بواسطة متخصصين .
ان الطبيعة المضبوطة للظواهر المتسببة والباعثة على الجهود الملاحظة هي ليست معروفة كليا 10.22.83 . والترشيح الكهربائي الناتج عن تدفق طين الحفر الى التكوينات المحيطة او الماء خلال الاوساط المسامية [26] والجهود الكهروكيميائية الناشئة من اختلافات تراكيز السائل مثلا بين طين الحفر والمياه الجوفية ، يعتقد بأنها من الاسباب الرئيسية اضافة الى الطاقة الناتجة عن التفاعلات الكيمياوية الموجودة عند حدود التكوين والتأكسد وانحدارات الـ PH ايضا قد اقترحت كأسباب ممكنة .

ان قيم الجهد تختلف من الصفر الى عدة مئات من الملي فولت ، حيث أن القيم الموجبة تحدث عند التدفق من التكوين الى داخل البئر في حين أن القيم السالبة للتدفق المعكوس.

ان سجلات اداء الجهد تقرأ بلغة الانحرافات السالبة والموجبة من خط القاعدة الاعتباطي الذي يمكن أن يكون اما تكوينا نفاذا اوغير نفاذ وذا سمك معتبر. لهذا فان سجلات اداء الجهد تدل على الانطقة (Zones) النفاذة ولكن ليست في مصطلحات مطلقة .

وغالبا فان تغيير منسوب الماء الطبيعي في البئر سوف يعدل التدفقات وقيم الجهد ايضا . وبهذا تمكين الوصول لتصريف أفضل للانطقة النفاذة. في المناطق حيث الفروقات الحادة للانطقة النفاذة تكون معدومة ، فان منحنيات الجهد تفتقر الى البروز او الجلاء (Relief) وتكون ذات قيمة قليلة. في المناطق المدنية (Urban) والصناعية قد يحدث تيارات ارضية زائفة (Spurious) مثل تلك الناتجة عن السكة الحديد الكهربائية التي تتداخل مع سجل اداء الجهد ان الجهود التلقائية الناتجة من الجهود الكهروكيمياوية يمكن ان تعبر بواسطة : —

$$SP = M \frac{\rho_f}{\rho_w} \qquad \ldots (10.2)$$

حيث ρ_r هي مقاومية سائل الحفر في اوم – متر ، و ρ_w هي مقاومية المياه الجوفية في اوم – متر و M عامل يعتمد على التركيب الكيمياوي لكلا المائعين وعلى صفة التكوينات المجاورة للتكوين المائي من دراسة سجلات اداء الجهد في ابار حفرت بواسطة طريقة الدوارة الهيدروليكية في وادي سان جاكون في كاليفورنيا (Calif, San Joaquin) وجد العالم براين Bryan ان قيمة (M) تساوي 70 كانت مرضية . بمعرفة (M) وقياس (SP) و ρ_r تمكن من حساب تقديرات مقاومية المياه الجوفية .

في حيز التطبيق فان سجلات اداء المقاومية والجهد تسجل معا في الغالب كما هو مبين في الشكل 4.10
ان سجلا الاداء في الغالب يدل على نفس الظروف تحت السطحية ، ولذا فان احدهما يكمل الاخر .
وعلى اي حال ، فان زوجاً من سجلات الاداء ستمد احيانا بمعلومات غير متوفرة مباشرة من اي واحدة منهما وحدها .

سجلات اداء درجة الحرارة : Temperature Logging

ان قياس الخطوط المعترضة العمودية لدرجة حرارة المياه الجوفية في البئر يمكن الحصول عليها بسرعة بواسطة تسجيل ثرموميتر (محرار) مقاومة (Recording resistance thermometer) مثل هذه المعطيات يمكن ان تكون ذات قيمة في تحليل الظروف تحت السطحية . ومن المعتاد ان درجة الحرارة ستزداد مع العمق في توافق مع المعال الحراري الأرضي (Geothermal gradient) والمقدر تقريباً بـ (1°C) لكل 100 feet في العمق . ان الانحرافات Departures من هذا المعال الطبيعي قد تمد بمعلومات عن الجريان او الظروف الجيولوجية في البئر .

ان العالم بيس Bays قد بيّن ان درجات الحرارة وغير اعتيادية البرودة قد تدل على وجود غاز او في الآبار العميقة ويحتمل انها تلوثت من قرب السطح . نفس الشيء ، المياه الدافئة بصورة غير اعتيادية (abnormally) قد تحدث من المياه ذات الاصل العميق Deepseatedorigin ان درجات الحرارة قد تدل على مياه من تكوينات مائية مختلفة قاطعة بواسطة البئر . في امثلة قليلة ساعدت فيها سجلات اداء درجة الحرارة على تحديد موقع القمة التقريبية لكونكريت جديد خلف البطانة حيث الحرارة المتولدة خلال التصلب تنتج زيادة ملحوظة في حرارة المياه ضمن البطانة .

شكل (10 – 9) الحالات الهايدرولوجية ومنحني المقاومية للآبار المخترقة لتكوينان مائيان مختلفي الملوحة

سجل اداء المسماك Caliper Logging

ان اقطار الآبار يمكن ان تقاس على امتداد البئر بواسطة مايسمى مسماك الثقب hole Caliper مثل هذا الجهاز الذي تم تطويره بواسطة دائرة المسح الجيولوجي 8 في مقاطعة الينويز Illinois متكون من اربعة اذرع ممتدة بواسطة نوابض وثم مقاوم كهربائي ممسوك بواسطة الاذرع .

بالاذرع المتقاربة ننزل الجهاز الى قعر البئر حيث تتحرر الاذرع بتفجير شحنة صغيرة . ان معدل قطر الحفرة يسجل بعد ذلك كخط بياني مستمر بواسطة تسجيل تغييرات المقاومة وذلك عند صعود المسماك من البئر .

ان مسماك الحفرة وسجل الاداء الناتج مبين في الشكل 10.10 . مثل هذه المعطيات تكون مفيدة لقياس اقطار الآبار القديمة . لتعيين مناطق الانهيار وبامداد المعلومات عن البطانة .

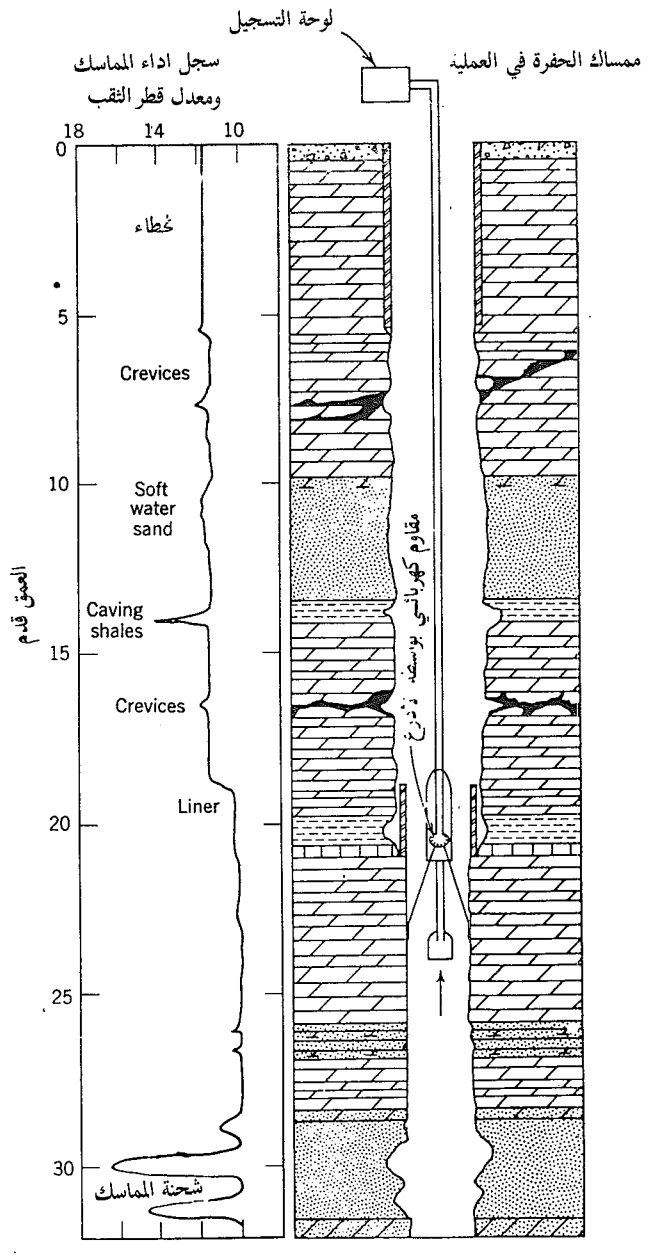
طرق تحت سطحية اخرى : Other Subsurface Methods

ان مقاييس التيار (Current meters) ذات التصميمات العديدة قد طورت لقياس سرع التدفق في الابار . 12,13 مثل هذه الأجهزة يجب ان لاتكون محكمة الدمج فقط ولكن ايضا يجب ان تكون حساسة لحركات المياه الصغيرة واتجاهاتها . ان القياسات تظهر طبقات المياه المساهمة الى البئر ، التدفق من احدى الطبقات الى اخرى عن طريق البئر والنضوح leaks حول وخلال البطانة . ثمة طرق تسجيل خاصية اخرى في الابار قد طبقت لامتداد محدود . ان ادوات جمع العينات المائية التي تحصل على – عينات المياه عند اعماق محددة تقيس نوعية الماء وتعمل كمؤكدات على سجلات الاداء الكهربائية . ان تصاوير سطوح داخل البئر تمكن فحص تكوين الصخور Lithology والبطانة – اما سجلات اداء الـ PH فقد عملت لدراسة الخواص الكيمياوية للمياه الجوفية . على حين أن سجلات الاداء الاشعاعي Radioactive logs والمستعملة اشعات كاما والنيوترون قد كان لها استعمال واسع النطاق في صناعة النفط لتحليل التكوينات في آبار النفط ..

ان الطريقة قد امتدت الى آبار المياه لتقدير المساميات وكميات الرطوبة . بواسطة تقنيات المعقبات تقدير سرعة المياه الجوفية يمكن الحصول عليها وهذه الطرق قد شرحت في الفصل

---

(3) Jones, P. H., and H. E. Skibitzke, "Subsurface geophysical methods in ground-water hydrology, in Advances in Geophysics (H. E. Landsberg, ed.), vol. 3, Academic Press, New York, pp. 241-300 1956



شكل 10 . 10 مسماك الثقب ونتيجة كل الاداء (بيزوفولك)

من فحوصات الضخ للابار فان عطاء التكوين المائي والنفاذية يمكن ان تقاس اما طرق العمل لهذه الغاية فانها قد نوقشت في الفصل (3).

الفصل الحادي عشر

التطعيم الاصطناعي للمياه الجوفية

لزيادة التجهيز الطبيعي للمياه الجوفية، حاول الانسان تطعيم احواض المياه الجوفية اصطناعيا . ان التطعيم الاصطناعي يمكن ان يعرّف بأنه زيادة الترشيح الطبيعي للامطار او المياه السطحية في التكوينات تحت الأرضية بواسطة بعض الطرق الانشائية كانتشار الماء او بواسطة تغيير الظروف الطبيعية اصطناعيا . وثم طرق مختلفة قد طورت تشتمل على نشر المياه ، والتطعيم خلال نقر حفر ، والابار وممرات ضخ لاستحداث التطعيم من اجسام المياه السطحية [15616134446] . ان اختيار طريقة معينة تتحكم فيها عادة الظروف الطوبوغرافية المحلية الجيولوجية وظروف التربة ان كمية المياه المستخدمة للتطعيم والاستعمال النهائي لكميات المياه . في حالات خاصة تكون قيمة الارض ونوعية المياه اوحتى المناخ احد العوامل المهمة . ان ثمة سردا شاملاً (Bibliography) اضافة الى التعليقات الجانبية على الموضوع قد نشر بواسطة دائرة المسح الجيولوجي الامريكي[72] .

التطعيم الاصطناعي في الولايات المتحدة :—

Artificial Recharge in the United States)

ان التطعيم الاصطناعي في الولايات المتحدة ابتدىء به قرب نهاية القرن التاسع عشر . ومنذ ذلك الحين فان منشات التطعيم قد ازدادت بثبات . ان كميات المياه من مصادر مختلفة طعمت اصطناعيا خلال عام (1955) قد لخصت بواسطة العالم ماكيجان[44] (Nackichan) التي هي موضحة في الجدول 11.1 ان مقاطعة كاليفورنيا قد طعمت (375) مليون غالون /يوم (mgd) من المياه السطحية او اكثر من نصف المياه المطعمة اصطناعيا في الولايات المتحدة .

الاجمالي الوطني يصل الى 1.5% لاجمالي المياه الجوفية المستعملة في الولايات المتحدة (انظر الفصل 1) .

الكمية بملايين	المصدر
41	مردودات التكييف الهوائي
49	الفضلات الصناعية .
540	مياه سطحية
71	تجهيزات المياه للمواطنين
701	المجموع

عدا التطعيم الذاتي

الجدول (1.11) التطعيم الاصطناعي للمياه الجوفية في الولايات المتحدة 1955 (ماكيجان [44])

انتشار المياه :

ان المصطلح نشر المياه يرجع الى تحرير المياه فوق سطح الارض لزيادة . كمية المياه المترشحة الى الارض وتخللها الى مستوى سطح الطبقة المائية الحرة . وعلى الرغم من ان الدراسات الحقلية للانتشار قد اوضحت عدة عوامل تتحكم بالمعدل(rate)الذي بواسطته يتم دخول الماء الى التربة ، من وجهة النظر الكمية ، فان منطقة التطعيم وطول فترة بقاء الماء الذي هو بتماس مع التربة يكونان مهمين غالبا . ان كفاءة الانتشار تقاس بمصطلحات من معدل التطعيم ويعبر عنها بسرعة حركة الماء النازل فوق منطقة مبللة في الولايات المتحدة . فان الوحدة هي قدم / يوم (اومكافآتها العددية (acre - feat/acre / day وهي المستخدمة . ان طرق الانتشار يمكن تصنيفها الى برك الحوض والى قنوات الري او الاخاديد أو القنوات الطبيعية أو الري وكل من هذه موصوفة باختصار في المقاطع الآتية :

طريقة التفييض : (Flooding method)

في المناطق ذات التضاريس المنبسطة نسبيا يمكن ان تنشتت المياه لتنتشر بالتساوي فوق منطقة كبيرة[48] في التطبيق فان قنوات واخاديد توزيع ارضية هي عادة تحتاج لاطلاق المياه على مراحل فوق النهاية العليا لمنطقة التفييض. من المستحسن عمل طبقة رقيقة من المياه فوق الارض تتحرك بسرعة صغرى لتجنب بعثرة التربة . معظم الفحوصات دلت على ان سرع الترشيح العالية تحدث في المناطق حيث النباتات وغطاء التربة غير مضطربة (لم تبعثر) مقارنة مع طرق الانتشار الاخرى . ان انتشار الفيضان ذوكلفة اقل من ناحية تهيئة الارض . ولغرض السيطرة على المياه في جميع الاوقات فان الضفاف اوقنوات يجب ان تحيط منطقة التفييض الكلية ولغرض الحصول على كفاءة عظمى فان شخصاً واحداً في الأقل يجب ان يكون على الاراضي خلال عمليات التفييض . حيث غالبا حركة مجارف قليلة من الأوحال سوف تزيد بشكل مؤثر المساحة المبللة .

طريقة الحوض : (Basin Method)

ان المياه يمكن تطعيمها بواسطة اطلاقها الى احواض مكونة بواسطة الحفر او بواسطة انشاء حواجز او سدود صغيرة الابعاد – الافقية لمثل هذه الاحواض تختلف من اقدام قليلة الى عدة مئات من الاقدام . ان النظام الاكثر شيوعا يتكون من احواض انفرادية مغذاة بواسطة الماء المضخ من مصادر المياه السطحية القريبة . الماء الخالي من الطمى يساعد في

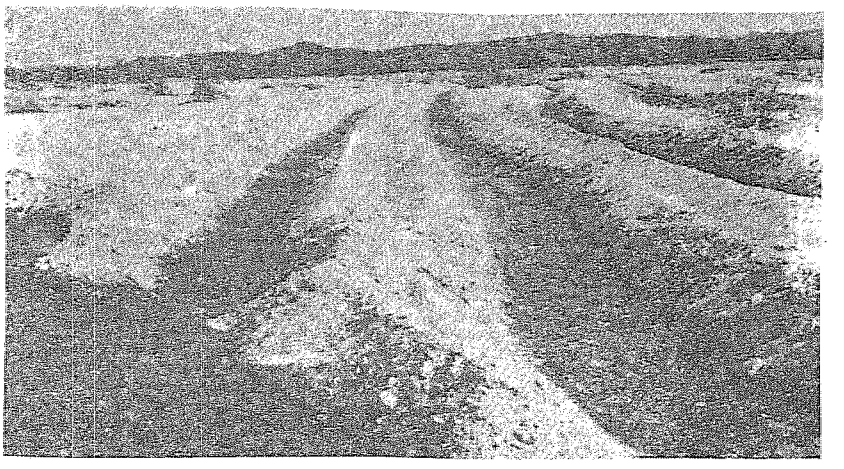
منع انسداد التسرب من الاحواض خلال عملية الغمر . مع ذلك فان معظم الاحواض تتطلب تنظيفا دورياً بواسطة كشط سطح القاع عندما يكون جافا . في كاليفورنيا مجموعات من الاحواض قد بنيت وعملت بنجاح في قنوات المجاري المهجورة . في السهول النهرية او الفيضية توازي الاحواض القنوات الموجودة حيث الماء يقاد الى الحوض الأعلى بواسطة قناة . وحالما يمتلىء الحوض الاول فانه يسفح الى الثاني . والعملية تكرر خلال كل سلسلة الاحواض (انظر الشكل 11.1) من الحوض الاسفل ، فان المياه الزائدة تعاد الى القناة الرئيسة . بواسطة هذه الطريقة يكون الانتشار منجزا ، والا فقد تكون هناك ارض بور وكذلك تسمح باتصال الماء فوق 75 الى 80 بالمئة من المنطقة كلها . ان الاحواض بسبب ملاءمتها العامة اضافة الى الاستعمال الملائم والفعال للفراغ وسهولة الصيانة ، جعلتها من اكثر الطرق الملائمة والمناسبة للتطعيم الاصطناعي .

شكل (11 1) انتشار الاحواض موازية في باسادينا Pasadena كاليفورنيا (هيئة السيطرة على الفيضان في مقاطعة لوس انجليس

ليس هناك نص مضبوط يمكن ان يعمل أخذا بنظر الاعتبار معدلات التطعيم على اي حال الجدول 11.2 قد لخص المعدلات الممثلة والمستحصلة للاحواض في الولايات المتحدة .

طريقة الخندق أو الأخدود : – (Ditch or Furrow Method)

في هذه الطريقة يكون الماء موزعاً الى خنادق (قنوات) أوأخاديد متسلسلة ، تكون ضحلة ، منبسطة القاع وقريبة المسافات لكي يمكن الحصول على منطقة اتصال مائي عالية الشكل 11.2 يوضح خنادق الانتشار النموذجية على سهل غريني . تدرجات المغذيات الرئيسية يجب ان يكون كافيا لحمل المواد العالقة خلال النظام . ان ترسب المواد الحبيبية الناعمة يسد فتحات سطح



شكل (11-2) انتشار الخنادق من توجنجاووش Tuju ng-awajh لوس انجليس Los Angles كاليفورنيا.

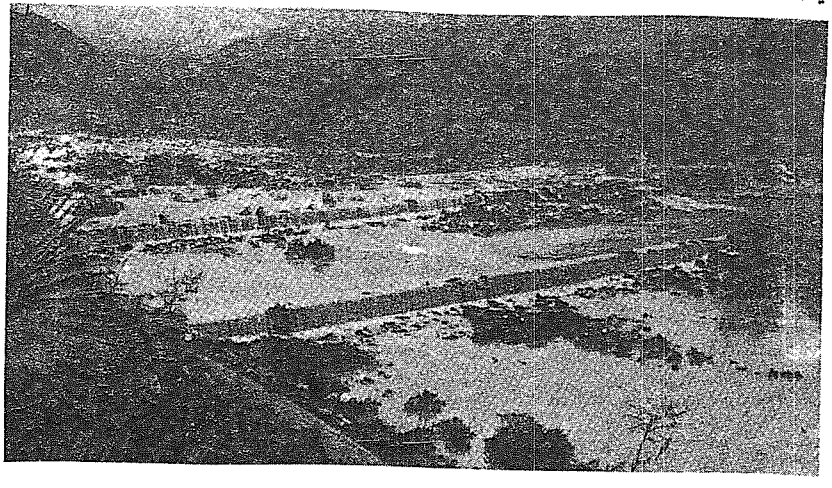
Location	Rate, ft/day
Santa Cruz River, Ariz.	1.1–3.8
Los Angeles County, Calif.	2.2–6.2
Madera, Calif.	1.0–4.1
San Gabriel River, Calif.	1.9–5.4
Santa Ana River, Calif.	1.8–9.6
Santa Clara Valley, Calif.	1.4–7.3
Tulare County, Calif.	0.4
Ventura County, Calif.	1.2–1.8
Des Moines, Iowa	1.5
Newton, Mass.	4.3
East Orange, N. J.	0.4
Princeton, N. J.	0.1
Long Island, N. Y.	3.1
Richland, Wash.	7.7

جدول (11 2) معدلات التطعيم لاحواض الانتشار الممثلة .[72]

التربة على الرغم من اختلاف تصاميم الخنادق المبتكرة . فان تصميما مخصوصا يجب ان يسترشد به لشكل وترتيب المنطقة المحلية الخندق الجامع تكون الحاجة اليه عند النهاية السفلى لكل منطقة لنقل وارجاع الماء الفائض الى قناة المجرى الرئيسي . هذه الطريقة مكيفة للاراضي غير المنتظمة ولكن نادراً ماتوفر مساحة اتصال المياه مساويا لما يمكن الحصول عليه بطريقة الاحواض .

طريقة القنوات الطبيعية : — (Natural Channel Method)

المياه المنتشرة في قناة المجرى الطبيعي قدتسلك ايامن الطرق الثلاث المشروحة في اعلاه حيثما خطر الفيضان قدينتج من حواجز القنوات الضخمة المكونة للاحواض . ان طرق التفييض أو الخندق هي المفضلة مهما تكن الطريقة المتبناة فان الغرض الرئيسي هو اطالة مدى الوقت والمساحة التي عبرها تطعم المياه — من قناة ذات تدفق داخل طبيعي . في كاليفورنيا سدود فحص صغيرة لها جداول موزعة بنجاح عبر قنوات كبيرة منبسطة السدود مبنية من الاسمنت او من الصخر المربوط بشبكة سلكية[48] ان تأثير سدود الفحص في توزيع المياه عبر قناة موضح في الشكل 11.3 ان نشر القناة يمكن ايضا ان تدار بدون مشاريع نشر Level محددة في الجداول التي لها مستودعات خزن ابتدائي لتنظيم الفيضان واطلاق المياه الصافية قد تكون عملية التطعيم كليا في لسان المجرى غالبية اعمال ومشاريع النشر في وقرب مقاطعة لوس انجلس كاليفورنيا* هي جزء من خطة متكاملة لصيانة المياه والحماية من الفيضانات [23.38.39.41.64]



شكل (11 3) انتشار القنوات مع سدود الفحص المسلحة بالصخر والحديد في جدول كوكامونجا قرب آبلاند—كاليفورنيا.

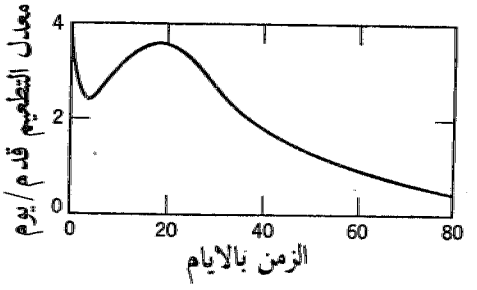
* هيئة السيطرة على الفيضان في مقاطعة لوس انجليس) قدمت تقريرا مفاده ان 3100 فرسخا من الاراضي المنتشرة كانت تحت اعمال مقاطعة لوس انجليس في عام 1957 . وان معدل سعة التطعيم بالنسبة الى عموم المساحة تزيد على 1.2 قدم لكل يوم. ولفترة الخمسة والعشرين عاما 1932 1957 . كان معدل 56500 فرسخ لكل قدم من الماء قد تم تطعيمه سنويا .

طريقة الري (Irrigation Method) :

في المناطق المروية ، ينتشر الماء في بعض الأحيان بواسطة الري بمياه زائدة خلال السبات أو السكون (الشتاء) الفصول غير المروية (التي لاتحتاج الى إرواء) . ان الطريقة لاتتطلب تكاليف اضافية لتهيئة الأرض طالما ان نظام التوزيع يعتبر جاهزاً . حتى وضع قنوات الري المملوءة سيساهم بالتطعيم بواسطة التسرب من القنوات حيث جزء كبير من تجهيز المياه يتم ضخه . من محاسن طريقة رفع مستوى الماء وبالتالي اختزال تكاليف الطاقة .

بحث على نشر المياه (Research on water spreading) :

ان اقتصاد نشر المياه مستند على الحفاظ على معدل الترشيح العالي . منحنيات المعدلات النموذجية على أي حال تبين ان هنالك ميلا واضحا نحو النقصان مع الزمن لتحديد سبب هذا النقصان وكيفية معادلتها قد أدت الى برامج بحوث واسعة . معالجات متنوعة للتربة وطرق عملية قد بوشرت لدراسة المشكلة . الشكل (11.4) يوضح منحني نموذجياً لمعدل التطعيم مقابل الوقت ان النقصان الأولي يعزي الى تشتت وانتفاخ دقائق التربة بعد تبللها . ان ازدياد اللاحق يصاحب التخلص من الهواء المحبوس بواسطة الذوبان في المياه المارة ، على حين ان النقصان التدريجي النهائي ينتج من النحو الميكروبي غالباً أن مسافات التربة والفحوصات المختبرية للتربة المجدبة والمياه تعطي تقريباً معدلات 1.12.21.49 تطعيم عظمى ثابتة . وهذا يثبت من تأثير النمو الميكروبي على أسس من التنسيق فان مصلحة الابحاث الزراعية الامريكية قد أجرت سلاسل واسعة من الفحوصات الحقلية في كاليفورنيا لتقييم العوامل المتحكمة بمعدلات التطعيم [49.60.61] قد أظهرت عموماً أن معدلات التطعيم تقل مع نقصان معدل حجم دقائق التربة وفوق منطقة النشر .



شكل (11 4) معدل التطعيم مع الزمن لانتشار الماء في التربة الغير منشرة . (ماكل [49])

ان محاولات جعل مساحات التربة طليقة لمرور المياه قد قادت الى اضافة المواد العضوية ، والمواد الكيمياوية الى التربة . بالاضافة الى انماء النباتات على منطقة النشر . على سبيل المثال + نفايات محلج القطن ، عندما مزجت مع التربة واعطيت فترة حضانة رطبة كانت مؤثرة في زيادة المعدلات من عدة أعشاب او حشائش جربت فان أعشاب برمودا قد استدامت على الحياة اكثر من بقية الاعشاب بوجود الترطيب المطول وحسنت معدلات الأخذ (التسريب للداخل) .

العوامل الكيمياوية للتربة التي تحاول ان تكتل التربة ، ترى دلالة نجاح من الترب ذات الأنسجة المعينة . إن تعاقب فترات الجفاف والرطوبة على حوض يمد عموماً تطعيماً إجمالياً أكبر مما يفعله الانتشار المستمر على الرغم من الحقيقة بأن الماء هو بتماس مع التربة الى درجة من القلة تساوي نصف الزمن الكلي . الجفاف يقتل النمو الميكروبي وهذا متحد مع تخديش سطح التربة يعيد فتح مسامات التربة . عوامل أخرى يمكن ان تساهم في معدلات التطعيم ، انضغاط السطح بواسطة معدات ثقيلة في تهيئة منطقة انتشار يمكن أن يؤثر بصورة معكوسة على الترشيح . الدراسات في برك صغيرة قد أثبتت ان معدلات الترشيح تتناسب طردياً مع ثقل عمود الماء[59] حيث الطبقات الأقل نفاذية تحت الطبقة السطحية . فإن معدل التطعيم يعتمد على معدل الجريان الجانبي تحت السطحي لذا فان مجرد النشر في الأشرطة الضيقة والمتباعدة فقط يعطي تطعيما بقدر مقارب لما يعطيه الانتشار عبر المساحة الكلية [60.62] ضوء الشمس المؤثر على الفعل البكتريولوجي في التربة ، حرارة الماء والنمو الطحلبي في الماء لم يقوما تمام التقويم كعامل التطعيم . ان حرارة الماء العالية بمصاحبة اللزوجة القليلة يجب ان تزيد من الترشيح ، ولكن هذا التأثير قد يكون أكثر من ذلك المعوض بواسطة التحفيز الى النشاط البكتريولوجي .

ان الماء المحتوي على الطمى او الطفل من المعلوم انه يسد مسامات التربة مؤديا الى اختزال سريع في معدلات التطعيم . ان ترشيح الرمل السريع للتخلص من المواد الناعمة يمكن ان يكون مجدي اقتصادياً حيثما شمل تجهيزات المياه المحلية .[34]

ان فعل الامواج في البرك الكبيرة والصغيرة يمكن ان تثير وتعكر صفو ترسبات القاع وتسد المسامات والتي لولا ذلك تبقى مفتوحة . ان نوعية المياه يمكن ان تكون عاملا مهما ، لهذا فان تطعيم المياه المحتوية على كمية عالية من الصوديوم تميل الى تشتيت دقائق التربة الغروية . وبهذا تمنع مرور المياه بسبب ان مستويات المياه العالية تحدد الجريان باتجاه الاسفل للمياه المطعمة ، لهذا يجب أن يكونوا في الاقل 10 – 20 قدم تحت سطوح الانتشار .

---

* ان نفايات محلج القطن تتكون من حافظة حبات القطن ، الاوراق ، الجذوع وقليل من البذور وكميات قليلة من النسالة .

تطعيم النفايات : — Sewage Recharge

ان مياه النفايات تكون مصدراًلتطعيم المياه الجوفية في الوقت الحاضر عند الصيانة ذلك ان استصلاح الأراضي واستعمال المياه ثانية تعطي تأكيداً متزايداً ، لذا فان تطعيم مياه النفايات قد مورست بطرق مختلفة في العلم ان القساطل septic tanks تعمل كوحدات تطعيم صغيرة ، كذلك مزارع النفايات . حيث ان النفايات المعاملة تستعمل بسقي وارواء محاصيل علف الماشية والبساتين شائعة في الاقطار الاوربية وفي غرب الولايات المتحدة [50] . وعلى الرغم من ان الرأي العام يعاكس عموما فكرة اعادة استخدام مياه النفايات فيبدو محتملاً من خلال الثقافة والتوضيحات المقنعة لأمان ومحاسن هذه الطريقه بناءً على تحريات البحث بان هذا الموقف سيتغير في المستقبل بسبب التراكيز العالية للمواد العالقة والبكتريا ، فان معدلات الانتشار لتدفقات النفايات هي اقل من تلك للمياه العذبة النقية .

المعدلات النموذجية لمزارع النفايات (Sewage farms) هي في الرتب 0.01 الى 0.09 قدم/ يوم .في السنوات الحالية عدة تحريات قداجريت في كاليفورنيا لتقويم القابلية التقنية لنشر النفايات لاستصلاح المياه [5,18] عند منطقة لودي (Lodi) . النتائج مع التدفقات النهائية من مشاريع معالجة النفايات اعطت معدلاً مقارباً الى 0.5 قدم / يوم . القيم المقارنة لـ 1.0 قدم/يوم عند منطقة ويتور whittior 1.0 الى 2.0 قدم/يوم. عند منطقة أزوسا Azusa من 0.2 الى 0.8 قدم/يوم على فحوصات بجهاز اللسينميتر Lysimeter مشتملة على خمس نماذج من التربة قدقيست من كاليفورنيا . ومعظم الدراسات أوصت بتعاقب فترات الجفاف والترطيب 7 الى 14 يوم مع الحراثة اثناء دورة الجفاف كما يمكن الحصول عن معدلات الانتشار العظمى . الفحص الـ B البكتريا العضوية تحت منطقة الانتشار اظهرب ان الترشيح الطبيعي خلال المواد الحبيبية الناعمة تعمل على جعل المياه صالحة للاستعمال بعد عدة اقدام مخترقة قليل معروف حول احتمالات تطعيم النفايات بواسطة الابار . ان تجارب التطعيم بواسطة البئر عند ريجموند كاليفورنيا قد بينت انسدادا ثابتا للبئر بالنفايات المستقرة على حين أن هذا لايحدث للمياه العذبة [19] النقية .

ان معدل الانسداد موضحا بواسطة الزيادة في ضغط عمود البئر المطعم كان متناسبا مع المحتويات الصلبة العالقة في مياه النفايات . النمو الاحيائي ارتباط الغازات في التكوين المائي بواسطة فقاعات غازية صغيرة تساهم ايضا في الانسداد . ان التشغيل المستمر يكون ممكنا بواسطة حقن الكلور اسبوعيا ، واعادة التطوير بضخ 4 أو 5 / من المياه المطعمة .

ان تطعيم المياه المبددة الى نبات سريع الانجماد قرب سيروك في نيوجرسي New Jersey

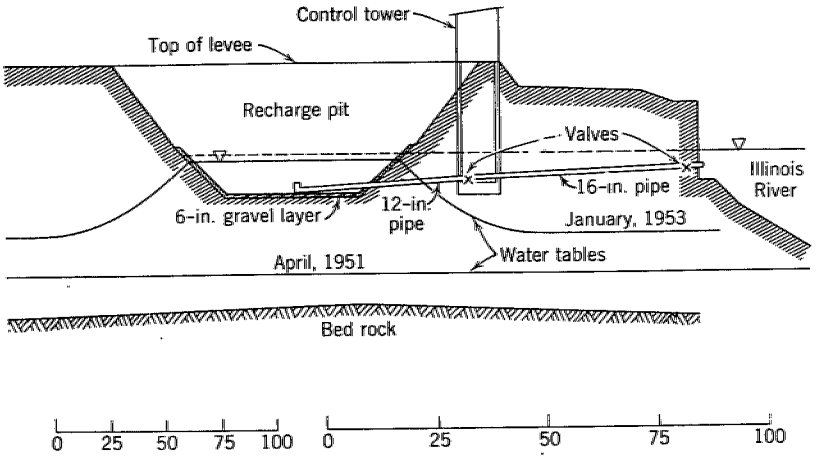
Seabrook قد انجز بواسطة رش التدفق من فوهات خراطيم دوارة عبر منطقة مشجرة .[45] ان معدلات التطعيم التي تصل الى 0.53 قدم / يوم قد حفظت خلال تربة رملية نفاذة . ان المياه المستعملة تصبح صالحة للشرب بعد ترشيحها خلال الارض الارتفاعات الملاحظة في مستوى المياه تصاحب التطعيم ولكن الخزن المتزايد يبدد بصورة كبيرة بواسطة الجريان الخارج تحت السطحي قبل بداية الفصل التالي ..

التطعيم من خلال الحفر والممرات Recharge through Pits and Shafts :

نشر المياه لا يمكن أن يكون مؤثراً في المناطق ، حيث الطبقات تحت السطحية تحد دمرور المياه في الاتجاه الاسفل في كاليفورنيا . على سبيل المثال الترب الطينية وطبقات الطفل فانها عوائق شائعة للتطعيم بواسطة الانتشار . في المناطق التي تكون فيها الطبقة غير النفاذة ليست بعيدة كثيرا تحت سطح الارض فان التطعيم يمكن مواصلته بواسطة حفر الممرات او الحفر[55] اذا اخترقت هذه الحفر او الممرات الطبقات السفلى الاكثر نفاذية فان المياه تستطيع ان تتخلل مباشرة الى داخل التكوين المائي بسبب ان الممرات والحفر تكلف اكثر لتشييدها وتطعم احجام من المياه اصغر مما تفعله مناطق النشر لذا فهي لها استخدام محدود . ان حفر الحصى المهجورة قد استغلت أحياناً لهذا الغرض . ان المساهمة المهمة الى المعرفة لتطعيم الحفر قد تم عمله بواسطة مشروع اديرمن قبل دائرة مسح مياه ولاية الينويز عند منطقة بيوريا (Peoria,Illiabis[69,76] . ان معظم المياه المستعملة للصناعة أوللأغراض المحلية يستحصل عليها من الحصى والرمل في وادي نهر الينوى . وقد خلقت متطلبات الضخ المتزايد سحباً مفرطاً في المنطقة ، ولكن التطعيم من النهر كان صغيرا بسبب الترسبات الغرينية على قاع النهر . كما دلت الفحوصات الابتدائية على ان التطعيم قد يحسن الحالة وبدأت دراسة التطعيم بمقياس كامل عام 1951 .

ان دراسة التطعيم على مقياس كامل قد بدء في 1951 حفرة ذات قاع بابعاد 40 × 62.5 قدم وعمق 30 قدم قد تم حفرها قرب نهرالينوى (انظر الشكل 5.11) ان انبوبا مغذيا لمياه النهر بواسطة الجاذبية الى برج سيطرة حاوياً على معدات لاضافة الكلور اضافة الى اجهزة قياس وصمامات تنظيم الحفرة تشغل فقط خلال فترة كون الماء باردا في النهر (عادة من تشرين الاول – مايس) كي تبقى درجة حرارة المياه الجوفية تحت 60 فهرنهايتية . الجدول 11.3 يلخص نتائج عمل لخمسة فصول .

ان الجريان الداخلي اوالتدفق المتزايد ابتداءً من فصل الانتقال بين سنة 1954 – 1955 رافق احلال 6 انج من طبقة رمل على القاع وجوانب الحفرة بحصى بزالي منتظم بحجم حبة البزاليا الحفرة تنظف دورياً كلما تطلب بواسطة منظف الامتصاص الذي يزيل طبقة



شكل (11 – 5) مقطع عرضي في حفرة التطعيم عند منطقة بيوريا Peoria (بعد سيوتر [70] Suter)

TABLE 11.5 Data on Infiltration Basins in Sweden

(After Jansa [34])

City	Capacity, cfs	Height of Basin above Water Table, ft	Infiltration Rate, ft/day	Distance from Basins to Pumping Wells, ft
Eksjö	0.4	0–6	10–16	1000
Eskilstuna	5.3	72–82	13	1600
Göteborg	3.3	0–6	5	1700–2100
Hälsingborg	6.5	9	13	>1000
Karlskoga	2.0	39	23	2100
Katrineholm	1.6	23	52	1500
Kristinehamn	1.2	9	33	750
Landskorna	2.0	0–6	16	300–1600
Luleå	3.7	43	8	700
Malmö	2.0	16–33	7–10	1600–3300
Sodertalje	4.1	30–56	16	1300–5600
Västerås	16.3	50	13	700–1600
Örebro	4.9	26–43	33	300–1000

جدول (11 – 3) : المعلومات الفعلية من حفرة التطعيم بيوريا ، الينوز (دائرة المسح المائي لولاية الينوز)

الطمى المتجمعة على القاع ان النتائج الناجحة المحققة بطريقة الحفرة يمكن ان يعزى الى التكوينات المسامية التي تخترقها الحفرة ، طلب المياه الجوفية الكبيرة في المناطق المجاورة التي تحافظ على مستوى الماء بشكل منخفضاً اضافة الكلور للماء والمراقبة الشديدة لسعة تطعيم الحفرة .

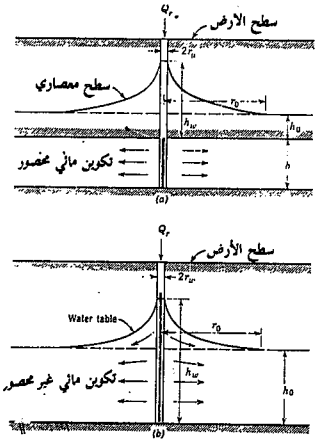
التطعيم بواسطة الآبار : (Recharge through Wells)

ان بئر التطعيم* يمكن ان يعرف بأنه بئر يدخل المياه من السطح الى التكوينات تحت الأرضية وجريانه هوعكس بئر الضخ ولكن بناءه يمكن ان يكون اولايكون نفسه بئر التطعيم يكون عمـلي ؛ اذ أن التكوينات المائية المحصورة يجب أن تطعم ذلـك أن الاقتصاد في الفراغ مثل المناطق في المدينة (الحضرية) انما هي اعتبار مهم اذا ادخل الماء حينه الى البئر فان مخروط التطعيم سوف يتكون ، وهو مشابه في الشكـل ولكن معاكس لمخروط الانخفاض ، المحيط ببئر الضخ . أن معادلة المنحنى يمكن ان تشتق بواسطة فرضية العالم ديوبت Dupuit وبطريقة مشابهة الى ذلك المعمول بالنسبة لبئر الضخ (انظر الفصل 4) اما بالنسبة للتكوين المائي المحصور فان الماء المشحون الى البئر وفي اختراق كامل عند معدل Qr ، يمكن التعبير عنه بماياتي :

$$Q_r = \frac{2\pi Kb(h_w - h_0)}{In(r_0/r_w)} \qquad .....(11.1)$$

ويمكن ان تشخص الرموز في الشكل a6.11 لبئر التطعيم المخترق تكويناً مائياً غير محصور (انظر – الشكل) b6.11 .

$$Q_r = \frac{\pi K(h_w^2 - h_0^2)}{In(r_0/r_w)} \qquad .....11.2$$



شكل (11 – 6) الجريان الشعاعي لبئر مطعم يخترق : (a) تكوين مائي محصور (b) تكوين مائي غير محصور .

* يطلق على ابار التطعيم ايضا اصطلاح ابار الحقن ، الابار المعكوسة ، ابار الانتشار ، ابارالفضلات وكذلك الآبار الخرساء .

وبمقارنة معادلات التصريف لآبـار الضخ وآبار التطعيم فلربما كان متوقعاً سعـة التطعيـم سوف تساوي سعة ضخ البئر اذا كان مخروط التطعيم له أبعاد مكافئة لمخروط الانخفاض. بأن القياسات الحقلية على أي حال نادراً ماتساند هذا التفكير ومعدلات التطعيم نادراً ماتساوي معدلات الضخ ان الصعوبة تكمن في حقيقة ان الضخ والتطعيم يختلفان في اكثر من تغيير بسيط في اتجاه الجريان . حينما يضخ الماء من بئر يحوي مواد ناعمة موجودة في التكوين المائي تُحمل خلال الدقائق الاخشن المحيطة بالبئر والى داخل البئر . ولكن على العكس فاي غرين او طمى محمول بالماء الى بئر التطعيم مرشح للخارج ، ويحاول ان يسد التكوين المائي المحيط بالبئر . نفس الشيء الماء المطعم ، فانه قد يحمل كميات كبيرة من الهواء المذاب محاولاً اختزال نفاذية التكوين المائي بواسطة التصاق الهواء . الماء المطعم قد يحوي البكتريا التي تستطيع ان تكوّن نمواً على مصفاة البئر Well Screen وعلى التكوين المحيط لهذا البئر مختزلة منطقة الجريان المؤثرة .

المكونات الكيمياوية للمياه المطعمة قدتختلف بكفاية عن المياه الجوفية الاعتيادية لتسبب تفاعلات كيمياوية غير مرغوبة . على سبيل المثال تبادل القاعدة (baseex change) في التكوينات المائية الحاوية على أجزاء كبيرة من الطمى والطفل . كل هذه العوامل تعمل على انقاص – معدلات التطعيم . ونتيجة لذلك فقد حدد تطعيم الآبار بمساحات قليلة حيث الظروف – المحلية والخبرة قد أوضحتا النتيجة العملية لهذه الطريقة[21] ان معدلات الدفق الداخلي (In flow) المقاسة لآبار التطعيم في عدة مواضع من الولايات المتحدة قد أدرجت في الجدول (4.11) .

جدول 4.11 متوسط معدلات التطعيم للابار

Location	Rate, cfs
Fresno, Calif.	0.2–0.9
Los Angeles, Calif.	1.2
Manhattan Beach, Calif.	0.4–1.0
Orange Cove, Calif.	0.7–0.9
San Fernando Valley, Calif.	0.3
Tulare County, Calif.	0.12
Orlando, Fla.	0.2–21
Mud Lake, Idaho	0.2–1.0
Jackson County, Mich.	0.1
Newark, N. J.	0.6
Long Island, N. Y.	0.2–2.2
El Paso, Texas	2.3
Williamsburg, Va.	0.3

في معظم الحالات تمثل هذه الارقام متوسط معدلات مبنية على عمل او تشغيل مستمر . ان آبار التطعيم كمساحات النشر قد تعطي معدلات اخذ ابتدائية كبيرة متبوعة بقيم ثابتة تقريباً او متناقصة بـ[illegible] . ان اعظم معدلات الأخذ توجد في التكوينات المسامية للغاية كحجر الكلس والحمم البركانية (Lavas) .

ان مما يجدر ملاحظته ان آبار التجهيز يمكن أن تناوب كابار التطعيم . وخلال الحرب العالمية الثانية قامت معامل التقطير في لويس فل من ولاية كنتكي بتطعيم المياه المحلية في آبار الضخ الخاصة بهم كاجراء اضطراري لتخفيف حالة خطيرة من الاستهلاك المفرط للمياه الجوفية [3.30] . مثالان بارزان موضحان لتطعيم الآبار موصوفان في المقاطع الآتية : —

مشروع تطعيم ساحل ، منهاتن

(The Manhattan Beach Recharge Project)

ان تحريا شاملاً لتطعيم البئر مقدم بواسطة ولاية كاليفورنيا قد بدأ في 1951 عند ساحل منهاتن كاليفورنيا [9.10] وكان الغرض من المشروع تحديد ملائمية اقامة حاجز المياه العذبة ، لكي يمنع من الاقتحام الاضافي لمياه البحر في التكوين المائي المحصور (انظر الفصل 12) ، تسعة ابار ذات اقطار (12) انج للتطعيم قد حفرت بفواصل 500 قدم لتكوين خطاً قريباً وموازياً للساحل في حين حددت مواقع 54 بئر للمراقبة بجوار خط الآبار الأولية . هذه الابار اخترقت تكوينات مائية محصورة متسعة لحوالي 110 قدم سمك والواقعة حوالي 100 قدم تحت سطح الارض (انظر الشكل 12.9) ان التكوين المائي متكون من رمل ناعم وحصى وله معامل نفاذية في مدى 800 الى 1500 . التطعيم لهذه الابار بدأ مبكراً في عام 1953 مع مياه نهر كولوراد المعاملة بواسطة تسليط اعمدة مياه 40 الى 50 قدم الى الآبار .

وقد وصلت الحقن التي تم الحصول عليها الى ١ قدم^3 / بالثانية لكل بئر ، ولكي يتم منع تكوين البكتريا المكونة للمواد اللزجة داخل وحولها فان عملية اضافة الكلور بمعدل (5) الى (10) جزء بالمليون كان متطلباً . ان طريقة التطعيم هذه قد استمرت بنجاح بعد عدة سنين من التشغيل .

ان الدرس المستفاد من مشروع ساحل منهاتن كان الحاجة الى ابار تطعيم مشيدة بدقة . بعد مدة قصيرة من البدء بالتطعيم حدث انهيار مفاجيء فوق منطقة لا بأس بها مجاورة الى بطانة احدى الآبار . امثلة مشابهة حدثت ايضاً عند ابار التطعيم الاخرى . ولقد عزيت الاستقراءات في حينها الى الضخ العالي لتطور الآبار مسببة خلق تجاويف كبيرة محيطة ببطانة البئر المثقبة في التكوين المائي ، اضافة الى ان تعبئة الحصى كان منصوحاً به لآبار التطعيم الجديدة الاخرى . ان غلاف من الحصى حول البئر يختزل سرع الدخول من التكوين المائي

(بسبب القطر الاكبر) . وتستقر لتملأ التجاويف التي قد تحاول ان تتكون حول البئر خلال التطور . ويمكن ان – يزود الحصى عند السطح كلما دعت الحالة اليه . لقد وجد ايضاً أن انسداد الآبار بواسطة الرواسب عند طبقة الطفل فوق التكوين المائي التي تعمل عمل البلاط كان ضرورياً ليمنع حركة المياه باتجاه الاعلى حول البطانة خلال فترة التطعيم .

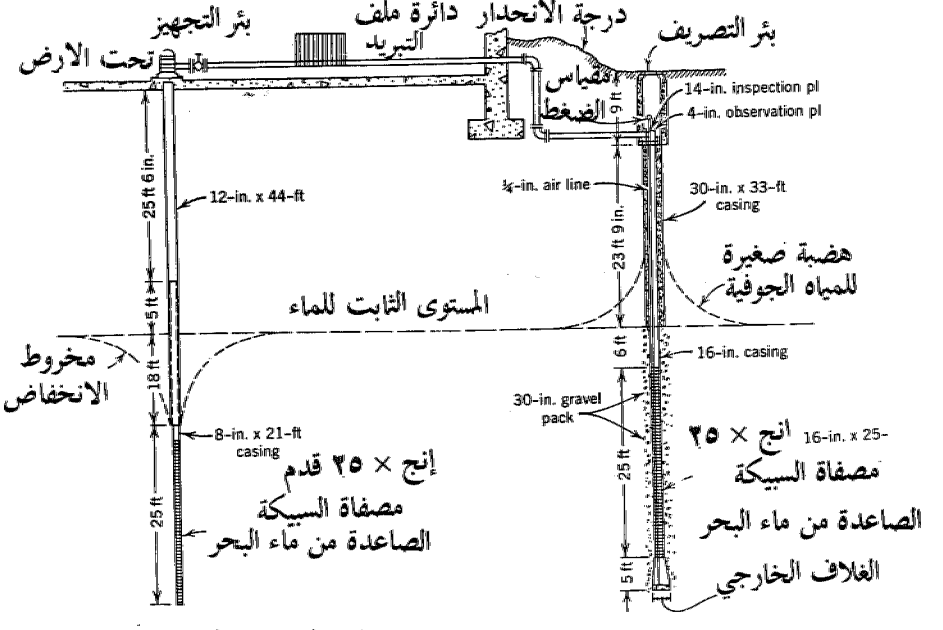
ابار التطعيم في لونك ايسلند / نيويورك

(Recharge Wells on Long Island, NewYork)

اكثر من 1100 بئر للتطعيم حفـرت فـي لونـــك ايسلند – نيويورك منذ عام 1933 [14,35,42]. معدلات التطعيم الاعتيادية وقعت في مدى 0.2 الى 0.5 قدم^3 / ثا هذه الآبار كانت محفورة لاستجابة من لجنة التنظيم والطاقة المائية التابعة لولاية نيويورك . أن الماء المضخ من آبار جديدة لغرض التبريد والتكييف يجب ان يعاد الى التكوين المائي الذي سحب منه . ان نتائج هذه السياسة قد اوضحت الظروف الملائمة او المحددة لنجاح عملية البئر المطعم في تكوينات غير متماسكة ورخوة . ان تنصيب نموذجي لبئر تجهيز وبئر تطعيم موضح بواسطة الشكل 7.11 نوعين أساسين لآبار التطعيم التي حفرت في لونك ايسلند Long Island .

وهذان النوعان هما : النوع الجاف ، والنوع الرطب .

ان النوع الجاف يتكون من ثقب ذا بطانة مخرمة منتهية فوق مستوى الماء ، على حين ان النوع الرطب (الشكل 6.11) له بطانة غربالية ممتدة الى ما تحت مستوى الماء .



شكل (11 – 7) التجهيز النموذجي وتعيين البئر المطعم لاسباب التبريد في لونك ايسلند (جونسون 35)

ان النوع الجاف من الآبار يسمح بتبديد بعض الحرارة للمياه الدافئة المعادة قبل ان تصل الى مستوى الماء . وايضا بسبب كونها اكثر ضحالة ، فبناءها ارخص . ومن جهة اخرى فان انسداداً زائداً قد سجل في عدد من هذه الابار . ومن المعتقد بان سبب ذلك يعود الى تحرر الغازات المذابة حالما يغادر الماء البئر ومن تماس الماء – الاوكسجين في الطبقات المحيطة غير المشبعة . ومن المساوئ الاخرى للنوع الجاف من هذه الابار هي ان الطرق التقليدية لاعادة تطويرها غير مؤشره وفعالة . ان النوع الرطب من هذه الأبار يعتبر اكثر نجاحا من الاثنين . وحوالي ثلاثة ارباع آبار منطقة لونك ايسلند المطعمة هي من هذا النوع . ان الخبرة قد اوضحت ان الابار التي لها بطانة خارجية ذات قطر 36 انج وتحوي مرشحات حصى ومصفاة بئر داخلية اكثر إرضاء واقناعا ، وأن مياه التطعيم يجب ان تكون خالية من الترسبات قدر الامكان . لذا فقد قدر أن ١ أونس من الطمى في 100 غالون من الماء ، وسوف يرسب اكثر من (11) طنا من الغرين في بئر التطعيم النموذجي خلال فصل واحد . ولحسن الحظ معظم مياه التبريد والتكييف لها فرصة قليلة لتجمع المواد العالقة . ويجب أن نفصل التطعيم والتجهيز قدر الامكان افقيا وعموديا معا للتقليل من اعادة الدوران المباشر للمياه الجوفية .

مع تركيز آبار التطعيم في غرب منطقة ونك ايسلند ، فان احدى المشكلات المغلقة هي تأثير الماء الدافيء المطعم باستمرار في السوين المائي [13] . درجات حرارة المياه المطعمه تتراوح مابين 2 الى 20 فهرنهايتيه اعلى من المياه المضخة من الارض ، إن ثم ارتفاعا تدريجيا في درجات حرارة المياه الجوفية قد لوحظ وقد يكون سببه التطعيم العالي في معظم المناطق المطعمة .

ابار التطعيم لتصريف الهطول الغزير

Recharge Wells for Storm Drainage

في مناطق قليلة تحل ابار التطعيم محل نظام المجاري للتخلص من جريان الهطول الغزير هناك امثلة جديرة بالملاحظة وهي مدن اورلندو Orlando وفلوريد Florida [73] وفريسنو Fresno وكاليفورنيا California [31] . وعند اورلندو الابار تخترق من عمق 120 الى 1000 قدم في حجر الكلس ، ولها بطانة لاعماق 70 – 400 قدم ، وتتراوح مابين (5) الى 18 انج في القطر ، وسعة تصريفها يتراوح مابين 0.2 الى عدة اقدام مكعبة / ثانية وعلى الرغم من ان النفايات التي تحمل الى الابار لابأس بها ، الأأن تكوينات حجر الكلس التجاويفي نادرا ماتصبح مسدودة . ان مستوى الماء يمتد من حوالي 30 الى 50 قدم تحت سطح الارض وخطر التلوث موجود في مثل هذه التكوينات التي لاتوفر بترشيح مناسب اذا كانت تجهيزات المياه تحت السطحية مثبتة قريبا .

وعند فريسنو عدة مئات من الآبار انشئت عند مداخل المزاريب لحل مشكلة تصريف الهطول الغزير الحادة . وهنالك آبار ذات أقطار مقدارها 30 إنجاً قد حفرت بعمق يتراوح من 30 الى 40 قدم خلال الطمى ، واعيد ملؤها بالحصى حول البطانه ذات الـ 8 انج . ان قاع الآبار قد انشئت في الاقل بحدود 10 أقدام على الاقل فوق مستوى الماء الاعتيادي لتمنع تلوث تجهيزات المياه تحت السطحية . ولكي نقلل من الانسداد ونضمن سهولة المحافظة فان نظام مرشح خاص يبنى في اعلى كل بئر وهذا يشتمل على سلة معدنية منقبة عند مدخل كل بئر ، فيمكن تنظيفها بسرعة من المتروكات والفتات بعد الدفقات الرئيسة للمياه . ان متوسط سعة تطعيم البئر حوالي 0.2 قدم^3/ثا لفترة 24 ساعة . مع تثبيت برنامج للادامة الروتينية فان الابار قد حلت مشاكل تصريف المدن بنجاح . الآبار الاضافية فيه يتم انشاؤها حسب الطلب .

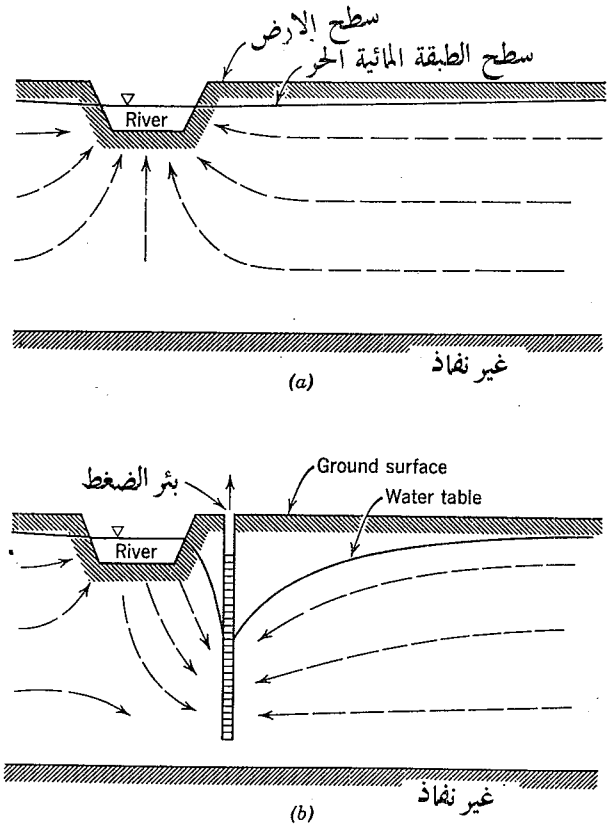
التطعيم المحتث (Induced Recharge) .

ان الطرق المباشرة للتطعيم الاصطناعي المشروحة في اعلاه تشمل تفريغ المياه السطحية في عدد من المواقع ، حيث تدخل الارض . والطريقة التي تتميز من هؤلاء هي طريقة التطعيم المحتث وتتم بسحب المياه الجوفية عند موقع قريب الى بحيرة أو مجرى . بحيث ان تخفيض مستوى المياه الجوفية سوف يحث المياه لدخول الارض من المصدر السطحي . إن المقاطع العرضية المرسومة لوادي نهر في الشكل 8.11 يوضح اساليب الجريان مع أوبدون ترشيح محتث من الجدول أو المجرى . وعلى اسس هذا التعريف فان الابار واروقة الترشيح الداخلي والآبار المتشعبة الواقعة بصورة مباشرة ، التي يكون بعضها قريبا من بعض ومغذاة بصورة كبيره بواسطة المياه السطحية ، تعمل كواسطة للتطعيم الاصطناعي * . ان – هايدروليكية الابار الواقعة قرب الجداول ، شرحت في الفصل 4 . ان بناء وعمل الآبار والآبار المتشعبه والرواقات كلها مشروحة في الفصل 5 .

اذاكان الترشيح المحتث مجهزاً بواسطة جدول دائمي يضمن استمرار تجهيز المياه بأستمرار حتى خلال – ظروف فرط الاستغلال فيمكن ان يوجد في المناطق القريبة والمجهزه فقط بواسطة التطعيم الطبيعي . ان الطريقة قد اثبتت فعاليه في التكوينات غير المتماسكة للرمل النفاذ والحصى اللذين هما متصلان هايدروليكيا بين الجدول والتكوين المائي 36.37.54 ان كمية المياه المحتثة الى التكوين المائي يعتمد على معدل الضخ والنفاذية ونوع البئر والمسافة عن سطح المجرى وحركة المياه الجوفية الطبيعية .

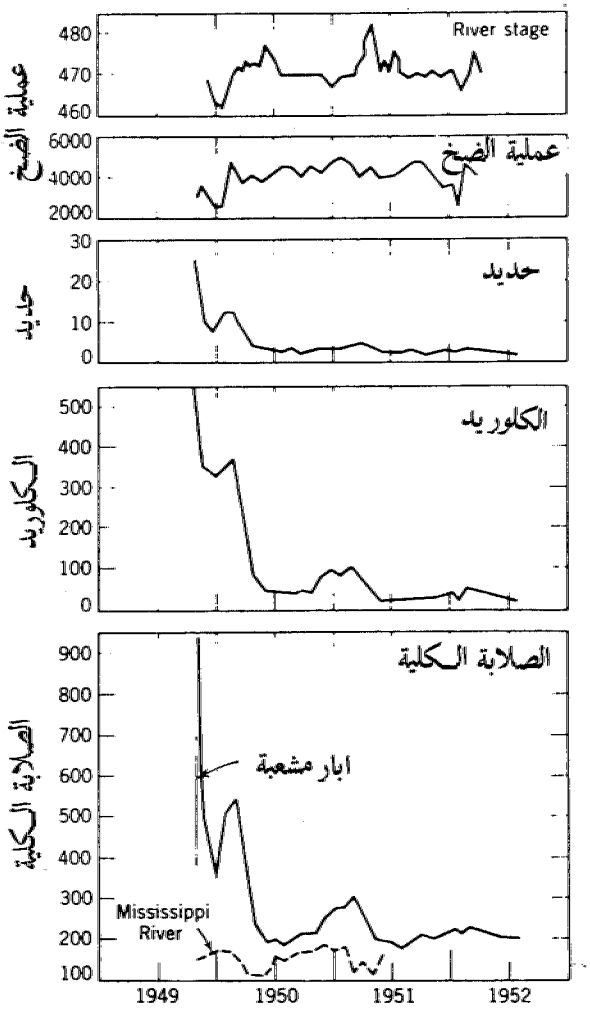
---

* مع ان التطعيم المحتث قد عولج هنا على اساس انه احد الطرق المستعملة للتطعيم الصناعي . الا ان مايجب ملاحظته هو ان العديد من الباحثين لم يعتبروه هكذا ، ووجهة نظرهم تعتمد على النقاط الاتية : (1) يجب ان يتم استخراج المياه الجوفية للحصول على التطعيم ، (2) كمية التطعيم من الصعب حسابها (3) وان الطريقة قد تم تعريفها بصورة مرضية ، (حيث ان المعروف نظريا ان اي بئر يستحث يجب ان يتم ذلك من اقرب جسم مائي سطحي له) .

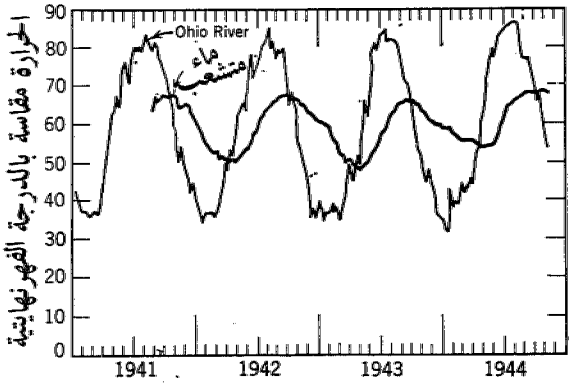


شكل (11 – 8) التطعيم المحتث الناتج من بئر الضخ بالقرب من النهر .
(a) اسلوب الجريان الاصلي
(b) اسلوب الجريان مع بئر الضخ . .

من المهم أن تكون سرعة المجرى السطحي كافية لتمنع من ترسيب الطمى من سدقاع المجرى في ألسنة الأنهر حيث تقل سرعة التيار بواسطة التنظيم أو حيث أن حريـــان وتدفق الفيضانات لم يعد يجهز تنظيفا دورياً للقاع لذا فإن الطريقة تتسبب في ترشيح متناقص تدريجياً . وثمة دراسات لنوعية المياه قد أجريت للتطعيم المحتث والخاص بعده آبار تجميع [36,37] لقد اوضحت هذه الدراسة أن التطعيم المحتث يجهز مياهاً خالية من المواد العضوية والبكتريا المرضية عادة بسبب أن المياه السطحية هي أقل تمعدناً من المياه الجوفية. لذا فان المياه المستحصلة بواسطة الترشيح المحتث لكونها مزيجاً من المياه الجوفية والسطحية ، فهي ذات نوعية أعلى من المياه الجوفية الطبيعية . أن التغيرات في نوعية المياه التي أعقبت تركيب البئر الجامع بقرب نهر المسيبي ، موضحة في الشكل 9.11 .



شكل (11 – 9) مستوى النهر ، الضخ ، محتويات الحديد ، محتويات الكلوريد ، الصلابة الكلية للماء من الابار المشعبة على النهر . (كلير [37])



شكل (11 – 10) حرارة نهر اوهايو Ohio والماء من مجموعات الآبار المتشعبة في انديانا وجارلستاون (كوزمان [36])

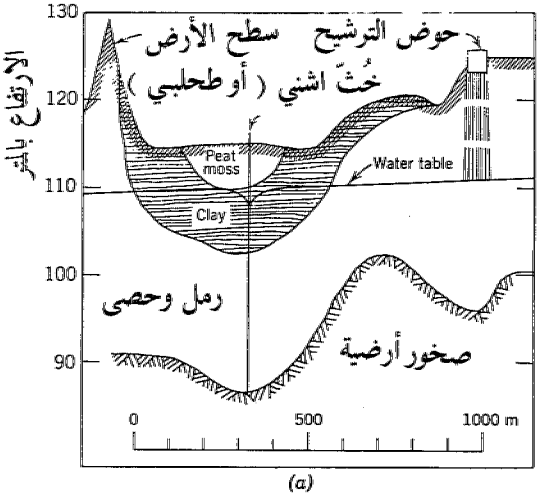
وحيث أن التحسينات لمحتويات الحديد والكلوريد والعسرة الكلية كانت مبنية على نفس المنوال فإن درجات حرارة المياه من التطعيم المحتث سوف تقع بين تلك التي هي مصادر سطحية ، وبين تلك التي هي من مصادر جوفية .

الشكل 10.11 يوضح هذا التأثير لمجموعة آبار جامعة على الضفة الشمالية لنهر اوهايو عند انديانا جارلستون (Indiana Charlstone) . المزيج للمياه الجوفية ذات الحرارة الثابتة تقريباً مع مياه النهر له درجة حرارة أقل من تلك التي للنهر وتتخلف عن تذبذبات درجة حرارة النهر الموسمية بحوالي شهرين ونصف .

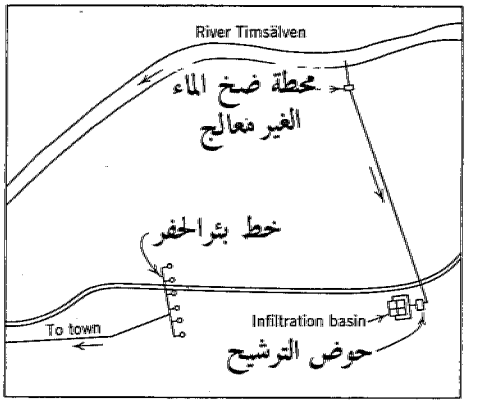
تطبيقات التطعيم في اوربا European Recharge Practices

ان التطعيم الاصطناعي في اوربا يؤرخ من بداية القرن التاسع عشر . ومعظم الانشاءات المبكرة كانت مستندة على التطعيم المحتث ، مع رواقات موضوعة قريبة وتحت طبقات الجدول . وفي عام 1897 بنى العالم رايخرت Richert اول حوض ترشيح لغرض التطعيم في مدينة كوبترج في السويد (Sweden) Goteborg ان نجاح هذه والانشاءات اللاحقة قد قادت الى تطبيق واسع لهذه الطريقة في السويد والمانيا / وهولندا / ولمدى محدود واكثر فان التطعيم الاصطناعي كان مطبقا في فرنسا – وانكلترا / واسبانيا [16,34,72] . وكانت احواض الترشيح اجزاء متكاملة لعدة انظمة تجهيز للمياه المحلية السويدية ومعظمها كانت مثبتة على الكبيبات الجليدية التي هي عبارة عن حواجز نهرية طويلة ومرتفعة وضيقة ترسبت خلال العصر الجليدي الأخير تحت انسحاب طبقة الجليد بواسطة نزح وتصريف المجاري من تحت الثلج . ان ترسبات الحصى والرمل هذه تعمل كقنوات ممتازة ومستودعات خزن لحمل المياه المطعمة الى انشاءات الضخ . (ان مياه البحيرات او الانهار القريبة تمرر خلال مرشحات ميكانيكية ومرشحات رملية سريعة قبل تطعيمها . ومعظم المشاريع تستخدم أحواضاً مستطيلة الشكل ذات انحدارات جانبية غير محمية بنسبة 2:1 ، برغم أن احواضا – قليلة لها جدران كونكريتية عمودية . ان طبقة من رمل منتظمة تصل الى 3 أقدام سمكا توضع على قعر الحوض . ان المعطيات من عدة احواض ترشيح سويدية مأخوذة من تقرير شامل من قبل العالم جانسا Jansa[34] تظهر في الجدول 11.5 . ان معدلات الترشيح الداخلي العالي المجرية في السويد ناتجة من تكوينات ذات نفاذية عالية ، واليها يضاف الماء وكذلك من معالجة سبقية لمياه التطعيم .

ان المسافات بين الاحواض وابار الضخ التي تجمع مياه التطعيم للاستعمال هي كافية لتنقية المياه من وجهة النظر البكترولوجية للتحكم بالمذاقات والروائح ، ولمعادلة تذبذبات درجة حرارة المياه السطحية . ان التصميم والمقاطع الجيولوجية لمشروع كارلسكوجا Karlskoga تظهر في الشكل 11.11 .



(a)



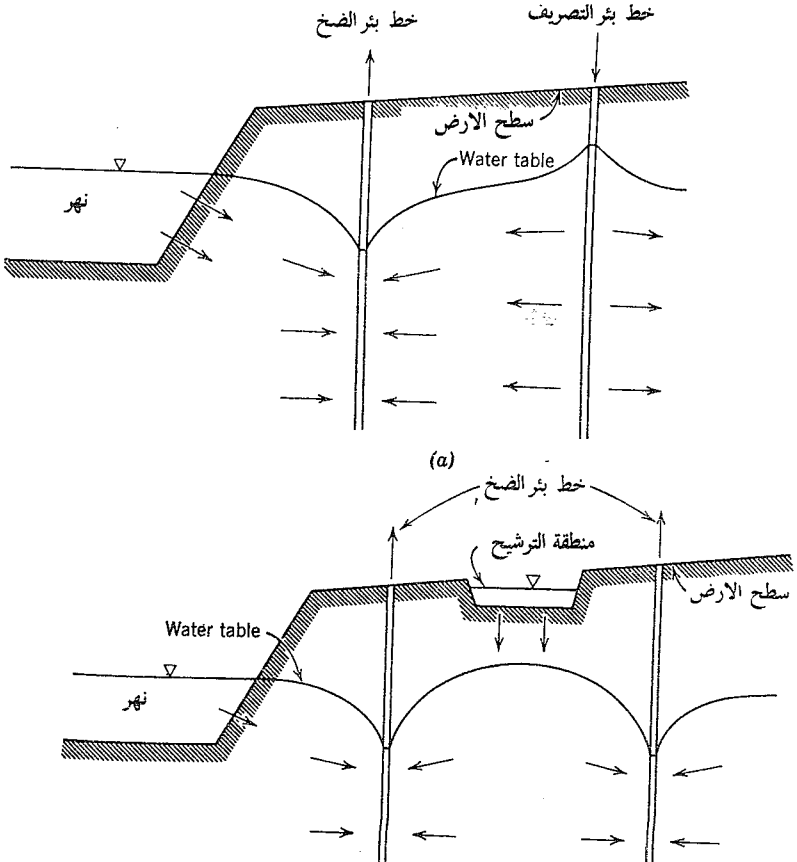
(b)

شكل 11.11 نظام تجهيز الماء في كارلسكوكا Karlskoga السويد والذي يوضح التطعيم الاصطناعي لترشيح مياه النهر
(a) مقطع جيولوجي .
(b) شكل للمخطط .

ان التطعيم الاصطناعي مستعمل بصورة واسعة في المانيا حيث تم استغلال الاحواض والخنادق المائية وفي وقت احدث استعملت الابار [27.33.52.72] .
ومثل هذا التركيب سائد على امتداد نهر لبي Lippe ونهر المين Main ونهر الراين Rhine ونهر رور Rühr، اذ ان هذه الانهار ملوثة كما ان مصادر المياه الجوفية الطبيعية غير كافية للطلبات الصناعية والمحلية . ان كثيراً من المدن تجمع بين طريقتي التطعيم المحتثة والنشر بتعيين الآبار او اروقة الترشيح لكي تغذي بالانهار والاحواض انياً .
الشكل 12.11 يبين توضيحياً اثنين من عدة تنظيمات مستخدمة للتطعيم .

جدول 5.11 معطيات حول احواض الترشيح الداخلي في السويد (جانسا [34] Jansa)

City	Capacity, cfs	Height of Basin above Water Table, ft	Infiltration Rate, ft/day	Distance from Basins to Pumping Wells, ft
Eksjö	0.4	0–6	10–16	1000
Eskilstuna	5.3	72–82	13	1600
Göteborg	3.3	0–6	5	1700–2100
Hälsingborg	6.5	9	13	>1000
Karlskoga	2.0	39	23	2100
Katrineholm	1.6	23	52	1500
Kristinehamn	1.2	9	33	750
Landskorna	2.0	0–6	16	300–1600
Luleå	3.7	43	8	700
Malmö	2.0	16–33	7–10	1600–3300
Sodertalje	4.1	30–56	16	1300–5600
Västerås	16.3	50	13	700–1600
Örebro	4.9	26–43	33	300–1000



شكل (11 12) توضيح مقطع عرضي لمثالين لطريقتي التطعيم الالماني لتركيب الانهار (a) محتوية على التطعيم المحتث وتطعيم الابار (b) محتوية على التطعيم لحوض الترشيح .

ان مياه الانهار تمرر عادة خلال احواض ترسّب وتعامل لازالة المواد العالقة قبل اطلاقها الى احواض الترشيح ويضاف الكلور الى الماء المضخ قبل دخوله الى الخط الرئيسي للتوزيع . ان معدلات التطعيم ذات التصريف القليل (بضعة اقدام يوميا) المشابهة لتلك الموجودة في الولايات المتحدة ، هي معدلات نموذجية . في هولندا تشتمل انظمة تجهيز المياه التابعة لمدن امستردام ليدن وهيج (The Hague. Amisterdam, Leiden) على احواض التطعيم في كثبان رملية ساحلية [11,3+,43] . وبما ان غالبية البلاد واقعة تحت مستوى المياه المالحه ، فان – الكثبان مع مياهها الجوفية العذبة الناتجة عن الترشيح الداخلي لمياه الامطار توفر تجهيزاً فريداً للمياه الجوفية ، ومهما يكن من أمر فان التطوير المطرد لهذا المصدر يؤدي الى ارتفاع المياه المالحة تحت هذه الكثبان (راجع فصل 12) لذا فان تطعيم المياه الى الكثبان تعمل على تثبيت المياه المالحة ، توفير ترشيح طبيعي للمياه السطحية الملوثة ولزيادة حجم خزين المياه الجوفية .

الفصل الثاني عشر
اقتحام مياه البحر في التكوينات المائية الساحلية
Sea Water Intrusion in Coastal Aquifers.

ان التكوينات المائية الساحلية هي بحالة تماس مع مياه المحيطات في أو نحو البحر عند الخط الساحلي. وتحت الظروف الطبيعية، فان معظم المياه الجوفية العذبة تصرّف الى المحيط ونتيجة لازدياد الطلبات على المياه الجوفية في عدة مناطق ساحلية. على أي حال فان تدفق المياه الجوفية نحو البحر انخفض او حتى حين عكسه بسبب دخول مياه البحر وولوجه في التكوينات المائية نحو الداخل. هذه الظاهرة تعرف باقتحام مياه البحر. واذا انتقلت المياه المالحة نحو الداخل الى حقول الآبار، فان تجهيزات المياه تحت الارضية تصبح عديمة الفائدة. في معظم الاحيان يصبح التكوين المائي ملوثاً بالملح الذي ربما يستغرق عدة سنين لازالته، حتى بالمياه الجوفية العذبة المناسبة والمتوفرة لغسل المياه المالحة .

ان اهمية حماية التكوينات المائية الساحلية ضد هذا التهديد المتواصل قد قادت الى تحريات موجهة الى طرق لمنع او احكام السيطرة على اقتحام مياه البحر.

حدوث اقتحام مياه البحر : (Occurance of Sea Water Intrusion)

حيثما تحدث ظروف فرط الاستغلال في التكوينات المائية الساحلية التي تكون متصلة مع المحيط، فان اقحاما لمياه البحر يمكن أن ينتج. وبتخفيض منسوب المياه في التكوينات المائية غير المحصورة او السطح القياسي الانضغاطي في التكوينات المائية المحصورة فان الممال الطبيعي المنحدر الى الاسفل نحو المحيط يكون مختزلاً أو معكوساً .

بما أن هناك سائلين مشمولين لهما كثافتان مختلفتان، فان سطح حدّي أو سطح بيني (interface) سوف يتكون حيثما تكون السوائل في حالة تماس .

ان شكل وحركة السطح البيني يكونان متحكمين بواسطة التوازن الهيدروديناميكي للمياه العذبة والمالحة واقتحام مياه البحر يمكن ايضا أن يطور او يشكل حيثما يوجد مدخل اصطناعي مباشر بين مياه البحر والمياه الجوفية . ان قنوات مستوى البحر قد جهزت وسيلة للدخول في منطقة ميامي ، فلوريدا 12.25.28 (Miemi, Flo.) في حين أن الآبار المهجورة كانت مسؤولة بصورة رئيسية عن الاقتحام في وادي سانتاكلارا « Santa Clara » في كاليفورنيا .

ان مشكلة اقتحام مياه البحر ازدادت وتطورت بازدياد المراكز السكانية وطلب الماء المصاحب في المناطق الساحلية المتمركزة ، ان احدى التقارير الاولية للاقتحام قد نشرت في عام 1855 بواسطة العالم بريثويت[10] – Braithwaite – الذي وصف الملوحة المتزايدة للمياه التي يتم ضخها من الابار في مدينتي لندن وليفربول في انكلترا . وفي الوقت الحاضر هناك سواحل عديدة لها مقاطع معرضة الى تلوث مياه البحر كما ثبت بتقارير من عدة اماكن مثل المانيا[16] / وهولندا 8.21.26 واليابان 23.32.40 . ان عدة جزر محيطة تكون مبطنة تماما بتكوينات مائية محتوية على مياه البحر التي تقدم مشاكل خاصة في تطوير تجهيزات المياه العذبة في الولايات المتحدة فان السواحل المحيطية قد نقطت بضمنها محلات مقتحمة ، ومن ولايات أخرى غير ذلك ، في ولايات كونكتيكت ونيويورك[20] ونيوجرسي[3] وفلوريدا 12,25 / وتكساس[41] / وكاليفورنيا[2,27] . ان خط ساحل كاليفورنيا الواسع قد تعرض الى كمية اقتحام غير اعتيادية ناتجة عن احتياجات المياه المصاحبة للتدفق الكبير للسكان في – المناطق الساحلية . ان التحريات بواسطة ولاية كاليفورنيا[2] قد اظهرت ان مياه البحر قد – تجاوزت الى (13) تكوينا مائيا ساحليا تشغل مساحة قدرها (90,000 acres) ايكر ، وهناك سبع مناطق اخرى مهددة مباشرة و 60 اخرى قابلة للتهديد .

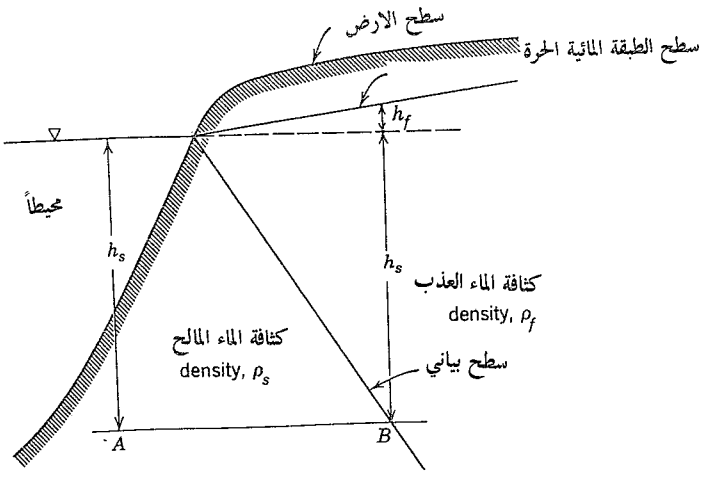
علاقة كايبين – هرزبيرك Ghyben-Herzberg بين المياه المالحة والمياه العذبة :

Ghyben - Herzberg Relation between Fresh and Saline Waters:

منذ اكثر من (50) سنة مضت اشتغل عالمان مختصان بصورة مستقلة كل على انفراد على امتداد الساحل الاوربي ووجدا أن المياه المالحة الموجودة تحت الارض ليست عند مستوى سطح البحر بل بدلاً من ذلك فهي توجد على عمق تحت مستوى سطح البحر بحوالي اربعين مرة بقدر ارتفاع المياه العذبة فوق مستوى سطح البحر . ولقد عزي هذا التوزيع الى التوازن الهيدروستاتي الموجود بين سائلين لهما كثافتان مختلفتان . ان المعادلة المشتقة لتوضيح الظاهرة هي عموما تشير الى علاقة كايبين – هرزبيرك بعد منشئيها . في المقطع العرضي الساحلي للتكوين المائي غير المحصور المرسوم في الشكل 1.12 ، فان الضغط الهيدروستاتي الكلي عند A هو :

$$P_A = \rho_s g h_s \qquad \text{.....(12.1)}$$

حيث ρ_s هي كثافة الماء المالح ، g هو التعجيل الارضي و h_s كما هي موضحة وظاهرة في (الشكل 1.12) ، ويحدث نفس الشيء عند B التي هي على نفس عمق A ولكن بعيدة عنها وهي في الارض .



12.1.

شكل (12 - 1) رسم توضيحي مثالي للماء العذب والمالح في التكوين المائي الساحلي الغير محصور لتوضيح علاقة كايبين – هرزبيرك.

$$p_B = \rho_f g h_s + \rho_f g h_f \quad \text{.....(12.2)}$$

حيث ρ_f هي كثافة الماء العذب وh_f كما هي موضحة في الشكل (1. 12) وبمساواتهم يعطونا علاقة كايبين – هرزبيرك .

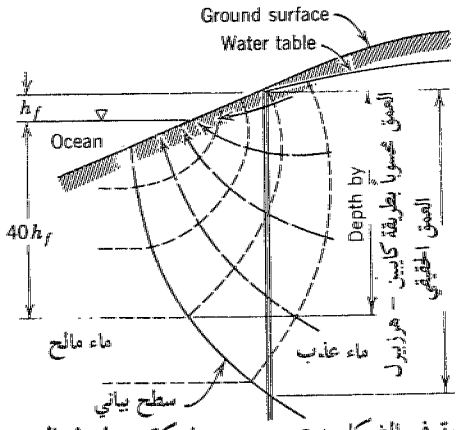
$$h_s = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f \quad \text{.....12.3}$$

وباخذ $\rho_f = 1.000\ \text{gm/cm}^3$ و$\rho_s = 1.025\ \text{g/cm}^3$

لذا فان

$$h_s = 40 h_f \quad \text{.....12.4}$$

ان القياسات الحقلية في عدة مناطق ساحلية قد أثبتت هذه النتيجة . ان الدراسات منذ التحريات الاصلية قد بينت التحديدات والتبسيطات المشتملة في علاقة كايبين – هيرزبيرك[17] ، حيث الاقتحام هو بالطبع يكون محدداً بواسطة اتساع التكوين المائي وارتفاع مستوى المياه . كذلك قريبا من خط الساحل يجب أن تعطى العلاقة لتكون سطح التسرب لتدفق المياه العذبة . ان التوازن الهيدروستاتي يتضمن عدم وجود التدفق . مع هذا فان تدفق المياه الجوفية يحدث قرب خطوط الساحل بثبوت . ومن اعتبارات الكثافة وحدها بدون التدفق ، فان سطحاً بينياً افقياً سوف ينشأ مع المياه العذبة في كل مكان ، ويكون هذا السطح طافياً فوق الماء المالح .



شكل (2.12) الاختلاف بين العمق الحقيقي للماء الماء والعمق المسحوب بطريقة كايبين – هرزبيرك (هبرت[7]) .

ان صورة أكثر حقيقية للاقتحام هي الموضحة في الشكل (2.12) مع شبكة خطوط الجريان وخطوط تساوي الجهد حيث ان الضغط الكلي على امتداد خط تساوي الجهد هو ثابت ، وخطوط الجريان منحدرة نحو الأعلى ، لذا فان العمق الى السطح البيني المعطى بواسطة علاقة كايبين – هرزبيرك هو أقل من العمق الحقيقي . وبالنسبة للممالات المنبسطة تبقى الفروقات صغيرة ولكن للممالات الحادة ، فان اخطاء قد تستهدف بالنسبة للتكوينات المائية المحصورة . والاشتقاق الذي في أعلاه يمكن أن يطبق أيضاً باحلال مستوى الماء بواسطة السطح القياسي الانضغاطي . ومن المهم الملاحظة من علاقة كايبين – هرزبيرك بأن توازن المياه المالحة العذبة يتطلب ان يكون مستوى المياه أو السطح القياسي الانضغاطي :

(أ) واقعاً فوق مستوى سطح البحر . و(ب) منحدراً الى أسفل باتجاه المحيط . وبدون هذه الظروف سوف تتقدم مياه البحر مباشرة الى الداخل .

شكل السطح البيني للمياه المالحة – العذبة

(Shape of the . Fresh-Salt Water Interface)

في اشتقاق علاقة كايبين – هرزبيرك يفترض ضمناً ، ان السطح البيني للمياه المالحة – العذبة ينحدر الى أسفل عن الساحل . ان شكل وانحدار السطح البيني يمكن استنتاجه . حيث يحدث تدفق في نطاق الماء العذب فقط . يرمز انحدار مستوى الماء δ كما هو موضح في الشكل (3.12) .

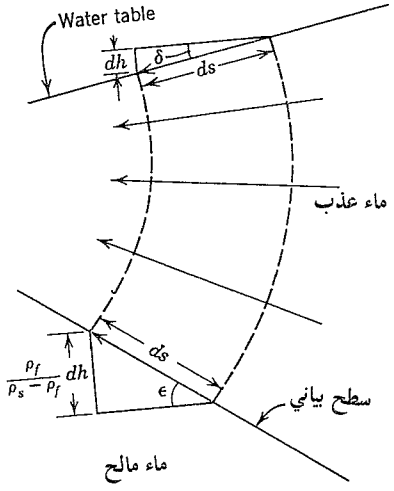
بعد هذا من قانون دارسي :

$$\sin \delta = \frac{dh}{d_s} = \frac{v}{K} \qquad .....12.5$$

حيث v هي السرعة K هي النفاذية .

على امتداد هذا الانحدار يقل ارتفاع مستوى الماء في اتجاه التدفق ، وبالتالي طبقا للمعادلة (3.12) ، فان حد الماء المالح –العذب يجب ان يرتفع وانحداره يجب ان يكون $\in$. والشكل (3.12) يعطى بواسطة :

$$\sin \in = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} \quad \frac{v}{K} \qquad .....12.6$$



شكل (**3.12**) العلاقة بين الانحدار لمستوى الماء والسطح البيني للماء العذب المالح .

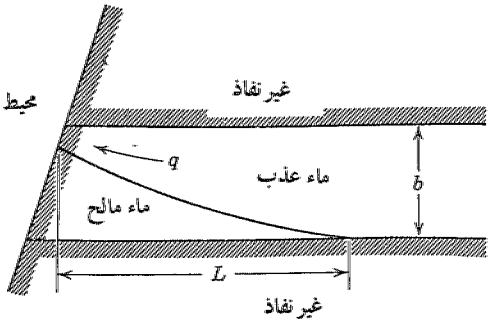
وبسبب الحدود المتقاربة فان v يجب ان تزداد مع المسافة ويتبعها لهذا ازدياد قيم الانحدارات وهذا يحدث في سطح بيني مقعر طبقا للمياه العذبة كما هي موضحة في الشكل 2.12

طول اسفين مياه البحر المقتحمة :

Length of the Intruded Sea Water Wedge

ان الاستنتاج من علاقة كايبين – هرزبيرك ، ان اسفين المياه المالحة يجب ان يوجد عند تقاطع التكوين المائي مع المحيط . بافتراض ان تدفق المياه العذبة باتجاه البحر q لكل قدم من جبهة المحيط متواحد ، لذا فان العلاقة التقريبية لتكوين مائي محصور هي :

$$q = \frac{1}{2} \left(\frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} \right) \frac{Kb^2}{L} \qquad .....12.7$$



شكل (12 - 4) اسفين الماء المالح في التكوين المائي المحصور

هذه المعادلة يمكن اشتقاقها بالابتداء من قانون دارس حيث b و L كما هما معرفان في الشكل . (4.12) ، k هو معامل النفاذية ρ_f و ρ_s تمثلان كثافتي المياه العذبة والمالحة على التوالي ان المعادلة 7.12 تدل على انه لظروف منتظمة للتكوين المائي والمائع فان طول الاسفين المقتحم يتناسب عكسيا مع جريان المياه العذبة . ان المعادلة يمكن تطبيقها ايضا على التكوينات المائية غير المحصورة ، وذلك باحلال b بواسطة السمك المشبع بشرط ان لايحيد كثيرا عن الجريان . ان فحوصات النموذج الرملي في جامعة كاليفورنيا قد اوضحت صحة هذه المعادلة

بنية السطح البياني للمياه المالحة – العذبة :

(Structure of the Fresh-Salt Water Interface)

من الناحية النظرية فان السطح البيني بين اجسام المياه المالحة والعذبة في تكوين مائي مقتحم يمثل خط التدفق الذي يدل ضمنا عدم وجود التدفق عبر السطح . وعلى أي حال فان الملاحظات [8.11.34] قد بينت بأن السطوح البينية تتكون عادة من أنطقة (Zones) ممزوجة ضيقة تتراوح مابين أقدام قليلة الى اكثر من ذلك مما يزيد عن الفرض . ان الأنطقة تنتج من التشتيت الحاصل بالجريان في الاوساط المسامية (انظر الفصل 3) ، ومن التذبذبات في السطح البيني الناتجة عن المد والجزر، والتذبذبات في مستوى الماء الفصلي، ومن الانتشار الجزيئي. ان التأثير الاخير هو المعتقد بأنه الاقل أهمية بسبب ان معدلات الانتشار لمالات التراكيز الحاصلة في الانطقة البينية هي اقل بكثير من معدلات جريان المياه الجوفية الاعتيادية.

المنع والسيطرة على اقتحام مياه البحر :

هناك خمس طرق مقترحة لغرض السيطرة على الاقتحام هي :

أ– تقليص أو اعادة التنظيم لترتيب ضخ الاستغلال (Pumping draft)

ب- التطعيم المباشر .
جـ- تطوير الغور الضخي المجاور للساحل .
د- الحفاظ على حاجز المياه العذبة فوق مستوى سطح البحر على امتداد الساحل .
هـ- انشاء حواجز الاصطناعية تحت السطحية .

ان هذه الطرق وتطبيقاتها والتحديات في استخدامها مشروحة معا في الفقرات الآتية :

تعديلات الضخ : (Modificatian of Pumping)

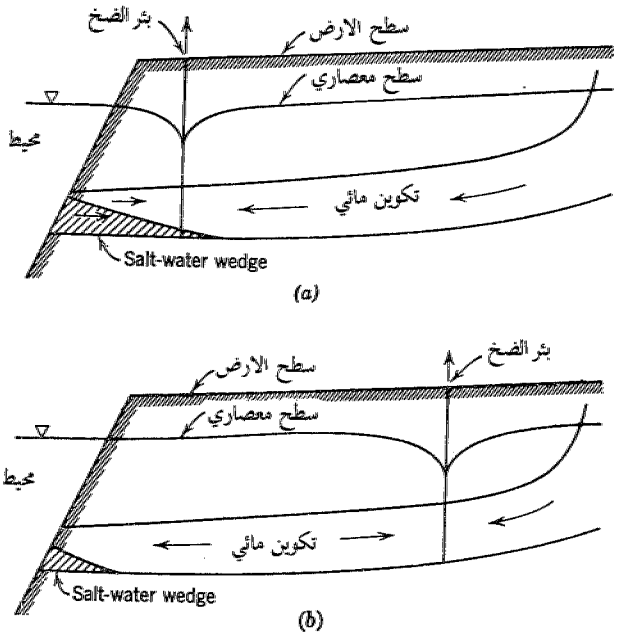
بواسطة اختزال ضخ الاستغلال على التكوين المائي الساحلي وفرط الاستغلال المسبب للاقتحام من الممكن التخلص منه. وهذا يمكّن من ارتفاع مناسيب المياه الجوفية فوق مستوى سطح البحر ويحافظ على الانحدار نحو البحر. من ناحية الكلفة قد يبدو الحل المباشر للمشكلة صعباً مالم يتم العمل على اختزال المياه عن طواعية لدى مستعملي المياه الذي سوف يكون متوقعا فقط اذا كانت المياه المكملة من مصادر اخرى متوفرة بكلفة مقارنة. ان الدعاوى القانونية للتجاوز تؤدي الى غرامات باهظة وهي معمول بها في عدة ولايات . ان حقوق المياه يجب أن تحدد بطريقة القضاء ، اما الضخ فينظم بواسطة المحكمة او خبير مائي .

في بعض الاوقات يمكن أن ينجز تأثير مماثل باعادة تنظيم شكل الضخ للحوض اذا كان الضخ مركزا قرب احد اجزاء التدفق للحوض فان الانحدارات الحادة في بعض الحالات سوف تزيد من التدفق الداخل الى الحوض في حين أن الضخ المختزل قرب الساحل سيرفع من مناسيب المياه ليساعد في صد دخول مياه البحر .

ان الشكل التوضيحي للتكوين المائي المحصور والمحتوي على الماء الموضح في الشكل 5.12 ، يقترح الفرق المحتمل في السطوح القياسية الانضغاطية متى ما انحرفت المنطقة ذات الضخ العالي الى الداخل . اما اعادة تنظيم الضخ او اختزاله فلن يسمح بتطوير واستعمال كاملين للمتوفر من خزين المياه الجوفية المتوفرة. وعلى أي حال بدون تجهيزات مياه اخرى، فان هذا التحديد يمكن تبريره في منع التكوين المائي بأكمله من التلوث.

التطعيم الاصطناعي : Artificial Recharging

ان الطريقة الواضحة لغرض السيطرة على اقتحام مياه البحر هي تلك التي تشمل على تطعيم التكوين المائي المقتحم بالمياه العذبة من المناطق المنتشرة اوآبار التطعيم . ان فرط الاستغلال سيمكن التخلص منه وستحفظ بصورة ملائمة مناسيب المياه والانحدارات. ان الطريقة تقنياً



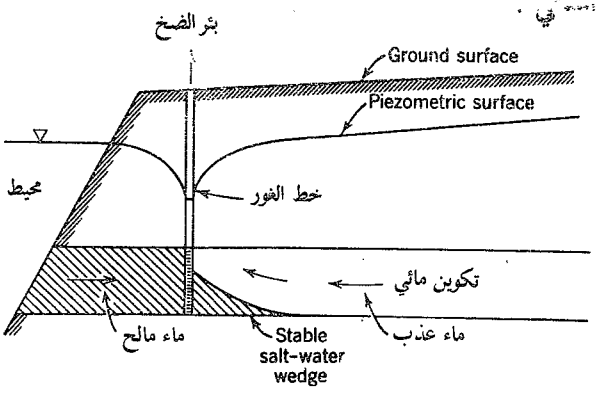
شكل(12 - 5)تأثير مكان الضخ على اقتحام مياه البحر الى التكوين المائي الساحلي المحصور (a) الضخ بالقرب من الساحل (b) الضخ على البايستر

عملية حيث مناطق النشر اكثر ملائمة لتطعيم التكوينات المائية غير المحصورة وابار التطعيم للتكوينات المائية المحصورة . مع ذلك قد لايكون من السليم اقتصاديا بناء وتشغيل وادامة نظام التطعيم بدون اختزال ضخ الحوض. ان استيراد مياه اضافية عاليه الجودة وتطعيمها صناعيا الى الارض واخيرا ضخها خارجا في المناطق القريبة يشكل دورة باهظة التكليف، وذلك كفيل باستمرار في أن يقود الى تكاليف ارواء غير معتدلة. في كاليفورنيا اخذ قيد الاعتبار تطعيم مياه النفايات (وبخلاف هذا فانه يتم تصريفها بصورة مباشرة الى المحيط) لهذا الغرض.

غور الضخ : Pumping Trough

اذا كان خط الابار مشيدا قريبا من الساحل وموازيا له ، فان الضخ قد يشكل غوراً او منخفضاً في منسوب المياه الجوفية. ونتيجة لذلك فان الممالات الحادثة تحدد اقتحام مياه البحر الى أسفين ثابت الى الداخل من الغور كما هو مرسوم في الشكل 6.12 لتكوين مائي محصور. مثل هذا الانشاء سيختزل سعة الخزن الممكن استعماله للحوض وسيكون باهظاً ليركب ويشغل ويشكل، وسوف يبدد المياه الجوفية بالمزيج من المياه العذبة ومياه البحر المضخة من الغور . لذا فانه قد لايكون عموماً ملائماً اقتصاديا. ومن الممكن تطبيق هذه الطريقة بصورة مؤقتة لاختزال الملوحة في التكوينات المائية المقتحمة لحين استخدام طريقة

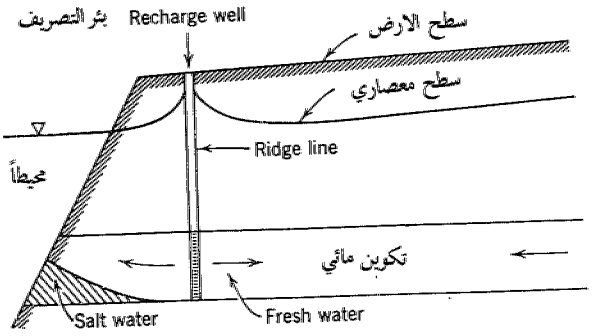
اخرى، والا فانها اذا استخدمت على اساس دائم فالطريقة يمكن تبريرها فقط في الحوض، حيث المياه الجوفية مالحة بصورة كافية بحيث يحتاج لتبديد كميات كبيرة لغرض المحافظة على التوازن المائي .



شكل (6.12) السيطرة على اقتحام مياه البحر بواسطة حاجز الضغط الموازي للساحل

حاجز الضغط . pressure Ridge

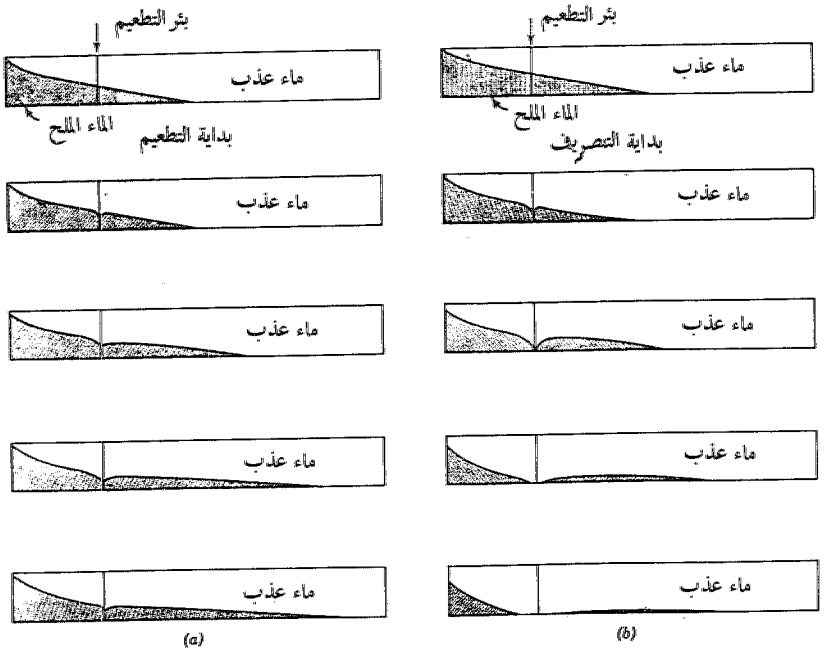
ثمة طريقة أخرى للسيطرة على الاقتحام هي بالضبط عكس الطريقة السابقة ، أي التكوين والحفاظ على حاجز ضغط للمياه العذبة مجاورة للساحل وموازية له . في التكوين المائي غير المحصور قد يخلق النشر السطحي للماء حاجزاً لمستوى الماء في التكوين المائي المحصور وان خط آبار التطعيم قد يشكل حاجزاً في السطح القياسي الانضغاطي . ان الحاجز يجب ان يكون عاليا بصورة كافية فوق مستوى سطح البحر ليصد مياه البحر كما هو مبين في الشكل (7.12) . ان كمية قليلة من الماء المطعمة صناعيا سيبدد الى المحيط اما الباقي فتحرك بأتجاه البر ليجهز جزء من ضخ الاستغلال مع آبار التطعيم . ان الحاجز قد يتكون من سلسلة من القمم عند كل بئر مع سروج وهي مرتفعات تصل بين كل قمتين متجاورتين . ان الارتفاع الضروري للسروج لتزيح مياه المحيط قد تتحكم بالمسافات بين الآبار ومعدلات التطعيم المطلوبة . ان الحاجز يجب أن يكون مثبتاً في الداخل باتجاه البر من الجبهة المالحة ، والا فان مياه البحر داخل الحاجز سوف تساق أكثر الى الداخل . ولتوضيح ذلك فان المعطيات من دراسات نموذج الرمل لآبار التطعيم في تكوين مائي محصور موضح في الشكل (8.12) . ان التكوين المائي ممثل بالمستطيل حيث مياه البحر الى اليسار والمياه العذبة الى اليمين . في الشكل (a8.12) يكون معدل الحقن غير كاف لوقف الاقتحام على حين في الشكل (b8.12) هناك معدل الحقن الأعلى سيعكس الاقتحام . والمياه المالحة باتجاه البر للبئر انبسطت وتحركت أكثر الى الداخل . ان طريقة السيطرة لها ميزة في عدم تحديد سعة خزن المياه الجوفية القابلة للاستعمال ، ولكن لها مساوىء من كلفة أولية وتكاليف تشغيل والحاجة



شكل (12 - 7) السيطرة على اقتحام مياه البحر بواسطة حاجز الضغط الموازي للساحل .

الى مياه اضافية . ان مياه النفايات المستصلحة ذات النوعية الملائمة قد تفي بجزء من الحاجة للمياه الاضافية المطلوبة .

ان التحريات الحقلية الواسعة لهذه الطريقة التي أجريت في مقاطعة لوس انجليس – كاليفورنيا Calif, Los Angeles قد شرحت في المقاطع الآتية :



شكل (12 - 8) نتائج لنموذج الرمل توضح نجاح مكان اسفين الماء المالح في التكوين المائي المحصور بعد التطعيم.
(a) بنسبة قليلة .
(b) نسبة كبيرة خلال البئر القاطع للاسفين (هاردر واخرين [14]) .

الحاجز تحت السطحي : Sub surface barrier

ان الطريقة الأخيرة للسيطرة تشمل انشاء حاجز تحت السطح سيختزل نفاذية التكوين المائي بصورة كافية لمنع التدفق الداخل لمياه البحر . [9,7]

في التكوينات المائية الضحلة نسبياً ، ينبغي أن يكون هنالك حاجز أو سد مشيد من دعائم صفيحية (sheet piling) او من الاسفلت او السمنت او الملاط الطيني [30] ولاجتناب تشييد خندق فان غشاءا غير نفاذ قد يمكن تكوينه من حقن احدى المواد الآتية خلال خط من الآبار وهذه المواد هي : أسفلت مستحلب وملاط سمنت وطين بنتونيتي ومحلول غروي سيليكي أوكالسيوم أكريلي .

ان الدراسات المختبرية للبنتونايت الطيني لهذه الغاية قد قادت الى الاستنتاج بان حاجزا كاملا قد لايكون مجهزا لاعمدة تباينية عالية بتماس مع المياه المالحة . ولكي نبرز الانفاق الابتدائي للحاجز تحت السطحي يجب ان تكون دائمية . ان النقص المسبب بواسطة اضرار الهزة الأرضية للحاجز ذات النوع الصلب يجب اخذها بنظر الاعتبار في بعض المناطق . ان الحاجز قد أثبت ملاءمية أكثر اذا ثبتت من خندق ضيق ، وخندق نهري ضحل مرتبط داخليا الى تكوين مائي كبير . ان الطريقة لها قابلية تطبيق محدودة وابتداء هي مكلفة وباهظة ولكن كلفة الادامة والتشغيل يجب ان تكون قليلة .

ان الفائدة التامة لسعة خزن المياه الجوفية للحوض يمكن صنعها بواسطة الحاجز. من الطرق الخمس الموضوعة في اعلاه يجب ملاحظة أن طرق غور الضخ وحاجز الضغط لاتحل المشكلة الأساس لاقتحام مياه البحر وفرط الاستغلال فقط متى مايزال اويعزل كما في طريقة الحاجز تحت السطحي) هذا النقص فان المشكلة تحل. في بعض المناطق حيث المياه الاضافية متوفرة اوستتوفر فمن المحتمل بان السيطرة على الاقتحام يكون غير ملائم اقتصاديا.

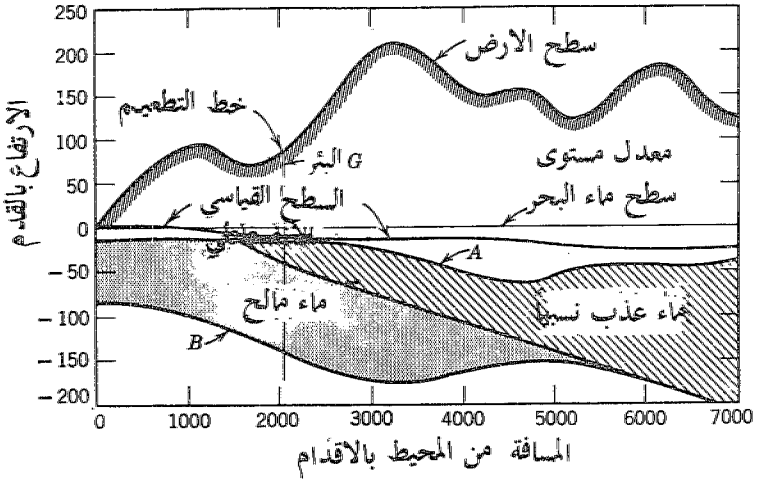
وان نظرة مستقبلية الى الطرق المتنافسة اقتصاديا بتحويل مياه البحر الى مياه عذبة توضح لنا ان الضخ في التكوينات المائية الساحلية يمكن أن تختزل بصورة كبيرة او تترك وتزول الحاجة للسيطرة على مياه البحر المتخلصة .

الفحوصات الحقلية للسيطرة على الاقتحام عند ساحل منهاتن–كاليفورنيا :

(Field Tests for Controlling Intrusion at Manhattan Beach, California)

ان فحصا حقليا تاما لطريقة حاجز الضغط قد اديرت بواسطة مقاطعة لوس انجليس قسم السيطرة على الفيضان عند ساحل منهاتن / كاليفورنيا [4,5,18,19] . ان التكوين المائي المحصور المنتخب للدراسة كان متفسراً بصورة رديئة بواسطة مياه البحر . وقد تم تثبيت خط

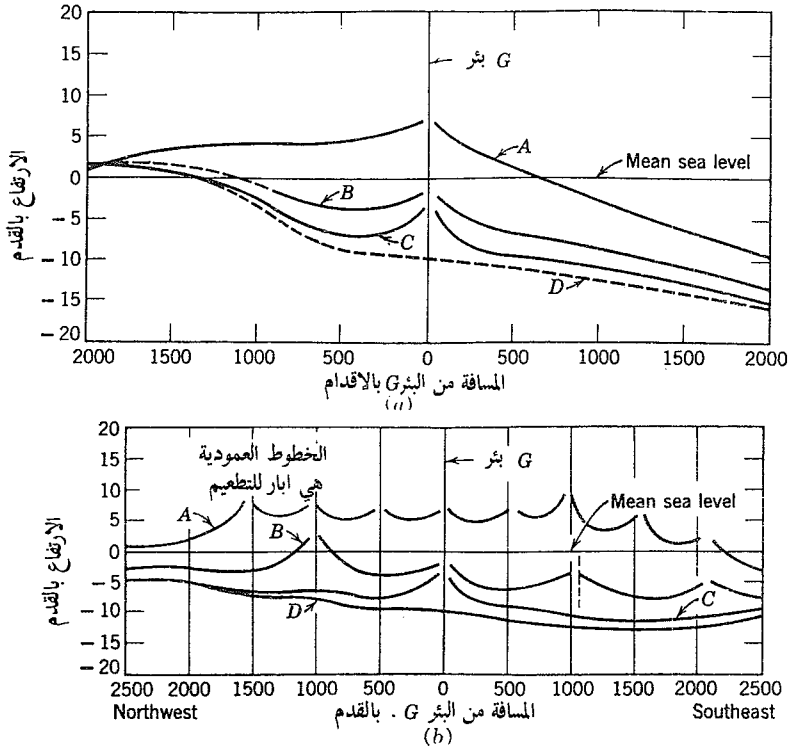
من آبار التطعيم الاصطناعي بحيث كان الخط موازياً للساحل. وحوالي (2000) قدم الى الداخل من المحيط حيث كان السطح القياسي الانضغاطي يتراوح مابين 6 الى 12 قدم تحت مستوى سطح البحر ويحتوي الماء على 16,000 جزء لكل مليون (ppm) من الكلور ان الشكل (9.12) يبين المقطع العرضي لتكوين مائي موضحا الظروف الموجودة والسابقة لعملية التطعيم .



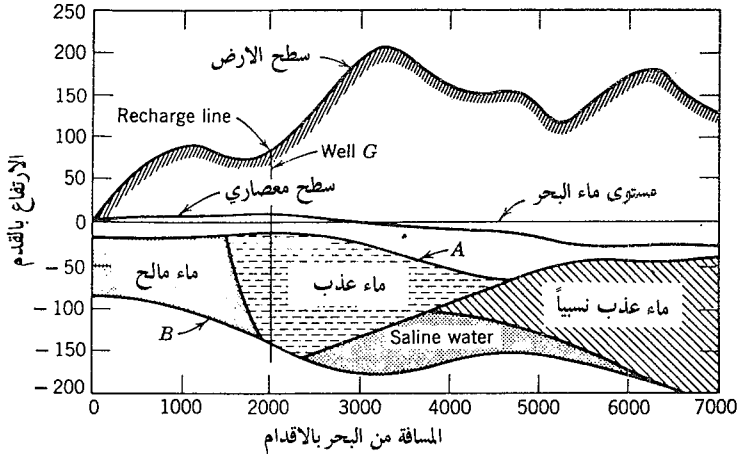
شكل (9.12) اقتحام مياه البحر في ساحل منهاتن في كاليفورنيا لتطعيم A— الحدود العليا التكوين المائي .
B — الحدود السفلى للتكوين المائي . (لافرتي وفان ديركورن)

هناك آبار تطعيم ذات قطر 12 انج ومحاطة بـ 3 انج من حشوات الحصى وبمسافات 500 قدم فاصلة لتشكل خطاً ذا 4000 قدم في الطول . عدة ابار عملية صغيرة للملاحظة تم حفرها بجوار ابار التطعيم .

وعملية الحقن بدأت مبكرة في بئر واحدة في سنة 1953 . بعد ذلك ازدادت الى اربع ابار وبالنهاية الى ثماني ابار . ان الصورة الجانبية لمنحدرات الضغط العمودي الى وعلى امتداد خط التطعيم الموضح في الشكل 10.12 يبين أن الحقن أدى الى الحفاظ الناجح لحاجز المياه العذبة ان معدل الحقن الكلي المتجمع للابار الثماني كان حوالي 5 اقدام مكعبة لكل ثانية ان تحليل المماثلات نحو البحر ونحو اليابسة توضح ان نسبة 5% فقط من مياه التطعيم ستكون مبددة الى المحيط ، على حين سيبقى حوالي 95% من المياه ستجري باتجاه اليابسة لتزود حوض المياه الجوفية ان اضافة الكلور للمياه المطعمة صناعيا عند مستويات من 5 الى 8 جزء لكل مليون كانت ضرورية ؛ وذلك لمنع انسداد الآبار بواسطة المادة اللزجة البكترية ان تأثير برنامج التطعيم موضح بالشكل 11.12 وهو مبين مقطعا عرضيا لتكوين مائي بعد مضي سنتين من بدء التطعيم الصناعي فيه . وبمقارنة هذا مع الشكل 9.12 يتضح



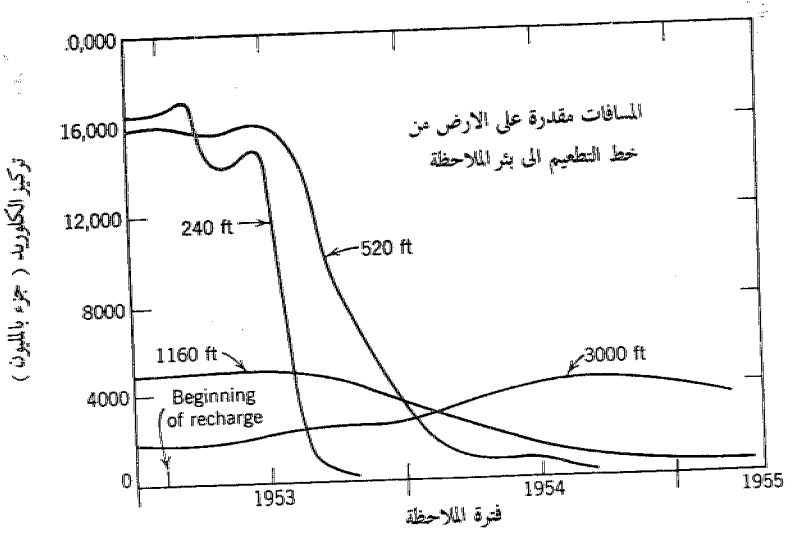
شكل (12–10) برونيل لسطوح معصاري (a) اعتيادي الى (b) على طول خط تطعيم الابار . ساحل متهاتن كاليفورينا ايلول A—Sept. 16, 1953 حزيران B June 15, 1953 اذار C—March 10, 1953 و D مستوى المائي الاحصائي ما قبل بداية التطعيم في شباط 1953 (لافرتي وفان كووت [19])



شكل (12-11) اقتحام مياه البحر في ساحل متهاتن في كاليفورينا لتطعيم A — الحدود العليا للتكوين المائي B = الحدود السفلى للتكوين المائي (فرتي وفان وبركووت)

التغيير في السطح القياسي الانضغاطي واعادة توزيع المياه المالحة والعذبة يعتبر ظاهرياً ؛ بسبب ان مياه البحر قد سبق وان اتجهت نحو اليابسة من خط التطعيم ، وان عملية التطعيم نفسها قد خلقت موجة مالحة صغيرة من المياه المتحركة الى الداخل . باخذ نماذج الكلوريد من آبار الملاحظة يظهر أن هناك اختلافات واضحة في الملوحة خلال فترة التطعيم . ان نتائج أربع آبار مثبتة على امتداد خط عمودي على خط التطعيم والى الداخل كما يظهر في الشكل 12.12 . بينما تحرك الماء المحقون الى الداخل فانه يشكل اسفينا مغطيا للمياه المالحة المقتحمة ، بحيث ان المياه المالحة المحبوسة كانت تتسطح تدريجيا . ويؤدي دخول الماء العذب الى زيادة الاحتكاك بالمياه العذبة الواصلة الى الابار التي الى الداخل مع مرور الزمن . ان التحري قد اوضح الملائمية التقنية لادامة خط التطعيم موازياً للساحل لغرض السيطرة على اقتحام مياه البحر .

ان التبرير الاقتصادي[19] لمثل هذا الحاجز ليحمي حوض المياه الجوفية باكمله ، يتطلب بحث لقيمة تأمين الحماية لعطاء الضمان للحوض بأكمله . ان كلفة تجهيز المياه الاضافية وكلفة وسائل التوزيع لمثل هذا التجهيز وقيمة الحوض لاغراض الخزن فضلا عن علاقة توفير خزين سطحي مناسب . الدليل في مقاطعة لوس انجلوس قد قاد الى الاستنتاج بان الطريقة عملية ومناسبة فضلا عن انها اقتصادية وتقنية في آنٍ واحد .

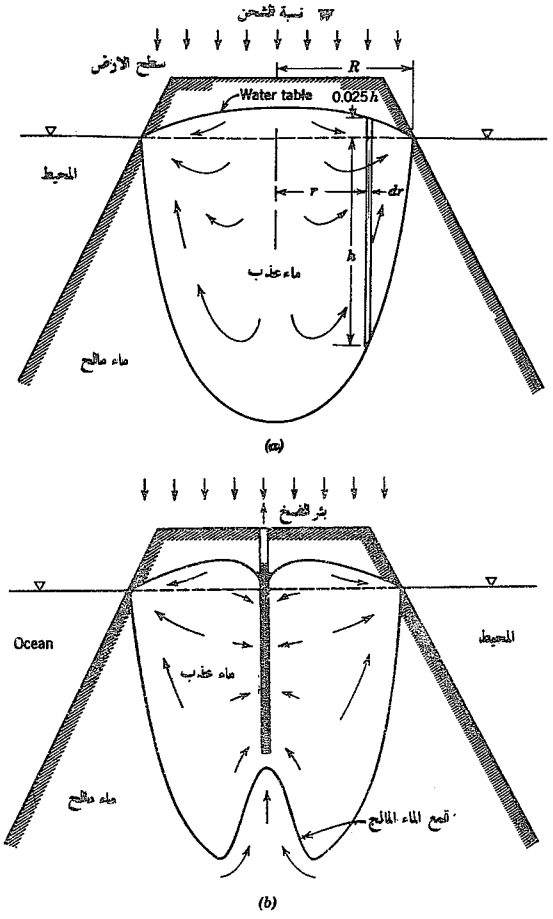


شكل (12 - 12) اختلاف تركيب الكلوريد مع الزمن في بئر الملاحظة على الارض من خط التطعيم في ساحل منهاتن — كاليفورنيا (لافرتي وفان دير كووت [19])

علاقات المياه المالحة – العذبة على الجزر المحيطية

Fresh - Salt Water Relation on Oceanic Islands)

ان معظم الجزر المحيطية الصغيرة نفاذة نسبيا مكونة من رمل او صهير بركاني أو مرجان او حجر الكلس لذا فان مياه البحر هي في تماس مع المياه الجوفية على كل الجهات بسبب ان المياه الجوفية العذبة مجهزة كليا بواسطة هطول الأمطار فإن كمية محدودة فقط هي المتوفرة . ان عدسة المياه العذبة المبينة في الشكل (a13.12) ، هي متكونة بواسطة الحركة الشعاعية للمياه العذبة نحو الساحل* .



شكل (12 13) عدسة الماء العذب في الجزر المحيطية الصغيرة تحت (a) الظروف الطبيعية (b) مع بئر الضخ

ان نفس الحالة ، عدا انها كانت في اتجاهين مختلفين ، حدثت للمياه الجوفية في الكثبان الرملية المجاورة لبحر الشمال في نذرلاند ، الامطار المترشحة والتطعيم الصناعي في الكثبان النفاذة كونت عدسات من المياه العذبة موازية للساحل ويقع تحتها الماء الملح ، وبما ان مياه الكثبان يعتبر كمصدر مهم لتجهيز المياه في النذرلاند ، لهذا السبب فان هيدروليكية المياه الجوفية في هذه المناطق قد تمت دراستها بشكل تفصيلي من قبل المهندسين الهولنديين *

من افتراضات العالم ديوبيت Dupuit وعلاقة كايبن – هيرزبيرك Ghyben – Herzberg ان حداً تقريبياً للمياه العذبة يمكن تحديده ، اذا أفترض ان جزيرة دائرية ذات نصف قطر R كما هي مبينة في الشكل (a13.12) والمستلمة مياه تطعيم فعالة من سقوط الامطار بمعدل W فان الجريان للخارج Q عند نصف قطر r هو :

$$Q = 2\pi rK(1.025h)\frac{d(0.025h)}{dr} \qquad .....12.8$$

حيث K هي النفاذية و h عرفت في الشكل (a13.12) ، لذا فان التغير في الجريان خلال اسطوانة ذات نصف قطر r وسمك dr تساوي الى :

$$dQ = 2\pi rWdr \qquad .....12.9$$

بالتكامل وبملاحظة أن $Q = 0$ عندما $r = 0$ تعطي :

$$Q = \pi r^2 W \qquad .... 12.10$$

وبمساواة المعادلتين 12.8 ، 12.10 تعطي :

$$\frac{Wrdr}{0.0512\ K} = hdh \qquad ..... 12.11$$

بتكاملها وتطبيق الظروف الحدية فان $h = o$ عندما $r = R$

$$h^2 = \frac{W}{0.0512K}(R^2 - r^2) \qquad .....12.12$$

لذا فإن العمق الى المياه المالحة عند أي موقع هو دالة على التطعيم وسقوط الأمطار وحجم الجزيرة والنفاذية . ان التذبذبات في المد والجزر والتذبذبات الفصلية قد تشكل منطقة انتقال بين أجسام المياه المالحة والعذبة بطريقة مماثلة فان سطوح النضح عند خط الساحل معرضة الى تراكيز ملوحة مختلفة .

ان القرب الكثير لمياه البحر يجعل من الممكن أن تقتحم المياه المالحة الى المياه الجوفية العذبة ، حتى بدون الوصول الى فرط الاستغلال مالم تعطَ العناية في تطوير تجهيزات المياه تحت الأرضية . إن بئر في الجزيرة يضخ المياه بمعدل كاف لتخفيض مستوى المياه الى أو تحت مستوى سطح البحر الى اضطراب توازن المياه المالحة – العذبة . وطبقا لعلاقة كايبين – هيرزبيرك فان المياه المالحة سترتفع كمخروط موضح في الشكل (b13.12) لتدخل البئر .

في التطبيق العملي فان مزيجا من الزعاق (brackish) من الماءين قد يسبب هجر البئر قبل وصول – التراكيز الملحية قريباً من مياه البحر. ولتجنب هذا الخطر وللحصول على أفضل عطاء من المياه الجوفية فان آبار الجزيرة يجب تصميمها للحصول على أدنى انخفاض (drawdown). فقط قشادة (skimming) المياه العذبة من قمة العدسة. ورواق الترشيح (أنظر الفصل 5) متكون من نفق تجميع أفقي، قد صمم لهذا الغرض [38]. ان الانخفاضات الواقعة بين بضعة إنجات الى عدة أقدام تشكل في كثير من الحالات تجهيزات مياه وفيرة.

ان الأروقة المعروفة محليا بآبار من طراز ماوي (Maui - type wells) قد وضعت بصورة واسعة للري ولتجهيزات المياه المحلية في جزر هاواي [34]. جزر ماريانا (Marianas) [24] في المحيط الهادي وجزر البهاما (Bahama) [31] وجزر برمودا (Bermuda) [38] في المحيط الأطلسي مصادر مياهها من أروقة الترشيح.

تشخيص مياه البحر في المياه الجوفية
(Recognition of Sea Water in Ground Water)

ان تحليل نماذج المياه الجوفية المتجمعة في انطقة اقتحام مياه البحر قد يرى تركيبا كمياويا مختلفا عن خلط متناسب بسيط لمياه البحر والمياه الجوفية.

من الممكن حدوث تعديلات في تركيب مياه البحر الداخلة الى تكوين مائي بثلاث عمليات [٢٩] هي:

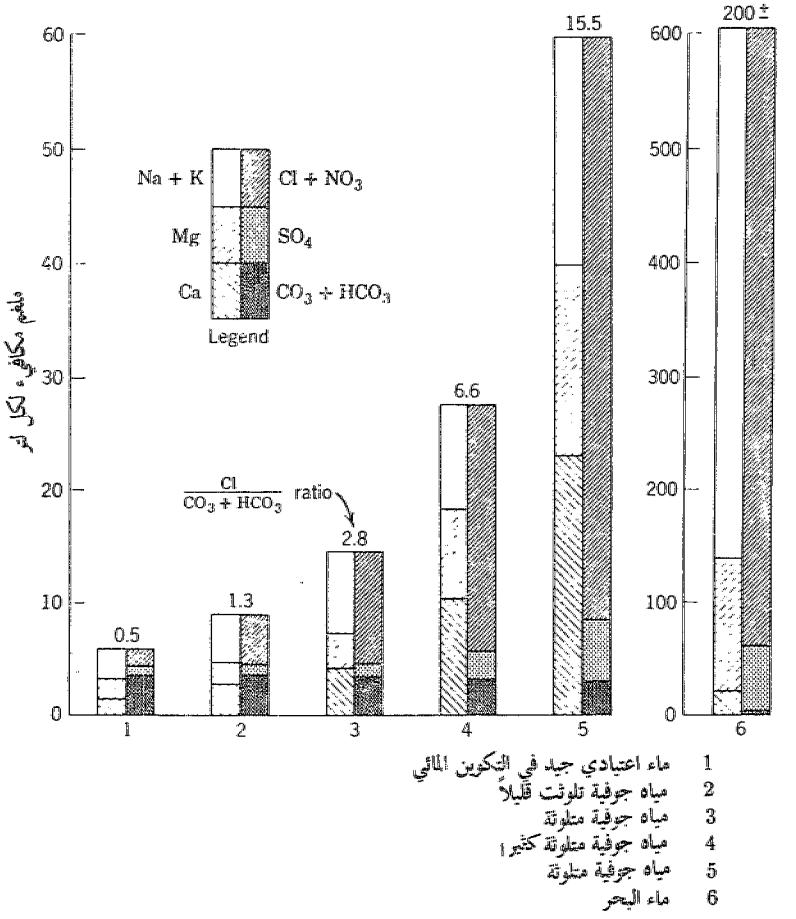
أ– التبادل القاعدي بين الماء ومعادن التكوين المائي [22].

ب– اختزال الكبريتات واحلال الجذور الكاربونية أو غيرها من الجذور الحامضية الضعيفة.

جـ– الاذابة والترسيب.

ان العملية الأخيرة فقط يمكنها تغيير التركيز الكلي للملح، على أي حال فان العمليتين الأوليين اللتين تتطلبان الحفاظ على توازن أيوني يمكنهما تغيير النسبة المئوية بالوزن للمكونات الملحية المختلفة، وبالتالي مجموع المواد الصلبة المذابة في أجزاء من مليون.

ولتجنب التشخيصات الخاطئة لأقتحام مياه البحر كما ظهر بالزيادة الطارئة لأجمالي الاملاح المذابة، فان العالم ريفيل [29] Revelle أوصى بنسبة من الكلوريد البيكاربونات Chloride-Bicarbonateratio كقاعدة لتقييم الاقتحام* .



شكل (12 14) التحليلات الكيمياوية لخطوط ابار المياه من وادي سالينيس كاليفورنيا ، والممتدة من مركز التكوين المائي الى الساحل . نسبة الكلوريد .. البيكاربونات مبنية فوق كل شكل (ممبسون[33])

ان الكلوريد الذي يمثل الأيون الغالب لمياه المحيط لايتأثر بالعمليات المبينة في أعلاه ويتواجد عادة – بكميات صغيرة فقط في المياه الجوفية وعلى النقيض من ذلك فإن البيكاربونات هي الأيونات السالبة المتوفرة على الأغلب في المياه الجوفية وتتواجد بكميات قليلة فقط في مياه البحر .

وعلى الرغم من أن الملوثات غير مياه البحر يمكنها تغيير نسبة الكلوريد – البيكاربونات فان هذه نادراً ماتكون مهمة في الماء المأخوذ من بئر معرض للاقتحام .

ان تطبيقا لهذه النسبة يمكن رؤيته بسلسلة التحليلات الكيمياوية في الشكل (14.12) . حيث تم أخذ نماذج من آبار في وادي سالينا/كاليفورنيا على طول خط يمتد من التكوين المائي خلال نطاق من مياه البحر المقتحمة ، الى الساحل . ان زيادة نسبة الكلوريد – البيكاربونات اضافة الى الملوحة الاجمالية يمكن ملاحظتها مع الاقتراب من الساحل (من نموذج 1 الى 6) .

الفصل الثالث عشر
المظاهر الشرعية للمياه الجوفية

مع التطوير الاكمل لمصادر المياه في المستقبل فان الادارة المتزايدة لانظمة الجداول واحواض المياه الجوفية ستكون مطالبة بالمحافظة على زيادة وادامة عطاء المياه ذات النوعية الجيدة . مثل هذه الادارة لاتعتمدفقط على المعرفة الصحيحة لظروف المياه الطبيعية ، ولكن ايضا وبنفس الاهمية على السيطرة الشرعية لاستعمالات المياه مما هو معقول وعلمي. وقد دعا العالم مكجينيز [13](MeGainess) الى تشريعات هايدرولوجية ثابتة. وهناك الكثير مما ينتظر عمله ليفسر ويبسط ويدير قوانين المياه الجوفية في الولايات المتحدة. ان دائرة المسح الجيولوجي وهي تعمل بقدرة استشارية على أساس من التلاؤمية الهايدرولوجية لقوانين المياه المقترحة قد القت ضوءا قويا على بعض المسائل القانونية الموجودة على حين هناك عدة ولايات مشغولة بجدية في تهيئة تشريع جديد مؤد الى تحسين دساتير المياه .

انظمة التسمية للمياه الجوفية :

Systems of Title to Ground Water

ان حق المياه هو حق مخول بواسطة القانون لاحراز ملكية المياه النابعة من مصدر طبيعي . لتجهيز المياه ولوضعها موضع الأستفادة الصحيحة في الولايات المتحدة هناك مبدآن أساسان لقانون المياه ولارساء حقوق المياه كالآتي :

مبدأ القانون المشترك للحقوق الضفية (خاص بضفة نهر) ومبدأ الافرادات اوالتخصيصات السابقة .

ان الحق الضفي بني على أساس ملكية الارض الملامسة اوالقريبة من تجهيز المياه الطبيعية ، لهذا فبالنسبة للمياه السطحية يطبق على الارض المحيطة بالجدول . اما بالنسبة للمياه الجوفية فان ملكية الارض المغطية للتكوين الحامل للماء تصبح هي القاعدة. ومن هنا فان مصطلح حق ملكية الارض [17] هو اكثر تعبيراً .

ان حقا مناسبا مسبقا مبني على اساس تخصيصات استخدام المياه العائدة الى الصالح العام مع الحقوق المسبقة التي لها افضلية على المتأخرة. أحد المبادىء بنيتعلى اساس تعيين الموقع في حين أن الأخرى بنيت على اساس الوقت. ان تعاكس طبيعة هذه المبادىء قد سبب صعوبات في تفسير حقوق المياه في الولايات المتحدة حيث كلاهما مطبق .

مبدأ ملكية الأرض

Doctrine of Land Ownership :

ان مبدأ حقوق ملكية الارض كان قد نشاء في انكلترا في النصف الاول من القرن التاسع عشر معطيا اياه اسم القاعدة الانكليزية للاستخدام غير المحدود طبقا لهجنز[8] Hutchiris (...ان البراهين العملية لقبول القاعدة الانكليزية للمياه المتخلله كانت : —

أ — ان مصدر ، وجريان هذه المياه كان مجهولا الى درجة كان من المستحيل معها ان تنظم اي احكام تشريعيه تحكمها .

ب — التعرف على الحقوق المقارنة لملاكي الاراضي المتجاورة سيؤدي الى تداخلهم بشكل بين في المشاريع العامة المهمة مثل تصريف الارض .... الخ

ان المنافسة على المياه في الولايات المتحدة خصوصاً في الغرب قد جعل القاعدة الانكليزية ذات الاستعمال غير المحدود غير مناسبة ، مستنبطا من دعوى* في منطقة نيوهابشاير (New Hampshire) . في عام 1862 أتى بالمبدأ الذي ينص على ان حق — الانسان لاستعمال المياه المتخللة على أرضه المملوكة يكون محدداً بواسطة الاستعمال المقابل لجاره"ويقيد الكل باستعمال معقول للحق المشروع ، استعمال معقول للملكية الخاصة على مرأى من الحقوق المتشابهة للآخرين". وهذا ماأصبح يعرف بالقاعدة الامريكية للاستعمال المناسب ، التي أقرّت في عدة ولايات حيث كان مبدأ الأرض مطبقاً .

في سنة 1903 . فان دعوى السيد كاتز ضد السيد وولكنشو(Katz Versus Walkinshaw) في كاليفورنيا ادت الى تعديل اضافي لمبدأ حقوق ملكية الارض . ان محكمة كاليفورنيا العليا نصت على أن"في حالات الخلافات والنزاعات بين ملاك الاراضي المتعلقة بالمياه لغرض الاستعمال على الأرض والذي لهم حقا مساوياً وفي حالات يكون فيها التجهيز غير كاف للكل ، يكون حلها اعطاء الكل — حصة مناسبة ومنصفة . وهذا ماأصبح يسمى بقانون كاليفورنيا او مبدأ الحقوق المتلازمة . وهوينص على ان الحقوق لملاك الارض فوق حوض مشترك للمياه الجوفية هومساو ومتلازم بحيث ان اي واحد من الملاك لايستطيع اخذ اكثرمن حصة ولو لاستعمالها في ارضه ، اذا كانت حقوق الاخرين متضرره بذلك . هنا الاستعمال المعقول لايعني ان استفادة مالك الارض من كل المياه النافعة يعدُّ شيئا معقولا بصرف النظرعن احتياج الاخرين لها ولكن فقط حصته المعقولة اذا لم يكن هناك تجهيز كافي لكل الاحتياجات ، فيجب ان يكون الاستعمال محددا في اوقات قصيرة الامد وذلك لكافة الاراضي المغطية لحوض المياه الجوفية . على اي حال متى ماكان التجهيز وافرا ولايوجد اضرار فان اي كمية ممكنه تعتبر معقولة ويمكن اخذها للاستعمال على الارض المغطيه أو أراض اخرى .

مبدأ التخصيصات السابقة Doctrine of Prior Appropriation :

ان الفكرة الأساس للمبدأ الثاني هي أن مالك الأرض ليس له حق متأصل لاستخدام المياه من مصادرها المجاورة او التي دون ارضه ، ولكن تلك الحقوق لهذه المصادر كانت مبنية على اساس الاسبقية في الوقت للاستخدام المفيد ، ويمكن ان تفقد بعد الانقطاع عن الاستعمال ، لهذا فان المخصص هو ذلك الشخص المستعمل للمياه التي كانت معتبرة كملكية عامة سبق استخدامها بواسطة الآخرين .

ان مبدأ التخصيص في الولايات المتحدة يمكن ارجاعه الى المشتغلين الاوائل بالتعدين في كاليفورنيا الذين اخذوا المياه من الجداول لغرض استعمالها في الاستنبار Placer miming (الاستنبار :- هو غسل الراسب الغريني لاستخلاص دقائق الذهب التي يشتمل عليها) على الاراضي العامة . ان محكمة كاليفورنيا العليا اقرب المبدأ من سنة 1855 على حين قرارات الكونغرس في اعوام 1870،1866 اقرت بالحق لتخصيص الماء على الاراضي العامة وحمت حتى تلك الاراضي التي انتقلت فيما بعد الى الملكية الخاصة .

ان قرار الارض الصحراوية في سنة 1877 يشتمل على الاتي :

مهما يكن ، فبشرط ان حق استعمال المياه من قبل شخص يؤدي بالطريقة نفسها الى اي بقعة من ارض صحراوية ذات مساحة 640 اكر التي سوف تعتمد على - التخصيص الاصلي السابق . ومثل هذا الحق سوف لا يتعدى كمية المياه المخصصة اصلاً والتي تعد كافية لغرض الارواء واستصلاح الأراضي . وكل المياه الفائضة عن مثل هذا التخصيص الحقيقي والاستعمال معاً مع مياه كل البحيرات والانهر والمصادر الاخرى لتجهيز المياه على الارض - العامة . وليست الانهر الصالحة سوف تبقى او تحتفظ بطلاقة لغرض التخصيص والاستعمال العام لاغراض الري والتعدين وموضوع اغراض التصنيع والتي تخضع للحقوق الموجودة .

في الوقت الحالي كل السبعةعشر لاية الغربية تقر مبدأ التخصيص السابق ، لحد ما . في الاساس ينص المبدأ على ان للشخص الذي له الاسبقية الزمنية مستفيداً من استعمال المياه هو الاول في الحق . لهذا فخلال العجز او النقص فان المخصصون التالون يجب ان يوقفوا استعمالهم في ترتيب معاكس من الاسبقية . وليست هناك حقوق مكتسبة للاستعمال غير النافع للمياه بسبب الطبيعة المتضاربة لكلا المبدأين الرئيسين لقانون المياه . فان على الولايات ان تقر اياً من المبدأين تتبع ؟ على الرغم من ان كليهما مستخدمان . وبعض الولايات تتبع كلا القانونين الى حد ما ..

ان الميل الحديث كان لاضعاف حقوق ملكية الارض في صالح من التخصص السابق . ان التأكيد - المتزايد كان موضع استعمال نافع ومعقول ، حيث كان العجز في المياه متفاقماً ..

وقد صرّح العالم مكجينيز [13] بان اعضاء دائرة المسح الجيولوجي الذين اعطوا عناية للموضوع يعتقدون ان مبدأ التخصيص السابق له علل اقل من مبدأ ملكية الارض . ويمكن ان يعمل به ليقود الى درجة اعظم من التطور وحماية اكبر للحقوق الراسخة .

العالم ويلزأ . هجنز Wells A,Hutchins ، من المتخصصين الاوائل ، في قانون المياه الغربية ومصلحة تخطيط الموارد الوطنية اللتين اوصتا معاً بمبدأ التخصيص السابق كأفضل طريقة متوفرة لتوطيد حقوق المياه .

الحقوق التقادمية Prescriptive Rights: :

في ولايات معينة حيث ملاك الارض او المخصصون السابقون يمكن ان يفقدوا حقوق مياههم بالاستعمال غير الكفء اوالتقادم (وهوالحق المكتسب بمرور فترة من الزمن) ان المدعي للحق التقادمي يجب ان يفي بظروفاً معينة محددة بالقانون في كاليفورنيا . على سبيل المثال ، ان حقاً تقادمياً يمكن ان يكتسب بأخذ ه ووضعه موضع استعمال مفيد ولخمس سنين متعاقبة ، مياه جوفية لملاك الارض فوقها اوللمخصصين السابقين الذين لهم حقوق فيها فاذا كان المالك المحق قد فشل في ان يعترض على الاستخدام غير القانوني قبل نهاية خمس السنوات اوفترة تقادم خمس السنوات ، فهويفقد حقه في الاعتراض والحق التقادمي يكتسب بواسطة المدعـــي .

التفسير الشرعي للمياه الجوفية

Legal Interpretation of Ground Water :

ان كثيراً من الارباك في التفسير الشرعي للمياه الجوفية يتواقت بالماضي عندما كانت المياه الجوفية غير مفهومة تماماً* . معظم قوانين المياه في الماضي كانت مبنية على محاولة التمييز بين « مجاري المياه » التي تعرف بالجداول الطبيعية للسطح أو للمياه تحت الأرضية الجارية في قنوات محددة من مصادر محددة من جهة « والمياه المتخللة » والتي هي المياه المتحركة ببطء خلال الارض ولكنها ليست جزءاً من اي جدول تحت ارضي محدد .

ان قرارات محاكم مختلفة صنفت المياه المتخللة الى منتشرة ، ورافدة الى العيون ومجهزة للآبار السطحية ، والمياه المتسربة اوالناضحة . ان قانوناً عملياً للمياه الجوفية يجب ان يطبق على كل المياه في منطقة الاشباع ويجب أن يُعرف الاتصال الداخلي بين مياه السطح والمياه

---

* على سبيل المثال ، فان القول التالي ظهر في قرار المحكمة عام 1850 (Roath Us. Driscoll, 20 Conn.533) [المياه الجوفية] ترتفع الى علو عال وتتحرك جانبيا بتأثير لاارادة لنا فيه وهذه التأثيرات تعتبر ايضاً سرية ومتغيرة ويصعب السيطرة عليها . ولايستطيع اخضاعهم للقانون ، ولا يمكن عمل نظام اوقواعد معينة لهم كما هو الحال في حالة الجداول على سطح الارض .

الجزيرة [12] . في بعض الولايات حيث تطبق احكام مختلفة من القانون على مجاري او مسارات المياه الجوفية والمياه المتخللة — ان مشاكل التفسير المعقد في دعاوي المحكمة قد خلقت بواسطة هذه التمييزات الاصطناعية .

قانون المياه الجوفية في الولايات المتحدة

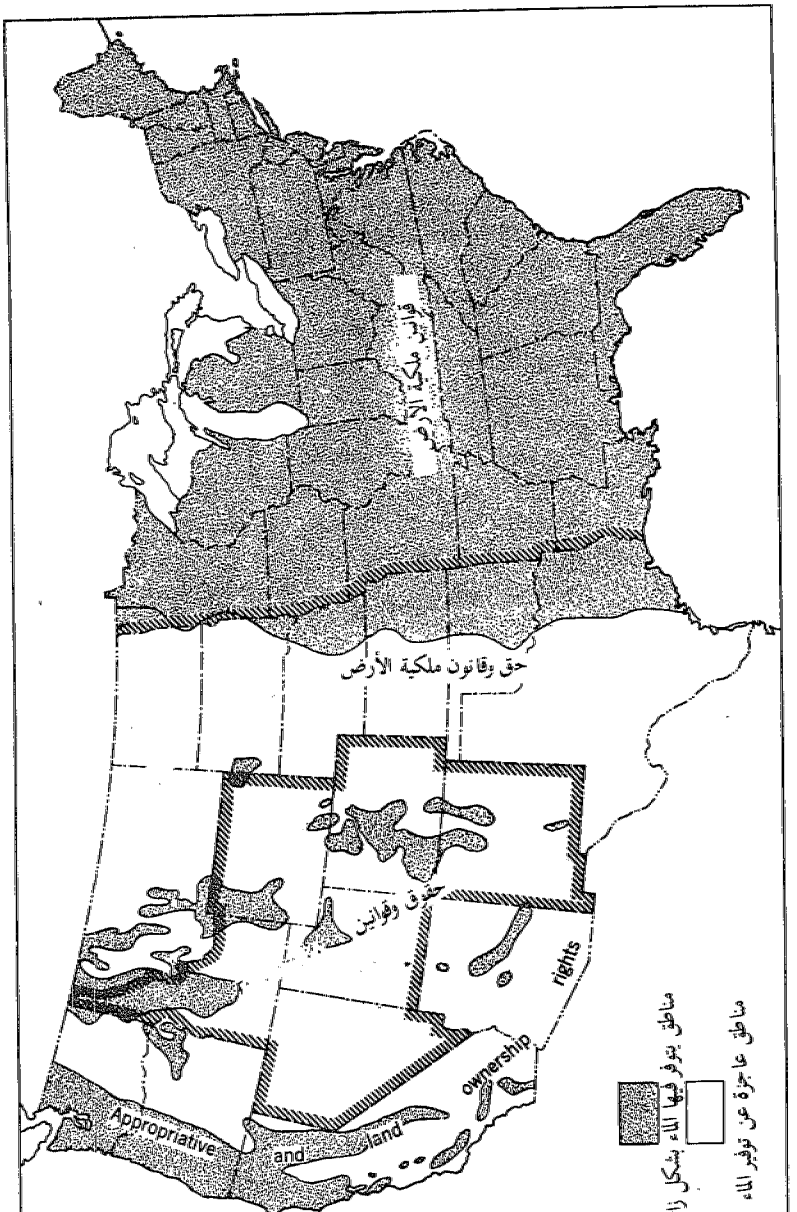
Ground Water Law in the United States :

ان اجماع الرأي الرسمي هو أن سيطرة شرعية مطلوبة للمياه الجوفية يمكن وينبغي ان تنجز في الولاية عوضاً عن المستوى الفيدرالي مع كثير من السيطرة بقدر ما يمكن تطبيقه من قبل المستغلين المحليين للمياه الجوفية . ومن المستحسن ان تكون قوانين الولايات المختلفة متينة ومتماسكة قدر الامكان معاً في المبدأ وفي الاتفاقيات الرئيسة لكي تسهل سيطرة بشأن المياه بين الولايات . ان قوانين المياه الجوفية في الولايات المختلفة تختلف بصورة كبيرة في المبدأ ودرجة التطور . وهناك عدة ولايات قد نظمت أحكاماً مبنية على قرارات المحكمة عوضاً عن قرارات تشريعية . ان اختلاف — قوانين الولاية متحداً مع التعديلات المستمرة قد جعل من المتعذر أن تلخص هنا قوانين المياه الجوفية للولايات المختلفة . التحليلات الحديثة لقوانين المياه الجوفية للولايات قد وضعت بواسطة هاجنز ومكجيبنز [13] من مصلحة تخطيط الموارد الوطنية [14] ، رئاسة لجنة سياسة الموارد المائية وكذلك توماس . ان مباديء حقوق المياه التي اتخذت بواسطة ولايات مختلفة تتبع عموماً الشكل المناخي كما موضح بواسطة توماس [17] . في الشكل 1.13 يبين مناطق المياه الزائدة طبيعياً والنقص* (مبينة على أساس فيما اذا كان معدل هطول الامطار السنوي يزيد على معدل التعرق السنوي ام لا ؟) معاً مع مباديء حقوق المياه للولايات . في (31) ولاية شرقية ذات مياه فائضة يكون هطول الامطار اعتيادياً كافياً لتجهيز المياه الكافية او جوار الارض ذات الملكية الخاصة . وهنا تبدو غلبة مبدأ ملكية الأرض .

ان النقص الحديث في المياه في المناطق ذات الكثافة السكانية العالية سببت القيام باستيراد مياه لهذه المناطق من مصادر اخرى قد تقود في المستقبل الى ارساء تعديلات لمبدأ التخصيص السابق . ان ولايات جبال روكي هي ولايات قاحلة عدا المناطق الجبلية . وكمية الامطار الساقطة فيها غير كافية حتى للزراعة الجافة . والمحاصيل تعتمد على مياه الري المستوردة، لذا فان مبدأ التخصيص السابق يكون هو الغالب . ان ولايات ساحل الباسفيك وولايات السهول العظمى ابتداً من ولاية مونتانا الى تكساس تميل الى الأخذ بمبدأ ملكية الارض

---

* انظر الصفحة السابقة



شكل 1.13، مبدأ حقوق الماء والمقر بواسطة الولايات المختلفة ضمن الولايات المتحدة الامريكية ويظهر فيها مناطق الماء الطبيعي الزائد والناقص (توماس)

ومبدأ التخصيص السابق معاً . مناخياً يأتي هذا بسبب ان ولايات ساحل الباسفيك تحوي مناطق قاحلة ومناطق رطبة معاً ، على حين أن ولايات السهول العظمى لها مناخ شبه جاف متوسط بين تلك التي في الغرب القاحل والشرق الرطب .

حقوق المياه في مناطق فرط الاستغلال

Water Rights in Overdraft Areas :

ان مشاكل صعبة لحقوق المياه الجوفية قد تنشأ في المناطق المفرطة الاستغلال حيث الانسحاب السنوي يطغي على التزود . ان المياه الفائضة تأتي من الخزن وذلك بسبب اعتبار الماء كمورد طبيعي متجدد ، فان استخراج المياه الجوفية يعتبر غير مرغوب من وجهة نظر الحفاظ (أنظر الفصل 8)* على أي حال في حالة عدم وجود مصدر متوفر بديل عن الماء فانه يبدو ان الرأي العام يفضل التنقيب عن المياه ، وبكلمات اخرى من المستحسن ان يستمر حق المياه حتى يستنفذ مصدر المياه عوضاً عن تحديد السحب لاطالة امد توفر المياه بصورة غير محدودة . في حالة من هذا القبيل ، تكون حقوق المياه التي يطول امدها ضمينا بصورة غير محددة مع الزمن قد تستمر برغم احتمالية عدم وجود مياه لتزويدها .

ان الادارة والسيطرة على المياه الجوفية في المناطق المفرطة الاستغلال تواجه عدة مشاكل تقنية وشرعية معقدة يمكن ممارسة عمليات السيطرة بواسطة منظمة لملاك الاراضي ، الذين يوجد في اراضيهم مياه جوفية وذلك بواسطة وثيقة الزامية صادرة عن قرار محكمة وبمساعدة خبير أروائي أو بوكالة ادارية عامة . ان المشاكل العملية للتنظيم تشمل الأمد الطويل والكلفة الباهظة للدعاوي – القضائية المتضمنة عادة . ومن المعتاد أن محاولات لتنظيم الضخ من حوض مياه جوفية سترتبط بكل أصحاب الملكية الخاصة كطرف من أطراف الدعوى . ولسريان كل حقوق المياه يجب عرضها وفحصها كما يجب تحديد هايدرولوجية الحوض ليس هناك وجود لطريقة واحدة لتنظيم أحواض المياه الجوفية . والحالات أو الأوضاع الانفرادية تتعلق بتغيير الظروف الهايدروليكية – الاقتصادية والشرعية مما ينتج عدة حلول مختلفة . ان من الواضح ، مع ذلك ، فأنه من الابسط ان يمنع الاستغلال المفرط بدلاً من ان يعالج في كثير من الولايات الغربية . بعض خزانات اومستودعات المياه الجوفية قد اعلن عن اتمام تخصيصها ، ونتيجة لذلك لا يسمح بأية تطويرات لهذه الاحواض . ان بعض الولايات الشرقية وباجازة آبار جديدة تحدد ضخ الاستغلال وعدد السنوات التي قد يستمر الضخ خلالها ان السلطات

* انظر الصفحة السابقة

التي تضمن حماية هذه الحقوق لاجل الصالح العام تتضمن مبدأ التخصيص المسبق طالما أن حقوق المياه تصبح دالة تلزمن اكثر مما هي لملكية الارض . مثال واف للسيطرة بدأ بفعل مستعملي الماء حدث في حوض – ريموند التابع لوادي سان غابرييل في كاليفورنيا الجنوبية هذا الفعل كان قد ابتدى لأن تجهيز مياه اضافية ، منطقة مياه العاصمة الماء منقولاً بقناة من نهو كولوراد وكان متوفراً ، والا كان فان عدم التأكد من النتيجة كان سيمنع هذا الفعل . ان مدينة باسادينا احدى مستخدمات الماء ابتدأت فعلاً مماثلاً في عام 1938 لاصدار حكم قضائي فيما يخص كل حقوق المياه الجوفية في الحوض بعد ان اقر مهندسوها بان تطعيم المياه الى حوض ريموند قد زاد بصورة هائلة بواسطة النزح وكان واحد وثلاثون طرفاً مشمولين بالدعوى .

وفي عام ١٩٣٩ بعد ان قدم عدد من الاطراف المعنيين التماساً احالت المحكمة القضية الى القسم العام لموارد المياه لاقرار الحقائق الفيزياوية . وقد ابلغ القسم المذكور في 1943 بأن التطعيم كان قد بلغ حوالي / 70 من النزح وجاء حكم نهائي في 1944 مع قرار من محكمة كاليفورنيا العليا * بان الضخ من قبل جميع الاطراف ينبغي ان يخفض تناسبياً لجعل اجمالي الضخ السنوي لا يتعدى عطاء الضمان .

تمت استشارة خبير اروائي لتفحص الضخ ، ولحسن الحظ تم تحقيق التخفيض بدون ان يحرم اي شخص تجهيزه المائي ، لأن تلك الاطراف التي كانت تمتلك مصادر اخرى للمياه مثل مدينة باسادينا كعضو لمنطقة مياه العاصمة سمح لهم ببيع كل او بعض المياه سنوياً تلك المياه التي كانت لهم حقوقها في الحوض ، لاولئك الذين لا يمتلكون رخصة او تصريحاً في استعمال مصدر آخر . هذا الماء المشتري يمكن ضخه من قبل المشتري من اباره الخاصة وقانون اخر حديث سن في كاليفورنيا كان قد صمم لتشجيع تطوير مصادر المياه البديله بدلاً من المياه الجوفية ويطبق هذا القانون فقط على المقاطعات التي تمتلك مناطق الاستغلال المفرط الواضحة المعالم حيث شخص القانون ان حق المياه لمستخدم المياه الجوفية لن يتلف بوقف او تقليل استخلاصه المياه الجوفية ، فيما اذا استعمل عوضاً عن تلك المياه مصدراً مناوباً مما هو ليس برافد من مصدر المياه الجوفية .

السيطرة القانونية على المياه الجوفية والمطعمه صناعيا :

Statutory Control of Recharged Ground Water :

ان غالبية قوانين المياه الجوفية الموجودة حاليا قد طورت لتغطي استخدام تجهيزات المياه الجوفية الطبيعيه . حيث المياه السطحيه قد وضعت أو حلت الارض لتكمل المياه

* Pasadena v. Alhambra, 33 Calif. (2d) 908, 207 Pac. (2d) 17 (1949); certiorari denied, 339 U. S. 937 (1950).

الجوفية . ان حق استخدام مثل هذه المياه المطعمة قد يستند على مبادىء مختلفه من تلك المطبّقة على المياه الطبيعية . كما اوضحت بواسطة العالم هاردنك (Harding)[٥] . ان الحقوق الى المياه الجوفية المطعمة قد تكون مفوطه بالملاك فوقها بمنظمة لملاك الارض الحاوية اراضيهم على مياه جوفية او بوكالة غير مالكه للارض أو في الولاية .

ان الملاك المتضمنة أراضيهم مياهاً جوفية يمكن ان يطالبوا بالمياه الجوفية المطعمة صناعياً حيث لايكون هناك مطالبات ملكيه قد نظمت بواسطة الوكالة المسؤوله على حدوثها . التجهيز الاصطناعي يحل بالمياه الجوفية المتروكة التي تمتزج بالتجهيز الطبيعي . بسبب ان المشاريع الفيزياوية متطلبة لتزويد تجهيزات المياه الجوفية الاصطناعية وعادة تتجاوزالتكاليف المشموله موارد الملاك الفرديين . وثمه منظمه لملاك الارض المستفيدين قد تمول التطعيم وتستبقي الحق للمياه المكملة في ولايات حيث يكون تطعيم المياه الجوفية مشروعا ومعلناعن كونه استخداما مفيدا فان هيئات ، كهيئات السيطرة على فيضانات الارواء ومقاطعات صيانه المياه قد احتفظت بحق للمياه المطعمة الى اعضائها . ان حقوق المياه بواسطةوكالة تخزن المياه الجوفية تحت اراضي آخرين وضحت بواسطة جهود دائرة استصلاح اراضي الولايات المتحدةلحفظ الحقوق الى كل الجريان العائد والخساره من مياه المشروع المسلم الى المناطق المتعاقدة . ان هذه المطالب تقدم مشاكل قانونية ومشاكل فيزياوية معقدة . والموضوع تحت الدراسة الجديه في مشروع الوادي المركزي في كاليفورنيا .
هناك مياه جوفية غير مخصصة في معظم الولايات الغربية تعود الى الولايـة ، لهذا فاذا اكتسبت الولاية مياها سطحية ووضعتها تحت الأرض على أراض لاتمتلكها فتكون مخالفة للمصلحة العامة في وكالة ليست مالكه للاراضي .

التنظيمات الشائعه المطبقه على المياه الجوفية :

Common Regulations Applying to Ground Water :

ان تنظيمات متنوعة سبق وضعها في أغلب الولايات لتسهيل تطوير المياه الجوفية في فائدة المصلحة العامة . وبعض متطلبات الولاية الأكثر شيوعا كمايلي : أن أي شخص يحفر آباراً لغيره يجب أن يكون مرخصا لهذا العمل . انشاء أوالتعميق أواعادة التنقيب أوحفر البئر يجب أن يسجل بصيغ مفروضة . بعض الولايات تحتاج لرخص حفر البئر عوضا عن ذلك . والحفارون يجب ان يقدموا سجل الاداء الجيولوجي مشتملا على العمق واللون والخاصية وحجم الموادوتركيب الطبقات المخترقة لكل الابار الجديدة والمعمقه . ان الابار المجهزة للمياه المنزليه أوالمحليه يجب ان تنشاء بصورة ملائمة وتنتهي لتمنع الاتصال أو التلوث .

والابار الارتوازية المتدفقه يجب ان تغطى او تنظم بمعدات ملائمة لتمنع الخساره .
والابار المهجوره يجب ان تغلف (يكون لها حاجز) لتمنع الخسارة والتلوث والحوادث .
ان الماء المضخ لغرض التبريد والتكييف يجب ان يعاد الى الارض خلال ابار التطعيم .
ولايات اخرى تنجز نفس الهدف بواسطة فرض ضريبة بالوعة على المياه الجوفية المضاعة في البواليع . ان التخلص من اي تلوثات مثل المحاليل الملحية والنفايات الصناعية التي تفسد نوعيه تجهيزات المياه الجوفية العامة يمكن تحديدها .

الفصل الرابع عشر
دراسات النماذج والتحليل العددي للمياه الجوفية

ان توزيع وجريان المياه الجوفية يمكن دراسته بواسطة التقنيات التحليلية الحقلية وتقنيات النماذج ، حيث أن دراسات النماذج وطرق التحليل العددي يمكن أن يكون لها تطبيقات مفيدة متى ماكان التحليل المباشر والتحريات الحقلية الملائمة غير ممكنة . ان نماذج المياه الجوفية يمكن أن تجمع أوتصنف الى أربعة أنواع عامة هي الرملية والكهربائية والمائع اللزج ، والغشائية . ونموذج الرملي من هذه النماذج هوالذي يمثل النموذج الصحيح في أن التكوين المائي والنموذج معاً يشملان التدفق خلال وسط مسامي ، أما النماذج الأخرى فهي تشبيه لجريان المياه الجوفية ، في أن تدفقاً آخر يحدث عوضاً عن ذلك خلال وسط مسامي ، على أي حال ، فإن التشابهات الديناميكية والحركية المجردة (Kinematic) موجودة على أساس عياني (Macroscopic) ان حجوم وأشكال نماذج المياه تحدد بالغاية المخصوصة ونوع النموذج حيث أن النماذج ذات الأهتمام الهايدرولوجي مصممة لتمثل التكوينات المائية وحدودها

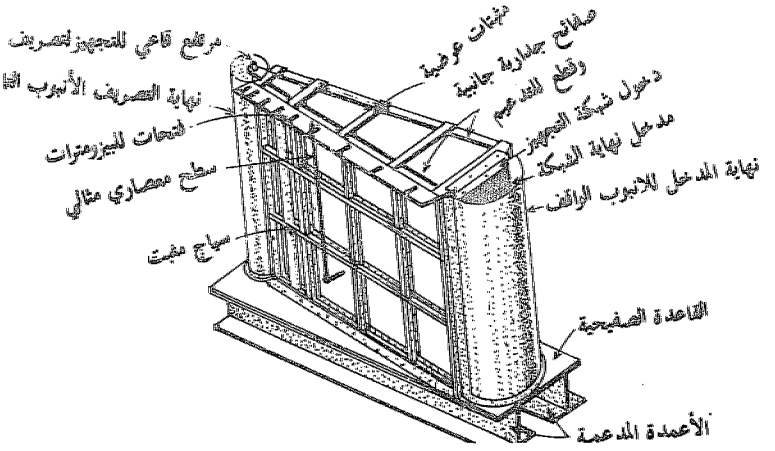
نماذج الرمل : Sand Models

ان نموذج الرمل هونموذج مقياس لتكوين مائي مع حدوده مخفضة والنفاذية – قيمة مطلقة وتوزيع مكاني – محورة ان نماذج الرمل قد شيدت في صناديق مانعة للمياه ذات الأشكال المختلفة ، والأشكال المستطيلة والاعمدة والقطاعات التي هي أكثر شيوعاً . هناك مثالان لأثنين من التصاميم يظهران في الشكلين 1.14 ، 2.14 من نقطة استشرف نوع التكوين المائي ان التكوينات المائية غير المحصورة يمكن أن تصمم مع مستوى الماء يقوم بمهمة الحد الأعلى ، التكوينات المائية المحصورة تمثل بواسطة تجهيز غطاء غير نفاذ وذلك لكي يمكن تسليط ضغط .

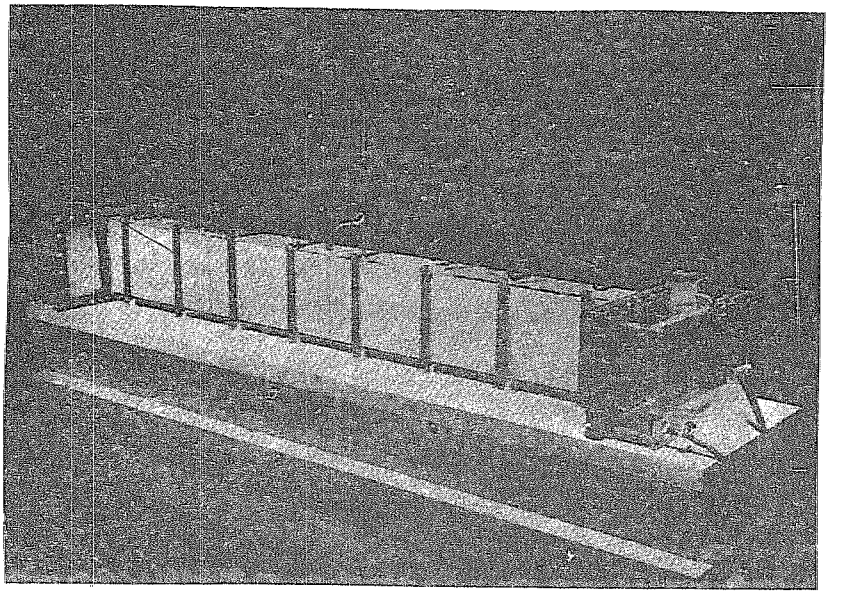
ان تشخيص البصري لمستوى الماء صعب ، وبالنتيجة فان مستوى الماء والمستويات المعصارية (Piezometric levels) يمكن الحصول عليها بصورة أفضل من القياس المعصاري المسدد في النموذج ، ان أنابيب القياس المعصاري يجب أن تكون صغيرة لكي تقلل من تحويرات شكل الجريان .

ان رملاً خشناً موضوعاً بكميات صغيرة تحت الماء ومضغوطاً بتساوق لأزالة الهواء ، سوف يعطي نفاذية منتظمة ضمن النموذج . أما النفاذيات غير المتساوية الخصائص (Anisotropic) فيمكن أن تنجز بواسطة طبقات رمل مختلفة .

* ان اول نموذج للمياه الجوفية يعود الى ب ، فورجهيمر ، والذي صمم موديل رملي لدراسة جريان الماء في بئر في كراز النمسا في 1898 .



شكل (14 - 1) نماذج الرمل للبئر لدراسة الجريان الشعاعي الى البئر المحتوي على تكوين مائي غير محصور (هل[17]).



شكل (14 - 2) نماذج الرمل لدراسة تعرية مياه البحر محتوية على مقطع طولي خلال تكوين مائي محصور ، في كل نهاية تحتوي على مياه مختلفة الكثافات (هاردر والاخرين [20])

ان الارتفاع الشعري في نموذج الرمل كبير بغير تناسب ، مقارناً بذلك الموجود تحت ظروف حقلية . ولغرض دراسة اشكال الدفق خصوصاً تلك المشتملة على تكوينات مائية مجهورة تكون التأثيرات غير مهمة ، على اي حال ، ففي التكوين المائي غير المحصور نرى ان تحريات التسرب أو النضح والانخفاض (حبوض) للآبار ، والظواهر المماثلة الاخرى ، تعد ضرورية لتصميمات الارتفاع الشعري الكبير .

بما ان التدفقات في النموذج ، المثال الاصلي (Proto type) معاً ، تحدث في اوساط مسامية ، فان تشابهات داينميكية وحركية مجردة يمكن الحصول عليها .
ان التشابه الهندسي يعرف بواسطة نسبة طول النموذج المثال الاصلي ..

$$L_r = \frac{L_m}{L_p} \qquad \ldots (14.1)$$

حيث الرموز السفلية r و m و p تعود الى النسبة ، النموذج ، والمثال الاصلي على التوالي بسبب ان قانون دارسي يطبق على النموذج والمثال الاصلي كليهما ، لذا فان نسبة السرعة للحالة المتجانسة الخواص يمكن التعبير عنها كما ياتي : —

$$\frac{v_m}{v_p} = \frac{K_m i_m}{K_p i_p} \qquad \ldots (14.2)$$

وحيث ان K هو معامل النفاذية و i هو الممال الهايدروليكي مع المنحدرات المتساوية فان سرعة المثال الاصلي تعطي بواسطة

$$v_p = \frac{v_m}{K_r} \qquad \ldots (14.3)$$

ومعدل الدفق بواسطة :

$$Q_p = \frac{Q_m}{K_r L_r^2} \qquad \ldots (14.4)$$

ان نموذج الرمل تم استعماله لتحري مشاكل متنوعة عن جريان المياه الجوفية حيث أن النشرات تجهز بأمثلة من التطبيقات لغرض دراسة التسرب خلال السدود الأرضية ومن القنوات [36] ، وحركة المياه الجوفية [45] ، واقتحام مياه البحر في التكوينات المائية الساحلية [20.41] ونشر المياه لأغراض تطعيم المياه الجوفية [3] ، والدفق من [2.6.17.19.62] واليها بواسطة اضافة صبغات عند نقاط مختلفة من الرمل ، فان حقل الدفق يمكن اظهاره بواسطة مجاري الصبغات [10.30.31.43.54] حيث ان مادة ثاني كرومات البوتاسيوم هي المادة الصبغية المؤثرة والسهلة لهذا الغرض .

النماذج الكهربائية Electrical Models :

ان سريان التيار الكهربائي يمكن التعبير عنه بواسطة قانون اوم

$$I = \sigma_0 \frac{dE}{dx} \qquad \ldots (14.5)$$

حيث I هو التيار الكهربائي لكل وحدة مساحة خلال مادة ذات توصيل نوعي σ_0 . أما $\frac{dE}{dx}$

فهو الأنحدار في الجهد أو الفولتية . ان المعادلة (14.5) تحقق معادلة لابلاس Laplace والتشابه مع قانون دارسي هو واضح وثم مجال كهربائي انتج بواسطة فولتية مسلطة ضمن نموذج ، مستحدثاً حدود مياه جوفية تكون مشابهة لتدفق المياه الجوفية المثال الأصلي . هناك توافق بين العمود (head) والفولتية وكذلك بين المال المائي والأنحدار الجهدي ، والنفاذية والتوصيل النوعي ، وخطوط الجهد المتساوية التدفق وخطوط الجهد المتساوية التيار ، وخطوط التدفق وخطوط وسريان التيار .

ان النماذج الكهربائية تكون محددة لتدفق ثابت steady flow ، هناك أنواع من النماذج الكهربائية وتشمل شبكة من المقاومات والمكثفات حيث يمكن تمثيل حالات الجريان غير الثابت (المترجمان) والأنواع الأبسط تفترض تكوينات مائية متساوية ومتجانسة الخصائص ، ولقد استخدمت الموصلات الصلبة ، والسائلة ، والجلاتينية بنجاح ان التيار المتناوب يقلل من الأستقطاب .

ان من أحدى محددات النموذج الكهربائي هو أنه لاتوجد قوة جذب متشابهة لتنتج مستوى ماء ، لأن خطوط سريان التيار موزعة اوتوماتيكية فوق سطح موصل بأكمله . فمن الضروري أن يحدد حدود سطح الطبقة المائية الحر على قاعدة التجربة والخطأ . ان الضغط الجوي موجود في كل مكان على امتداد سطح الطبقة المائية الحر ، لذا فإن النقص في العمود يجب أن يكون متناسباً مع انخفاض الجهد الكهربائي على امتداد هذا السطح . لذا فإن هذه العلاقة الخطية تستخدم كقاعدة لتعيين منسوب المـاء .

الموصلات الصلبة Solid Conductors : —

ان نماذج التوصيل الكهربائي ذات الموصلات الصلبة يتم انشاؤها من طبقات معدنية رقيقة ، ورق كاربوني ، وكرافيت من بين مواد أخرى .
ان صفيحة مونيل (سبيكة مونيل تحتوي على ٪67 . نيكل و٪28 نحاس و ٪5 معادن أخرى هي المادة الموصلة المرغوبة لتمثيل التدفق ببعدين . الآبار يمكن أن تكون بحفر ثقوب صغيرة وغرس أقطاب حيث يعمل أشرطة نحاسية كحدود خارجية .
ان خطوط تساوي الجهد (equipotential lines) ترسم بواسطة قياس انخفاض الفولتية بالكالفانوميتر عند نقاط مختلفة على صفيحة مونيل ، وبالاضافة الى ذلك فإن انحدارات الجهد يمكن تحديدها بواسطة مجسين مفصولين بمسافة ثابتة . ثم نموذج

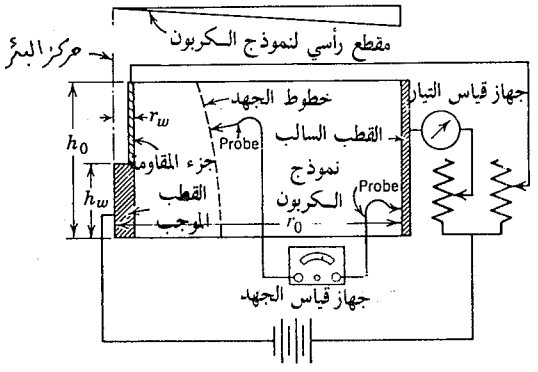
° وان جسماً ذوحجم معين من المعلومات يدخل الى النموذج الكهربائي قد تم عمله بواسطة الصناعة النفطية لغرض تحليل عمليات اعادة مستويات المياه الثانوية ، معظم هذه المعلومات تطبق على هيدرولوجية المياه الجوفية ، والتي يمكن تبنيها لدراسة اشكال متنوعة من مسائل جريان المياه في البئر .

° ان تسليط تيار في اقطاب الحدود سوف ينتج انخفاض في الجهد خلال الموصـــــل (المترجمان)

كرافيتي لدراسة التدفق الشعاعي غير المحصور في بئر قد انشيء بواسطة صفيحة مستطيلة – الشكل من كاربون مضغوط وأنشأها العالمان بابيت وكالدويل[2] (Babbitt & Caldwell) نسبة الى غيرهم من العلماء وقد شكل أسفينا ضيقا . ممثلاً لقطاع صغير لنموذج السريان الشعاعي كما هو موضح في الشكل (3.14) وبطارية ذات 6 فولت مجهزة التيار الى الأشرطة الموصلة المتلامسة مع الكرافيت .

ويمكن تحديد خطوط الجهد المتساوية بواسطة جهاز لقياس الجهد مرتبط بالقطب الموجب والمجس الفولاذي .

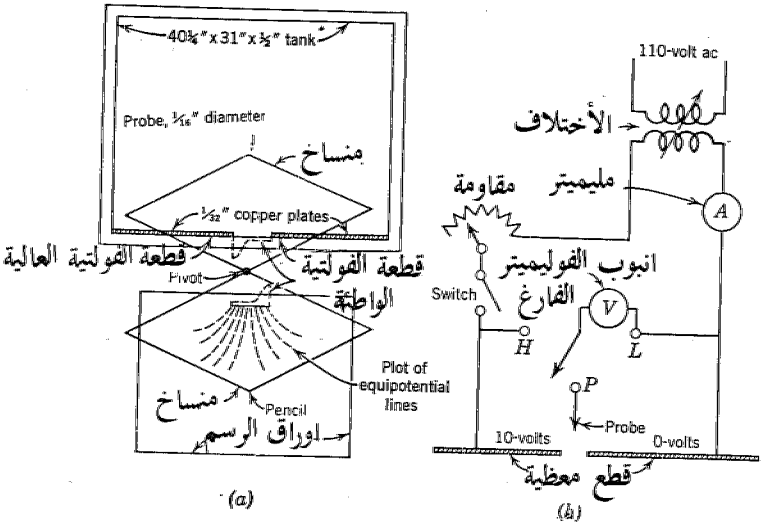
ان سطح الطبقة المائية الحر قد قرب بواسطة تعيين نقطة على كل خط جهد متساوٍ ، لها نفس النسبة الى اجمالي الأنخفاض كما لفولتية المقابلة لخط تساوي الجهد الى الأنخفاض الكلي للفولتية بالقطع على امتداد هذا الخط وأعادة العملية حتى لايتبين أي تغيير اضافي ، عندها يحدد سطح الطبقة المائية الحر النهائي



شكل (14 – 3) نموذج كرافيتي يبين التيار الكهربائي والاتصالات لدراسة التدفق الشعاعي الغير محصور الى البئر (بابيت وكالدويل [2])

الموصلات السائلة : Liquid Conductors

ان النماذج السائلة تكون مفيدة في تخطيط حقول التدفق لخطوط الجهد المتساوي وخطوط السريان [50-60]. وهناك نموذج بسيط للغرض ذاته يتكون من خزان خشبي ضحل مملوء بمحلول موصل (Electrolyte) ذي توصيل قليل حيث ان محلول كبريتات النحاس المخففة سيفي بهذا الغرض . ان الاقطاب تثبت عند الحدود للحالة التي هي تحت الدراسة . اما خطوط انخفاض الجهد الثابتة فيمكن تتبعها بواسطة مجس مثبت الى منساخ (Pantograph) ، وموصول بدائرة فولتميتر (14–4) وبغرس قطب النحاس في المحلول الموصل (electrolyte) وربطه كأحد الحدود . فان بئراً مخترقاً لتكوين مائي محصور

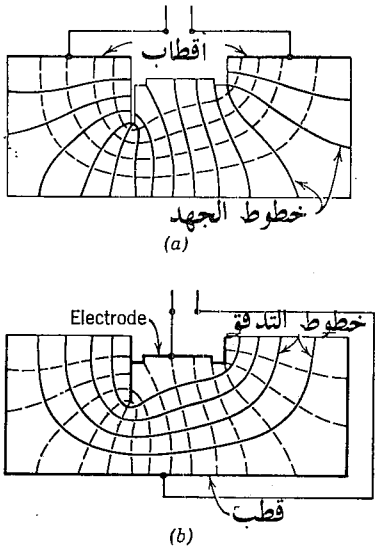


شكل (14–4) نموذج كهربائي يوضح (a) . الجهاز و (b) مخطط للاسلاك التي ترسم خطوط متساوية الجهد للنزيز المائي تحت سد ماسونري المنشأ على اسس نفاذة

منتظم يمثل مع خطوط الجهد المتساوي المماثلة لخطوط المناسيب للسطح القياسي الانضغاطي مع عدة اقطاب يمكن دراسة حقل ابار . في تطبيقات للصناعات النفطية تكون آبار الحقن والاستخلاص ممثلة بأقطاب مثبتة الى الجهات المقابلة للمحولة [33] . (transformer) . ان التيارات في كل قطب تنظم بمقاومة ملائمة لتناسب معدلات تدفق البئر ، وعلى نفس المنوال فان تأثير آبار التطعيم على المياه الجوفية يمكن دراستها .

ان نماذج المحاليل الموصلة تكون قابلة التكييف ايضاً لتحليل التسرب خلال التراكيب ذات الاوساط المسامية كالسدود الترابية ، والسدود تحت البنائية على اسس نفاذة . في عدة حالات فان خطوط الجهد المتساوية وخطوط الجريان المتساوية يمكن تخطيطها مباشرة . مثلاً ، بربط الاقطاب الى جوانب الخزان تمثل قاع المجرى مع وعكس مجرى التيار من القاعدة غير النفاذ للسد (a5.14) ، تعيين خطوط الجهد المتساوي تحت السد بعكس السطوح الموصلة والعازلة بحيث تصبح قاعدة السد ومحيط الخزان (عدا الجزء الممثل لقاع المجرى) هي الاقطاب (الشكل b5.14) ويمكن تعيين خطوط الجريان تحت السد.

ان نماذج المحاليل الموصلة أعلاه تكون محددة بتمثيل ثنائي الابعاد(Two dimensions) على أي حال . فان هـذا التحديد يمكن التخلص منه لـدراسة الجريان في التكوينات المائية ذات السمك المتغير [40.59] ذلك بملء قاع الخزان بالبارافين ، وترتيب التكوين المائي ينحت في البارافين ، وعندما يغمر الخزان بالمحلول الموصل فان سمك التكوين المائي يخطط بصورة دقيقـة .



شكل (14 – 5) ترتيب الأقطاب في النموذج الكهربائي لبيان (a) خطوط الجهد (b) خطوط التدفق للترشيح تحت السدود النفاذة مع قطع على أسس النفاذية .

الموصلات الجلاتينية (الهلامية) Gelatin Conductors :-

يمكن تشكيل النماذج الجلاتينية باضافة كميات قليلة من كلوريد الصوديوم اوكبريتات النحاس الى جلاتين ساخن ومن ثم سكبة في قالب ممثل حدود التكوين المائي حيث يتصلب هناك [24] . ان السهولة التي يمكن بها تشكيل وصياغة الموصل الهلامي بأي طراز مطلوب انما يمثل ميزة مهمة .ان نطاقات ذات نفاذيات مختلفة يمكن تمثيلها بواسطة صفائح او مقتحمات (صفائح تستعمل كحشوات) من الجلاتين تحوي تراكيز ملحية مناسبة ، بالاضافة الى ذلك فانه يمكن انتاج اختلافات في سمك التكوينات المائية بتغييرات مقابلة في سمك الجلاتين . ان أحد الامثلة على النموذج الجلاتيني وتطبيقاته كان قد صنع بواسطة العالم اوبسال[42] (Opsal)حيث اضيفت نسب متساوية من الجلاتين والكليسرين الى الماء لتكوين كتلة جلاتينيـــة ثم اضيـــف كلوريد الصوديوم لغرض زيادة التوصيل والنفثول البائـــــي (beta naphthol) لمنع تفسخ المحلول ثم سكب السائل داخل خزان اسطواني ذي جوانب من الفولاذ الصامد الذي لا يصدأ وقعر عازل ثم تسليط تيار متناوب بين الجوانب ومجس في مركز بئر ويقاس انخفاض الجهد بواسطة فولتميتر بين الحدود الاسطوانية ومجس معزول يمس الجلاتين من نهايته فقط وقد مثل هذا النموذج بئراً مخترقاً لتكوين مائي محصـــور .

لقد تكونت التحريات من قياسات اخذت في مقطع عمودي شعاعي لاقامة خطوط الجهد المتساوية للابار الجزئية الاختراق ، كما ان الفحوصات قد اجريت ايضا على نموذج لقطاع بئر حيث تم قطع الجلاتين بسلك ساخن لتحديد السطح الحر المحيط ببئر في تكوين مائي غير محصور .

المرشدات اللونية : Color Tracers

ان النماذج الكهربائية ذات المرشدات اللونية قد سهلت الدراسة الخاصة بازاحة مائع محقون في مستودع نفطي [63] . وهذه قابلة للتطبيق بصورة مساوية لتحصيل معلومات نوعية تتعلق بابار التطعيم . واخذ انواع هذه النماذج مكون من ورق نشاف مشبع بالفنيولفثالين كمحلول موصل [61] ، وقد مثلت ابار الحقن بأقطاب سالبة اسطوانية صغيرة ، في حين كانت الاقطاب الموجبة تمثل في الابار المنتجة . وقد كان تقدم ايونات الهيدروكسيل من الاقطاب السالبة الى الموجبة مستدلا باللون الاحمر الذي يتطور مع ازدياد الـ(pH)في المحلول . ان خط اللون المقترب كان مقابلاً لأزاحة مائع ثنائي الأبعاد وكانت عملية التسجيل تتم فوتوغرافيا .وثم جهاز مماثل استخدام جلاتين الغراء(agar) مادة هلامية تستخلص من الطحالب البرية) حاويا كلوريد الخارصين الامونياكي [5] .هنا الاقطاب الممثلة لآبار الحقن احتوت كلوريد النحاس الامونياكي ، حتى اذا ماطبقت فولتية احتلت ايونات النحاس مواضع ايونات الخارصين وخلقت بالتالي جبهة خضراء متقدمة .

نماذج الموائع اللزجة Viscous Fluid Models

اذا اجرى مائع لزج بين صفيحتين متوازيتين مفصولتين بمسافة قليلة بحيث تكونان قناة ضيقة فان حركته مشابهة لتلك الخاصة بجريان المياه الجوفية في مقطع عرضي ثنائي الابعاد خاصة بتكوين مائي . وقد طورت النماذج الاولى المبنية على هذه القاعدة بواسطة العالم هيلي شو [21,22,23] (Heleshaw) في انكلترا عام 1897 ، لتوضيح نماذج التدفق حول حدود مختلفة الهيئات .

مع الجريان الانسيابي غير المضطرب بين صفيحتين متوازيتين يمكن ملاحظة ان خطوط الجريان تكون مجالا لجهد الجريان الفعلي الثنائي الابعاد . ان الاشتقاق ينبع من المعادلات المختلفة لناقير – ستوك (Navier - Stokes) والخاصة بالحركة (راجع كتاب منهجي حول الهايدرودينميك) وبالنسبة للجريان المنتظم المطابق لافتراضات العالم ديوبيت (Dupuit) فان معدل سرعة الجريان في النموذج هي :

$$v_m = -\frac{b^2 \rho_m g}{3\mu_m} \frac{dh}{dx} \qquad \ldots (14.6)$$

* كذلك يطلق عليها هيلي – شو نماذج الصحائف المتوازية .

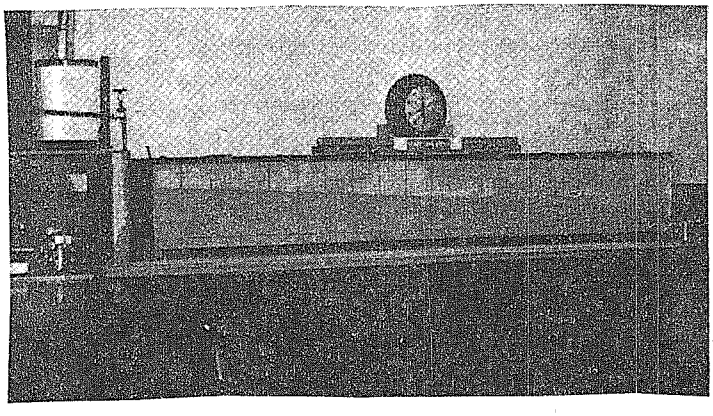
حيث b تمثل نصف عرض القناة ، و ρ_m و μ_m تمثلان كثافة ولزوجة سائل النموذج [3] على التوالي و g تمثل تعجيل الجاذبية و $\frac{dh}{dx}$ هو ميل السطح . ومن التشابه مع قانون دارسي ينتج أن المسافة الفاصلة بين الصفائح والسائل يمكن اختيارها لتوافق النفاذية المطلوبة حيث ان نسبة السرعة

$$v_r = \frac{v_m}{v_p} = \frac{\rho_m b^2 \mu_p}{3 \rho_p k \mu_m} = \frac{b^2 \rho_r}{3k \mu_r} \qquad \ldots (14.7)$$

التي هي مع معامل مقياس معطى (نسبة الطول) L_r للنموذج ، تمكننا من ايجاد نسبة الزمن من العلاقة .

$$T_r = \frac{L_r}{v_r} \qquad \therefore (14.8)$$

ان النماذج التي من هذا النوع تنشاء من لوحين من الزجاج أو البلاستيك مفصول بعضها عن بعض بمسافة ثابتة [56] . وتثبت مستودعات لتنظيم تدفق السائل بين الصفائح ملامسة لجوانب او نهايات النموذج ، حيث يمكن للزيت او الكلسرين ان يفيان بالغرض للسائل ، لمسافات فاصلة صغيرة وحتى الماء الجاري ضمن المدى الانسيابي . ان الصبغة المضافة الى السائل تعرف السطح الحر للتدفق غير المحصور ، ونقاط مصادر للصبغة على طول حدود الرفد تكشف خطوط التدفق * ، إن الورق البياني الملصق الى مؤخرة النموذج يسهل القياسات . والشكل (6.14) يوضح احدى التصاميم لنموذج سائل لزج .



شكل (14 6) نموذج للمائع اللزج ، السطح الحر للسائل في حالة الجريان الشعاعي من الممكن رؤيتها في القناة الخارجية (تووذ [56])

* ان خطأ من قطع قصيرة من أقلام الرصاص هي ممتازة لهذا الغرض .

ان احدى الميزات المهمة لهذا النموذج هو ان التدفق غير المنتظم مع الحدود غير المنتظمة يمكن دراستهما مباشرة بتغيير مناسيب المستودع مع الزمن فان تغييرات السطح الحر الناشيء يمكن تسجيلها بتصوير سينمائي كذلك . فبسبب ان المسافة الفاصلة بين الصفائح مرتبطة بالنفاذية فان اي تغير في النفاذية يمكن تقديمها الى النموذج بربط الواح صفائحية رقيقة عند مواضع ملائمة بين الصفائح ..

ان الجريان في نماذج السوائل اللزجةقد درس كتشابه مع الجريان المنتظم وغير المنتظم في التراكيب المائية المحصورة وغير المحصورة [1.15.16.48.55] .

بعض التطبيقات الخاصة تشتمل على دراسات في اقحام مياه البحر [47] . وعمليات خزن المياه عند الضفاف المجاورة للجداول المائية الفائضة [57] . وكذلك النضوح من خلال السدود الترابية [38] . ومشاكل التصريف التحتي [7.29] وانتاج البترول [26.44] . ومما هو جدير بالملاحظة بصورة خاصة النماذج من هذا النوع المبني في هولندا لدراسة الظروف الهيدرولوجية المحيطة بالساحل الهولندي [11.12.32.46.47] . هذه النماذج ربطت بين تأثيرات مناسيب البحر ، وتساقط الامطار ، والتبخر ، والتطعيم الصناعي للمياه العذبة الى المناطق ذات الكثبان الرملية ، والتصريف الخاص بالأراضي المنخفضة المستحصلة . وضخ الآبار .

النماذج الغشائية Membrance Models

ان تشابه نموذج آخر لتدفق المياه الجوفية قد ظهر بواسطة العالم هنسن [18] (Hansen) حيث يمكن انشاؤه بغشاء مطاطي . لقد بين أن في المنحدرات القليلة أن سطح الغشاء يمكن ان يعبر عنه باحداثيات اسطوانية

$$\frac{d^2z}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{dz}{dr} = -\frac{W_m}{T_m} \qquad \ldots (14.9)$$

حيث dz هي الانحراف عن مساحة شعاعية (اونصف قطرية) dr من نقطة الانحراف المركزية W_m هو وزن الغشاء لكل وحدة مساحة ، T_m هو الشد المنتظم للغشاء .

ان معادلة لابلاس بالاحداثيات الاسطوانية يمكن التعبير عنها كما يلي :

حيث h هو العمود الهيدروليكي h

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial h}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 h}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \qquad \ldots (14.10)$$

h هي المسافة لنصف قطرية و θ هو الاحداثي الزاوي ، و z هو الاحداثي العمودي لجريان محوري متناظر وثابت لمائع غير منضغط ، التي تختزل الى :

$$\frac{d^2h}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{dh}{dr} = 0 \qquad \text{.... 14.11}$$

والتي هي قابلة التطبيق على جريان البئر في تكوين مائي محصور مثالي ولتقريب جيد الانخفاض صغير في تكوين مائي غير محصور ذلك أن معادلة الغشاء تقرب من المعادلة (14.11) وكلما يقترب المصطلح W_m / T_m من الصفر .

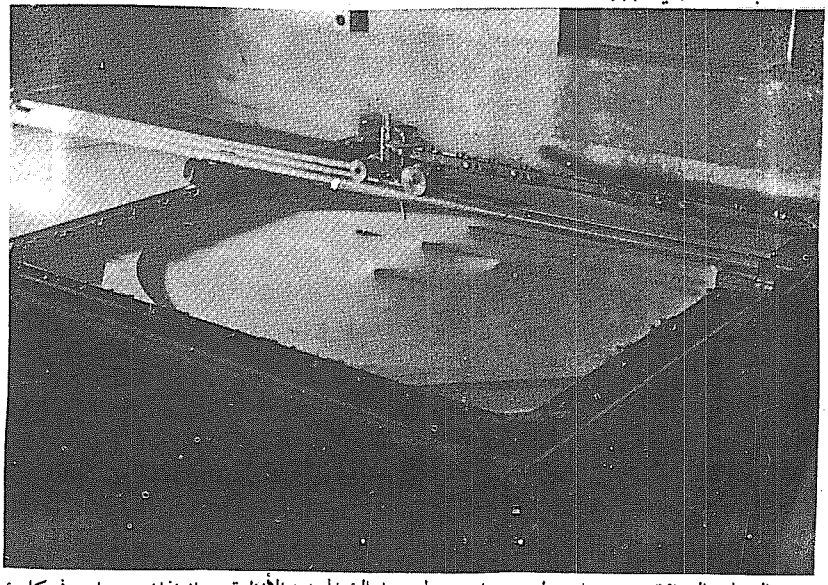
لغرض دراسة الشكل للسطح الحر حول البئر ، فان غشاءاً مطاطياً قد شد تحت تأثير منتظم فوق حدود دائرية في وضع افقي (انظر الشكل 7.14) .

ان مجساً مركزياً ممثلاً لبئر الضخ قد حَرَّفَ الغشاء ، وان الانحرافات المقاسة قاربت جداً علاقة الانخفاض النظرية شبه اللوغاريتمية .

وعلى الرغم من ان انحرافات منظمة عائدة الى الجذب قد لوحظت ، فان المصطلح W_m/T_m – لا يمكن اختزاله الى الصفر . وعلى اي حال ، فان وضع الغشاء في مستوى عمودي يجب ان يقلل ذلك الخطأ .

ان نموذجاً كهربائياً وغشاءً مركبين متكونين من خزان الوميني مملوء بمحلول موصل ومغطى بغشاء مطاطي قد صمم بواسطة العالم زيي(Zee) واخرين [66] لدراسة تدفق البئر غير المحصور .

ان النموذج الغشائي مخصوص ، قابل للتكييف لدراسة انظمة ابار متعددة ممثلة بمجموعة من المجسات كما هوموضح في الشكل(7.14)وذات ظروف حدّية معقدة مسيطرة بواسطة شبكة غشائية ...



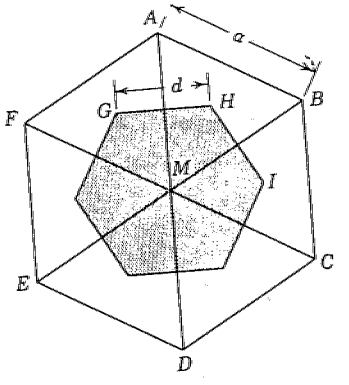
شكل (14 . 7) النماذج الغشائية تحتوي على سطح معصاري حول جهار البئر المتعدد الأنظمة مع انخفاض متساوي في كل بئر (هانسن)

طرق التحليل العددي : Numerical Analysis Methods

ان المعادلات التفاضلية الجزئية (partical differential equations) غير الخطية هي التي تتحكم بتدفق المياه الجوفية حيث الحدود غير المنتظمة أو الجريان غير الثابت تكون مشمولة ، ماعدا حالات خاصة ، فإن هذه لايمكن حلها بصورة مباشرة . ان طرق التحليل العددي تكون مبنية على أحلال المعادلة التفاضلية الجزئية بمكافيء فرق – محدود يمكن بعدئذٍ أن يحل بعمليات حسابية مكررة ، هذه العملية تعرف بطريقة التكرار أو الاسترخاء (relaxation) وقد طورت بواسطة العالم ساوثويل وزملائه [49.50.51] (South well) وقد طبقت بصورة واسعة لحل المسائل الهندسية – والفزيائية المختلفة .

ان مقدمة للطريقة يمكن اعطاؤها بواسطة مثال لتحديد السطح القياسي الأنضغاطي لحالات حدود معروفة . في الشكل 8.14 فان شكلاً سداسياً صغيراً يمثل في مستوى النظر جزء صغيرا من التكوين المائي المحصور . وقد افترض أن سمكاً مشبعاً مساوياً b مركبة التدفق من M بإتجاه A خلال المقطع GH يكون معطى بواسطة قانون دارسي .

$$Q_A = Kbd \frac{h_M - h_A}{a} \qquad \ldots (14.12)$$



شكل (14 – 8) عناصر سداسية المستخدمة في طريقة الاسترخاء .

حيث هي معامل النفاذية ، و a و d هما المسافة الموضحة في الشكل 8.14 و h_m, h_a هما عموداً القياسي الانضغاطي عند M و A على التوالي وبنفس الطريقة يكون التدفق خلال HI هو :–

$$Q_B = Kbd \frac{h_M - h_B}{a} \qquad \ldots (14.13)$$

بجمع تدفق المركبات الست في الشكل السداسي تعطي :

$$\sum Q = Kbd \frac{6h_M - \Sigma h}{a} \qquad \ldots (14.14)$$

حيث

$$\sum Q = Q_A + Q_B + Q_C + Q_D + Q_E + Q_F \quad \ldots (14.15)$$

و

$$\sum h = h_A + h_B + h_C + h_D + h_E + h_F \quad \ldots (14.16)$$

في التدفق الافقي فان : $\Sigma Q = 0$. والمعادلة 14.14 تصبح (14.17) ... $h_M = \frac{\Sigma h}{6}$

حيث تحدث مركبة الماء العمودية نقل المياه المترشحة والجارية خلال طبقة حاصرة شبه نفاذة $\Sigma Q \neq 0$. ان المساحة الداخلية للمسدس $a^2 (\sqrt{3} / 2)$ وبمعدل ترشيح W فان :

$$\sum Q = \frac{\sqrt{3}}{2} a^2 W \quad \ldots (14.18)$$

بتعويض هذه القيمة في معادلة (14.14) يصبح العمود المركزي :

$$h_M = \frac{\Sigma h + C_A}{6} \quad \ldots (14.19)$$

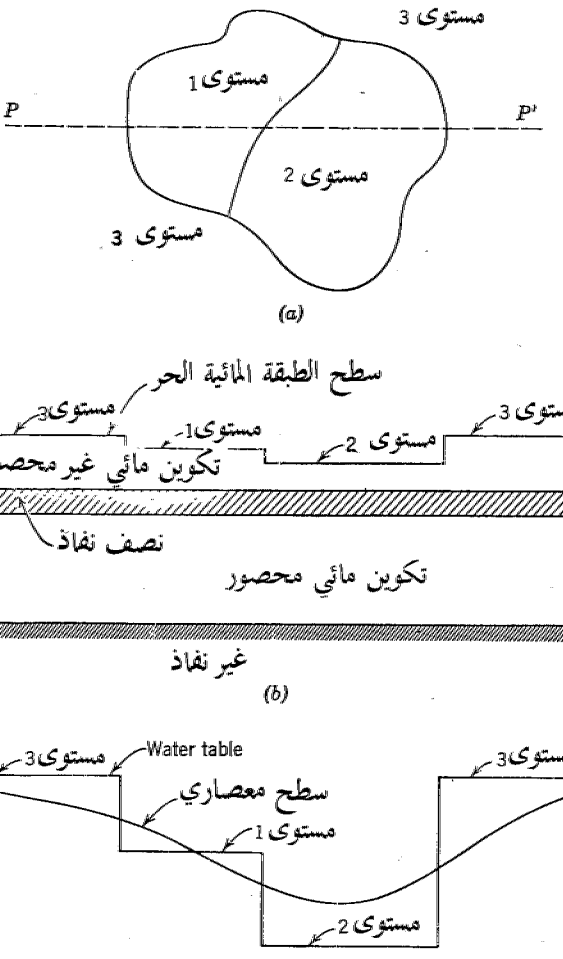
حيث الثابت CA يساوي : —

$$C_A = \frac{3a^2 W}{2Kb} \quad \ldots (14.20)$$

من المعادلتين 14.17 و 14.19 يمكن ملاحظة

أن تقدير العمود القياس الانضغاطي عند مركز المسدس يمكن الحصول عليه من الاعمدة على نقاط المحيط . وبتطبيق الطريقة على مقياس كبير لتخطيط السطح القياس الانضغاطي . واذ ان شبكة سداسية توضح فوق التكوين المائي ذي الحدود المعروفة او المفترضة . ان الاعمدة المخمنة المبنية على أعمدة حدود معروفة تعطي لكل نقاط الشبكة لبدء الحساب . ان الاعمدة المركزية للشكل السداسي تحسب بأسلوب منظم من اعمدة المحط المخمنة لكل منها . بعد الحصول على اعمدة محسوب لكل نقطة في الشبكة ، تؤخذ تقديرات معدلة للاعمدة وتعاد العملية فوق الشبكة الكلية ان كل سلسلة متعاقبة من الحسابات تختزل الفرق بين كل عمود محسوب ومخمن . وبالنهاية فمتى ما تصبح الفروقات صغيرة ويمكن اهمالها فان القيم الناتجة تمثل الاعمدة القياسية الانضغاطية المرغوبة فوق التكوين المائي .

ان الشكل 9.14 يوضح جزء من الحل لحالة واحدة لمنطقة زراعية منبسطة ذات مستويات ماء عالية لها حدود غير منتظمة كما هي موضحة في الشكل 14.9a .



شكل (14 – 9) تطبيقات على التحليل العددي لحساب السطح المعصاري للتكوين المائي المحصور الموجود فوق طبقة نصف نفاذة (a) شكل تخطيطي (b) مقطع عمودي (c) مستوى المياه الجوفية (ادلمان [13])

ان التصاريف السطحية تنظم مناسيب المياه في اجزاء مختلفة من المنطقة على مستويات معينة بواسطة المقطع العرضي المبين بالشكل 14–9a طبقة شبه نفاذة ذات سمك (S) ونفاذية (K_1) تغطي تكوينا مائيا ذا سمك (b) ونفاذية(K_2)لايجاد السطح القياس الانضغاطي للتكوين المائي السفلي فان نظاما شبكياً سداسيا يوضع على المنطقة كلها وتعطى قيم لاعمدة قياسية انضغاطية تقريبية عند كل تقاطع بافتراض ان مستوى المياه والارتفاعات القياسية الانضغاطية تنطبق (عند المنسوب 3) خارج المنطقة . ومن المناقشة في اعلاه من الممكن الايضاح بأن الاعمدة المركزية لأي شكل سداسي تعطي بـ :

$$h_M = \frac{\Sigma h + C_B H_M}{6 + C_B} \qquad \ldots (14.21)$$

حيث ان H_M تمثل العمود غير المحصور ، و

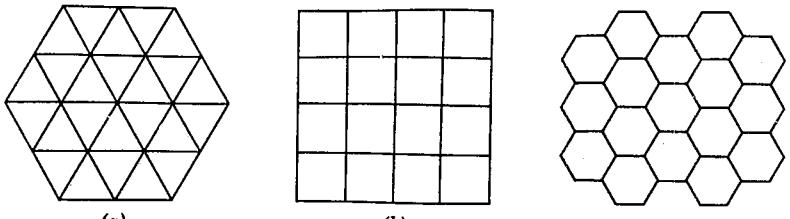
$$C_B = \frac{3 K_1 a^2}{2 K_2 sb} \qquad \ldots (14.22)$$

تحسب الاعمدة على الشبكة بأكملها وتضبط الفروقات وتعاد العملية حتى لايصبح من الضروري اجراء اي عملية ضبط . والنتيجة تمثل السطح القياسي الانضغاطي . الشكل c9.14 يوضح احد الحلول لمقطع خلال منطقة .

ان الاشكال الشبكية عدا السداسية الهيئة الموصوفة في اعلاه يمكن تكييفها لطريقة الاسترخاء وثمة ثلاثة اشكال موضحة في الشكل 10.14 . ان احدى ميزات التصاميم المربعة والسداسية التامة عن السداسي هو ان عددا أقل من النقاط المحيطية تدخل عند حساب كل نقطة مركزية .

ان المران على الطريقة يقود الى اختصار في تقدير قيم التقاطع ، وبذلك يختزل عدد التخمينات المطلوب ، ماعدا بعض الحالات البسيطة جدا ، فان الحسابات – تكون طويلة ومملة . اما بالنسبة للمسائل الكبيرة فان الحاسبات الالكترونية يمكن ان تكون ذات مساعدة عظيمة .

ان التحليل العددي قد تم تطبيقه على مجموعة متنوعة من مسائل المياه الجوفية من بينها النضوح [49] . ومصارف المياه [34] . ودراسات تدفق الآبار [4.28.35.65] . ان التحليلات الاقليمية لمستويات المياه الجوفية تم انجازها بواسطة العالم اديلمان [13] (Edelman) في هولندا والعالم ستولمان [52.53] Stallman في الولايات المتحدة .



شكل (14 – 10) الجهار الشبكي لطريقة الأسترخاء (a) سداسي (b) مربع (c) سداسي واضح .

الملحقات ..

الاطوال

١ انج = ٢,٥٤٠ سم

١ قدم = ١٢ انج

= ٣٠,٤٨ سم

١ ياردة = ٣ قدم

١ ميل = ٥٢٨٠ قدم

= ١,٦٠٩ كم

الحجم

١ سم^{٣} = ٠,٢٦٤ × ١٠$^{-٣}$ غالون امريكي

١ قدم^{٣} = ٧,٤٨ غالون امريكي

١غالون أمريكي = ٣,٧٨٥ لتر

= ٢٣١ انج^{٣}

= ٠,١٣٤ قدم^{٣}

= ٣,٠٧ × ١٠$^{-٦}$ فدان قدم

١ فدان قدم = ٤٣,٥٦٠ قدم^{٣}

= ٣٠٢٦ × ١٠^{٥} غالون

= ١,٩٨ فدان قدم

الوزن النوعي

الماء : ١ قدم^{٣} = ٦٢,٣٧ باون في ٦٠° ف

= ٦٢,٣١ باون في ٢٠° م

١ غالون = ٨,٣٣٨ باون في ٦٠° ف

المساحة

١ انج مربع = ٦,٤٢٥ سم^{٢}

١ قدم مربع = ٩٢٩,٠٣ سم^{٢}

١ فدان = ٤٣,٥٦٠ قدم^{٢}

= ٤,٠٤٧ × ١٠^{٣} م^{٢}

١ ميل مربع = ٦٤٠ فدان

= ٢,٥٩٠ كم^{٢}

الوزن

١ باون = ٤٥٣,٥٩ غرام

= ١٦ أونس

= ٧٠٠٠ جسيمة

التصريف او التفريغ

١ قدم^{٣}/ ثانية = ٤٤٩ غالون / دقيقة

= ٦,٤٦ × ١٠ غالون/يوم

= ١,٩٨ فدان . قدم /يوم

= ٢٨,٣ لتر / ثانية

الكثافة

الماء : ١ سم^{٣} = ٠,٩٩٩ غرام في ٦٠° ف

= ٠,٩٩٨ غرام في ٢٠° م

١ قدم^{٣} = ١,٩٣٨ سلك في ٦٠° ف

= ١,٩٣٦ سلك في ٢٠° م

الهواء : ١ سم^{٣} = ١,٢٢٦ × ١٠$^{-٣}$ غرام في ١ جو و ١٥ْم

التربة : ١ سم^{٣} = ١,١ الى ١,٨ غرام (كثافة الشحنة في مكان) .

= ٢,٦٥ غرام (معدل كثافة جسيمة التربة والصخر).

اللزوجة :

الماء : ١,١٢٤ سنتي يوينز في ٦٠ْ ف

١,٠٠٥ سنتي يويز في ٢٠ْ م

١ سنتي يويز = ٠,٠١ يويتر = ٠,٠١ داين . ثانية / سم^{٢}

١ باون . ثانية / قدم^{٢} = ٤٧٨,٨ يويز

الضغط

١ جو = ١,٠١٣٢ × ١٠^{٦} داين / سم^{٢}

= ١٠١٣,٢ مليار

= ١٤,٦٩٦ باون / انج^{٢}

= ٧٦ سم زئبق في صفرْم

= ٣٣,٩٠ قدم ماء في ٤ْ م

١ قدم ماء في ٤ْ م = ٢,٢٤٢ سم زئبق

= ٠,٤٣٣٥ باون / انج^{٢}

خاصية الماء

١ جزء من المليون = ١ مليغرام / لتر

١ جسيمة / غالون اميركي = ١٧,١ جزء من المليون

١ طن من الصلب المذاب . فدان . قدم = ٧٣٥ جزء من المليون

الوزن المكافىء للأيون = الوزن الذري للأيون / تكافىء الأيون

المكافىء المليغرامي /١ أيون = جزء من المليون للأيون / الوزن المكافىء للأيون

١ مكافيء مليغرامي / لتر = ١ ملي مكافيء / لتر

١ مكافيء . مليون

١ مكافيء مليغرامي / لتر كايتون = ١٠٠ توصيل كهربائي × 10^{-6}

١ جزء من المليون = ١,٥٦ توصيل كهربائي × 10^{-6}

} بالتقريب للماء الاكثر اعتيادي مابين ١٠٠ الى ٥٠٠٠ موهز/سم في ٢٥° م .

النفاذية

(ك س = المكافيء المختبري للنفاذية)

١ ك س = ٤,٧٢ × ١٠° سم / ثانية

١ دارسي = ٠,٩٨٧ × 10^{-8} سم^2

١ دارسي = ١,٠٦٢ × 10^{-11} قدم^2

١ دارسي = ١٨,٢ ك س (للماء في ٦٠° ف)

١ دارسي = ٠,٩٦٦ × 10^{-3} سم / ثانية (للماء في ٢٠° م)

١ سم / ثانية = ١,٠٢ × 10^{-5} سم^2 (للماء في ٢٠° م)

---

1. Abnormal Fluid Pressure	ضغط مائع غير عادي
2. Absolute Artesian Well	بئر ارتوازية مطلقة
3. Absolute Porosity	مسامية شاملة أو مطلقة
4. Absorbed Water	مياه التسرب
5. Absorbing Well	بئر ممتصة
6. Absorption	امتصاص
7. Absorption Test	تجربة امتصاص
8. Absorption Well	بالوعة
9. Absorptive Capacity	طاقة الامتصاص

10 · Abyss	عمق سحيق
11 · Acid Treatment	عملية تحميض
12 · Active Water	ماء ذو فعالية كيمياوية
13 · Actual Evaporation	تبخر فعلي
14. Actual Evapotranspiration	تبخر نتحي فعلي
15. Adhesion	تلاصق
16. Adhesive Force	قوى التلاصق
17. Adhesive Water	ماء لصوق
18. Adit	سرداب
19. Adsorption	امتزاز
20. Aeration	تهوية
21. Aggradation	ترسب
22. Aggressive Water	ماء آكل
23. Alkaline Water	ماء قلوي
24. Alkalinity	قلوية
25. Amplitude	مدى الأرتفاع
26. Analog or Analog Modele	نموذج مماثل
27. Anisotropic	متباين الخواص
28. Annular Space	فجوة حلقية
29. Antecedent Precipitation	دليل التشبع
30. Antecedent Soil Moisture	محتوى الرطوبة الأصلي
31. Apparent Velocity	سرعة ظاهرية
32. Aqueduct	قناة ماء
33. Aquiclude	شبه منفذ
34. Aquifer	تكوين مائي
35. Aquifer Collapse	انهيار الطبقة المائية
36. Aquifer Storage	تخزين جوفي
37. Aquifer Test	اختبار طبقة مائية
38. Aquifer Test Design	مشروع ضخ تجريبي
39. Aquifer Thickness	سمك طبقة مائية

40. Aquifuge	مساك أو (تكوين غير نفاذ وغير ناقل)
41. Aquitard	شبه مساك
42. Aquitard Field Coefficient of Permeability	معامل النفاذية العمودية
43. Area of Artesian Flow	منطقة الارتوازية
44. Area of Diversion	منطقة الصرف أو التحويل
45. Area of Infiltration	منطقة الترشيح
46. Area of Influence	منطقة التأثير
47. Area of Pumping Depression	منطقة الرشف
48. Arid	قاحل
49. Artesian	ارتوازي
50. Artesian Aquifer (Syn of Confined Aquifer)	طبقة مائية ارتوازية
51. Artesian Basin	حوض ارتوازي
52. Artesian Capacity	صبيب ارتوازي
53. Artesian Condition	جريان ارتوازي
54. Artesian Discharge	صبيب فوران
55. Artesian Flow	تدفق ارتوازي
56. Artesian Flow Area	منطقة الفوران
57. Artesian Ground-Water	مستودع ماء جوفي حبيس
58. Artesian Pressure	ضغط ارتوازي
59. Artesian Pressure Surface	سطح معصاري (مضغاطي)
60. Artesian Spring	ارتواري – ينبوع ارتواري
61. Artesian Storage Coefficient	معامل التخزين الارتواري
62. Artesian System	مجموعة ارتوازية – حوض ارتوازي
63. Artesian Water (Syn. of Confined Ground Water)	ماء ارتوازي
64. Artesian Well	بئر ارتوازية
65. Artificial Recharge	تطعيم اصطناعي
66. Artificial Replenishment	تغذية اصطناعية
67. Asymptotic	محاذي
68. Auger	مثقب حلزوني
69. Automatic Water-Level Recorder	لمنغراف مسجل (جهارمسجل يقاس به ارتفاع مستوى الماء)

70. Ball (TO)	صم يصم (صما)
71. Bailer	صمام الحفر
72. Bailer Test	تجربة الصم
73. Bank Storage	اختزان الجوانب
74. Barowetric Efficiency (of an Aquifer)	حساسية مضغاطية
75. Barrier Boundary	حد سدود
76. Barrier Spring	ينبوع الفيض
77. Base-Exchange	تبادل أساسي
78. Base-Flow	جريان قعري (صبيب أساسي)
79. Base-Flow Duration Curve	منحنى الصبيبات الأساسية المصنفة
80. Base Level	مستوى الأساس
81. Basin	حوض
82. Bernouilli's Low	نظرية برنوبي
83. Bifurcaion	تفرع
84. Bifurcation Ration	نسبة التفرع
85. Bore	حفيرة
86. Bored-Well	بئر محفورة
87. Bore Hole or Borehole	حفيرة سبر
88. Borehole Pump	مضخة بئر
89. Boring	ثقب
90. Boundary Conditions	ارضاع حدية
91. Boundary Layer	طبقة الحد
92. Bounded Aquifer	تكوين مائي محدود
93. Brackish	زعاق
94. Brackish Water	ماء زعاق
95. Braiding River	نهر متعدد المجاري
96. Brine	ماء اجاج
97. Brook	جدول
98. Buried River	نهر جوفي

99. Cable - Tool Drill	الحفر بالحبل الثاقب
100. Calibration Curve	منحني التعيير
101. Caliper Logging	سجل اداء المماسك
102 Capillarity	شعرية
103. Capillary	شعري
104. Capillary Action	فعل شعري
105. Capillary Fringe	منطقة الماء الشعري
106. Capillary Head	ارتفاع شعري
107. Capillary Moisturc Capacity	محتوى الماء الشعري
108. Capillary Rise	مدى التصاعد الشعري
109. Capillary Suction	توتر شعري
110. Capillary Water	ماء شعري
111. Capillary Zone	منطقة الماء الشعري
112. Cased Well	بئر منبَّبة
113. Casing	ثقب بئر انبوبية
114. Casing Shoe	كباس المضخة
115. Catchment	مستجمع أو حوض التلقي
116. Catchment Area Surface (aire) du bassin versant	مساحة التلقي
117. Catchment Basin Bassin d'alimentation, bassin	حوض التطعيم
118. Cave Caverne, grotte	مغارة
119. Cementation	التصلب
120. Cement Grout Coulis de ciment	ملاط اسمنت
121. Centrifuging	الطرد المركزي
122. Centrfugnt pumps	المضخات المركزية الطاردة
123. Clogging	كظم
124. Coastal Aquifer	تكوين مائي ساحلي
125. Coefficient of Conductivity	معامل النفاذية
126. Coefficient of Ground-Water Discharge	معامل الترشيح
127. Coefficent of Leakage	معامل التصريفُ
128. Coefficient of Permeability	معامل النفاذية

129. Coefficient of Storage	معامل التخزين
130. Coefficient of Transmissisility	معامل المنقولية
131. Collapse	أنهيار
132. Collector Well	بئر متشعبة المصارف
133. Color Tracers	المرشدات اللونية
134. Compaction	التماسك
135. Compressibility	انضغاطية
136. Confined Ground-Water	ماء جوفي حبيس
137. Conjuctive Utilization	الأستفادة المترابطة
138. Conjvctive Use	الفائدة أو الأستعمال المترابط (المتحدة)
139. Connate Water	ماء احفوري
140. Constant Head	مستوى مائي ثابت
141. Contamination	تلويث
142. Contiuous Pumping	ضخ متواصل
143. Contour Line	منحني المستوى – (خط التسوية)
144. Cosmic Water	المياه الكونية
145. Counate Water	المياه الحبيسة
146. Curb	دائرة القاعدة
147. Current	تيار
148. Cusec	قدم مكعبة في الثانية
–D–	
149. DAM	سد
150. Darcy's Law	قانون دارسي
151. Datum Level,	السدد
152. Deep Well	بئر انبوبية عميقة
153. Dehydration	تجفيف
154. Depletion	استنزاف – نضوب أو حبوض
155. Depletion Curve	منحني النضوب
156. Depression	انخفاض

157. Derrick	رقاع
158. Development of Well	استكمال بئر
159. Diffusion Well	بئر الترشيح
160. Dimension	اتجاه
Dimensionless ratio	النسبة اللااتجاهية
161. Direct Evaporation (from ground-water)	تبخر مباشر
162. Direct Run-Off	سيلان مباشر
163. Discharge	صبيب – تصريف
164. Discharge Area	منطقة الصب (التفريغ)
165. Dispersion	تبدد
166. Disposal Well	بالوعة – المياه القذرة
167. Ditch	قنية
168. Divide	خط التقسيم (للمياه)
169. Drain	مخرج مائي
170. Drainage	تصريف المياه
171. Drainage Net. Or Net Work	شبكة مائية
172. Drawdown	حبوض – انخفاض مستوى الماء
173. Drill (To)	ثقب ، حفر بالمثقاب
174. Driking Water	ماء شروب
175. Drive pipes	أنابيب الثقب
176. Driven Well or Drive Well	بئر فورية – بئر انبوبية
177. Drought	جفاف
178. Dry	جاف
179. Dry Year Annee seche (s'opp. a humid year)	سنة جافة
180. Dug Well	ركية ، آبار الحفر
181. Dumb-Well	بئر مكظومة
182. Dupuit's Assumption	فرضية ديوبيت
183. Dye	ملون أو مرشد
184. Dynamic Pressure	ضغط ديناميكي

185.	Economic Yield	صبيب استغلال اقتصادي
186.	Effective Hydraulic Conducti	نفاذية نسبية
187.	Effctive Permeability	نفاذية نسبية
186.	Effective Pore-Space	مسامية فعلية
189	Effective Porosity	مسامية فعلية
190.	Effective Precipitation	مطر مفيد
191.	Effective Saturation	تشبع نسمي
192.	Efficient Rainfall	مطر ناجع
193.	Effluent (Susst.)	مجرى
194.	Effluent Flow	صبيب التدفق
195.	Effluent Seepage	ماء منبثق
196.	Effluent Stream, or River	نهر صارف
197.	Effluent Water	ماء النتح
198.	Electrical Log	سجل الاداء الكهربائي
199.	Encroachment	اجتياح
200.	Ephemeral Stream	نهر موسمي
201.	E.P.M. (Equ)valent Per Million)	المعادل المليوني (المعادل في كل مليون)
202.	Equilbrium Equatin	حصولة متوازنة
203.	Equipotential Line	منحني تساوي الجهد
204.	Equipotential Surface	سطح تساوي الجهد
205.	Evaporation	تبخر
206.	Evapotranspiration	تبخر فتحي
207.	Exhausion	فرط الاستغلال
208.	Exponential Integral	التكامل الاسي
209.	Fall (of Water)	نكوز – حبوض
210.	Falling Head	المستوى المائي المتحرك
211.	Fault Spring	ينبوع فالق – ينبوع صدع
212.	Field Capacity	سعة الامساك
213.	Field Moisture	مدى امساك الرطوبة
214.	Filter	مرشح – مصفاة

215. Filter Cake	مرشح الوحل
216. Finite Differences Method	طريقة الفروق المنتهية
217. Finite Element Method	طريقة العناصر المنتهية
218. Fissure	شق –
219. Fissure Spring	ينبوع الشق
220. Flow	تدفق – جريان
221. Flow Duration Curve	منحني الصبيات المصنفة
222. Flow Meter	مصباب
223. Flow Net	شبكة مياه متدفقة
224. Flow Well, Flowing Well	بئر ارتوازية فائرة
225. Fluctuaion	تقلبات معصارية
226. Fluid	مائع
227. Fracture	مغلق
228. Fracture Spring	عين أو فلق
229. Free Aquifer	تكوين مائي حر
230. Free Ground-Water	ماء جوفي حر أو طبقة مائية حرة
231. Free Surface	سطح طبقة حر
232. Free Water Table	سطح طبقة مائية حر (غير حبيس)
233. Fresh Water	ماء عذب
234. Fresh Water Barrier	حاجز من ماء عذب
235. Fringe	هدب
236. Fringe Water	ماء شعري
237. Fully–Penetrating Well	بئر كاملة

– G –

238. Gage	(انظر المادة : 626 mesure
239. Gage Well	معيار ، مقياس
240. Gaging Station (American Usage)	بئر الاستدلال
241. Gear Pumps	محطة القياس
242. Gelation Conductors	مضخات التروس
	الموصلات الجلاتينية

243. Geothermal	حرارى جوفي
244. Geothermal Gradient	المحال الحراري الارضي
245. Geyser	فوارة حارة
246. Gravitational Water	ماء جاذبي
247. Gravity Well	بئر عادية
248. Ground-Water	ماء جوفي
249. Ground-Water Balance	حصيلة مائية ، توازن مائي
250. Ground-Water Basin	حوض ماء جوفي
251. Ground-Water Contour	منحني متساوي المعصارية
252. Ground-Water Depletion Curve	منحني نضوب نهر
253. Ground-Water Development	استغلال المياه الجوفية
254. Ground-Water Discharge	صبيب الاستنفاذ – جريان جوفي
255. Ground-Water Divide	الخط الفاصل بين مياه جوفية
256. Ground-Water Equation	حصيلة مائية
257. Ground-Water Flow	تدفق جوفي
258. Ground-Water Geology	هيدروجيولوجية
259. Ground-Water Level Contour	منحني متساوي السطح المعصاري
260. Ground-Water Movement	حركة الماء الجوفي
261. Ground-Water Over Draft	فرط استغلال طبقة مائية
262. Ground-Water Recession Curve	منحني النضوب
263. Ground-Water Recharge	تطعيم طبقة مائية
264. Ground-Water Reservoir	مستودع ماء جوفي
265. Ground-Water Run-Off	سيلان ماء جوفي
266. Ground-Water Storage	مختزن طبقة مائية
267. Ground-Water Table	سطح طبقة مائية حر
268. Grout	ملاط

– H –

269. Harmonic Mean Grain- Diameter	قطر الحبيبة المتوسطي التوافقي
270. Head	شحنة مائية

271.	Head Loss	ضياع شحني
272.	Hoist	رافعة
273.	Hot Spring	حمة ، ينبوع حار
274.	Hydraulic	مائي
275.	Hydraulic Boundary	حد مائي
276.	Hydraulic Conductivity	ناقلية او نفاذية
277.	Hydraulic Gradient	محال مائي
278.	Hydraulic Rotary	الدوار المائي
279.	Hydraulics	علم المياه
280.	Hydrogeochimistry	جيوكيمياء المياه
281.	Hydrogeologie Boundary	حد مجموعة مائية
282.	Hydrogeological Map	خريطة جيولوجية مائية – خريطة هيدروجيولوجية
283.	Hydrogeology	هيدروجيولوجية
284.	Hydrograph	رسم مائي
285.	Hydrograph Separation	تحليل رسم مائي
286.	Hydrologic Balance	موازنة مائية
287.	Hydrologic Budget	موازنة او ميزانية مائية
288.	Hydrologic System	مجموعة مائية – مجموعة هيدرولوجية
289.	Hydrologic Unit	وحدة مائية – وحدة هيدرولوجية
290.	Hydrological Cycle	الدورة الهيدرولوجية
291.	Hydrogical Equation	موازنة مائية – معادلة مائية
292.	Hydrology	علم المياه – هيدرولوجية
293.	Hydrosphere	الغلاف المائي
294.	Hydrostatic	هيدروستاتيكي
295.	Hydrostatic Pressure	ضغط هيدروستاتيكي
296.	Hygroscopic Coefficient	معامل المرطابية
297.	Hygroscopic Water	ماء مرطابي
298.	Image	التشبيه او التخيل
299.	Infiltration	ترشح – ترشيح
300.	Infiltration Basin	حوض الترشيح

301. Infiltration Capacity	مدى الترشيح – سعة الترشيح
302. Infiltration Coefficient	معامل الترشيح
303. Inflow	انصباب الماء – الماء المنصب
304. Influent Stream	نهر مرشح
305. Injection	حقـــن
306. Injection Well	بئر الحقن
307. Intake Area	منطقة التطعيم
308. Intermediate Belt	منطقة متوسطة او انتقالية
309. Intermittent Spring	عين متقطعة – او ينبوع متقطع
310. Intermittent Stream	نهر متقطع الجريان
311. Internal Drainage	صرف داخلي
312. Interstitial Porosity	مسامية خلالية

– J –

313. Jet Drill	ثقب فوار
314. Jetted Drill, Jetted Well	الثقب بالحقن
315. Jetted Nozzie	صمام الثقب
316. Joints	المفاصل
317. Juvenile Water	ماء الاعماق

– K –

318. Kanat	قنـــاة
319. Karst	كارست
320. Karst Spring	ينبوع الكارست

– L –

321. Lagon	بحيرة شاطئية
322. Lake	بحيرة
323. Laminar Flow	جريان انسيابي اومنتظم (صفيحي)
324. Landslide	انزلاق ارضي
325. Land Subsidence	انخفاض ارضي
326. Leak	تسرب (ماء)

327.	Leakage	تسرب او ضياع (ماء)
328.	Leaky Aquifer (Syn. Of Semi Confined)	تكوين مائي شبه حبيس
329.	Lymnology	علم البحيرات
330.	Liquid Conductors	الموصلات السائلة
331.	Log " log " (diagramme vartical)	رسم تخطيطي للحفر
332.	Long Lateral Curve	المنحني الجانبي الطويل
333.	Long Normal Curve	المنحني الاعتيادي الطويل
334.	Lost River	اندثار نهر
335.	Lysimeter	مرشاح – مقياس الترشيح

336.	Magmatic Water	صهارة = ماء صهاري
337.	Manometer	مضغط
338.	Marsh	مستنقع
339.	Mast	سارية (تستخدم في عمليات الحفر)
340.	Matching Process	طريقة المطابقة
341.	Maximum Moisture Capacity	مدى الامساك الاقصى
342.	Maximum Perennial Yield	صبيب الاستغلال الاقصى
343.	Maximum Yield (Of a Well)	مدى الانتاج الاقصى (البئر)
344.	Mean Annual Discharge	متوسط او معدل الصبيب السنوي
345.	Mean Annual Rainfall	ارتفاع معدل الامطار (الهواطل)
346.	Mean Annuel Runoff	معدل الجريان السنوي
347.	Mean Daily Discharge	معدل الصبيب اليومي
348.	Meander	منعطف
349.	Measuring Weir	مصـــب
350.	Medicinal Spring	عين معدنية علاجية
351.	Membrance Model	النماذج الغشائيـــة
352.	Meniseus Surface	السطح الهلالي

353.	Meteoric Water	مياه جوفية
354.	Mineral Spring	عين معدنية
355.	Mineral Water	ماء معدني (علاجي)
356.	Mineralized Water	ماء ممعدن
357.	Moisture	رطوبة
358.	Moisture Content	محتوى الرطوبة
359.	Moisture Deficiency	نقص رطوبي
360.	Moisture Index	دليل الرطوبة الشامل
361.	Monitor Well	بئر جاسة (للملاحظة)
362.	Moving Means	معدلات (مائية) متغيرة

– N –

363.	Native Water	ماء أصيل
364.	Net Draft	الاستغلال الصافي
365.	Network	شبكة مرتبطة بعضها ببعض
366.	Non Equilibrium Equation	معادلة طبقة مائية غير متوازنة
367.	Non Flowing Artesian Well	بئر ارتوازية غير فائرة
368.	Non Flowing Well	بئر غير فائرة
369.	Non Steady Flow	جريان غير مستمر
370.	Non-Steady State	حالة موقتة
371.	Non-Uniforme Flow	جريان غير رتيب أو غير منتظم
372.	Normal Arrangement	الترتيب الأعتيادي
373.	Numerical Analysis	التحليل العددي

– O –

374.	Observation Well	بئر ملاحظة
375.	One Dimensional Flow	جريان احادي البعد
376.	Orange-Peel Bucket	سطل أو جلوف بشكل قشر البرتقال
377.	Out Flow	صبيب الخروج – صبيب الانبثاق

378.	Outlet	مخرج – منبثق
379.	Overdevelopment	فرط استغلال (طبقة مائية)
380.	Overdraft	فرط الاستغلال
381.	Overflow	طفح أو فيض
382.	Overflow (To)	طفح يطفح
383.	Overpumping (Or Over- Pumping)	فرط الضخ

– P –

384.	Packing	التراص
385.	Pellicular Water	الماء القشري
386.	Perched Aquifer	تكوين مائي ذو طبقة معلقة أو معلق الطبقة
387.	Pepched Ground-Water	طبقة مائية معلقة
388.	Percolating Water	الماء النافذ (الراشح)
389.	Percolation	ترشيح – رشح
390.	Percussion Drill	الثقب بالصدم – الثقب بالطرق
391.	Perennial	مستديم
392.	Perennial Stream	نهر مستديم
393	Perforation	تثقيب ، مصفاة
394.	Perforated Casing Well	انبوبية ذات مصفاة
395.	Periodic Spring	عين موسمية
396.	Permafrost	مجلاة جوفية
397.	Permanent Flow	جريان دائم
398.	Permeability	نفاذية
399.	Permeability Coefficient	معامل النفاذية
400.	Permeameter	مقياس النفاذية
401.	Phreatic	جوفي أو باطني
402.	Phreatic Water	ماء طبقة جوفية (حرة)
403.	Pizometer	معصار (راجع : 1195,1047)

404.	Piezometric Contour	منحني متساوي المعصارية
405.	Pit	حفرة
406.	Pitcher Pumps	المضخات القاذفة
407.	Plunger Pump	مضخة ذات مكبس
408.	Pollutant	ملوث (مادة التلويث)
409.	Polluted Water	ماء ملوث
410.	Pollution	تلوث – تلويث
411.	Pond	ركة
412.	Pore	سام – فجرة
413.	Porosity	سامية
414.	Potental Logging	سجل اداء الجهد
415.	Potent Iometer	قياس الجهد
416.	P.P.M. (Parts Per Million)	زء من مليون
417.	Practical Porosity	سامية فعالة
418.	Precipitation	واطل
419.	Pressure Aquifer	كوين مائي حبيس
420.	Pressure Surface	طح معصاري
421.	Pump	نبخة
422.	Pumpage	دار الضخ (مايخرج من الماء بالضخ في ة معينة) عمل الضخ
423.	Pumping	خ
424.	Pumping Draft	خ الاستغلال
425.	Pumping Level	ـوى الضخ
426.	Pumping Station	محطة الضخ
437.	Pumping Test	ضخ تجريبي
438.	Pumping Time	مدة الضخ
439.	Pumping-Water-Level	مستوى الماء بعد الضخ
440.	Pumping Well	بئر استغلال بالضخ
441.	Pump Test	ضخ تجريبي
427.	Purification	تنقية – تصفية

Q

428. Quick Sand	رمال رخوة

– R –

429. Radial Collector Well	بئر متشعبة المصارف
430. Radial Flow	جريان متشعب
431. Radial Permeability	نفاذية شعاعية
432. Radius of Influence	مدى التأثير
433. Rainfall	هطول المطر
434. Rainfall Excess	مطر زائد
435. Rainfall Intensity	شدة الهطول
436. Raingage	مغياث (مقياس المطر)
442. Rate Of Discharge	مقدار الصبيب
443. Rate Of Flow	مقدار التدفق
444. Rate Of Infiltration	مقدار الترشيح
445. Raw Water	ماء خام
446. Reamer	مسحل (موسع الثقوب)
447. Recession	نضوب – حبوض
448. Recession Constant	معامل النضوب
449. Recession Curve	منحني النضوب
450. Recharge	تطعيم اصطناعي
451. Recharge Area	منطقة التطعيم
452. Recharge Boundary	حد التطعيم
453. Recharge Rate	سرعة الترشيح
454. Recharge Test	تجربة بالحقن
455. Recharge Well	بئر تطعيم (اصطناعي)
456. Recharching	تطعيم اصطناعي
457. Recovery	العودة الى المستوى بعد الضخ
458. Recovery Curve	منحني ارتفاع المستوى
459. Reduced Saturation	تشبع نسبي
460. Regime	نظام الجريان

Regulation	تنظيم
462. Rejected Recharge	تطعيم مردود
463. Relative Evaporation	تبخر نسبي
464. Relative Permeability	نفاذية نسبية
465. Replenishmert	تطعيم او زيادة في العد
466. Reservoir	مستودع
467. Residual Drawdown	هبوط مستوى الماء بعد ضخ التجربة
468. Resistivity Log	رسم تخطيطي لتعيينة كهربائية
469. Rest. Water. Level	مستوى معصاري طبيعي
470. Retention	امساك
471. Rising Limb	مدة التصاعد
472. Rising Stage	تصاعد (المياه)
473. River	نهر
474. Rotare Pump	مضخة دوارة
474. Run-Off	جريان
476. Run-Off Coefficient	معامل او نسبة الجريان
477. Safe Yield	صبيب الضمان
478. Saline	ملح (مالح)
479. Saline Spring	ينبوع ملح
480. Saline Water	ماء ملح
481. Salinity	ملوحة
489. Salt-Water Encroachment	تسلط ماء ملح (على طبقة مائية)
483. Salt Water Wedge	ماء ملح محصور (اسفين ملح)
484. Salty Water	ماء ملح — ماء ملحي
485. Sanitary Zone	محيط الوقاية — نطاق الوقاية
486. Sand Model	نموذج رملي
487. Saturated Flow	جريان في وسط مشبع
488. Saturated Thickness	سمك الطبقة المائية
489. Saturated Zone	مساحة النتح في البئر
490. Saturation	تشبع — اشباع

491. Scavenger Well	بالوعة
492. Screen	مصفاة
493. Screened Well	بئر انبوبية ذات مصفاة
494. Sea Water Intrusion	اقتحام – اجتياح ماء بحري
495. Secondary Porosity	مسامية ثانوية
496. Seepage	ترشح – ترشيح – نتح
497. Semi-Confined Aquifer	تكوين مائي شبه حبيس
498. Semi-Perched Groundwater	طبقة مائية معلقة
499. Semi-Permeable	شبه منفذ
500. Septic Tanks	خزانات العفن
501. Sewage, or Sewage Effluent	مياه المرازيب
502. Shaft	بئر منجم
503. Shallow Ground-Water	طبقة مائية جوفية قليلة العمق
504. Shooting	نسف او انتساف
505. Sink Hole (Amer).	غؤور او تغور ماء (سطحي)
506. Sinking of the Ground-Water	حبوض طبقة مائية (هبوط مستواها)
507. Siphon	سيفون
508. Slotted Casing	جهاز انبوبي ذو مصفاة
509. Slush Pit	حفرة طين
510. Soaking	تبلبل
511. Soft Water	ماء فرات – خال من الاملاح
512. Soil Moisture	رطوبة التربة
513. Soil Moisture Deficit	نقص رطوبة التربة – جفاف التربة
514. Soil Moisture Retention	سعة او مدى امساك الرطوبة
515. Soil Moisture Suction	قوة امتداد الرطوبة
516. Soil Texture	نسيج التربة
517. Soil Water	ماء التربة
518. Sold Condvctors	المواصلات الصلبة
519. Solution Opening	مغلق الانحلال
520. Spaces	الفراغات
521. Specific Retention	سعة الامساك النوعي

522. Specific Yield	صبيب نوعي – قدرة الترشيح
523, S.P. Log (P.S.)	رسم تخطيطي للاستقطاب التلقائي
524. Spray	رش – رذ
525. Spreading, Recharge	تطعيم اصطناعي بالتسييح
526. Spring	عين – ينبوع
527. Sprinkling	رش – سقي اورى بالرش
528. Stage	مستوى
529. Static Head	شحنة هيدروستاتيكية (ارتفاع شحنة الماء)
530. Static Level Or Water-Level	مستوى هيدروستاتيكي
531. Steady Flow	جريان دائم او مستديم او ثابت
532. Steady State	نظم جريان مستديم او ثابت
533. Steady Water-Level	مستوى مثبت
534. Storage	اختزان الماء–الماء المختزن
535. Storage Capacity	سعة اختزان (نهر)–اختزان مياه (تكوين مائي)
536. Storage Coefficient	معامل الاختزان
537. Storativity	معامل الاختزان
538. Stream	نهر
539. Stream Flow	جريان كلي
540. Subartesian	متصاعد بدون فوران
541. Subsurface Drainage 2 – Drainage souterrain (drainage	مصرف او تصريف باطني او جوفي
542. Subterranean River	ماء جوفي او باطني (مياه جوفية)
543. Subsurface Water	نهر باطني او جوفي
544. Suction	مص أو امتصاص
545. Suction Dreding	الدفع الخاص
546. Surface Flow	تدفق او جريان سطحي
547. Surface Run-off	جريان سطحي
548. Surging	ازالة الكظم–بالكبس
549. Suspended Water	ماء معلق (ماء منطقة التهوية)

-T-

550.	Temporary Hardness	صلابة مؤقتة
551.	Temporary Zone of Saturation	منطقة تشبع مؤقتة
552.	Tensiometer	ميتار (مقياس (التوتر)
553	Terrestrial Water	المياه البرية
554.	Test Well experim	بئر التجربة-بئرتجريبيه-بئرالاختبار
555.	Three. Dimensional Flow	جريان ثلاثي الابعاد
556.	Tidal	مدى وجزرى (نسبة الى المد والجزر)
557.	Tidal Amplitude	ارتفاع المد-اتساع المد
558.	Total Dissolved Solids	مجموع المواد الصلبة
559.	Total Hardness	صلابة كلية
560.	Trace Element	عنصر اثر (عنصر مرشد)
561.	Tracer	عنصر كاشف او مرشد
562.	Transition Zone	منطقة انتقالية (جزء من منطقة غير مشبعة)
563.	Transmissbitity (Theis)	انفاذية (منقولية)
564.	Transpiration	نتح
565.	Trial Pumping Test	ضخ تجريبي أو تنقيبي
566.	Turbulent Flow	جريان مضطرب
567.	Two Dimensional	جريان ثنائي البعد
568.	Two-Layer Aquifer	تكوين مائي ثنائى الطبقة

-U-

569.	Unconfined Aquifer	تكوين مائي حر الطبقة
570.	Unconfined Water	ماء حر-ماء غير حبيس-ماء طليق
571.	Underdrainage	صرف سفلي-صرف تحتي
572.	Underflow	جريان سفلي (تحتي)
573.	Underground Reservoir	مستودع ماء مطمور (جوفي)
574.	Underground Water	ماء باطني او جوفي
575.	Uniform Flow	جريان رتيب (مطرد بدون تغير)
576.	Uniformity Coefficient	معامل الرتابة او معامل الاطراد
577.	Unit Graph, or Unit Hydrograph	رسم مائي وحدي
578.	Usaturated Zone	منطقة غير مشبعة-
579.	Unsteady Flow	جريان مؤقت او غير مستديم

580. Upper Reach — المجرى الاعلى

- V -

581. Vadose Water — مياه معلقة (مياه منطلقة غير مشبعة)
582. Viscosity — لزوجة
583. Viscous Fluid Models — نماذج الموائع اللزجة
584. Void Ratio — نسبة الفراغ
585. Volcanic Water — المياه البركانية

- W -

586. Water. Bearing Stratum — طبقة مائية
587. Water Budget — حصيلة مائية—حصيلة ماء
588. Water Catchment — اسر (ماء) — استقاء
589. Water Level Contour — منحني الارتفاع او منحني المستوى (السطح المعصاري)
590. Water Potential — موارد الماء الممكنة—قدر المواد المائية
591. Water Requirement — احتياجات مائية
592. Water Resources — مصادر مائية (موارد مائية)
593. Water Rights — التشريعات المائية او الحقوق المائية
594. Water Shortage — نقص او قلة (ماء)
595. Water Stage — مستوى الماء
596. Water Table — سطح طبقة مائية حرة (غير حبيسة)
597. Water Table Aquifer — تكوين مائي حر الطبقة او غير حبيس الطبقة
598. Water Table Contour — منحني الارتفاع لطبقة حرة (غير حبيسة)
599. Water Table Fluctuation — تقلبات سطح طبقة حرة (غير حبيسة)
600. Water Table Map — خريطة مياه جوفية
601. Water Year — سنة هيدرولوجية
602. Water Yield — ٢. انتاج مائي
603. Weir Well Completion — مصب او موضع الصب
604. Well Curb — مثابة البئر
605. Well Development — استكمال بئر — تنميتها بالتعميق او التوسيع
606. Well Efficiency — مدى نفع او صلاحية البئر—فعالية البئر .
607. Well Hydraulics — علم مياه الآبار

608.	Well Interference	تأثير الضخ في بئر او آبار مجاورة
609.	Well Log	تقرير عن الحفر–وصف وتمثيل المقطع
610.	Well Sinking	حفر بئر او اعتماقها
611.	Well Spacing	تفسيح مابين الآبار (المسافات بين الآبار)
612.	Well Testing	تجريب او تجربة بئر (بالضخ قبل المشروع او استغلالها)
613.	Well Treatment	معالجة بئر–تنشيط انتاجها
614.	Well Yield	صبيب انتاج بئر ، انتاجية البئر
615.	Wet Year	سنة ماطرة او ممطرة
616.	Withdraw (To)	اقتطع – اخذ أخيذة
617.	Withdrawal (of Water)	اقتطاع (ماء)–مقتطع او اخيذة (ماء)

-Y-

618.	Yield	انتاج او مردود مائي

-Z-

619.	Zone of Aeration	منطقة التهوية–منطقة غير مشعة
620.	Zone of Capillary	منطقة شعرية
621.	Zone of Discharge	منطقة الانبثاق
622.	Zone of Saturation	منطقة الاشباع او التشبع
623.	Zone of Wathering	منطقة غير مشبعة–منطقة للتهوية (للتجوية)

المراجع الاجنبية للكتاب

مراجع الفصل الاول

1. Adams, F. D., Origin of springs and rivers—an historical review, *Fennia,* vol. 50, no. 1, 16 pp., 1928.
2. Agadjanov, A. M., *Hydrogeology and hydraulics of ground water and oil* (in Russian), Gostoptekhizdat, Moscow, 280 pp., 1950.
3. Amer. Geophysical Union, *Annotated bibliography of hydrology 1941–1950,* Washington, D. C., 408 pp., 1952
4. Amer. Geophysical Union, *Annotated bibliography of hydrology 1951–54 and sedimentation 1950–54,* Washington, D. C., 207 pp., 1955.
5. Amer. Soc. Civil Engrs., Hydrology Handbook, *Manual of Engineering Practice* 28, New York, 184 pp., 1949.
6. Anon., Water use in the United States, 1900–1975, *Supplement to Willing Water* 38, Amer. Water Works Assoc., 8 pp., 1956.
7. Baker, M. N., and R. E. Horton, Historical development of ideas regarding the origin of springs and ground-water, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 17, pp. 395–400, 1936.
8. Bennison, E. W., *Ground water, its development, uses, and conservation,* Edward E. Johnson, St. Paul, Minn., 507 pp., 1947
9. Bogomolov, G. V., and A. I. Silin-Bekcurin, *Special hydrogeology* (in Russian), Gosgeoltekhizdat, Moscow, 247 pp., 1955.
10. Dachler, R., *Grundwasserströmung,* J. Springer, Vienna, 141 pp., 1936.
11. Ferris, J. G., Ground water, in *Hydrology* (by C. O. Wisler and E. F. Brater), John Wiley and Sons, New York, pp. 198–272, 1949.
12. Houk, I. E., *Irrigation engineering,* vol. 1, John Wiley and Sons, New York, 545 pp., 1951.
13. Imbeaux, E., *Essai d'hydrogéologie,* Dunod, Paris, 704 pp., 1930.
14. Keilhack, K., *Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde,* 3rd ed., Gebr. Borntraeger, Berlin, 575 pp., 1935
15. Koechlin, R., and A. Koechlin, *Les eaux souterraines,* Libraire Rouge, Lausanne, 48 pp., 1945.
16. Koehne, W., *Grundwasserkunde,* E. Nagele, Stuttgart, 291 pp., 1928.
17. Kollbrunner, C. F., *Grundwasser und Filterbrunnen,* Leeman & Co., Zurich, 79 pp., 1943.
18. Linares, J. G.-Y., *Aguas subterraneas,* Libreria Dossat, Madrid, 342 pp., 1945.
19. MacKichan, K. A., Estimated use of water in the United States, 1955, *Jour. Amer. Water Works Assoc.,* vol. 49, pp. 369–391, 1957.
20. Martel, E. A., *Nouveau traité des eaux souterraines,* Doin Octave, Paris, 838 pp., 1921.
21. Mason, B., *Principles of geochemistry,* 2nd ed., John Wiley and Sons, New York, 310 pp., 1958.
22. McGuinness, C. L., The water situation in the United States with special reference to ground water, *U. S. Geological Survey Circular* 114, Washington, D. C., 127 pp., 1951.
23. Meinzer, O. E., Outline of ground-water hydrology with definitions, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 494, Washington, D. C., 71 pp., 1923.
24. Meinzer, O. E., The history and development of ground-water hydrology, *Jour. Washington Acad. Sci.,* vol. 24, pp. 6–32, 1934.

25. Miron, F., *Les eaux souterraines,* Gauthier-Villars, Masson & Cie., Paris, 188 pp., no date.
26. Müller-Delitzsch, G., *Grundlagen der Grundwassergewinnung,* Fachbuchverlag GMBH, Leipzig, 72 pp., 1951.
27. Petit, V., *L'eau souterraine—recherche, captage par sondages,* C. Beranger, Paris, 128 pp., 1930.
28. Pfalz, R., *Grundgewässerkunde,* Wilhelm Knapp, Halle (Saale), 175 pp., 1951.
29. Prinz, E., *Handbuch der Hydrologie,* 2nd ed., J. Springer, Berlin, 422 pp., 1923.
30. Sayre, A. N., Ground-water investigations in the United States, *Econ. Geol.,* vol. 43, pp. 547–552, 1948.
31. Sayre, A. N., Ground water, *Sci. Amer.,* vol. 183, no. 5, pp. 14–19, 1950.
32. Schneider, H., C. Truelsen, and H. Thiele, *Die Wassererschliessung,* Vulkan Verlag Dr. W. Classen, Essen, 421 pp., 1952
33. Semikhatov, A. N., *Hydrogeology* (in Russian), Sel'Khozgiz, Moscow, 328 pp., 1954.
34. Thomas, H. E., *The conservation of ground water,* McGraw-Hill, New York, 327 pp., 1951.
35. Todd, D. K., and F. B. Clendenen (eds.), *The California ground water situation,* Committee on Research in Water Resources, Univ. California, Berkeley, 212 pp., 1956.
36. Tolman, C. F., *Ground water,* McGraw-Hill, New York, 593 pp., 1937.
37. Trombe, F., *Les eaux souterraines,* Presses universitaires de France, Paris, 118 pp., 1951.
38. U. S. Dept. Agriculture, Water, *Yearbook of Agriculture,* Washington, D. C., 751 pp., 1955.
39. U. S. Geological Survey, Water levels and artesian pressures in observation wells in the United States, *Water-Supply Papers,* Washington, D. C., published annually.
40. Vorhis, R. C., Bibliography of publications relating to ground water prepared by the Geological Survey and cooperating agencies 1946–55, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 1492, Washington, D. C., 203 pp., 1957.
41. Waring, G. A., and O. E. Meinzer, Bibliography and index of publications relating to ground water prepared by the Geological Survey and cooperating agencies, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 992, Washington, D. C., 412 pp., 1947.

مراجع الفصل الثاني

1. Alter, A. J., Water supply in Alaska, *Jour. Amer. Water Works Ass'n*, 42, pp. 519–532, 1950.
2. Baver, L. D., *Soil physics*, 3rd ed., John Wiley and Sons, New York, 498 pp., 1956.
3. Belcher, D. J., T. R. Cuykendall, and H. S. Sack, The measurement of soil moisture and density by neutron and gamma-ray scattering, *Tech. Developm. Rep.* 127, Civil Aeronautics Admin., Indianapolis, Ind., 20 pp., 1950.
4. Bosazza, V. L., On storage of water in rocks in situ, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 33, pp. 42–48, 1952.
5. Bouyoucos, G. J., Nylon electrical resistance unit for continuous measurement of soil moisture in the field, *Soil Sci.*, vol. 67, pp. 319–330, 1949.
6. Bouyoucos, G. J., and A. H. Mick, A fabric absorption unit for continuous measurement of soil moisture in the field, *Soil Sci.*, vol. 66, pp. 217–232, 1948.
7. Briggs, L. J., The mechanics of soil moisture, *Bull.* 10, Div. Soils, U. S. Dept. Agric., Washington, D. C., 24 pp., 1897.
8. Bryan, K., Classification of springs, *Jour. Geol.*, vol. 27, pp. 522–561, 1919.
9. California Dept. Public Works, Ground-water basins in California, *Water Quality Investigations Rep.* 3, Div. Water Resources, Sacramento, 44 pp., 1952.
10. Cederstrom, D. J., P. M. Johnston, and S. Subitzky, Occurrence and development of ground water in permafrost regions, *U. S. Geological Survey Circular* 275, Washington, D. C., 30 pp., 1953.
11. Colman, E. A., The place of electrical soil-moisture meters in hydrologic research, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 27, pp. 847–853, 1946.
12. Colman, E. A., and T. M. Hendrix, The fiberglas electrical soil-moisture instrument, *Soil Sci.*, vol. 67, pp. 425–438, 1949.
13. Eckis, R., South Coastal Basin investigation, geology and ground-water storage capacity of valley fill, *Bull.* 45, Calif. Div. Water Resources, Sacramento, 279 pp., 1934.
14. Gardner, W., and D. Kirkham, Determination of soil moisture by neutron scattering, *Soil Sci.*, vol. 73, pp. 391–401, 1952.
15. Haise, H. R., How to measure the moisture in the soil, in *Water*, U. S. Dept. Agric., Washington, D. C., pp. 362–371, 1955.
16. Harding, S. T., Relation of the moisture equivalent of soils to the moisture properties under field conditions of irrigation, *Soil Sci.*, vol. 8, pp. 303–312, 1919.
17. Hopkins, D. M., T. N. V. Karlstrom, and others, Permafrost and ground water in Alaska, *U. S. Geological Survey Professional Paper* 264–F, Washington, D. C., pp. 113–146, 1955.
18. Lambe, T. W., Capillary phenomena in cohesionless soils, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 116, pp. 401–432, 1951.
19. Lull, H. W., and K. G. Reinhart, Soil-moisture measurement, *Southern Forest Exp. Sta. Occasional Paper* 140, Forest Service, U. S. Dept. Agric., 56 pp., 1955.
20. Mavis, F. T., and T. P. Tsui, Percolation and capillary movements of water through sand prisms, *Bull.* 18, Univ. Iowa Studies in Eng., Iowa City, 25 pp., 1939.
21. Meinzer, O. E., Outline of ground-water hydrology with definitions, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 494, Washington, D. C., 71 pp., 1923.

22. Meinzer, O. E., The occurrence of ground water in the United States, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 489, Washington, D. C., 321 pp., 1923.
23. Meinzer, O. E., Large springs in the United States, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 557, Washington, D. C., 94 pp., 1927.
24. Meinzer, O. E., Outline of methods for estimating ground-water supplies, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 638-C, Washington, D. C., pp. 99–144, 1932.
25. Meinzer, O. E., Ground water in the United States—a summary, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 836-D, Washington, D. C., pp. 157–232, 1939.
26. Meinzer, O. E. (ed.), *Hydrology,* McGraw-Hill, New York, 712 pp., 1942.
27. Picard, L., Outline of ground-water geology in arid regions, *Proc. Ankara Symposium on Arid Zone Hydrology,* UNESCO, Paris, pp. 165–176, 1953.
28. Poland, J. F., G. H. Davis, F. H. Olmsted, and F. Kunkel, Ground-water storage capacity of the Sacramento Valley, California, in *Water Resources of California,* Bull. 1, Calif. State Water Resources Board, Sacramento, pp. 617–632, 1949.
29. Prinz, E., and R. Kampe, *Handbuch der Hydrologie,* Band II: Quellen, J. Springer, Berlin, 290 pp., 1934.
30. Richards, L. A., Methods of measuring soil moisture tension, *Soil Sci.,* vol. 68, pp. 95–112, 1949.
31. Rode, A. A., *Hydraulic properties of soils and rocks* (in Russian), Acad. Sci. USSR, Moscow, 131 pp., 1955.
32. Russell, W. L., The origin of artesian pressure, *Econ. Geol.,* vol. 23, pp. 132–157, 1928.
33. Sayre, A. N., Ground water, *Sci. Amer.,* vol. 183, no. 5, pp. 14–19, 1950.
34. Scofield, C. S., The measurement of soil water, *Jour. Agric. Research,* vol. 71, pp. 375–402, 1945.
35. Shaw, C. F., and L. D. Baver, Heat conductivity as an index of soil moisture, *Jour. Amer. Soc. Agronomy,* vol. 31, pp. 886–891, 1939.
36. Smith, W. O., The final distribution of retained liquid in an ideal uniform soil, *Physics,* vol. 4, pp. 425–438, 1933.
37. Smith, W. O., P. D. Foote, and P. F. Busang, Capillary rise in sands of uniform spherical grains, *Physics,* vol. 1, pp. 18–26, 1931.
38. Stearns, N. D., H. T. Stearns, and G. A. Waring, Thermal springs in the United States, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 679-B, Washington, D. C., pp. 59–191, 1937.
39. Suter, M., Ground-water reservoirs, *Assemblée Générale de Bruxelles, Assoc. Intl. d'Hydrologie Scientifique,* vol. 4, pp. 16–20, 1951.
40. Thomas, H. E., *The conservation of ground water,* McGraw-Hill, New York, 327 pp., 1951.
41. Thomas, H. E., *Ground-water regions of the United States—their storage facilities,* vol. 3, Interior and Insular Affairs Comm., House of Representatives, U. S. Congress, Washington, D. C., 78 pp., 1952.
42. Tolman, C. F., *Ground water,* McGraw-Hill, New York, 593 pp., 1937.
43. Veihmeyer, F. J., and A. H. Hendrickson, The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. *Soil Sci.,* vol. 32, pp. 181–193, 1931.
44. Veihmeyer, F. J., and A. H. Hendrickson, The permanent wilting percentage as a reference for the measurement of soil moisture, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 29, pp. 887–896, 1948.

45. Veihmeyer, F. J., and A. H. Hendrickson, Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils, *Soil Sci.*, vol. 68, pp. 75–94, 1949.
46. Waring, G. A., Summary of literature on thermal springs, *Assemblée Générale de Bruxelles, Assoc. Intl. d'Hydrologie Scientifique,* vol. 2, pp. 289–293, 1951.
47. White, D. E., and W. W. Brannock, The sources of heat and water supply of thermal springs, with particular reference to Steamboat Springs, Nevada, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 31, pp. 566–574, 1950.
48. Youker, R. E., and F. R. Dreibelbis, An improved soil-moisture measuring unit for hydrologic studies, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 32, pp. 447–449, 1951.

مراجع الفصل الثالث

1. Ambrose, A. W., Use of detectors for tracing movement of underground water, *U. S. Bureau Mines Bull.* 195, Washington, D. C., pp. 106–120, 1921.
2. Amer. Soc. for Testing Materials, Symposium on permeability of soils, *Spec. Tech. Publ.* 163, 136 pp., 1955.
3. Aravin, V. I., and S. N. Numerov, *Theory of movement of liquids and gases in consolidated porous media* (in Russian), Gostekhizdat, Moscow, 616 pp., 1953.
4. Bakhameteff, B. A., and N. V. Feodoroff, Flow through granular media, *Jour. Appl. Mech.*, vol. 4A, pp. 97–104; discussion, vol. 5A, pp. 86–90, 1937.
5. Bakhameteff, B. A., and N. V. Feodoroff, Flow through granular media, *Proc. 5th Intl. Cong. Appl. Mech.*, pp. 555–560, 1938.
6. Boreli, M., Contribution à l'étude des milieux poreux, *Publications Scientifiques et Techniques du Ministère de l'Air* 305, Paris, 129 pp., 1955.
7. Brownell, L. E., and D. L. Katz, Flow of fluids through porous media, I—Single homogeneous fluids, *Chem. Eng. Progress,* vol. 43, pp. 537–548, 1947.
8. Casagrande, A., Seepage through dams, *Jour. New England Water Works Assoc.,* vol. 51, pp. 131–172, 1937.
9. Christiansen, J. E., Effect of entrapped air upon the permeability of soils, *Soil Sci.,* vol. 58, pp. 355–365, 1944.
10. Danel, P., The measurement of ground-water flow, *Proc. Ankara Symposium on Arid Zone Hydrology,* UNESCO, Paris, pp. 99–107, 1953.
11. Darcy, H., *Les fontaines publiques de la ville de Dijon,* V. Dalmont, Paris, 647 pp., 1856.
12. Day, P. R., Dispersion of a moving salt-water boundary advancing through saturated sand, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 37, pp. 595–601, 1956.
13. Dole, R. B., Use of fluorescein in the study of underground water, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 160, Washington, D. C., pp. 73–86, 1906.
14. Fair, G. M., and L. P. Hatch, Fundamental factors governing the streamline flow of water through sand, *Jour. Amer. Water Works Assoc.,* vol. 25, pp. 1551–1565, 1933.
15. Fancher, G., Henry Darcy—engineer and benefactor of mankind, *Jour. Petr. Tech.,* vol. 8, pp. 12–14, Oct. 1956.

16. Fancher, G. H., and J. A. Lewis, Flow of simple fluids through porous materials, *Ind. and Eng. Chem.*, vol. 25, pp. 1139–1147, 1933.
17. Fancher, G. H., J. A. Lewis, and K. B. Barnes, Some physical characteristics of oil sands, *Bull.* 12, Penn. State College Mineral Industries Exp. Sta., State College, pp. 65–171, 1933.
18. Fireman, M., Permeability measurements on disturbed soil samples, *Soil Sci.*, vol. 58, pp. 337–353, 1944.
19. Fishel, V. C., Further tests of permeability with low hydraulic gradients, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 16, pp. 499–503, 1935.
20. Fox, C. S., Using radioactive isotopes to trace movement of underground waters, *Municipal Utilities*, vol. 90, no. 4, pp. 30–32, 1952.
21. Franzini, J. B., Porosity factor for case of laminar flow through granular media, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 32, pp. 443–446, 1951.
22. Fraser, H. J., Experimental study of the porosity and permeability of elastic sediments, *Jour. Geol.*, vol. 43, pp. 910–1010, 1935.
23. Givan, C. V., Flow of water through granular materials, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 15, pp. 572–579, 1934.
24. Graton, L. C., and H. J. Fraser, Systematic packing of spheres with particular relation to porosity and permeability, *Jour. Geol.*, vol. 43, pp. 785–909, 1935.
25. Hall, W. A., An analytical derivation of the Darcy equation, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 37, pp. 185–188, 1956.
26. Hansen, V. E., Infiltration and water movement during irrigation, *Soil Sci.*, vol. 79, pp. 93–105, 1955.
27. Hatch, L. P., Flow through granular media, *Jour. Appl. Mech.*, vol. 7A, pp. 109–112, 1940.
28. Hazen, A., Some physical properties of sands and gravels with special reference to their use in filtration, *24th Ann. Rep.*, Mass. State Bd. Health, Boston, pp. 541–556, 1893.
29. Hickox, G. H., Flow through granular materials, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 15, pp. 567–572, 1934
30. Hours, R., Radioactive tracers in hydrology, *La Houille Blanche*, vol. 10, no. A, pp. 14–24, 1955.
31. Hubbert, M. K., The theory of ground-water motion, *Jour. Geol.*, vol. 48, pp. 785–944, 1940.
32. Hubbert, M. K., Darcy's law and the field equations of the flow of underground fluids, *Trans. Amer. Inst. Min. and Met. Engrs.*, vol. 207, pp. 222–239, 1956.
33. Hulbert, R., and D. Feben, Hydraulics of rapid filter sand, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 25, pp. 19–65, 1933.
34. Irmay, S., On the hydraulic conductivity of unsaturated soils, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 35, pp. 463–467, 1954.
35. Irmay, S., Extension of Darcy law to unsteady unsaturated flow through porous media, *Symposia Darcy*, Publ. 41, Assoc. Intl. d'Hydrologie Scientifique, pp. 57–66, 1956.
36. Jacob, C. E., Flow of ground water, in *Engineering hydraulics* (H. Rouse, ed.). John Wiley and Sons, New York, pp. 321–386, 1950.

37. Jacob, C. E., V. C. Fishel, and M. K. Hubbert, Report of committee on ground water—Appendices on permeability, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 27, pp. 245–273, 1946.
38. de Josselin de Jong, G., Longitudinal and transverse diffusion in granular deposits, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 39, pp. 67–74, 1958.
39. Kaufman, W. J., and G. T. Orlob, Measuring ground water movement with radioactive and chemical tracers, *Jour. Amer. Water Works Assoc.,* vol. 48, pp. 559–572, 1956.
40. Kaufman, W. J., and D. K. Todd, Methods of detecting and tracing the movement of ground water, *Inst. Eng. Research Rep.* 93-1, Univ. Calif., Berkeley, 130 pp., 1955.
41. King, F. H., Principles and conditions of the movements of ground water, *U. S. Geological Survey 19th Ann. Rep.,* pt. 2, Washington, D. C., pp. 59–294, 1899.
42. Kirkham, D., and C. L. Feng, Some tests of the diffusion theory, and laws of capillary flow, in soils, *Soil Sci.,* vol. 67, pp. 29–40, 1949.
43. Kitagawa, K., Sur le dispersement et l'écart moyen de l'écoulement des eaux souterraines, *Mem. College Sci.,* Kyoto Imp. Univ., Ser. A, vol. 17, pp. 37–42, 431–441, 1934; and vol. 18, pp. 129–135, 1935.
44. Krumbein, W. C., and G. D. Monk, Permeability as a function of the size parameters of unconsolidated sands, *Trans. Amer. Inst. Min. and Met. Engrs.,* vol. 151, pp. 153–163, 1943.
45. Libby, W. F., Tritium in nature, *Sci. Amer.,* vol. 190, no. 4, pp. 38–42, 1954.
46. Lindquist, E., On the flow of water through porous soil, *1er Congrès des Grands Barrages,* vol. 5, Stockholm, pp. 81–101, 1933.
47. Luthin, J. N., and P. R. Day, Lateral flow above a sloping water table, *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.,* vol. 19, pp. 406–410, 1955.
48. Mavis, F. T., and T. P. Tsui, Percolation and capillary movements of water through sand prisms, *Bull.* 18, Univ. Iowa Studies in Eng., Iowa City, 25 pp., 1939.
49. Mavis, F. T., and E. F. Wilsey, A study of the permeability of sand, *Bull.* 7, Univ. Iowa Studies in Eng., Iowa City, 29 pp., 1936.
50. Meinzer, O. E., and V. C. Fishel, Tests of permeability with low hydraulic gradients, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 15, pp. 405–409, 1934.
51. Moore, R. E., Water conduction from shallow water tables, *Hilgardia,* vol. 12, pp. 383–426, 1939.
52. Muskat, M., *The flow of homogeneous fluids through porous media,* McGraw-Hill, New York, 763 pp., 1937.
53. Polubarinova-Kochina, P. Y., and S. B. Falkovich, Theory of filtration of liquids in porous media in *Advances in applied mechanics,* vol. 2, Academic Press, New York, pp. 153–225, 1951.
54. Reeve, R. C., and D. Kirkham, Soil anisotropy and some field methods for measuring permeability, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 32, pp. 582–590, 1951.
55. Remson, I., and G. S. Fox, Capillary losses from ground water, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 36, pp. 304–310, 1955.
56. Richards, L. A., Capillary conduction of liquids through porous mediums, *Physics,* vol. 1, pp. 318–333, 1931.
57. Richards, L. A., Laws of soil moisture, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 31, pp. 750–756, 1950.

58. Richards, L. A., Report of the Subcommittee on Permeability and Infiltration, Committee on Terminology, *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.*, vol. 16, pp. 85–88, 1952.
59. Rifai, M. N. E., W. J. Kaufman, and D. K. Todd, Dispersion phenomena in laminar flow through porous media, *Inst. Eng. Research Rep.* 93-2, Univ. Calif., Berkeley, 157 pp., 1956.
60. Rose, H. E., An investigation into the laws of flow of fluids through beds of granular materials, *Proc. Inst. Mech. Engrs.*, vol. 153, pp. 141–148, 1945.
61. Rose, H. E., On the resistance coefficient—Reynolds number relationship for fluid flow through a bed of granular material, *Proc. Inst. Mech. Engrs.*, vol. 153, pp. 154–168, 1945.
62. Rose, H. E., and A. M. A. Rizk, Further researches in fluid flow through beds of granular material, *Proc. Inst. Mech. Engrs.*, vol. 160, pp. 493–511, 1949.
63. Scheidegger, A. E., Statistical hydrodynamics in porous media, *Jour. App. Physics*, vol. 25, pp. 994–1001, 1954.
64. Scheidegger, A. E., *The physics of flow through porous media*, Univ. Toronto Press, Toronto, 236 pp., 1957.
65. Schneebeli, G., Expériences sur la limite de validité de la loi de Darcy et l'apparition de la turbulence dans un écoulement de filtration, *La Houille Blanche*, vol. 10, pp. 141–149, 1955.
66. Slater, C. S., The flow of water through soil, *Agric. Eng.*, vol. 29, pp. 119–124, 1948.
67. Slichter, C. S., Theoretical investigation of the motion of ground waters, *U. S. Geological Survey 19th Ann. Rep.*, pt. 2, Washington, D. C., pp. 295–384, 1899.
68. Slichter, C. S., The motions of underground waters, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 67, Washington, D. C., 106 pp., 1902.
69. Slichter, C. S., Field measurements of the rate of movement of underground water, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 140, Washington, D. C., pp. 9–85, 1905.
70. Smith, W. O., Capillary flow through an ideal uniform soil, *Physics*, vol ?, pp. 139–146, 1933.
71. Stearns, N. D., Laboratory tests on physical properties of water-bearing terials, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 596, Washington, D. C., pp. 121–176, 1928.
72. Terzaghi, C., Principles of soil mechanics, *Eng. News-Record*, vol. 95, p. 832, 1925.
73. Warde, J., and R. M. Richardson, Waste disposal—vital to atomic power development, *Min. Eng.*, vol. 7, pp. 450–461, 1955.
74. Wenzel, L. K., The Thiem method for determining permeability of water-bearing materials and its application to the determination of specific yield, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 679-A, Washington, D. C., 57 pp., 1936.
75. Wenzel, L. K., Methods for determining permeability of water-bearing materials with special reference to discharging-well methods, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 887, Washington, D. C., 192 pp., 1942.

76. Wyckoff, R. D., and H. G. Botset, The flow of gas-liquid mixtures through unconsolidated sands, *Physics,* vol. 7, pp. 325–345, 1936.
77. Wyckoff, R. D., H. G. Botset, M. Muskat, and D. W. Reed, The measurement of the permeability of porous media for homogeneous fluids, *Review Sci. Instruments,* vol. 4, pp. 394–405, 1933.
78. Wyckoff, R. D., H. G. Botset, and M. Muskat, Flow of liquids through porous media under the action of gravity, *Physics,* vol. 3, pp. 90–113, 1932.

مراجع الفصل الرابع

1. Ahmad, N., Dynamics of ground water with special reference to tube wells, *Proc. Ankara Symposium on Arid Zone Hydrology,* UNESCO, Paris, pp. 77–98, 1953.
2. Avery, S. B., Analysis of ground-water lowering adjacent to open water, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.,* vol. 118, pp. 178–208, 1953.
3. Babbitt, H. E., and D. H. Caldwell, The free surface around, and the interference between, gravity wells, *Univ. Illinois Eng. Exp. Sta. Bull.* 374, 60 pp., 1948.
4. Boreli, M., Free-surface flow toward partially penetrating wells, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 36, pp. 664–672, 1955.
5. Breitenoder, M., *Ebene Grundwasserströmungen mit freier Oberfläche,* Springer-Verlag, Berlin, 127 pp., 1942.
6. Brown, R. H., Selected procedure for analyzing aquifer test data, *Jour. Amer Water Works Assoc.,* vol. 45, pp. 844–866, 1953.
7. Bruin, J., and H. E. Hudson, Jr., Selected methods for pumping test analysis, *Rep. Investigation* 25, Illinois State Water Survey Div., Urbana, 54 pp., 1955.
8. Chow, V. T., Drawdown in artesian wells computed by nomograph, *Civil Eng.,* vol. 21, no. 10, pp. 48–49, 1951.
9. Chow, V. T., On the determination of transmissibility and storage coefficients from pumping test data, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 33, pp. 397–404, 1952.
10. Cooper, H. H., Jr., and C. E. Jacob, A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vo'. 27, pp. 526–534, 1946.
11. Dachler, R., *Grundwasserströmung,* J. Springer, Vienna, 141 pp., 1936.
12. Dupuit, J., *Études théoriques et pratiques sur la mouvement des eaux dans les canaux découverts et à travers les terrains perméables,* 2nd ed., Dunod, *Paris,* 304 pp., 1863.
13. Eliason, O. L., and W. Gardner, Computing the effective diameter of a well battery by means of Darcy's law, *Agric. Eng.,* vol. 14, pp. 53–54, 1933.
14. Ferris, J. G., Ground water, in *Hydrology* (by C. O. Wisler and E. F. Brater), John Wiley and Sons, New York, pp. 198–272, 1949.
15. Forchheimer, P., Über die Ergiebigkeit von Brunnen-Anlagen und Sickerschlitzen, *Zeitschrift des Architekten- und Ingenieurvereins zu Hannover,* vol. 32, pp. 539–564, 1886.
16. Forchheimer, P., Grundwasserbewegung, in *Hydraulik,* 3rd ed., B. G. Teubner, Leipzig, pp. 51–110, 1930

17. de Glee, G. J., *Over grondwaterstroomingen bij wateronttrekking door middel van putten*, J. Waltman Jr., Delft, 175 pp., 1930.
18. Glover, R. E., and G. G. Balmer, River depletion resulting from pumping a well near a river, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 35, pp. 468–470, 1954.
19. Hall, H. P., A historical review of investigations of seepage toward wells, *Jour. Boston Soc. Civil Engrs.*, vol. 41, pp. 251–311, 1954.
20. Hall, H. P., An investigation of steady flow toward a gravity well, *La Houille Blanche*, vol. 10, pp. 8–35, 1955.
21. Hansen, V. E., Unconfined ground-water flow to multiple wells, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 118, pp. 1098–1130, 1953.
22. Hantush, M. S., and C. E. Jacob, Plane potential flow of ground water with linear leakage, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 35, pp. 917–936, 1954.
23. Hantush, M. S., and C. E. Jacob, Non-steady Green's functions for an infinite strip of leaky aquifer, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 36, pp. 101–112, 1955.
24. Hantush, M. S., and C. E. Jacob, Non-steady radial flow in an infinite leaky aquifer, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 36, pp. 95–100, 1955.
25. Hantush, M. S., and C. E. Jacob, Steady three-dimensional flow to a well in a two-layered aquifer, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 36, pp. 286–292, 1955.
26. Jacob, C. E., On the flow of water in an elastic artesian aquifer, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 21, pp. 574–586, 1940.
27. Jacob, C. E., Radial flow in a leaky artesian aquifer, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 27, pp. 198–208, 1946.
28. Jacob, C. E., Drawdown test to determine effective radius of artesian well, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 112, pp. 1047–1070, 1947.
29. Jacob, C. E., Flow of ground water, in *Engineering hydraulics* (H. Rouse, ed.), John Wiley and Sons, New York, pp. 321–386, 1950.
30. Jacob, C. E., and S. W. Lohman, Nonsteady flow to a well of constant drawdown in an extensive aquifer, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 33, pp. 559–569, 1952.
31. Jaeger, C., Die Grundwasserströmung, in *Technische Hydraulik*, Verlag Birkhauser, Basel, pp. 353–423, 1949.
32. Kashef, A. I., Y. S. Touloukian, and R. E. Fadum, Numerical solutions of steady-state and transient flow problems—artesian and water-table wells, *Purdue Univ. Eng. Exp. Sta. Bull.* 117, Lafayette, Ind., 116 pp., 1952.
33. Kazmann, R. G., Notes on determining the effective distance to a line of recharge, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 27, pp. 854–859, 1946.
34. Kazmann, R. G., The induced infiltration of river water to wells, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 29, pp. 85–92, 1948.
35. Kozeny, J., Theorie und Berechnung der Brunnen, *Wasserkraft und Wasserwirtschaft*, vol. 28, pp. 88–92, 101–105, and 113–116, 1933.
36. Kozeny, J., Das Wasser in Boden, Grundwasserbewegung, in *Hydraulik*, Springer-Verlag, Vienna, pp. 380–445, 1953.
37. Li, W.-H., Interaction between well and aquifer, *Proc. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 80, sep. 578, 14 pp., 1954.
38. Meyer, R., A few recent theoretical results concerning ground-water flow, *La Houille Blanche*, vol. 10, pp. 86–108, 1955.
39. Mikels, F. C., and F. H. Klaer, Jr., Application of ground water hydraulics to the development of water supplies by induced infiltration, *Symposia Darcy*, Publ. 41, Assoc. Intl. d'Hydrologie Scientifique, pp. 232–242, 1956.

40. Muskat, M., *The flow of homogeneous fluids through porous media,* McGraw-Hill, New York, 763 pp., 1937.
41. Muskat, M., *Physical principles of oil production,* McGraw-Hill, New York, 922 pp., 1949.
42. Nahrgang, G., *Zur Theorie des vollkommen und unvollkommen Brunnens,* J. Springer, Berlin, 43 pp., 1954.
43. Petersen, J. S., C. Rohwer, and M. L. Albertson, Effect of well screens on flow into wells, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.,* vol. 120, pp. 563–607, 1955.
44. Peterson, D. F., Jr., Hydraulics of wells, *Proc. Amer. Soc. Civil Engrs.,* vol. 81, sep. 708, 23 pp., 1955.
45. Peterson, D. F., Jr., O. W. Israelson, and V. E. Hansen, Hydraulics of wells, *Agric. Exp. Sta. Bull.* 351, Utah State Agric. College, Logan, 48 pp., 1952.
46. Polubarinova-Kochina, P. Y., *Theory of ground-water movement* (in Russian), Gostekhizdat, Moscow, 676 pp., 1952.
47. Remson, I., and S. M. Lang, A pumping-test method for the determination of specific yield, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 36, pp. 321–325, 1955.
48. Remson, I., and T. E. A. van Hylckama, Nomographs for the rapid analysis of aquifer tests, *Jour. Amer. Water Works Assoc.,* vol. 48, pp. 511–516, 1956.
49. Rorabaugh, M. I., Graphical and theoretical analysis of step-drawdown test of artesian well, *Proc. Amer. Soc. Civil Engrs.,* vol. 79, sep. 362, 23 pp., 1953.
50. Sichardt, W., *Das Fassungsvermögen von Rohrbrunnen und seine Bedeutung für die Grundwasserabsenkung, inbesondere für grössere Absenkstiefen,* J. Springer, Berlin, 89 pp., 1928.
51. Steggewentz, J. H., and B. A. Van Nes, Calculating the yield of a well taking account of replenishment of the ground water from above, *Water and Water Eng.,* vol. 41, pp. 561–563, 1939.
52. Theis, C. V., Equations for lines of flow in vicinity of discharging artesian well, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 13, pp. 317–320, 1932.
53. Theis, C. V., The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 16, pp. 519–524, 1935.
54. Theis, C. V., The significance and nature of the cone of depression in ground-water bodies, *Econ. Geol.,* vol. 33, pp. 889–902, 1938
55. Theis, C. V., The effect of a well on the flow of a nearby stream, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 22, pp. 734–738, 1941.
56. Thiem, G., *Hydrologische Methoden,* Gebhardt, Leipzig, 56 pp., 1906.
57. Walton, W. C., The hydraulic properties of a dolomite aquifer underlying the village of Ada, Ohio, *Tech. Rep.* 1, Ohio Div. Water, Columbus, 31 pp., 1953.
58. Wenzel, L. K., Specific yield determined from a Thiem's pumping-test, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 14, pp. 475–477, 1933.
59. Wenzel, L. K., The Thiem method for determining permeability of water-bearing materials and its application to the determination of specific yield, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 679-A, Washington, D. C., 57 pp., 1936.
60. Wenzel, L. K., Methods for determining permeability of water-bearing materials with special reference to discharging-well methods. *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 887, Washington, D. C., 192 pp., 1942.
61. Wenzel, L. K., and A. L. Greenlee, A method for determining transmissibility- and storage-coefficients by tests of multiple well-systems, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 24, pp. 547–564, 1943.
62. Yoshida, Y., *The summary of the studies on the collection wells and galleries as sources of water supplies,* Kumamoto, Japan, 96 pp., 1934.

مراجع الفصل الخامس

Amer. Water Works Assoc., *AWWA standard for deep wells,* New York, 51 pp., 1958.

2. Amer. Water Works Assoc., American standard specifications for deep well vertical turbine pumps, *Jour. Amer. Water Works Assoc.,* vol. 47, pp. 703–729, 1955.
3. Anderson, K. E., *Water well handbook,* Missouri Water Well Drillers Assoc., Rolla, 199 pp., 1951.
4. Anon., The principles and practical methods of developing water wells, *Bull.* 1033, Edward E. Johnson, St. Paul, Minn., 34 pp., 1941.
5. Anon., Now they're jetting relief wells, *Western Const. News,* vol. 30, no. 9, pp. 57–58, 1955.
6. Anon., The corrosion and incrustation of well screens, *Bull.* 834, Edward E. Johnson, St. Paul, Minn., 12 pp., 1955.
7. Bennison, E. W., *Ground water—its development, uses, and conservation,* Edward E. Johnson, St. Paul, Minn., 509 pp., 1947.
8. Bennison, E. W., Fundamentals of water well operation and maintenance, *Jour. Amer. Water Works Assoc.,* vol. 45, pp. 252–258, 1953.
9. Bieske, E., *Bohrbrunnen,* 5th ed., R. Oldenbourg, Munich, 359 pp., 1953.
10. Blakeley, L. E., The rehabilitation, cleaning, and sterilization of water wells, *Jour. Amer. Water Works Assoc.,* vol. 37, pp. 101–114, 1945.
11. Bowman, I., Well-drilling methods, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 257, Washington, D. C., 139 pp., 1911.
12. DeWitt, M. M., How to acidize water wells, *The American City,* vol. 62, no. 10, pp. 92–93, 1947.
13. Gordon, R. W., *Water well drilling with cable tools,* Bucyrus-Erie Co., South Milwaukee, Wis., 230 pp., 1958.
14. Johnston, C. N., Irrigation wells and well drilling, *Agric. Exp. Sta. Circ.* 404, Univ. Calif., Berkeley, 32 pp., 1951.
15. Joint Committee on Rural Sanitation, Individual water supply systems, *Publ.* 24, U. S. Public Health Service, Washington, D. C., 61 pp., 1950.
16. Kazmann, R. G., River infiltration as a source of ground water supply, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.,* vol. 113, pp. 404–424, 1948.
17. Kazmann, R. G., The utilization of induced stream infiltration and natural aquifer storage at Canton, Ohio, *Econ. Geol.,* vol. 44, pp. 514–524, 1949.
18. Klaer, F. H., Jr., Providing large industrial water supplies by induced infiltration, *Min. Eng.,* vol. 5, pp. 620–624, 1953.
19. Kleber, J. P., Well cleaning with Calgon, *Jour. Amer. Water Works Assoc.,* vol. 42, pp. 481–484, 1950.
20. McCombs, J., and A. G. Fiedler, Methods of exploring and repairing leaky artesian wells, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 596, Washington, D. C., pp. 1–32, 1928.
21. Milaeger, R. E., Development of deep wells by dynamiting, *Jour. Amer. Water Works Assoc.,* vol. 34, pp. 684–690, 1942.
22. Moss, R., Jr., Water well construction in formations characteristic of the Southwest, *Jour. Amer. Water Works Assoc.,* vol. 50, pp. 777–788, 1958.

23. Mylander, H. A., Well improvement by use of vibratory explosives, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 44, pp. 39–48, 1952.
24. Nebolsine, R., New trends in ground-water development, *Jour. New England Water Works Assoc.*, vol. 57, pp. 186–200, 1943.
25. Ongerth, H. J., Sanitary construction and protection of wells, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 34, pp. 671–677, 1942.
26. Petersen, J. S., C. Rohwer, and M. L. Albertson, Jr., Effect of well screens on flow into wells, *Proc. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 79, sep. 365, 24 pp., 1953.
27. Pillsbury, A. F., and J. E. Christiansen, Installing ground-water piezometers by jetting for drainage investigations, *Agric. Eng.*, vol. 28, pp. 409–410, 1947.
28. Plumb, C. E., and J. L. Welsh, Abstract of laws and recommendations concerning water well construction and sealing in the United States, *Water Quality Investigations Rep.* 9, Calif. Div. Water Resources, Sacramento, 391 pp., 1955.
29. Rohwer, C., Putting down and developing wells for irrigation, *U. S. Dept. Agric. Circ.* 546, Washington, D. C., 85 pp., 1940.
30. Rorabaugh, M. I., Stream-bed percolation in development of water supplies, *Assemblée Générale de Bruxelles, Assoc. Intl. d'Hydrologie Scientifique*, vol. 2, pp. 165–174, 1951.
31. Schoff, S. L., Geology and water well construction, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 42, pp. 475–478, 1950.
32. Schwalen, H. C., The stovepipe or California method of well drilling as practiced in Arizona, *Bull.* 112, Univ. Arizona Agric. Exp. Sta., Tucson, pp. 103–154, 1925.
33. Smith, L. A., Deep wells in sandstone rock, Water Works Eng., vol. 94, pp. 710–712, 1941.
34. Stone, R., Infiltration galleries, *Proc. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 80, sep. 472, 12 pp., 1954.
35. Todd, D. K., Discussion of Infiltration galleries, *Proc. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 81, sep. 647, pp. 7–9, 1955.
36. War Dept., Well drilling, *Tech. Manual* 5-297, Washington, D. C., 276 pp., 1943.
37. White, H. L., Rejuvenating wells with chlorine, *Civil Eng.*, vol. 12, pp. 263–265, 1942.

مراجع الفصل السادس

1. **Amer. Soc. Civil Engrs., Hydrology handbook, *Manual of Eng. Practice* 28, New York, 184 pp., 1949.**
2. **Anon., Vertical relief wells reduce uplift on Sardis and Fort Peck Dams, *Eng. News-Record*, vol. 139, pp. 246–250, 1947.**
3. **Barnes, B. S., The structure of discharge-recession curves, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 20, pp. 721–725, 1939.**
4. **Casagrande, A., Seepage through dams, *Jour. New England Water Works Assoc.*, vol. 51, pp. 131–172, 1937.**

5. Christiansen, J. E., Ground-water studies in relation to drainage, *Agric. Eng.*, vol. 24, pp. 339–342, 1943.
6. Clark, W. E., Forecasting the dry-weather flow of Pond Creek, Oklahoma; a progress report, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 37, pp. 442–450, 1956.
7. Creager, W. P., J. D. Justin, and J. Hinds, *Engineering for dams*, vol. 3, John Wiley and Sons, New York, pp. 655–714, 1945.
8. Cross, W. P., The relation of geology to dry-weather stream flow in Ohio, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 30, pp. 563–566, 1949.
9. Donnan, W. W., and G. B. Bradshaw, Drainage investigation methods for irrigated areas in Western United States, *U. S. Dept. Agric. Tech. Bull.* 1065, Washington, D. C., 45 pp., 1952.
10. Ferris, J. G., A quantitative method for determining ground-water characteristics for drainage design, *Agric. Eng.*, vol. 31, pp. 285–289, 1950.
11. Ferris, J. G., Cyclic fluctuations of water level as a basis for determining aquifer transmissibility, *Assemblée Générale de Bruxelles, Assoc. Intl. d'Hydrologie Scientifique*, vol. 2, pp. 148–155, 1951.
12. Fishel, V. C., Long-term trends of ground-water levels in the United States, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 37, pp. 429–435, 1956.
13. George, W. O., and F. E. Romberg, Tide-producing forces and artesian pressures, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 32, pp. 369–371, 1951.
14. Gleason, G. B., Changes in ground-water elevations of the South Coastal Basin during the past quarter-century in comparison to long-time mean precipitation and runoff, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 23, pp. 108–124, 1942.
15. Grundy, F., The ground-water depletion curve, its construction and uses, *Assemblée Générale de Bruxelles, Assoc. Intl. d'Hydrologie Scientifique*, vol. 2, pp. 213–217, 1951.
16. Heck, N. H., Relation of seismology to hydrology, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 14, pp. 34–36, 1933.
17. Hooghoudt, S. B., Tile drainage and subirrigation, *Soil Sci.*, vol. 74, pp. 35–49, 1952.
18. Jacob, C. E., Fluctuations in artesian pressure produced by passing railroad-trains as shown in a well on Long Island, New York, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 20, pp. 666–674, 1939.
19. Jacob, C. E., On the flow of water in an elastic artesian aquifer, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 21, pp. 574–586, 1940.
20. Jacob, C. E., Notes on the elasticity of the Lloyd Sand on Long Island, New York, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 22, pp. 783–787, 1941.
21. Jacob, C. E., Correlation of ground-water levels and precipitation on Long Island, New York, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 24, pp. 564–573, 1943.
22. Jacob, C. E., Correlation of ground-water levels and precipitation on Long Island, New York, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 25, pp. 928–939, 1944.
23. Jacob, C. E., Flow of ground water, in *Engineering hydraulics* (H. Rouse, ed.), John Wiley and Sons, New York, pp. 321–386, 1950.
24. Jones, W. R., Easy-to-install drain wells placed behind leaking levee, *Eng. News-Record*, vol. 146, p. 37, May 17, 1951.
25. La Rocque, G. A., Jr., Fluctuations of water-level in wells in the Los Angeles

Basin, California, during five strong earthquakes, 1933–1940, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 22, pp. 374–386, 1941.
26. Lee, C. H., The interpretation of water-levels in wells and test-holes, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 15, pp. 540–554, 1934.
27. Lewis, M. R., Flow of ground-water as applied to drainage wells, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.,* vol. 96, pp. 1194–1211, 1932.
28. Luthin, J. N. (ed.), *Drainage of agricultural lands,* Amer. Soc. Agronomy, Madison, Wis., 620 pp., 1957.
29. Mansur, C. I., and R. I. Kaufman, Control of underseepage, Mississippi River levees, St. Louis District, *Proc. Amer. Soc. Civil Engrs.,* vol. 82, no. SM1, 31 pp., 1956.
30. McGuinness, C. L., Recharge and depletion of ground-water supplies, *Proc. Amer. Soc. Civil Engrs.,* vol. 72, pp. 963–984, 1946.
31. Meinzer, O. E., Compressibility and elasticity of artesian aquifers, *Econ. Geol.,* vol. 23, pp. 263–291, 1928.
32. Meinzer, O. E., Ground water in the United States, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 836-D, Washington, D. C., pp. 157–232, 1939.
33. Meissner, R., Der Einfluss von Luftdruckschwankungen auf den Grundwasserstand, *Zeitschrift für Geophysik,* vol. 19, pp. 161–180, 1953.
34. Merriam, C. F., Ground-water records in river-flow forecasting, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 29, pp. 384–386, 1948.
35. Merriam, C. F., Evaluation of two elements affecting the characteristics of the recession curve, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 32, pp. 597–600, 1951.
36. Middlebrooks, T. A., and W. H. Jervis, Relief wells for dams and levees, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.,* vol. 112, pp. 1321–1402, 1947.
37. Netherlands State Institute for Water Supply, The effect of the yearly fluctuations in rainfall on the flow of ground water from an extended area of recharge, *Assemblée Générale d'Oslo, Assoc. Intl. d'Hydrologie Scientifique,* vol. 3, pp. 47–56, 1948.
38. Parker, G. G., and V. T. Stringfield, Effects of earthquakes, trains, tides, winds, and atmospheric pressure changes on water in the geologic formations of Southern Florida, *Econ. Geol.,* vol. 45, pp. 441–460, 1950.
39. Piper, A. M., Fluctuations of water-surface in observation-wells and at stream gaging-stations in the Mokelumne Area, California, during the earthquake of December 20, 1932, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 14, pp. 471–475, 1933.
40. Poland, J. F., and G. H. Davis, Subsidence of the land surface in the Tulare-Wasco (Delano) and Los Banos-Kettleman City Area, San Joaquin Valley, California, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 37, pp. 287–296, 1956.
41. Richardson, R. M., Tidal fluctuations of water level observed in wells in East Tennessee, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 37, pp. 461–462, 1956.
42. Riggs, H. C., A method of forecasting low flow of streams, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 34, pp. 427–434, 1953.
43. Roberts, W. J., and H. E. Romine, Effect of train loading on the water level in a deep glacial-drift well in Central Illinois, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 28, pp. 912–917, 1947.
44. Robinson, T. W., Earth-tides shown by fluctuations of water-levels in wells in New Mexico and Iowa, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 20, pp. 656–666, 1939.

45. Roe, H. B., and Q. C. Ayres, *Engineering for agricultural drainage*, McGraw-Hill, New York, 501 pp., 1954.
46. Rorabaugh, M. I., Prediction of ground-water levels on basis of rainfall and temperature correlations, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 37, pp. 436–441, 1956.
47. Rose, N. A., and W. H. Alexander, Jr., Relation of phenomenal rise of water levels to a defective gas well, Harris County, Texas, *Bull. Amer. Assoc. Pet. Geol.*, vol. 29, pp. 253–279, 1945.
48. Schilfgaarde, J. van, D. Kirkham, and R. K. Frevert, Physical and mathematical theories of tile and ditch drainage and their usefulness in design, *Research Bull.* 436, Agric. Exp. Sta., Iowa State College, Ames, pp. 667–706, 1956.
49. Snyder, F. F., A conception of runoff-phenomena, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 20, pp. 725–738, 1939.
50. Thomas, H. E., Fluctuations of ground-water levels during the earthquakes of November 10, 1938 and January 24, 1939, *Bull. Seismological Soc. Amer.*, vol. 30, pp. 93–97, 1940.
51. Todd, D. K., Ground-water flow in relation to a flooding stream, *Proc. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 81, sep. 628, 20 pp., 1955.
52. Tolman, C. F., and J. F. Poland, Ground-water, salt-water infiltration, and ground-surface recession in Santa Clara Valley, Santa Clara County, California, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 21, pp. 23–35, 1940.
53. Trousdell, K. B., and M. D. Hoover, A change in ground-water level after clearcutting of Loblolly pine in the Coastal Plain, *Jour. Forestry*, vol. 53, pp. 493–498, 1955.
54. Troxell, H. C., The diurnal fluctuation in the ground-water and flow of the Santa Ana River and its meaning, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 17, pp. 496–504, 1936.
55. Troxell, H. C., The influence of ground-water storage on the runoff in the San Bernardino and Eastern San Gabriel Mountains of Southern California, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 34, pp. 552–562, 1953.
56. Tuinzaad, H., Influence of the atmospheric pressure on the head of artesian water and phreatic water, *Assemblée Générale de Rome, Assoc. Intl. d'Hydrologie Scientifique*, vol. 2, pp. 32–37, 1954.
57. Turnbull, W. J., and C. I. Mansur, Relief well systems for dams and levees, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 119, pp. 842–878, 1954.
58. Veatch, A. C., Fluctuations of the water level in wells, with special reference to Long Island, New York, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 155 Washington, D. C., 83 pp., 1906.
59. Vorhis, R. C., Interpretation of hydrologic data resulting from earthquakes *Geologische Rundschau*, vol. 43, pp. 47–52, 1955.
60. Wenzel, L. K., Several methods of studying fluctuations of ground-water levels, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 17, pp. 400–405, 1936.
61. Werner, P. W., Notes on flow-time effects in the great artesian aquifers of the earth, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 27, pp. 687–708, 1946.
62. Werner, P. W., and D. Noren, Progressive waves in non-artesian aquifers *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 32, pp. 238–244, 1951.
63. Werner, P. W., and K. J. Sundquist, On the ground-water recession curve for large watersheds, *Assemblée Générale de Bruxelles, Assoc. Intl. d'Hydrologie Scientifique*, vol. 2, pp. 202–212, 1951.

1. Ackerman, T. V., and E. J. Lynde, Effect of storage reservoir detritus on ground water, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 36, pp. 315–322, 1944
2. Amer. Water Works Assoc., *Water quality and treatment,* 2nd ed., Amer. Water Works Assoc., New York, 451 pp., 1950.
3. Amer. Public Health Assoc., Amer. Water Works Assoc., and Federation of Sewage and Industrial Wastes Assocs., *Standard methods for the examination of water, sewage and industrial wastes,* 10th ed., Amer. Public Health Assoc., New York, 522 pp., 1955.
4. Anon., Progress report of the Committee on Quality Tolerances of Water for Industrial Uses, *Jour. New England Water Works Assoc.*, vol. 54, pp. 261–272, 1940.
5. Anon., Drinking water standards—1946, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 38, pp. 361–370, 1946.
6. Anon., The salt problem in irrigation agriculture, *U. S. Dept. Agric. Misc. Publ.* 607, Washington, D. C., 27 pp., 1946.
7. Anon., Water for irrigation use, *Chem. and Eng. News,* vol. 29, pp. 990–993. 1951.
8. ASTM Committee D-19 on Industrial Water, Manual on industrial water, *Amer. Soc. Test. Materials Spec. Tech. Publ.* 148-A, 420 pp., 1951.
9. Banks, H. O., and J. H. Lawrence, Water quality problems in California, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 34, pp. 58–66, 1953.
10. Bodman, G. B., Discussion of Sealing the lagoon at Treasure Island with salt, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.,* vol. 106, pp. 594–598, 1941.
11. Brenneke, A. M., Control of salt-water intrusion in Texas, *Jour. Amer. Water Works Assoc.,* vol. 37, pp. 579–584, 1945.
12. Calif. State Water Pollution Control Board, Water quality criteria, *Publ.* 3, Sacramento, 512 pp., 1952.
13. Calif. State Water Resources Board, Water utilization and requirements of California, *Bull.* 2, vol. 2, Sacramento, 178 pp., 1955.
14. Clarke, F. W., The data of geochemist ?, *U. S. Geological Survey Bull.* 770, Washington, D. C., 841 pp., 1924.
15. Collins, W. D., Graphic representation of water analyses, *Ind. and Eng. Chem.*, vol. 15, p. 394, 1923.
16. Collins, W. D., Temperature of water available for industrial use in the United States, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 520-F, Washington, D. C., pp. 97–104, 1925.
17. Collins, W. D., W. L. Lamar, and E. W. Lohr, The industrial utility of public water supplies in the United States, 1932, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 658, Washington, D. C., 135 pp., 1934.
18. Doneen, L. D., The quality of irrigation water and soil permeability, *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.*, vol. 13, pp. 523–526, 1948.
19. Doneen, L. D., Analyses of irrigation water, *Calif. Agric.*, vol. 4, no. 11, pp. 6, 14, 1950.
20. Doneen, L. D., Salination of soil by salts in the irrigation water, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 35, pp. 943–950, 1954.
21. Eaton, F. M., Boron in soils and irrigation waters and its effect on plants, with particular reference to the San Joaquin Valley of California, *U. S. Dept. Agric. Tech. Bull.* 448, Washington, D. C., 131 pp., 1935.

22. Fireman, M., and O. C. Magistad, Permeability of five western soils as affected by the percentage of sodium of the irrigation water, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 26, pp. 91–94, 1945.
23. Foster, M. D., Base exchange and sulfate reduction in salty ground waters along Atlantic and Gulf coasts, *Bull. Amer. Assoc. Pet. Geol.,* vol. 26, pp. 838–851, 1942.
24. Foster, M. D., Chemistry of ground water, in *Hydrology* (O. E. Meinzer, ed.), pp. 646–655, McGraw-Hill, New York, 1942.
25. George, W. O., and W. W. Hastings, Nitrate in the ground water of Texas, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 32, pp. 450–456, 1951.
26. Harris, A. E., Effect of replaceable sodium on soil permeability, *Soil Sci.,* vol. 32, pp. 435–446, 1931.
27. Hem, J. D., Geochemistry of ground water, *Econ. Geol.,* vol. 45, pp. 72–81, 1950.
28. Hill, R. A., Geochemical patterns in Coachella Valley, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 21, pp. 46–53, 1940.
29. Hill, R. A., Salts in irrigation water, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.,* vol. 107, pp. 1478–1518, 1942.
30. Huberty, M. R., Chemical composition of ground waters, *Civil Eng.,* vol. 11, pp. 494–495, 1941.
31. Kelley, W. P., Permissible composition and concentration of irrigation water, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.,* vol. 106, pp. 849–861, 1941.
32. Langelier, W. F., and H. F. Ludwig, Graphical methods for indicating the mineral character of natural waters, *Jour. Amer. Water Works Assoc.,* vol. 34, pp. 335–352, 1942.
33. Love, S. K., Cation exchange in ground water contaminated with sea water near Miami, Florida, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 25, pp. 951–955, 1944.
34. Magistad, O. C., and J. E. Christiansen, Saline soils, their nature and management, *U. S. Dept. Agric. Circ.* 707, Washington, D. C., 32 pp., 1944.
35. Menichikovsky, F., Effect of nature of exchangeable bases on soil porosity and soil-water properties in mineral soil, *Soil Sci.,* vol. 26, pp. 169–181, 1946.
36. Morse, R. R., The nature and significance of certain variations in composition of Los Angeles Basin ground waters, *Econ. Geol.,* vol. 38, pp. 475–511, 1943.
37. Palmer, C., The geochemical interpretation of water analyses, *U. S. Geological Survey Bull.* 479, Washington, D. C., 31 pp., 1911.
38. Piper, A. M., A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 25, pp. 914–928, 1944.
39. Powell, S. T., Some aspects of the requirements for the quality of water for industrial purposes, *Jour. Amer. Water Works Assoc.,* vol. 40, pp. 8–23, 1948.
40. Renick, B. C., Base exchange in ground-water by silicates as illustrated in Montana, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 520-B, Washington, D. C., pp. 53–72, 1924.
41. Revelle, R. R., Criteria for recognition of sea water in ground waters, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 22, pp. 593–597, 1941.
42. Richards, L. A. (ed.), Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, *Agric. Handbook* 60, U. S. Dept. Agric., Washington, D. C., 160 pp., 1954

43. Robaux, A., Physical and chemical properties of ground water in the arid countries, *Proc. Ankara Symposium on Arid Zone Hydrology,* UNESCO, Paris, pp. 17–28, 1953.
44. Rossum, J. R., Chemical quality of underground water supplies, *Water and Sewage Works,* vol. 95, pp. 69–71, 1948.
45. Scofield, C. S., The salinity of irrigation water, *Ann. Rep. The Smithsonian Institution,* Washington, D. C., pp. 275–287, 1935.
46. Scofield, C. S., Salt balance in irrigated areas, *Jour. Agric. Research,* vol. 61, pp. 17–39, 1940.
47. Thomas, H. E., Sanitary quality of ground-water supplies, *The Sanitarian,* vol. 11, pp. 147–151, 1949.
48. Wadleigh, C. H., and M. Fireman, Salt distribution under furrow and basin irrigated cotton and its effect on water removal, *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.,* vol. 13, pp. 527–530, 1948.
49. Wilcox, L. V., The quality of water for irrigation use, *U. S. Dept. Agric. Tech. Bull.* 962, Washington, D. C., 40 pp., 1948.
50. Wilcox, L. V., Classification and use of irrigation waters, *U. S. Dept. Agric. Circ.* 969, Washington, D. C., 19 pp., 1955.

مراجع الفصل الثامن

1. Baker, D. M., Safe-yield of ground water reservoirs, *Assemblée Générale de Bruxelles, Assoc. Intl. d'Hydrologie Scientifique,* vol. 2, pp. 160–164, 1951.
2. Baker, D. M., Yield from ground-water reservoirs, *West. Const.,* vol. 28, no. 2, pp. 74–76, 117, 1953.
3. Banks, H. O., Utilization of underground storage reservoirs, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.,* vol. 118, pp. 220–234, 1953.
4. Boke, R. L., and D. S. Stoner, The application of hydrologic techniques to ground-water problems in California's Central Valley Project, *Proc. Ankara Symposium on Arid Zone Hydrology,* UNESCO, Paris, pp. 134–139, 1953.
5. Clendenen, F. B., *A comprehensive plan for the conjunctive utilization of a surface reservoir with underground storage for basin-wide water supply development: Solano Project, California,* D. Eng. thesis, Univ. Calif., Berkeley, 160 pp., 1954.
6. Clendenen, F. B., Economic utilization of ground water and surface storage reservoirs, Paper presented before meeting of Amer. Soc. Civil Engrs., San Diego, Calif., Feb. 1955.
7. Clyde, G. D., Utilization of natural underground water storage reservoirs, *Jour. Soil and Water Conserv.,* vol. 6, pp. 15–19. 1951.
8. Conkling, H., The depletion of underground water-supplies, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 15, pp. 531–539, 1934.
9. Conkling, H., Utilization of ground-water storage in stream system development, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.,* vol. 111, pp. 275–354, 1946.
10. Dolcini, A. J., and others, The California water plan, *Bull.* 3, Calif. Dept. Water Resources, Sacramento, 246 pp., 1957.
11. Foose, R. M., Ground-water conservation and development, *Monthly Bulletin,* Penn. Dept. Internal Affairs, Harrisburg, vol. 19, no. 2, pp. 17–28, 1951.

12. Gleason, G. B., South Coastal Basin investigation—overdraft on ground water basins, *Bull.* 53, Calif. Div. Water Resources, Sacramento, 256 pp., 1947
13. Haley, J. M., and others, Santa Clara Valley investigation, *Bull.* 7, Calif. State Water Resources Board, Sacramento, 154 pp., 1955.
14. Harding, S. T., Ground water resources of Southern San Joaquin Valley, *Bull.* 11, Calif. Div. Eng. and Irrig., Sacramento, 146 pp., 1927.
15. Ingerson, I. M., The hydrology of Southern San Joaquin Valley, California, and its relation to imported water-supplies, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 22, pp. 20–45, 1941.
16. Kazmann, R. G., The role of aquifers in water supply, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 32, pp. 227–230, 1951.
17. Kazmann, R. G., "Safe yield" in ground water development, reality or illusion? *Proc. Amer. Soc. Civil Engrs.,* vol. 82, no. IR3, 12 pp., 1956.
18. Lull, H. M., and E. N. Munns, Effect of land use practices on ground water, *Jour. Soil and Water Conserv.,* vol. 5, pp. 169–179, 1950.
19. McDonald, H. R., The irrigation aspects of ground-water development, *Proc. Amer. Soc. Civil Engrs.,* vol. 81, sep. 707, 17 pp., 1955.
20. Meinzer, O. E., Quantitative methods of estimating ground-water supplies, *Bull. Geol. Soc. Amer.,* vol. 31, pp. 329–338, 1920.
21. Meinzer, O. E., Outline of methods for estimating ground-water supplies, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 638-C, Washington, D. C., pp. 99–144, 1932.
22. Meinzer, O. E., Problems of the perennial yield of artesian aquifers, *Econ. Geol.,* vol. 40, pp. 159–163, 1945.
23. Porter, N. W., Concerning conservation of underground water with suggestions for control, *Trans. Amer. Soc. Heat. Vent. Engrs.,* vol. 47, pp. 309–322, 1941.
24. Simpson, T. R., Salinas Basin investigation, *Bull.* 52, Calif. Div. Water Resources; Sacramento, 230 pp., 1946.
25. Simpson, T. R., Utilization of ground water in California, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.,* vol. 117, pp. 923–934, 1952.
26. Snyder, J. H., Ground water in California—the experiences of Antelope Valley, *Giannini Foundation Ground-Water Studies* 2, Univ. Calif., Berkeley, 171 pp., 1955.
27. Stringfield, V. T., Geologic and hydrologic factors affecting perennial yield of aquifers, *Jour. Amer. Water Works Assoc.,* vol. 43, pp. 803–816, 1951.
28. Thomas, H. E., *The conservation of ground water,* McGraw-Hill, New York, 327 pp., 1951.
29. Thomas, R. O., General aspects of planned ground-water utilization, *Proc Amer. Soc. Civil Engrs.,* vol. 81, sep. 706, 11 pp., 1955.
30. Turner, S. F., and L. C. Halpenny, Ground-water inventory in the Upper Gila Valley, New Mexico and Arizona; scope of investigation and methods used, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 22, pp. 738–744, 1941.
31. Wentworth, C. K., The problem of safe yield in insular Ghyben-Herzberg systems, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 32, pp. 739–742, 1951.
32. Williams, C. C., and S. W. Lohman, Methods used in estimating the ground-water supply in Wichita, Kansas, well-field area, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 28, pp. 120–131, 1947.

مراجع الفصل التاسع

1. Bays, C. A., Prospecting for ground-water—geophysical methods, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 42, pp. 947–956, 1950.
2. Bays, C. A., and S. H. Folk, Developments in the application of geophysics to ground-water problems, *Illinois Geological Survey Circ.* 108, Urbana, 25 pp., 1944.
3. Buhle, M. B., Earth resistivity in ground water studies in Illinois, *Min. Eng.*, vol. 5, pp. 395–399, 1953.
4. Burwell, E. B., Jr., Determination of ground-water levels by the seismic method, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 21, pp. 439–440, 1940.
5. Conwell, C. N., Application of the electrical resistivity method to delineation of areas of seepage along a canal—Wyoming Canal—Riverton Project, *Geol. Rep.* G-114, U. S. Bureau Reclamation, Denver, Colo., 10 pp., 1951.
6. Dizioglu, M. Y., Underground-water investigations by means of geophysical methods (particularly electrical) in Central Anatolia, *Proc. Ankara Symposium on Arid Zone Hydrology*, UNESCO, Paris, pp. 199–215, 1953.
7. Dobrin, M. B., *Introduction to geophysical prospecting*, McGraw-Hill, New York, 435 pp., 1952.
8. Ellis, A. J., The divining rod—a history of water witching, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 416, Washington, D. C., 59 pp., 1917.
9. Emmart, B. D., All-purpose dowsing, *Atlantic Monthly*, vol. 190, no. 1, pp. 90–92, 1952.
10. Fent, O. S., Use of geologic methods in ground-water prospecting, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 41, pp. 590–598, 1949.
11. Foster, J. W., and M. B. Buhle, An integrated geophysical and geological investigation of aquifers in glacial drift near Champaign-Urbana, Illinois, *Econ. Geol.*, vol. 46, pp. 368–397, 1951.
12. Frommurze, H. F., Scientific methods of water finding, *Proc. Geol. Soc. South Africa*, vol. 46, pp. 23–38, 1943.
13. Gish, O. H., and W. J. Rooney, Measurement of resistivity of large masses of undisturbed earth, *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, vol. 30, pp. 161–188, 1925.
14. Hallenbeck, F., Geo-electrical problems of the hydrology of West German area, *Geophysical Prospecting*, vol. 1, pp. 241–249, 1953.
15. Heiland, C. A., Prospecting for water with geophysical methods, *Trans. Amer Geophysical Union*, vol. 18, pp. 574–588, 1937.
16. Heiland, C. A., *Geophysical exploration*, Prentice-Hall, New York, 1013 pp., 1940.
17. Howe, R., H. L., H. R. Wilke, and D. E. Bloodgood, Application of air
18. Jakosky, J. J., *Exploration geophysics*, 2nd ed., Times Mirror Press, Los Angeles, 1195 pp., 1950.
19. Kelly, S. F., Geophysics in the exploration, exploitation, and conservation of water, *Mines Mag.*, vol. 39, pp. 13–22, 38, Nov. 1949.
20. La Compagnie Générale de Géophysique, Abaques de sondage électrique, *Geophysical Prospecting*, vol. 3, suppl. 3, 7 pp. + set of curves, 1955.
21. Landes, K. K., and J. T. Wilson, Ground-water exploration by earth-resistivity methods, *Papers Mich. Acad. Arts, Sci., Let.*, vol. 29, pp. 345–354, 1943.
22. Lee, F. W., Geophysical prospecting for underground waters in desert areas *Information Circ.* 6899. U. S. Bureau Mines. Washington. D. C., 27 pp. 1936.

23. Leggette, R. M., Prospecting for ground water—geologic methods, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 42, pp. 945–946, 1950.
24. Linehan, D., Seismology applied to shallow zone research, *Amer. Soc. Test. Materials Spec. Tech. Publ.* 122, pp. 156–170, 1951.
25. Linehan, D., and S. Keith, Seismic reconnaissance for ground-water development, *Jour. New England Water Works Assoc.*, vol. 63, pp. 76–95, 1949.
26. Mazloum, S., Boring and prospecting for ground-water in arid zones, *Proc. Ankara Symposium on Arid Zone Hydrology*, UNESCO, Paris, pp. 184–187, 1953.
27. Meinzer, O. E., The occurrence of ground water in the United States, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 489, Washington, D. C., 321 pp., 1923.
28. Meinzer, O. E., The value of geophysical methods in ground-water studies, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 18, pp. 386–387, 1937.
29. Mooney, H. M., and W. W. Wetzel, *The potentials about a point electrode and apparent resistivity curves for a two-, three-, and four-layered earth*, Univ. Minnesota Press, Minneapolis, 146 pp. + set of curves, 1956.
30. Paver, G. L., On the application of the electrical resistivity method of geophysical surveying to the location of underground water, with examples from the Middle East, *Proc. Geol. Soc. London*, pp. 46–51, Apr. 18, 1945.
31. Paver, G. L., Iso-resistivity mapping for the investigation of underground water supplies, *Assemblée Générale d'Oslo, Assoc. Intl. d'Hydrologie Scientifique*, vol. 3, pp. 290–295, 1948.
32. Paver, G. L., The geophysical interpretation of underground water supplies; a geological analysis of observed resistivity data, *Jour. Inst. Water Engrs.*, vol. 4, pp. 237–266, 1950.
33. Riddick, T. M., Dowsing—an unorthodox method of locating underground water supplies or an interesting facet of the human mind, *Proc. Amer. Philosophical Soc.*, vol. 96, pp. 526–534, 1952.
34. Robertshaw, J., and P. D. Brown, Geophysical methods of exploration and their application to civil engineering problems, *Proc. Inst. Civil Engrs.*, pt. 1, vol. 4, pp. 644–690, 1955.
35. Rose, N. A., Ground water and relation of geology to its occurrence in the Houston district, Texas, *Bull. Amer. Assoc. Pet. Geol.*, vol. 27, pp. 1081–1101, 1943.
36. Ryder, L. W., The case for water witching, *Jour. New England Water Works Assoc.*, vol. 63, pp. 232–237, 1949.
37. Sayre, A. N., and E. L. Stephenson, The use of resistivity-methods in the
38. Shepard, E. R., and A. E. Wood, Application of the seismic refraction method of subsurface exploration to flood-control projects, *Trans. Amer. Inst. Min. and Met. Engrs.*, vol. 138, pp. 312–325, 1940.
39. Spicer, H. C., Electrical resistivity studies of subsurface conditions near Antigo, Wisconsin, *U. S. Geological Survey Circ.* 181, Washington, D. C., 19 pp., 1952.
40. Stickel, J. F., Jr., L. E. Blakeley, and B. B. Gordon, Geophysics and water, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 44, pp. 23–35, 1952.
41. Sundberg, K., Effect of impregnating waters on electrical conductivity of soils and rocks, *Trans. Amer. Inst. Min. and Met. Engrs.*, vol. 97, pp. 367–391, 1932.
42. Swartz, J. H., Resistivity studies of some salt-water boundaries in the Hawaiian Islands, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 18, pp. 387–393, 1937.
43. Swartz, J. H., Geophysical investigations in the Hawaiian Islands, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 20, pp. 292–298, 1939.

44. Tattam, C. M., Application of electrical resistivity prospecting to ground water problems, *Colo. School of Mines Quart.*, vol. 32, no. 1, pp. 117–138, 1937.
45. Todd, D. K., Investigating ground water by applied geophysics, *Proc. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 81, sep. 625, 14 pp., 1955.
46. Volker, A., and J. Dijkstra, Détermination des salinités des eaux dans le sous-sol du Zuiderzee par prospection géophysique, *Geophysical Prospecting*, vol. 3, pp. 111–125, 1955.
47. Way, H. J. R., An analysis of the results of prospecting for water in Uganda by the resistivity method, *Trans. Inst. Min. and Met.*, vol. 51, pp. 285–310, 1942.
48. Wenner, F., A method of measuring earth-resistivity, *Bull. Bureau Standards*, vol. 12, Washington, D. C., pp. 469–478, 1916.
49. Woollard, G. P., and G. F. Hanson, Geophysical methods applied to geologic problems in Wisconsin, *Wis. Geological Survey Bull.* 78, Madison, 255 pp., 1954.
50. Workman, L. E., and M. M. Leighton, Search for ground-waters by the electrical resistivity-method, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 18, pp. 403–409, 1937.
51. Ziemke, P. C., Water witching, *Water and Sewage Works*, vol. 96, p. 136, 1949.

مراجع الفصل العاشر

1. Amer. Soc. Test. Materials, *Symposium on radioactive isotopes in soil investigations*, Philadelphia, 42 pp., 1952.
2. Anon., Interpretation handbook for resistivity logs, *Doc.* 4, Schlumberger Well Surveying Corp., Houston, Texas, 148 pp., 1951.
3. Archie, G. E., The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics, *Trans. Amer. Inst. Min. and Met. Engrs.*, vol. 146, pp. 54–62, 1942.
4. Baffa, J. J., The utilization of electrical and radioactivity methods of well logging for ground-water supply development, *Jour. New England Water Works Assoc.*, vol. 62, pp. 207–219, 1948.
5. Barnes, B. A., and P. P. Livingston, Value of the electrical log for estimating ground-water supplies and the quality of the ground water, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 28, pp. 903–911, 1947
6. Bays, C. A., New developments in ground-water exploration, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 35, pp. 911–920, 1943.
7. Bays, C. A., Prospecting for ground water—geophysical methods, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 42, pp. 947–956, 1950.
8. Bays, C. A., and S. H. Folk, Developments in the application of geophysics to ground-water problems, *Illinois Geological Survey Circ.* 108, Urbana, 25 pp., 1944.
9. Bryan, F. L., Application of electric logging to water well problems, *Water Well Jour.*, vol. 4, no. 1, pp. 3–7, 1950.
10. Dickey, P. A., Natural potentials in sedimentary rocks, *Trans. Amer. Inst. Min. and Met. Engrs.*, vol. 164, pp. 256–266, 1945.
11. Doll, H. G., The S. P. log: theoretical analysis and principles of interpretation *Trans. Amer. Inst. Min. and Met. Engrs.*, vol. 179, pp. 146–185, 1949.
12. Erickson, C. R., Vertical water velocity in deep wells, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 38, pp. 1263–1272, 1946.
13. Fiedler, A. G., The Au deep-well current meter and its use in the Roswell artesian basin, New Mexico, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 596, Washington, D. C., pp. 24–32, 1928.

14. Heiland, C. A., Prospecting for water with geophysical methods, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 18, pp. 574–588, 1937.
15. Heiland, C. A., *Geophysical exploration*, Prentice-Hall, New York, 1013 pp., 1940.
16. Jones, P. H., and T. B. Buford, Electric logging applied to ground water exploration, *Geophysics*, vol. 16, pp. 115–139, 1951.
17. Kelly, S. F., Photographing rock-walls and casings of boreholes, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 20, pp. 269–271, 1939.
18. Kent, D. F., Techniques used in mine-water problems of the east Tennessee zinc district, *U. S. Geological Survey Circ.* 71, Washington, D. C., 9 pp., 1950.
19. Kirby, M. E., Improve your work with drilling-time logs, *Johnson National Drillers Jour.*, vol. 26, no. 6, pp. 6–7, 14, 1954.
20. Livingston, P. P., and W. Lynch, Methods of locating salt-water leaks in water wells, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 796-A, Washington, D. C., 20 pp., 1937.
21. Maher, J. C., and P. H. Jones, Ground water exploration on the Natchitoches area, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 968-D, Washington, D. C., 52 pp., 1949.
22. McCardell, W. M., W. O. Winsauer, and M. Williams, Origin of the electric potential observed in wells, *Trans. Amer. Inst. Min. and Met. Engrs.*, vol. 198, pp. 41–50, 1953.
23. Mounce, W. D., and W. M. Rust, Jr., Natural potentials in well logging, *Trans. Amer. Inst. Min. and Met. Engrs.*, vol. 164, pp. 288–294, 1945.
24. Mylander, H. A., Oil-field techniques used for water-well drilling, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 45, pp. 764–772, 1953.
25. Poland, J. F., and R. B. Morrison, An electrical resistivity-apparatus for testing well-waters, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 21, pp. 35–46, 1940.
26. Ramachandar Rao, M. B., Self-potential anomalies due to subsurface water flow at Garimenapenta, Madras State, India, *Min. Eng.*, vol. 5, pp. 400–403, 1953.
27. Rose, N. A., W. N. White, and P. P. Livingston, Exploratory water-well drilling in the Houston district, Tex., *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 889-D, Washington, D. C., 25 pp., 1944.
28. Stratton, E. F., and R. D. Ford, Electric logging, in *Subsurface geologic methods* (L. W. LeRoy, ed.), 2nd ed., Colorado School of Mines, Golden, pp. 364–392, 1951.
29. Texas Agric. and Mech. College, Well logging methods conference, *Texas Eng. Exp. Sta. Bull.* 93, College Station, 171 pp., 1946.
30. Thorpe, T. W., Prospecting for ground water—test drilling, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 42, pp. 957–960, 1950.
31. Walstrom, J. E., The quantitative aspects of electric log interpretation, *Trans. Amer. Inst. Min. and Met. Engrs.*, vol. 195, pp. 47–58, 1952.

مراجع الفصل الحادي عشر

Allison, L. E., Effect of microorganisms on permeability of soil under prolonged submergence, *Soil Sci.*, vol. 63, pp. 439–450, 1947.

2. Anon., Underground channels utilized for airport drainage, *Eng. News-Record*, vol. 130, no. 14, pp. 498–499, 1943.
3. Anon., Conservation of ground water in the Louisville area, Kentucky, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 37, pp. 543–562, 1945.
4. Anon., Artificial ground-water recharge—task group report, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 48, pp. 493–498, 1956.
5. Arnold, C. E., H. E. Hedger, and A. M. Rawn, *Report upon the reclamation of water from sewage and industrial wastes in Los Angeles County, California*, Los Angeles County Flood Control District, Los Angeles, 159 pp., 1949.
6. Babcock, H. M., and E. M. Cushing, Recharge to ground water from floods in a typical desert wash, Pinal County, Arizona, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 23, pp. 49–56, 1942.
7. Banks, H. O., R. C. Richter, J. J. Coe, J. W. McPartland, and R. Kretsinger, *Artificial recharge in California*, Calif. Div. Water Resources, Sacramento, 41 pp., 1954.
8. Barksdale, H. C., and G. D Debuchananne, Artificial recharge of productive ground-water aquifers in New Jersey, *Econ. Geol.*, vol. 41, pp. 726–737, 1946.
9. Baumann, P., Ground-water movement controlled through spreading, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 117, pp. 1024–1074, 1952.
10. Baumann, P., Ground water phenomena related to basin recharge, *Proc. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 81, sep. 806, 25 pp., 1955.
11. Biemond, C., Dune water flow and replenishment in the catchment area of the Amsterdam water supply, *Jour. Inst. Water Engrs.*, vol. 11, pp. 195–213, 1957.
12. Bliss, E. S., and C. E. Johnson, Some factors involved in ground-water replenishment, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 33, pp. 547–558, 1952.
13. Brashears, M. L., Jr., Ground-water temperature on Long Island, New York, as affected by recharge of warm water, *Econ. Geol.*, vol. 36, pp. 811–828, 1941.
14. Brashears, M. L., Jr., Artificial recharge of ground water on Long Island, New York, *Econ. Geol.*, vol. 41, pp. 503–516, 1946.
15. Brashears, M. L., Jr., Recharging ground-water reservoirs with wells and basins, *Min. Eng.*, vol. 5, pp. 1029–1032, 1953.
16. Buchan, S., Artificial replenishment of aquifers, *Jour. Inst. Water Engrs.*, vol. 9, pp. 111–163, 1955.
17. Burdick, C. B., Des Moines infiltration system was developed methodically, *Water Works Eng.*, vol. 99, pp. 461–463, 534, 536, 1946.
18. Butler, R. G., G. T. Orlob, and P. H. McGauhey, Underground movement of bacterial and chemical pollutants, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 46, pp. 97–111, 1954.
19. Calif. State Water Pollution Control Board, Report on the investigation of travel of pollution, *Publ.* 11, Sacramento, 218 pp., 1954.
20. Cederstrom, D. J., Artificial recharge of a brackish water well, *The Commonwealth*, vol. 14, no. 12, Virginia State Chamber of Commerce, Richmond, pp. 31, 71–73, 1947.

21. Christiansen, J. E., and O. C. Magistad, *Report for 1944—laboratory phases of cooperative water-spreading study,* U. S. Regional Salinity Laboratory, Riverside, Calif., 74 pp., 1945.
22. Clyde, G. D., Utilization of natural underground water storage reservoirs, *Jour. Soil and Water Conserv.,* vol. 6, pp. 15–19, 1951.
23. Conkling, H., Utilization of ground-water storage in stream-system developments, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.,* vol. 111, pp. 275–354, 1946.
24. Erickson, E. T., Using runoff for ground-water recharge, *Jour. Amer. Water Works Assoc.,* vol. 41, pp. 647–649, 1949.
25. Ferris, J. G., Water spreading and recharge wells, *Proc. Indiana Water Conserv. Conf.,* Ind. Dept. Conserv., Div. Water Resources, Indianapolis, pp. 52–59, 1950.
26. Freeman, V. M., Water-spreading as practiced by the Santa Clara Water-Conservation District, Ventura County, Calif., *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 17, pp. 465–471, 1936.
27. Gorman, A. E., Water-supply practice in Germany—1945, *Jour. New England Water Works Assoc.,* vol. 60, pp. 132–152, 1946.
28. Goudey, R. F., Reclamation of treated sewage, *Jour. Amer. Water Works Assoc.,* vol. 23, pp. 230–240, 1931.
29. Greenberg, A. E., and H. B. Gotaas, Reclamation of sewage water, *Amer. Jour. Public Health,* vol. 42, pp. 401–410, 1952.
30. Guyton, W. F., Artificial recharge of glacial sand and gravel with filtered river water at Louisville, Kentucky, *Econ. Geol.,* vol. 41, pp. 644–658, 1946.
31. Hallsten, J., Wells for drains, *The Highway Magazine,* vol. 46, pp. 212–213, 1955.
32. Hunt, G. W., Description and results of operations of the Santa Clara Valley Water Conservation District's project, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 21, pp. 13–23, 1940.
33. Imhoff, K., Water supply and sewage disposal in the Ruhr Valley, *Eng. News-Record,* vol. 94, no. 3, pp. 104–106, 1925.
34. Jansa, V., *Artificial replenishment of underground water,* Intl. Water Supply Assoc., Second Cong., Paris, 105 pp., 1952.
35. Johnson, A. H., Ground-water recharge on Long Island, *Jour. Amer. Water* Works Assoc., vol. 40, pp. 1159–1166, 1948.
36. Kazmann, R. G., River infiltration as a source of ground-water supply, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.,* vol. 113, pp. 404–424, 1948.
37. Klaer, F. H., Jr., Providing large industrial water supplies by induced infiltration, *Min. Eng.,* vol. 5, pp. 620–624, 1953.
38. Lane, D. A., Surface spreading-operations by the basin-method and tests on underground spreading by means of wells, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 15, pp. 523–527, 1934.
39. Laverty, F. B., Correlating flood control and water supply, Los Angeles coastal plain, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.,* vol. 111, pp. 1127–1158, 1946.
40. Laverty, F. B., Ground-water recharge, *Jour. Amer. Water Works Assoc.,* vol. 44, pp. 677–681, 1952.
41. Laverty, F. B., Water-spreading operations in the San Gabriel Valley, *Jour. Amer. Water Works Assoc.,* vol. 46, pp. 112–122, 1954.
42. Leggette, R. M., and M. L. Brashears, Jr., Ground-water for air-conditioning on Long Island, New York, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 19, pp. 412–418, 1938.
43. Lindenbergh, P. C., Drawing water from a dune area, *Jour. Amer. Water Works Assoc.,* vol. 43, pp. 713–724, 1951.

44. MacKichan, K. A., Estimated use of water in the United States, 1955, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 49, pp. 369–391, 1957.
45. Mather, J. R., The disposal of industrial effluent by woods irrigation, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 34, pp. 227–239, 1953.
46. Meinzer, O. E., General principles of artificial ground-water recharge, *Econ. Geol.*, vol. 41, pp. 191–201, 1946.
47. Merritt, M., Jr., East Orange, N. J., conserves its well supply by water spreading, *Water Works Eng.*, vol. 106, pp. 286–289, 1953.
48. Mitchelson, A. T., and D. C. Muckel, Spreading water for storage underground, *U. S. Dept. Agric. Tech. Bull.* 578, Washington, D. C., 80 pp., 1937.
49. Muckel, D. C., Research in water spreading, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 118, pp. 209–219, 1953.
50. Rafter, G. W., Sewage irrigation, *U. S. Geological Survey Water-Supply Papers* 3 and 22, Washington, D. C., 100 and 100 pp., 1897 and 1899.
51. Richert, J. G., *On artificial underground water*, C. E. Fritze's Royal Bookstore, Stockholm, 33 pp., 1900.
52. Riedel, C. M., River water used at Dresden to increase ground supply, *Eng. News-Record*, vol. 112, no. 18, pp. 569–570, 1934.
53. Roper, R. M., Ground-water replenishment by surface water diffusion, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 31, pp. 165–179, 1939.
54. Rorabaugh, M. I., Stream-bed percolation in development of water supplies, *Assemblée Générale de Bruxelles, Assoc. Intl. d'Hydrologie Scientifique*, vol. 2, pp. 165–174, 1951.
55. Sanford, J. H., Diffusing pits for recharging water into underground formations, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 30, pp. 1755–1766, 1938.
56. Sanitary Eng. Research Lab., An investigation of sewage spreading on five California soils, *Tech. Bull.* 12, Univ. Calif., Berkeley, 53 pp., 1955.
57. Sanitary Eng. Research Lab., Studies in water reclamation, *Tech. Bull.* 13, Univ. Calif., Berkeley, 65 pp., 1955.
58. Sayre, A. N., and V. T. Stringfield, Artificial recharge of ground-water reservoirs, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 40, pp. 1152–1158, 1948.
59. Schiff, L., The effect of surface head on infiltration rates based on the performance of ring infiltrometers and ponds, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 34, pp. 257–266, 1953.
60. Schiff, L., Water spreading for storage underground, *Agric. Eng.*, vol. 35, pp. 794–800, 1954.
61. Schiff, L., The status of water spreading for ground-water replenishment, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 36, pp. 1009–1020, 1955.
62. Schiff, L., The Darcy law in the selection of water-spreading systems for ground-water recharge, *Symposia Darcy*, Publ. 41, Assoc. Intl. d'Hydrologie Scientifique, pp. 99–110, 1956.
63. Sisson, W. H., Recharge operations at Kalamazoo, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 47, pp. 914–922, 1955.
64. Sonderegger, A. L., Hydraulic phenomena and the effect of spreading of flood water in the San Bernardino Basin, Southern California, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 82, pp. 802–851, 1918.
65. Steinbruegge, G. W., L. R. Heiple, N. Rogers, and R. T. Sniegocki, *Groundwater recharge by means of wells*, Agric. Exp. Sta., Univ. Arkansas, Fayetteville, 119 pp., 1954.
66. Stone, R., and W. F. Garber, Sewage reclamation by spreading basin infiltration, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 117, pp. 1189–1217, 1952.

67. Stone, R. V., H. B. Gotaas, and V. W. Bacon, Economic and technical status of water reclaimed from sewage and industrial wastes, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 44, pp. 503–517, 1952.

68. Sundstrom, R. V., and H. W. Hood, Results of artificial recharge of the groundwater reservoir at El Paso, Texas, *Texas Board Water Engrs. Bull.* 5206, Austin, 19 pp., 1952.

69. Suter, M., High-rate recharge of ground water by infiltration, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 48, pp. 355–360, 1956.

70. Suter, M., The Pecria recharge pit: its development and results, *Proc. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 82, no. 1063, 17 pp., 1956.

71. Tibbetts, F. H., Water-conservation project in Santa Clara County, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 17, pp. 458–465, 1936.

72. Todd, D. K., Annotated bibliography on artificial recharge of ground water through 1954, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 1477, Washington, D. C., 115 pp., 1959.

73. Unklesbay, A. G., and H. H. Cooper, Jr., Artificial recharge of artesian limestone at Orlando, Florida, *Econ. Geol.*, vol. 41, pp. 293–307, 1946.

74. Whetstone, G. A., Mechanism of ground-water recharge, *Agric. Eng.*, vol. 35 pp. 646–647, 650, 1954.

75. Wise, L. L., The Richland story, pt. 2—artificially recharged wells provide city water, *Eng. News-Record*, vol. 143, no. 11, pp. 42–44, 1949.

مراجع الفصل الثاني عشر

1. Badon Ghyben, W., Nota in verband met de voorgenomen putboring nabij Amsterdam, *Tijdschrift van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs*, The Hague, p. 21, 1888–1889.

2. Banks, H. O., and R. C. Richter, Sea-water intrusion into ground-water basins bordering the California coast and inland bays, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 34, pp. 575–582, 1953.

3. Barksdale, H. C., The contamination of ground-water by salt water near Parlin, New Jersey, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 21, pp. 471–474, 1940.

4. Baumann, P., Ground-water movement controlled through spreading, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 117, pp. 1024–1074, 1952.

5. Baumann, P., Experiments with fresh-water barrier to prevent sea water intrusion, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 45, pp. 521–534, 1953.

* Actually the $Cl/(CO_3 + HCO_3)$ ratio is employed for practical purposes.

6. Baumann, P., Ground-water phenomena related to basin recharge, *Proc. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 81, sep. 806, 25 pp., 1955.
7. Beardslee, C. G., Salt-water barrier at Cooke, *West. Const. News,* vol. 17, no. 2, pp. 53–55, 1942.
8. Biemond, C., Dune water flow and replenishment in the catchment area of the Amsterdam water supply, *Jour. Inst. Water Engrs.*, vol. 11, pp. 195–213, 1957.
9. Blakely, L. E., and V. A. Endersby, Prevention of underground leakage, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 40, pp. 873–882, 1948
10. Braithwaite, F., On the infiltration of salt water into the springs of wells under London and Liverpool, *Proc. Inst. Civil Engrs.*, vol. 14, pp. 507–523, 1855.
11. Brown, J. S., A study of coastal ground water with special reference to Connecticut, *U. S. Geological Survey Water-Supply Paper* 537, Washington, D. C., 101 pp., 1925.
12. Brown, R. H., and G. G. Parker, Salt-water encroachment in limestone of Silver Bluff, Miami, Florida, *Econ. Geol.*, vol. 40, pp. 235–262, 1945.
13. Childs, E. C., The equilibrium of rain-fed ground water resting on deeper saline water; the Ghyben-Herzberg lens, *Jour. Soil Sci.*, vol. 1, pp. 173–181, 1950.
14. Harder, J. A., T. R. Simpson, L.-K. Lau, F. L. Hotes, and P. H. McGauhey, *Laboratory research on sea water intrusion into fresh ground-water sources and methods of its prevention—final report,* Sanitary Eng. Research Lab., Univ. Calif., Berkeley, 68 pp., 1953.
15. Hayami, S., On the saline disaster and variation of coastal underground water caused by land subsidence accompanying the great earthquake of December 21, 1947, *Assemblée Générale de Bruxelles, Assoc. Intl. d'Hydrologie Scientifique,* vol. 2, pp. 249–251, 1951.
16. Herzberg, B., Die Wasserversorgung einiger Nordseebäder, *Jour. Gasbeleuchtung und Wasserversorgung,* vol. 44, pp. 815–819, 842–844, Munich, 1901.
17. Hubbert, M. K., The theory of ground-water motion, *Jour. Geol.*, vol. 48, pp. 785–944, 1940.
18. Laverty, F. B., Recharging wells expected to stem sea-water intrusion, *Civil Eng.*, vol. 22, pp. 313–315, 1952.
19. Laverty, F. B., and H. A. van der Goot, Development of a fresh-water barrier in southern California for the prevention of sea water intrusion, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 47, pp. 886–908, 1955.
20. Leggette, R. M., Salt water encroachment in the Lloyd sand on Long Island, N. Y., *Water Works Eng.*, vol. 100, pp. 1076–1079, 1107–1109, 1947.
21. Liefrinck, F. A., Water supply problems in Holland, *Public Works,* vol. 61, no. 9, pp. 19–20, 65–66, 69, 1930.
22. Love, S. K., Cation-exchange in ground water contaminated with sea water near Miami, Florida, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 25, pp. 951–955, 1944.
23. Nomitsu, T., Y. Toyohara, and R. Kamimoto, On the contact surface of fresh- and salt-water near a sandy sea-shore, *Mem. College Sci.,* Kyoto Imp. Univ., Ser. A, vol. 10, no. 7, pp. 279–302, 1927.
24. Ohrt, F., Water development and salt water intrusion on Pacific Islands, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 39, pp. 979–988, 1947.
25. Parker, G. G., Salt-water encroachment in Southern Florida, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 37, pp. 526–542, 1945.

26. Pennink, J. M. K., Investigations for ground-water supplies, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 54-D, pp. 169–181, 1905.
27. Poland, J. F., Saline contamination of coastal ground water in Southern California, *Western City*, vol. 19, pp. 46, 48, 50, Oct. 1943.
28. Rader, E. M., Salt water encroachment into well water in the Miami area, *Proc. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 81, sep. 669, 11 pp., 1955.
29. Revelle, R., Criteria for recognition of sea water in ground-waters, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 22, pp. 593–597, 1941.
30. Rhodes, A. D., Puddled-clay cutoff walls stop sea-water infiltration, *Civil Eng.*, vol. 21, no. 2, pp. 21–23, 1951.
31. Riddel, J. O., Excluding salt water from island wells—a theory of the occurrence of ground water based on experience at Nassau, Bahama Islands, *Civil Eng.*, vol. 3, pp. 383–385, 1933.
32. Senio, K., On the ground water near the seashore, *Assemblée Générale de Bruxelles, Assoc. Intl. d'Hydrologie Scientifique*, vol. 2, pp. 175–177, 1951.
33. Simpson, T. R., Salinas Basin investigation, *Bull.* 52, Calif. Div. Water Resources, Sacramento, 230 pp., 1946.
34. Swartz, J. H., Resistivity-studies of some salt-water boundaries in the Hawaiian Islands, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 18, pp. 387–393, 1937.
35. Thompson, D. G., Some relations between ground-water hydrology and oceanography, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 14, pp. 30–33, 1933.
36. Todd, D. K., An abstract of literature pertaining to sea water intrusion and its control, *Tech. Bull.* 10, Sanitary Eng. Research Project, Univ. Calif., Berkeley, 74 pp., 1953.
37. Todd, D. K., Sea-water intrusion in coastal aquifers, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 34, pp. 749–754, 1953
38. Todd, D. K., Discussion of Infiltration galleries, *Proc. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 81, sep. 647, pp. 7–9, 1955.
39. Tolman, C. F., and J. F. Poland, Ground-water, salt-water infiltration, and ground-surface recession in Santa Clara Valley, Santa Clara County, California, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 21, pp. 23–35, 1940.
40. Toyohara, Y., A study on the coastal ground water at Yumigahama, Tottori, *Mem. College Sci.*, Kyoto Imp. Univ., Ser. A, vol. 18, no. 5, pp. 295–309, 1935.
41. Turner, S. F., and M. D. Foster, A study of salt-water encroachment in the Galveston area, Texas, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 15, pp. 432–435, 1934.
42. Wentworth, C. K., Storage consequences of the Ghyben-Herzberg theory, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 23, pp. 683–693, 1942.
43. Wentworth, C. K., Factors in the behavior of ground water in a Ghyben-Herzberg system, *Pacific Sci.*, vol. 1, pp. 172–184, 1947.
44. Wentworth, C. K., Growth of the Ghyben-Herzberg transition zone under a rinsing hypothesis, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 29, pp. 97–98, 1948.
45. Wentworth, C. K., The process and progress of salt-water encroachment, *Assemblée Générale de Bruxelles, Assoc. Intl. d'Hydrologie Scientifique*, vol. 2, pp. 238–248, 1951.

1. Black, A. P., Basic concepts in ground water law, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 39, pp. 989–1002, 1947.
2. Conkling, H., Administrative control of underground water: physical and legal aspects, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 102, pp. 753–837, 1937.
3. Critchlow, H. T., Policies and problems in controlling ground-water resources, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 40, pp. 775–783, 1948.
4. Harding, S. T., *Water rights for irrigation,* Stanford Univ. Press, Stanford, Calif., 176 pp., 1936.
5. Harding, S. T., United States water law, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. CT, pp. 343–356, 1953.
6. Harding, S. T., Statutory control of ground water in the western United States, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 120, pp. 480–498, 1955.
7. Hughes, W. F., Proposed ground-water conservation measures in Texas, *Texas Jour. Sci.*, vol. 2, pp. 35–45, 1945.
8. Hutchins, W. A., Selected problems in the law of water rights in the West, *U. S. Dept. Agric. Misc. Publ.* 418, Washington, D. C., 513 pp., 1942.
9. Hutchins, W. A., Trends in the statutory law of ground water in the western states, *Texas Law Review,* vol. 34, pp. 157–191, 1955.
10. Hutchins, W. A., Irrigation water rights in California, *Agric. Exp. Sta. Circ.* 452, Univ. Calif., Berkeley, 56 pp., 1956.
11. Hutchins, W. A., *The California law of water rights,* State Calif., Sacramento, 571 pp., 1956.
12. McGuinness, C. L., Legal control of use of ground water, *Water Works Eng.*, vol. 98, pp. 475, 503, 510, 512, 1945.
13. McGuinness, C. L., Water law with special reference to ground water, *U. S. Geological Survey Circ.* 117, Washington, D. C., 30 pp., 1951.
14. National Resources Planning Board, *State water law in the development of the West,* Water Resources Committee, Subcommittee on State Water Law, Washington, D. C., 138 pp., 1943.
15. President's Water Resources Policy Commission, *Water resources law,* vol. 3, Washington, D. C., 777 pp., 1950.
16. State Calif., *Water code,* Sacramento, 756 pp., 1951.
17. Thomas, H. E., Water rights in areas of ground-water mining, *U. S. Geological Survey Circ.* 347, Washington, D. C., 16 pp., 1955.
18. Thompson, D. G., and A. G. Fiedler, Some problems relating to legal control of use of ground waters, *Jour. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 30, pp. 1049–1091, 1938.
19. Tolman, C. F., and A. C. Stipp, Analysis of legal concepts of subflow and percolating waters, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 106, pp. 882–933, 1941.

مراجع الفصل الرابع عشر

1. Aravin, V. I., Experimental investigation of unsteady flow of ground water (in Russian), *Trans. Sci. Research Inst. Hydrotechnics*, USSR, vol. 30, pp. 79–88, 1941.
2. Babbitt, H. E., and D. H. Caldwell, The free surface around, and the interference between, gravity wells, *Univ. Illinois Eng. Exp. Sta. Bull.* 374, Urbana, 60 pp., 1948.
3. Baumann, P., Ground-water movement controlled through spreading, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 117, pp. 1024–1074, 1952.
4. Boreli, M., Free-surface flow toward partially penetrating wells, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 36, pp. 664–672, 1955.
5. Botset, H. G., The electrolytic model and its application to the study of recovery problems, *Trans. Amer. Inst. Min. and Metal. Engrs.*, vol. 165, pp. 15–25, 1946.
6. Boulton, N. S., The flow [illegible]n near gravity well in a uniform water-bearing medium, *Jour. Inst. Civil Engrs.*, vol. 36, pp. 534–550, 1951.
7. Casagrande, A., and W. L. Shannon, Base course drainage for airport pavements, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 117, pp. 792–820, 1952.
8. Dachler, R., *Grundwasserströmung*, J. Springer, Vienna, 141 pp., 1936.
9. d'Andrimont, R., Note préliminaire sur une nouvelle méthode pour étudier expérimentalement l'allure des nappes aquifères dans les terrains permeables en petit, *Annales Soc. Geol. Belgique*, vol. 32, Liége, pp. M115–M120, 1905.
10. d'Andrimont, R., Sur la circulation de l'eau des nappes aquifères contenues dans des terrains permeables en petit, *Annales, Soc. Geol. Belgique*, vol. 33, Liége, pp. M21–M33, 1906.
11. Dietz, D. N., Een modelproef ter bestudeering van niet-stationnaire bewegingen van het grondwater, *Water*, vol. 25, The Hague, pp. 185–188, 1941.
12. Dietz, D. N., Ervaringen met modelonderzoek in de hydrologie, *Water*, vol. 28, The Hague, pp. 17–20, 1944.
13. Edelman, J. H., *Over de berekening van grondwaterstroomingen*, Doctorate thesis, Delft Tech. Univ., Netherlands, 77 pp., 1947.
14. Felius, G. P., Recherches hydrologiques par des modèles électriques, *Assemblée Générale de Rome, Assoc. Intl. d'Hydrologie Scientifique*, vol. 2, pp. 162–169, 1954.
15. Gunther, E., Lösung von Grundwasseraufgaben mit Hilfe der Strömung in dünnen Schichten, *Wasse-kraft und Wasserwirtschaft*, vol. 35, no. 3, pp. 49–5[illegible], 1940.
16. Gunther, E., Untersuchung von Grundwasserströmungen durch analoge Strömungen zäher Flüssigkeiten, *Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens*, vol. 11, pp. 76–88, 1940.
17. Hall, H. P., An investigation of steady flow toward a gravity well, *La Houille Blanche*, vol. 10, pp. 8–35, 1955.
18. Hansen, V. E., Complicated well problems solved by the membrane analogy, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 33, pp. 912–916, 1952.
19. Hansen, V. E., Unconfined ground-water flow to multiple wells, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 118, pp. 1098–1130, 1953.

20. Harder, J. A., T. R. Simpson, L.-K. Lau, F. L. Hotes, and P. H. McGauhey, *Laboratory research on sea water intrusion into fresh ground-water sources and methods of its prevention—final report,* Sanitary Eng. Research Univ. Calif., Berkeley, 68 pp., 1953.
21. Hele-Shaw, H. S., Experiments on the nature of the surface resistance in pipes and on ships, *Trans. Inst. Naval Architects,* vol. 39, pp. 145–156, 1897.
22. Hele-Shaw, H. S., Investigation of the nature of surface resistance of water and of stream-line motion under certain experimental conditions, *Trans. Inst. Naval Architects,* vol. 40, pp. 21–46, 1898.
23. Hele-Shaw, H. S., Stream-line motion of a viscous film, *Rep. 68th Meeting British Assoc. for the Advancement Sci.,* pp. 136–142, 1899.
24. Horner, W. L., and W. A. Bruce, Electrical-model studies of secondary recovery, in *Secondary recovery of oil in the United States,* 2nd ed., Amer. Petroleum Inst., New York, pp. 195–203, 1950.
25. Hubbert, M. K., Theory of scale models as applied to the study of geologic structures, *Bull. Geol. Soc. Amer.,* vol. 48, pp. 1456–1520, 1937.
26. Hubbert, M. K., Entrapment of petroleum under hydrodynamic conditions, *Bull. Amer. Assoc. Pet. Geol.,* vol. 37, pp. 1954–2026, 1953.
27. Hurst, W., Electrical models as an aid in visualizing flow in condensate reservoirs, *The Pet. Engr.,* vol. 12, no. 10, pp. 123–124, 127, 129, 1941.
28. Kashef, A. I., Y. S. Touloukian, and R. E. Fadum, Numerical solutions of steady-state and transient flow problems—artesian and water-table wells, *Purdue Univ. Eng. Exp. Sta. Bull.* 117, Lafayette, Ind., 116 pp., 1952.
29. Kellogg, F. H., Investigation of drainage rates affecting the stability of earth dams, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.,* vol. 113, pp. 1261–1309, 1948.
30. Kirkham, D., Artificial drainage of land: streamline experiments, the artesian basin—I, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 20, pp. 677–680, 1939.
31. Kirkham, D., Pressure and streamline distribution in waterlogged land overlying an impervious layer, *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.,* vol. 5, pp. 65–68, 1940.
32. Krul, W. F. J. M., and F. A. Liefrinck, *Recent ground-water investigations in the Netherlands,* Elsevier Publishing Co., New York, 78 pp., 1946.
33. Lee, B. D., Potentiometric-model studies of fluid flow in petroleum reservoirs, *Trans. Amer. Inst. Min. and Metal. Engrs.,* vol. 174, pp. 41–66, 1948.
34. Luthin, J. N., and R. A. Gaskell, Numerical solution for tile drainage of layered soils, *Trans. Amer. Geophysical Union,* vol. 31, pp. 595–602, 1950.
35. Luthin, J. N., and V. H. Scott, Numerical analysis of flow through aquifers toward wells, *Agric. Eng.,* vol. 33, pp. 279–282, 1952.
36. Mavis, F. T., and T. P. Tsui, Percolation and capillary movement of water through sand prisms, *Bull.* 18, Univ. Iowa Studies in Eng., Iowa City, 25 pp., 1939.
37. McNown, J. S., E.-Y. Hsu, and C.-S. Yih, Applications of the relaxation technique in fluid mechanics, *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.,* vol. 120, pp. 650–686, 1955.
38. Mikhailov, G. K., On maximum gradients near drainage of earth dams (in Russian), *Trans. Acad. Sci.,* Div. Tech. Sci., USSR, no. 2, pp. 109–112, 1956.
39. Muskat, M., *The flow of homogeneous fluids through porous media,* McGraw-Hill, New York, 763 pp., 1937.
40. Muskat, M., The theory of potentiometric models, *Trans. Amer. Inst. Min. and Metal. Engrs.,* vol. 179, pp. 216–221, 1949.
41. Nomitsu, T., Y. Toyohara, and R. Kamimoto, On the contact surface of fresh-

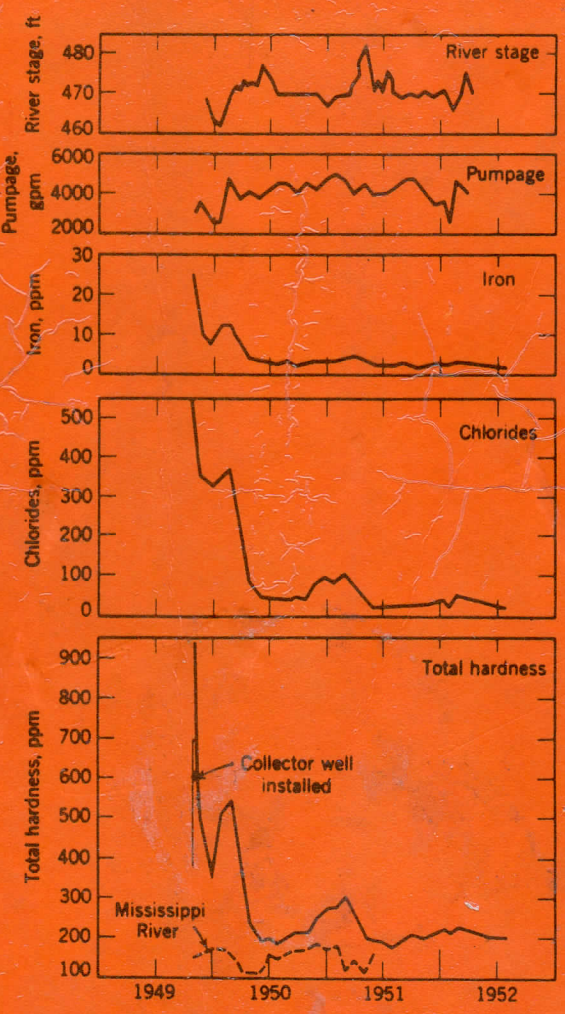
and salt-water under the ground near a sandy sea-shore, *Mem. College Sci.*, Kyoto Imperial Univ., Ser. A, vol. 10, no. 7, pp. 279–302, 1927.
42. Opsal, F. W., Analysis of two- and three-dimensional ground-water flow by electrical analogy, *The Trend in Eng. at the Univ. Washington*, vol. 7, no. 2. Seattle, pp. 15–20, 32, 1955.
43. Pennink, J. M. K., *Grondwater stroombanen*, Stadsdrukkery, Amsterdam, 151 pp., 1915.
44. Polubarinova-Kochina, P. Y., and A. R. Shkrich, On the problem of displacement of the oil-contour front (in Russian), *Trans. Acad. Sci.*, Div. Tech. Sci., USSR, no. 11, pp. 105–107, 1954.
45. Potter, W. D., and M. V. Baker, Some of the factors influencing the behavior of perched water-tables at the North Appalachian Experimental Watershed near Coshocton, Ohio, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 19, pp. 393–402, 1938.
46. Santing, G., Infiltratie en modelonderzoek, *Water*, vol. 35, no. 21, pp. 234–238; no. 22, pp. 243–246, The Hague, 1951.
47. Santing, G., Modèle pour l'étude des problèmes de l'écoulement simultane des eaux souterraines douces et saluées, *Assemblée Générale de Bruxelles, Assoc. Intl. d'Hydrologie Scientifique*, vol. 2, pp. 184–193, 1951.
48. Semchinova, M. M., Comparison of experimental data with theory for the case of unsteady flow located on a horizontal water table (in Russian), *Inghenerny Sbornik*, Inst. Mech., Acad. Sci., USSR, vol. 15, pp. 195–200, 1953.
49. Shaw, F. S., and R. V. Southwell, Relaxation methods applied to engineering problems, VII, Problems relating to the percolation of fluids through porous materials, *Proc. Royal Soc.*, Ser. A, vol. 178, pp. 1–17, 1941.
50. Southwell, R. V., *Relaxation methods in engineering science*, Oxford Univ. Press, London, 252 pp., 1940.
51. Southwell, R. V., *Relaxation methods in theoretical physics*, Oxford Univ. Press, London, 248 pp., 1946.
52. Stallman, R. W., Numerical analysis of regional water levels to define aquifer hydrology, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 37, pp. 451–460, 1956.
53. Stallman, R. W., Use of numerical methods for analyzing data on ground water levels, *Symposia Darcy*, Publ. 41, Assoc. Intl. d'Hydrologie Scientifique, pp. 227–231, 1956.
54. Stallworth, T. W., Quickly constructed model facilitates seepage studies, *Civil Eng.*, vol. 20, no. 7, pp. 45–46, 1950.
55. Todd, D. K., Unsteady flow in porous media by means of a Hele-Shaw viscous fluid model, *Trans. Amer. Geophysical Union*, vol. 35, pp. 905–916, 1954.
56. Todd, D. K., Flow in porous media studied in Hele-Shaw channel, *Civil Eng.*, vol. 25, no. 2, p. 85, 1955.
57. Todd, D. K., Ground-water flow in relation to a flooding stream, *Proc. Amer. Soc. Civil Engrs.*, vol. 81, sep. 628, 20 pp., 1955.
58. Todd, D. K., Laboratory research with ground-water models, *Symposia Darcy*, Publ. 41, Assoc. Intl. d'Hydrologie Scientifique, pp. 199–206, 1956.
59. Vreedenburgh, C. G. J., and O. Stevens, Electric investigation of underground water flow nets, *Proc. Intl. Conf. Soil Mech. and Foundation Eng.*, vol. 1, Harvard Univ., Cambridge, Mass., pp. 219–222, 1936.
60. Wolf, A., Use of electrical models in study of secondary recovery projects, *The Oil and Gas Jour.*, vol. 46, no. 50, pp. 94–98, 1948.
61. Wyckoff, R. D., and H. G. Botset, An experimental study of the motion of

particles in systems of complex potential distribution, *Physics,* vol. 5, pp. 265–275, 1934.
62. Wyckoff, R. D., H. G. Botset, and M. Muskat, Flow of liquids through porous media under the action of gravity, *Physics,* vol. 3, pp. 90–113, 1932.
63. Wyckoff, R. D., H. G. Botset, and M. Muskat, The mechanics of porous flow applied to water-flooding problems, *Trans. Amer. Inst. Min. and Metal. Engrs.,* vol. 103, pp. 219–249, 1933.
64. Wyckoff, R. D., and D. W. Reed, Electrical conduction models for the solution of water seepage problems, *Physics,* vol. 6, pp. 395–401, 1935.
65. Yang, S., *Seepage toward a well analyzed by the relaxation method,* Ph. D. thesis, Harvard Univ., Cambridge, Mass., 1949.
66. Zee, C. H., D. F. Peterson, and R. O. Bock, Flow into a well by electric and membrane analogy, *Proc. Amer. Soc. Civil Engrs.,* vol. 81, sep. 817, 21 pp., 1955.

رقم الايداع في المكتبة الوطنية ببغداد (١٦٤١) لسنة ١٩٨٢

Ground Water Hydrology

David K. Todd



Translated by

Dr. Riadh H. Al_Dabbagh

Dr. Hameed R. Rafek

طبع بمطابع مديرية دار الكتب للطباعة والنشر بجامعة الموصل