مقدمة

إن جيولوجيا المياه الأرضية أو الهيدروجيولوجيا هو علم يعني بدراسة المياه الأرضية مركزاً على علاقتها من حيث النوعية والحركة والكمية مع البيئة الجيولوجية التي تحتضنها . إلا إن العديد من الهيدروجيولوجيين اشغلوا أنفسهم بمدى واسع من الفعاليات ذات العلاقة ، مثل ، حقوق توزيعات المياه الأرضية ، تقنيات حفر الآبار المائية ، استعمالات المياه الأرضية ، إلخ ، مما أدى إلى نوع من الإرباك الذي جعل من الصعب التمييز بين علم الهيدروجيولوجيا ذاته وبين تطبيقاته في الحياة العملية ، كالمسائل القانونية ، الصحة العامة ، الهندسة ، الزراعة ، وغيرها .

وأبعد من ذلك ، فقد وسع بعض العلماء والمختصين المدى الذي تستعمل به كلمة الهيدروجيولوجيا بحيث أصبحت تغطي جميع الدراسات المتعلقة بالمياه السطحية والمياه تحت السطحية ذات العلاقة بالبيئة الجيولوجية .

لا شك في أن الدراسات المتعلقة بجيولوجيا المياه الأرضية لكي تخرج بحصيلة علمية بارزة ذات نتائج دقيقة فإنها لا بد من أن تمر عبر جهود مشتركة بين الجيولوجيين ، الهيدرولوجيين ، الزراعيين ، الكيميائيين والفيزيائيين المتخصصين بعلوم الأرض . من هنا أصبح التعاون إلزامياً بين أولئك في ظل التعقيد المتزايد لمشاكل المياه الأرضية التي تبقى تنتظر الحلول العملية من قبلهم ، مع تجنب الإعادة والتكرار لمعلومات معروفة لدى الجميع.

لقد انحصرت مواضيع هذا الكتاب المتواضع علي المياه الأرضية وطرق الكشف عنها في مختلف التكوينات الجيولوجية وحركتها داخل هذه التكوينات وعلاقتها بالظروف المناخية وأساليب التغذية إلى غير ذلك من المواضيع ذات العلاقة المباشرة بالموضوع .

ولا يفوتني أن أشير هنا إلي التأثير المباشر لعلم جيولوجيا المياه الأرضية علي الشؤون الإنسانية العامة . ففي الواقع ، فإن هذا العلم يزداد أهمية يوماً بعد آخر نتيجة الطلب المستمر المتزايد على المياه نتيجة النمو السكاني والصناعي المتزايد . إن منطقة واحدة من مناطق التجمع الصناعي يمكن أن تستهلك من مليون إلى خمسة ملايين غالون من المياه خلال وقت حياتها . وإذا ما تم حساب حصتها من المياه للاستعمال الصناعي ، الزراعي ، المنزلي ، والسياحي الترفيهي فإن الكمية قد تتجاوز العشرة ملايين غالون . وأبسط الأمثلة على الاستعمالات الواسعة للمياه هو إمكا[illegible] الاستفادة منها في نقل ملايين الأطنان من الفضلات الصناعية والبشرية التي يصعب أن لم يتعذر نقلها بوسائل أو تقنيات أخرى . وتستعمل كميات [illegible]لة من المياه لا لشيء سوى لأجل أغراض التبادل الحراري سواء كان تسخين أو تبريد . على عكس معظم المواد الأخرى يمكن أن تخزن المياه بصورة إقتصادية وبكميات تقدر ببلايين الأطنان وتبقى في خزاناتها لسنوات عديدة . لذلك ليس من الغريب أن يتزايد الطلب على المياه بمعدل يفوق معدل التزايد السكاني . ويزداد الطلب على المياه الأرضية خصوصاً بعد تزايد المساحات الزراعية المروية وتطور التكنولوجيا الزراعية التي تسمح بالتوسع في استغلال الأراضي زراعياً .

إن حوالي $\frac{4}{5}$ من المياه المستعملة لجميع الأغراض (عدا إستعمالات الطاقة الكهرومائية والملاحة) تأتي من الأنهار والبحيرات (أي من المياه السطحية) .

مع ذلك يمكن التأكيد بقوة على الأهمية الاقتصادية للمياه الأرضية . إنها مرغوبة أكثر من المياه السطحية لسبعة أسباب على الأقل :

(1) إن المياه الأرضية بعيدة عن الأحياء المرضية ولا تحتاج إلى تنقية للاستعمال المنزلي والصناعي .

(2) إن درجة حرارتها ثابتة تقريباً، وهذه تعتبر ميزة مهمة إذا ما استعملت المياه لأغراض التبادل الحراري .

(3) عدم وجود العكورة واللون بصورة عامة في المياه الأرضية .

(4) التركيب الكيميائي لها ثابت عادة .

(5) خزانات المياه الأرضية تكون عادة أكبر من خزانات المياه السطحية، لذلك لا تتأثر مصادر المياه الأرضية كثيراً بفترات الجفاف .

(6) من المستبعد تلوث المياه الأرضية بالملوثات البايوكيميائية والبابلوجية .

(7) تنتشر المياه الأرضية في مساحات واسعة تحت سطح الأرض والتي تم خزنها بصورة طبيعية عبر العديد من السنوات ، فهي متوفرة في هذه الأماكن التي لا تحتاج الاعتماد على المياه السطحية .

مع تلك المميزات هناك ثلاث مساوئ مألوفة في حقل المياه الأرضية :

(1) إن العديد من المناطق ذات تكوينات جيولوجية مكونة من صخور قليلة المسامية والنفاذية بحيث لا تكفي لإنتاج مياه كثيرة للآبار المائية .

(2) من المألوف ، لكن ليس دائماً ، تحتوي المياه الأرضية مواد صلبة ذائبة أكثر مما في المياه السطحية في نفس المنطقة .

(3) كلفة تطوير الآبار المائية تكون عادة أعلى من كلفة تطوير القنوات السطحية الصغيرة .

• • •

بعد هذا التقديم نود أن نشير إلى المواضيع التي يضمنها الكتاب . فبعد المدخل الذي ورد في الفصل الأول حول التعريف عن المياه الأرضية والعوامل المؤثرة على نقلها وحملها ونشاطها الكيميائي والفيزيائي ، تناولنا استكشاف

المياه الأرضية في فقرات الفصل الثاني متضمناً معظم الطرق والوسائل المتبعة في الكشف وإدارة العمل أثناء الاستكشاف وطرق ومعدات حفر الآبار وتسجيل البيانات . فيما ناقشنا في الفصول الثالث ، الرابع ، الخامس ، والسادس ، تواجد المياه الأرضية في الصخور النارية والمتحولة ، الصخور الرسوبية ، الرسوبيات غير المتصلة ، وفي مناطق التطرف المناخي، على التوالي .

فيما تضمن الفصل السابع حركة وجريان المياه الأرضية داخل التكوينات الجيولوجية الحاملة لها ، إضافة إلى طرق تحسين إنتاجية الآبار المائية . أما الفصل الثامن فقد تناول معدات الضخ المستعملة لضخ واستثمار المياه الأرضية. وتطرقنا في الفصل التاسع والأخير إلى التغذية غير المباشرة للمياه الأرضية في المناطق الجافة وشبه الجافة .

وأخيراً نرجو أن نكون قد وفقنا لسد ثغرة بسيطة في المكتبة العربية ضمن هذا الحقل المهم من العلوم . ونتقدم بشكرنا وتقديرنا لكل من أسهم في إنجاز هذا العمل . وندعو العلي القدير أن يوفق الجميع لما فيه خير الإنسانية إنه ولي المؤمنين .

المؤلف

الفصل الأول

المدخـــل

Introduction

1 - 1 تعريف

2 - 1 الصفات المؤثرة على نقل وحمل المياه الأرضية

3 - 1 صور وجود المياه تحت سطح الأرض (التوزيع العمودي للمياه الأرضية)

4 - 1 أنواع الحشارج الحاملة للمياه

5 - 1 النشاط الجيومورفولوچي للمياه الأرضية

obeikandl.com

obeikandl.com

الفصل الأول

المدخـــل

Introduction

1 - 1 : تعريف :

نعني بالمياه الأرضية كافة أنواع المياه الموجودة تحت سطح الأرض والمخزونة في مسامات الترب والصخور التي تشكل طبقات الأرض .

إن المياه الجوفية التقليدية التي يهتم بها الچيولوچيون والجيومورفولوچيون عند التنقيب عن خزانات الماء هي المياه الأرضية الحبيسة في الصخور القريبة من سطح الأرض والتي توجد في أعماق لا تزيد عن بضعة مئات من الأمتار عن سطح الأرض ، وتستعمل هذه المياه عادة للأغراض الزراعية والصناعية والمنزلية . ولهذه المياه أيضًا عمل جيومورفولوچي واضح وذلك من خلال تأثيرها على بعض الملامح التضاريسية لسطح الأرض .

عادة ما توجد المياه الأرضية في الصخور المسامية ذات النفاذية العالية، وتعرف هذه الصخور باسم الصخور الخازنة Reservoir Rocks ، أما التركيب العام المكون من هذه الصخور الخازنة والذي يحتوي على كمية محددة من المياه الأرضية في منطقة معينة فقد اصطلح على تسميته « مكمن الحياة الجيوفية Ground water reservoir أو الحشرج aquifer .

• • •

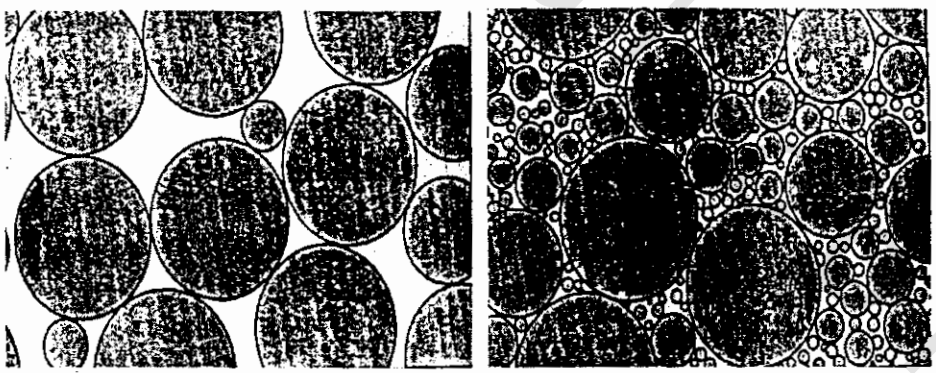
1 - 2 : الصفات المؤثرة على نقل وحمل المياه الأرضية :

لكي تكون الصخور حاملة للمياه الأرضية لا بد أن تكون مسامية ، فبعض الصخور ضئيلة المسامية مثل الكرانيت ومعظم الصخور النارية والمتحولة ، وتتراوح مسامية صخور أخرى من المعتدلة إلى العالية، من أمثلتها

الكنجلوميرات (صخور المجمعات) والرمال غير الملتحمة أي الخالية من المواد المعدنية المتبلورة التي تتبلور في مسام بعض الصخور الفتاتية والتي تسمي بالأسمنت الطبيعي ، يؤدي تبلور هذا الأسمنت الطبيعي في مسام الصخور إلى خفض مساميتها .

وعمومًا تعتبر مسامية الصخور الرسوبية الفتاتية عالية بعكس مسامية الصخور المتبلورة ، وتعتمد مسامية الصخور الفتاتية على خواص الحبيبات المكونة لها . ومن أهم هذه الخواص ما يأتي :

1 - درجة فرز Sorting الحبيبات المكونة للصخر . والفرز مفهوم علمي في علم الصخور يعني درجة تفاوت أحجام الحبيبات المكونة للصخر . فإذا كان الفرز جيداً تكون الحبيبات متقاربة في أحجامها ، أما إذا كان الفرز رديئًا فتكون الحبيبات متفاوتة في أحجامها . وتكون مسامية الصخور الرديئة الفرز أقل عادة من مسامية الصخور الجيدة الفرز (لاحظ الشكل ١ - ١) .



الشكل (1 - 1) تفاوت أحجام حبيبات الصخر (درجة الفرز Sorting)

2 - إستدارة الحبيبات المكونة للصخر Roundness وشكلها Shape ، فمن حيث الاستدارة يمكن التمييز بين حبيبات مستديرة Rounded وحبيبات زاوية Angular ، أما من حيث الشكل فيمكن التمييز بين حبيبات متساوية الأبعاد وحبيبات عمدانية وحبيبات نصلية .

3 - انتظام وترتيب الحبيبات في الصخر أو ما يعبر عنه بالاندماج Packing يؤثر هذا الترتيب مع شكل الحبيبات على مسامية الصخر ، فالصخور ذات الحبيبات المرتبة ترتيبًا مندمجًا أقل مسامية من الصخور المرتبة ترتيبًا أقل اندماجًا .

وبالاضافة إلى ما ذكر من خواص تعتمد أساسًا على الظروف المصاحبة للترسيب، فأنه توجد صفات أخرى يمكن أن يكتسبها الصخر بعد الترسيب عندما يندفن تحت تراكمات رسوبية أحدث منه ، وتسمى هذه الظروف أو العوامل بعوامل ما بعد التكوين أو العوامل البعدية التي تؤدي إلى انخفاض مسامية الصخور نتيجة لتبلور بعض المعادن في مسام الصخر على هيئة سمنت طبيعي . إلا إنه يمكن للظروف البعدية أن تؤدي إلى زيادة في المسامية عن طريق إذابة بعض المحتويات المعدنية للصخور . وقد تؤدي الحركات الأرضية أيضًا إلى زيادة المسامية نتيجة تكوين التشققات في الصخور .

على الرغم من عدم ووضح تأثيرات حجم الحبيبات المكونة لصخر فتاتي على مساميته من الناحية النظرية ، إلا إن العلماء قد وجدوا إن للصخور الدقيقة الحبيبات مسامية أكبر من مسامية الصخور الخشنة الحبيبات ، أما الصخور الرسوبية غير الفتاتية فتكون عادة شديدة التأثر بالظروف البعدية ، لذلك تتفاوت كثيراً من حيث مساميتها .

أما نفاذية Permeability الصخر فهي قابلية الصخور لامرار الماء بين

حبيباته . وتعتمد نفاذية الصخور الفتاتية على حجم الحبيبات المكونة لها ، فكلما قل حجم الحبيبات قلت النفاذية ذلك لأن حجم الفراغات الواقعة بين الحبيبات يتحكم في سهولة مرور السوائل من خلالها . كلما قل هذا الحجم أصبح مرور السوائل عسيراً . لذلك تكون نفاذية الطفل والطين قليلة جداً على الرغم من مساميتها العالية . يتصف حجم المسامات في صخور الطفل بصغره إلى الحد الذي يجعل قوة الشد السطحي Surface tension بين سطح السوائل الموجودة في الصخر وسطح الحبيبات كبيرة جداً بحيث تعرقل حركة المياه خلالها. إذ إن صغر الحبيبات وبالتالي الفجوات بينها يجعل سطح المادة الصخرية المعرضة للسائل كبير جداً إذا قورن بسطح المادة الصخرية المعرضة للسائل في صخور فتاتية ذات حبيبات خشنة كالرمل والحصى . وتلعب نسبة الفجوات المتصلة مع بعضها إلى الفجوات غير المتصلة دوراً كبيراً في تحديد نفاذية الصخور أيضًا . فإذا كانت الفجوات غير متصلة فلا يمكن للمياه المرور خلالها وبذلك يكون الصخر غير نفاذ رغم مساميته .

تتخلل مياه الأمطار الساقطة الصخور متجهة نحو الأسفل طالما كانت نفاذية تلك الصخور تسمح بذلك . وعندما تصل هذه المياه المتخللة إلى طبقة أو صخور صماء يتوقف سريانها وتتراكم المياه فوق هذه الطبقة الصماء ، عندئذ يمكن أن يتكون مكمن للمياه الأرضية . قد تجري المياه فوق الطبقة الصماء بنفس طريقة جريانها فوق سطح الأرض . لذلك يهتم الباحثون بتحديد تركيب الطبقات الصماء في التسلسل الطبقي القريب من سطح الأرض عند البحث عن المياه . ففي المناطق المناخية المعتدلة أو التي تتساقط فيها أمطار غزيرة يكون منسوب المياه الأرضية قريب من سطح الأرض، حيث يكون الوشاح الصخري الحطامي في هذه المناطق مشبعًا بالمياه المتسربة . أما في المناطق

الجافة فيكون منسوب المياه الأرضية بعيداً نسبيًا عن سطح الأرض ، حيث تتراكم المياه في جيوب دقيقة في أعماق الوشاح الصخري أو في داخل رسوبيات نهرية أو في طبقات نفاذة للصخور القريبة نسبيًا من سطح الأرض . غير أنه في كثير من الأحيان يجب البحث عن مكامن المياه في مثل تلك المناطق في أعماق لا تقل عن بضعة مئات من الأمتار .

• • •

1 - 3 : صور وجود المياه تحت سطح الأرض (التوزيع العمودى للمياه الأرضية):

تتوزع المياه الأرضية بدرجات متفاوتة عموديًا تحت سطح التربة اعتماداً على الظروف المناخية السائدة في المنطقة وطبيعة التكوينات الچيولوچية لطبقات الأرض تحت السطح . وغالبًا ما تصنف الأحزمة الحاملة للمياه حسب التوزيع العمودي لها إلى ما يأتي :

1 - حزام رطوبة التربة Belt of soil moisture يتصف هذا الحزام باستمرار رطوبته نتيجة لتبلله بمياه الأمطار . ولا يوجد هذا الحزام عادة في المناطق المناخية الجافة (الصحراوية) وشبه الجافة . ويختفي بصفة موسمية في المناطق التي تتعرض لفترات موسمية من الجفاف .

2 - حزام متوسط Intermediate Belt تزداد رطوبة التربة في هذا النطاق وخاصة في المناطق المناخية الرطبة ، أما في المناطق الصحراوية فتكون جافة تقريبًا .

3 - حزام المياه المتصاعدة نتيجة الخاصية الشعرية Capillary fringe ، ويستقر هذا الحزام فوق مستوى المياه الأرضية مباشرة .

4 - حزام التشبع الدائم Belt of zone of saturation ويمثل المنطقة التي يملأ

فيها الماء الأرضي تمامًا الفجوات في الصخور النفاذة . ويمكن تمييز نطاقين داخل هذا الحزام في المناطق التي تتسم بتغيرات موسمية واضحة في كمية المياه المتساقطة وهذان النطاقان هما :

(أ) نطاق التشبع الموسمي Zone of periodic saturation . ويلاحظ أن الآبار المحفورة في هذا النطاق والتي لا تصل إلى النطاق الأسفل تجف موسميًا .

(ب) نطاق التشبع الدائم Zone of permanent saturation . تتميز الآبار المحفورة إلى هذا النطاق بأنها مليئة بالمياه دائمًا .

تكون الأحزمة الثلاثة الأولى أعلاه نطاق التهوية Zone of aeration أو منطقة عدم التشبع ، حيث تحتوي الرسوبيات في هذا النطاق على كمية قليلة من الماء المختلط بالهواء . توجد في هذا النطاق مكامن المياه الجاثمة ، وهي المياه التي تتجمع من المياه المتشربة من سطح الأرض نحو الأسفل حيث تعترضها طبقة صماء فتبدأ هذه المياه بالتراكم فوق الطبقة الصماء مكونة بصفة استثنائية مكمن مياه أرضية حيث تسمى هذه المياه بالمياه الأرضية الجاثمة Perched water . وهي عادة قليلة ومحدودة بالمقارنة مع المياه الأرضية الموجودة في المكمن الأصلي وعادة ما يكون منسوب المياه الجاثمة أعلى من منسوب المياه الأرضية العادية .

• • •

1 - 4 : أنواع الحشارج الحاملة للمياه :

تصنف مكامن المياه الأرضية عادة إلى أربعة أنواع رئيسية هي :

1 : المياه الأرضية الحرة Unconfined or free Ground water : توجد مكامن مثل هذه المياه في المناطق ذات الأمطار الغزيرة أو التي ترد

إليها مياه مغذية من نهر أو أنهار مليئة بالمياه حينما تكون معظم الصخور والطبقات بين حزام التشبع الدائم وسطح الأرض مواد ذات نفاذية عالية . أي أن هذه المياه لا تعلوها طبقة صماء وبذلك لا تتعرض إلى ضغط هيدروستاتيكي سوى الضغط الجوى .

2 : **المياه الأرضية الجائمة** ، وتتكون في نطاق التهوية كما ذكرنا سابقًا وذات مستوى أعلى من منسوب المياه الأرضية وتجثم هذه المياه فوق الطبقات الصماء الموجودة في نطاق التهوية .

3 : **المياه الجوفية المحصورة Confined Ground water** ، تتكون في طبقات نفاذة محاطة من أسفلها ومن أعلاها بطبقات صماء غير نفاذة. لا تتغذى مثل هذه المكامن الجوفية بالمياه من سطح الأرض الذي يعلوها مباشرة كما هو الحال في مكامن المياه الأرضية الحرة ، بل تنتشر فقط في المناطق التي تنكشف فيها الطبقة النفاذة الحاملة للمياه فوق سطح الأرض في مناطق عالية بعيدة نتيجة التواءات الطبقات وظهور أجزاء منها عند سطح الأرض . وتسمى المناطق التي تغذي هذه الطبقات بالمياه بمناطق التغذية Area of recharge or catchmentarea .

ومن أمثلة هذه المناطق مكامن المياه الجوفية الموجودة في الصحراء الغربية المصرية ، تلك المكامن مكونة من طبقات « تكوين رمال النوبة Nobia sand stone » والتي تمتد مئات الكيلو مترات في جنوب الصحراء الغربية المصرية ، والتي تميل طبقاتها ميلاً خفيفًا نحو الشمال ، وأن مناطق التغذية التي تزود تلك المكامن بالمياه توجد جنوب الصحراء الكبرى في السودان في المناطق المناخية الممطرة (السفانا والغابات الاستوائية الأفريقية) . هذا هو شأن المياه الأرضية الموجودة في تتابعات الصخور القارية المتداخلة في جنوب الصحراء

الكبرى في بلاد المغرب العربي . وأغلب الظن أن الصخور القارية المتداخلة هي نفس تكوين رمال النوبة وكلاهما تتابعات من الرسوبيات الترابية الفتاتية القارية .

4 : مكامن مياه غير متجددة ومكامن متحجرة :

Non Renewable ground water reservoirs or fossil ground water

تقع هذه المكامن عادة عند أعماق كبيرة (بضع مئات من الأمتار) . تراكمت المياه المخزونة في هذه المكامن في الماضي الجيولوچي تحت ظروف مختلفة عن الظروف السائدة الآن . ويعتقد بعض الجيولوچيين أن مكامن المياه الجوفية من هذا النوع موجودة في ليبيا والأجزاء الشرقية من العربية السعودية. وعيب هذه المكامن أن مياهها غير متجددة تنفذ تمامًا مع كثرة الاستعمال بعد فترة من الزمن .

• • •

1 - 5 : النشاط الجيومورفولوچي للمياه الأرضية :

يمكن تقسيم العمل الجيومورفولوچي للمياه الأرضية إلى قسمين هما : النشاط الكيميائي ، والنشاط الميكانيكي .

1 – النشاط الكيميائي للمياه الأرضية :

وينقسم هذا النشاط أيضًا إلى ثلاثة أقسام هي الذوبان والإحلال والترسيب .

(أ) الذوبان : تذيب المياه الجوفية كثيراً من المعادن والصخور وخاصة إذا كانت حاوية على ثاني أوكسيد الكربون . تسمى المواد الذائبة في المياه الأرضية «حمولة المياه الأرضية » تستمد المياه الأرضية حمولتها إما من الرواسب السطحية كالتربة أو من الصخور التي تحت التربة وبخاصة

الصخور الجيرية والدولوميتية . يؤدي هذا الذوبان إلى هدم الصخور الكاربوناتية وتكوين مظاهر طوبوغرافية تتميز بها المناطق المسماة الكارست وهي المعالم الجيومورفولوجية التي كونتها المياه الأرضية بأذابتها للصخور الجيرية . ومن هذه المظاهر : خطوط الذوبان ، وهي خطوط متعرجة تظهر في داخل صخور الكربونات خصوصًا في المناطق الغزيرة الأمطار . وتتفاوت شدة الذوبان من منطقة إلى أخرى وفي نفس المنطقة أيضًا لعدم نقاء هذه الصخور التي تحمل معادن غير قابلة للذوبان فتذوب كربونات الكالسيوم وتبقى المواد الأخرى مما يؤدي إلى تعرج السطح المعرض للذوبان وظهور المنخفضات والمرتفعات وتتزاحم خطوط الذوبان في كثير من الأحيان مما يدل على الكمية الكبيرة الذائبة من الصخر . وقد أجرى العلماء بعض التقديرات لكميات الصخور الذائبة فوجدوا أن هذه الكميات يمكن أن تصل إلى 40% من السمك الأصلي للطبقات .

ومن المظاهر الأخرى التي يسببها الذوبان بفعل المياه الأرضية هو نشوء أحواض أو بالوعات في صخور الكربونات وبصفة خاصة عند نقاط التقاء الشقوق والفواصل حيث تتركز المياه فتوسع هذه الفواصل التي تأخذ أشكال الأقماع شيئًا فشيئًا ، ثم تتحول إلى كهوف أو مغارات تحت سطح الأرض ، وتتسع هذه الكهوف في كثير من الأحيان بحيث تؤدي إلى إنهيار سقوفها التي لم تذب بعد فتتكون بذلك الأحواض . توجد في بعض المناطق سلسلة طويلة من كهوف الذوبان تتصل مع بعضها بواسطة قنوات ذوبان وتكون بذلك نهراً حقيقيًا تحت سطح الأرض .

(ب) الاحلال : وهو ترسيب إحدى المواد الذائبة في المياه الأرضية محل المادة العضوية الناتجة عن البقايا النباتية أو الحيوانية الدفينة في الرسوبيات .

ومن أكثر الأمثلة على الاحلال شيوعًا هو تحويل بقايا الأشجار في الأزمنة الچيولوچية الغابرة إلى مادة السليكا حيث تترسب السليكا محل بقايا الأشجار ببطء فتحول هذه إلى أخشاب متحجرة على هيئة حفريات تحتفظ بالتفاصيل العضوية وتكون من مادة السليكا . ومن أمثلة هذه الحفريات تلك الموجودة شرق القاهرة في صخور عصر الأوليجوسين ، والغابات الحجرية الجيرية في منطقة عجلون من مرتفعات لبنان الغربية .

(جـ) الترسيب : ترسب المياه الأرضية بعض حمولتها عندما تصل إلى حالة الاشباع ويزداد الترسيب العوامل التالية :

1 - فقدان ثاني أوكسيد الكربون يسبب ترسيب كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم لضعف ذوبانها في الماء النقي .

2 - انخفاض درجة الحرارة يؤدي إلى ترسيب المركبات التي تزيد درجة ذوبانها في المياه الدافئة .

3 - التبخر الكامل يؤدي إلى ترسيب كل المواد الموجودة في المياه .

4 - الترسيب نتيجة التفاعل المتبادل بين محاليل تحتوي على مواد وأيونات تكون رواسب عند امتزاجها مع بعضها .

2 - النشاط الكيميائي للمياه الارضية :

يعتبر النشاط الميكانيكي للمياه الأرضية أقل أهمية من الفعل الكيميائي. وأكثر مظاهر النشاط الميكانيكي أهمية هي الانهيارات الأرضية . حيث أن المياه الجوفية تساعد على تسهيل فعل الجاذبية على الانحدارات إذ أن المواد المبللة تكتسب زاوية استقرار أقل من زاوية استقرارها وهي جافة .

يظهر هذا التأثير بشكل أكثر وضوحًا في الرسوبيات الطينية ، ويبرز مفعول المياه الأرضية في إحداث انهيارات أرضية عندما توجد بعض الطبقات المسامية كالحجر الرملي أو كتل من الركام الصخري مرتكزة على سطح منحدر ثم تتشبع بالمياه الأرضية شيئًا فشيئًا ثم تنزلق على السطح نتيجة التزايد المستمر في وزنها . ومما يساعد على حدوث الانهيارات في حالة ارتكاز هذه الصخور أصلاً على طبقة طينية ، إذ أن الطين عندما يبتل يصبح صعيداً زلقًا لا يثبت عليه شيء .

obeikandl.com

الفصل الثانى

وسائل استكشاف المياه الأرضية

2 - 1 أهمية الطرق العلمية في الكشف عن المياه الأرضية

2 - 2 الطرق الچيولوچية للاستكشاف

2 - 3 الطرق الهيدرولوچية للاستكشاف

2 - 4 الطرق السطحية الجيوفيزيائية

2 - 5 الفحص بواسطة الحفر

2 - 6 معدات الحفر واستخراج الأتربة

2 - 7 التقارير والسجلات الجيولوجية

2 - 8 التقارير الجيوفيزيائية

obeikandi.com

obeikandl.com

الفصل الثاني وسائل استكشاف المياه الأرضية

2 - 1 : أهمية الطرق العلمية في الكشف عن المياه الأرضية :

يتم تعيين مواقع معظم الآبار المائية وحفرها وفحصها من دون مساعدة استشارين هايدروجيولوچيين . وهناك العديد من الأسباب التي تدعو إلى هذا الواقع . ومنها :

1 - أن كلفة الدراسات العلمية غالبًا ما تتجاوز الفائدة المرجوة من البئر . فالآبار غير العميقة مثلاً يمكن إنشاؤها بأقل من 200 دولار . وإذا كانت الآبار غير ناجحة فإن الأنابيب التي يشكل بطانتها الداخلية يمكن أن ترفع بأية آلة رافعة وتثبت على آبار في مواقع أخرى وخلال عدة ساعات فقط ، في حين يمكن أن تبلغ كلفة الدراسة الاستشارية لتعيين موقع البئر وحفره وفحصه أكثر من ضعف كلفة مثل هذه الآبار .

2 - حتى وإن تم تبرير الدراسات الهيدروچيولوچية من الناحية الاقتصادية، فإ العديد من المناطق تفتقر إلى المختصين الذين يستطيعون الوصول بسهولة إلى الموقع . وإن متطلبات الاتصال بالجهات المتخصصة قد تستغرق وقتًا حتي تلقي الإجابة التي غالبًا ما تكون عمومية ذات فائدة عملية قليلة .

3 - في بعض المناطق يمتلك المختصون بحفر الآبار خبرة عملية عن مواقع تواجد المياه الأرضية تكفي لتعيين مواقع آبار ناجحة ولأغراض متعددة.

رغم المعوقات السابقة التي تحول دون الاستفادة من الهيدروجيولوچيين ، فأن حفر معظم الآبار العميقة وحتى بعض الآبار غير العميقة لا بد أن يكون من خلال المساعدة الاستشارية العلمية . إن المعلومات الچيولوچية يمكن أن تعطي دليل إيجابي عن أفضل المواقع لآبار المياه الجوفية ، وبذلك يتم تجنب الكلفة العالية للآبار الغير ناجحة . إن تعيين الموقع الناجح للبئر ليس إلا واحداً من عدة مشاكل تواجه أولئك الذين يرغبون باستثمار المياه الأرضية . فالنوعية الرديئة للمياه ، التلوث البيولوچي ، والانخفاض المستقبلي لمنسوب المياه الأرضية في الآبار هي من جملة تلك المشاكل ، والتي يجب أن يتعامل معها ويعالجها المختصون .

إن قرار الاستعانة بالمختصين في تعيين موقع وتصميم آبار المياه يجب أن يعتمد على الاعتبارات الصحية العامة إضافة إلى الاعتبارات الاقتصادية.

إن الحشارج (الطبقات الحاملة للمياه) المعرضة للتلوث بسهولة يجب تقييمها من قبل الأخصائيين، والمسافات العمودية والأفقية بين الآبار وبين المصادر الكامنة للتلوث لم تكن دائمًا وسائل كافية يعول عليها لضمان عدم التلوث . من جهة أخري ، بالإمكان توفير المبالغ من خلال المساعدة الاستشارية لتحديد الموقع الأفضل للآبار ذات الإنتاجية العالية ومواصفات الأعماق الكلية للآبار وحسابات أفضل معدل ممكن لضخ المياه من الآبار ، وغالبًا ما يهمل العامل الأخير .

إن الميزات الاقتصادية لاستعمال الطرق العلمية في تحديد المياه الأرضية في المناطق التي يصعب فيها تحديد الطبقات الحاملة للمياه هي أكثر بكثير مما عليه في المناطق المتميزة بوفرة المياه . وتعتمد أهمية الميزة الاقتصادية هذه على حجم الطبقة الحاملة للمياه نسبة إلى مساحة المنطقة تحت الدراسة. فالحفر

العشوائي غير الموجه يمتلك فرصة تحقيق الهدف بنسبة مساوية لنسبة المساحة التي تظهر فيها المياه إلى المساحة الكلية للمنطقة . فمثلاً ، إذا كانت المنطقة الحاملة للمياه (الحشرج) تقع تحت مساحة من الأرض مقدارها 60 أبكر ضمن مساحة كلية للمنطقة مقدارها 120 أبكر ، فإن نصف مواقع الآبار المعينة عشوائيًا سيتوقع وجودها ضمن المنطقة الحاملة للمياه (بشرط عدم الأخذ بنظر الاعتبار البعد الثالث وهو سمك الطبقة أي الارتفاع إذ تتم الحسابات على المساحة الأفقية فقط ، الطول × العرض) . وبناء على ذلك فإن الحفر غير الموجه علميًا يتطلب حفر أربعة آبار فحص للحصول على بئرين منتجين . في حين أن الهيدروچيولوچي يمكنه تحديد الطبقة الحاملة للمياه ويعطي ضمانًا بأن جميع الآبار التي تحفر في المنطقة التي يحددها ستكون منتجة . وهذا يعني أن عمل الهيدروچيولوچي قد وفر كلفة اثنين من آبار الفحص . أما إذا كانت نفس المساحة (120 أبكر) يقع تحتها حشرج حامل للمياه مساحته 12 أبكر فقط أي بنسبة ($\frac{12}{120} = \frac{1}{10}$) فإننا نحتاج إلى حفر عشرين بئراً عشوائيًا للحصول على بئرين منتجين (أي بنفس النسبة $\frac{1}{10}$) . وبهذا فأن عمل الهيدروچيولوچي في تحديد الحشرج الحامل للمياه سيوفر كلفة ثمانية عشر من آبار الفحص (وهي الآبار التي تحفر عشوائيًا للبحث عن المياه) . وإذا استطاع الهيدروچيولوچي تقليص مساحة البحث إلى 36 أبكر أي بنسبة $\frac{3}{10}$ أو $\frac{6}{20}$ فأنه سيوفر كلفة 14 من آبار الفحص .

2 - 2 : الطرق الچيولوچية للاستكشاف :

يستطيع الچيولوچي في العديد من المناطق عمل إستنتاجات أولية عن أماكن تواجد المياه الأرضية في مساحة أكثر من 100 ميل مربع في أقل من

يوم واحد . ويتم إنجاز هذا العمل بمساعدة الصور الجوية والخرائط الجيولوجية المحلية والاستكشاف الأرضي السريع . أما العمل الجيولوجي المفصل فأنه يمكن أن يتقدم بمعدل ميل مربع واحد لكل يوم بسهولة . على العكس عن ذلك إذا تم اعتماد الحفر العشوائي لتحديد مواقع المياه الأرضية فأن تقدم الاستكشاف سيكون أبطأ بكثير وغالبًا ما يكون أكثر كلفة . رغم ذلك ، إذا كانت الطبقة الحاملة للمياه الجوفية متجانسة في العمق (بعدها عن سطح الأرض) والسمك إلي حد ما وعلى مساحة أكثر من عدة مئات من الأميال المربعة فأن فائدة العمل الجيولوجي ستكون محدودة . من ناحية أخرى، إذا كانت المناطق معقدة جيولوجيًا فأن النطاقات الحاملة للمياه يمكن أن تصبح متعذرة التحديد من غير العمل الجيولوجي .

يستثمر الجيولوجي في عمله كل من علم الصخور ، علم الطبقات ، علم الجيولوجيا البنائية ، الجيومورفولوجي ، والتخصصات الجيولوجية الأخري المتعلقة بالتحري عن المياه الأرضية . ويؤخذ علم الصخور بنظر الاعتبار بالدرجة الأولى وبأهتمام أكثر . ربما يمتلك نوع معين من الصخور مسامية ونفاذية محدودتين . حيث ينحصر البحث عن المياه الأرضية في المناطق الأكثر توقعًا للمياه بدلالة المسامية والنفاذية . تعبر المسامية عن حجم المياه التي يمكن خزنها في الطبقة الصخرية ، في حين تعبر النفاذية عن مدى سهولة حركة وسحب المياه من الطبقة الحاملة لها لغرض الاستعمال. يلاحظ في الجدول (2-1) قائمة لبعض أنواع الصخور الحاملة للمياه ودرجة نفاذيتها ومساميتها مرتبة حسب تناقصها .

الجدول (2-1) خصائص حمل المياه الأرضية لبعض الصخور الشائعة

Permeability النفاذية	Porosity المسامية
Highest Permeability أعلى نفاذية	Highest porosity أعلى مسامية
Well-sorted gravel	Soft clay
Porous basalt	Silt
cavernous limestone	Tuff
well-sorted sand	Well-sorted sand
poorly-sorted sand and gravel	Poorly-sorted sand and gravel
sand stone	gravel
fractured crystalline rock	sand stone
silt and tuff	Porous basalt
clay	Cavernous limestone
dense crystalline rock	Fractured crystalline rock
	dense crystalline rock
Lowest Permeability أقل نفاذية	Lowest porosity أقل مسامية

العمل الأول الذي يجب أن يقوم به الجيولوچي هو رسم (على الخارطة) الحدود السطحية للوحدات (الطبقات) الصخرية المختلفة ويركز اهتمامه على خواص حمل المياه لتلك الطبقات (مساميتها ونفاذيتها) ، وليس بالضرورة أن تتطابق الخارطة الهيدروچيولوچية الناتجة من هذا العمل مع الخارطة الچيولوچية التقليدية . مثال ذلك ، لأجل بعض الأغراض الهيدروچيولوچية، تصنف

الطبقات الصخرية المكونة من الكرانيت granite ، الصوان gneiss ، الكابرو gabbro ، والصخور البركانية الديوريت diorite كمجموعة واحدة معًا (كطبقة واحدة) .

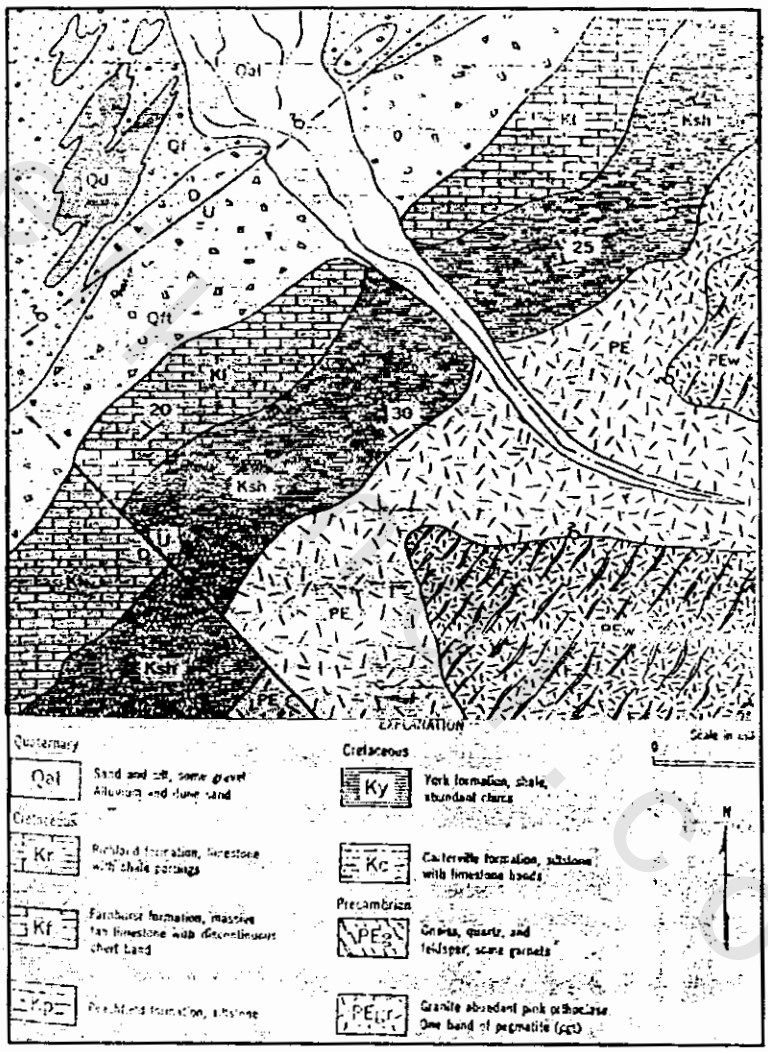
من ناحية أخري تميز الرسوبيات عن بعضها في الخرائط الهيدروجيولوجية مثل الطين ، الحصى ، والرمل والتي من الاعتيادي تصنيفها كوحدة واحدة . والشكل (2-1) يبين بعض الاختلافات في التفاصيل بين الخرائط الجيولوجية التقليدية والخرائط الهيدروجيولوجية .

يعتبر علم الطبقات وسيلة أساسية في البحث عن المياه الأرضية في مناطق الصخور الرسوبية الواسعة أو الصخور البركانية . ويعتبر موقع وسمك الطبقات الحاملة للمياه واستمرارية الطبقات التي تحصر المياه ذو أهمية خاصة .

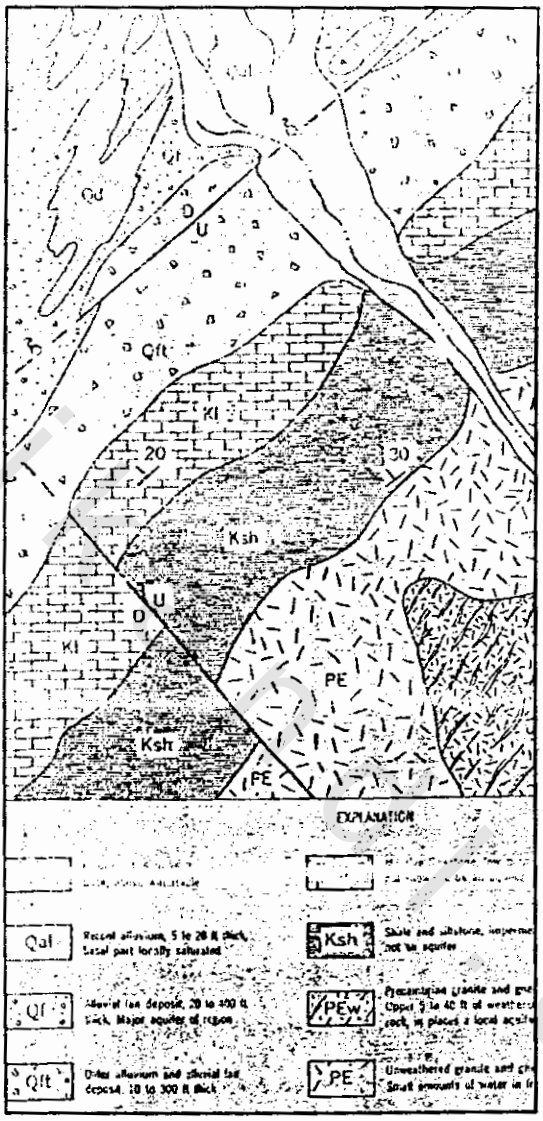
أما علم الجيولوجيا البنائية فأنه يستعمل بالاشتراك مع علم الطبقات لتحديد الطبقات الحاملة للمياه التي أزيحت نتيجة حركات الأرض . وتستعمل الدراسات الجيولوجية البنائية أيضًا في تعيين مواقع المساحات الجزئية المتواجدة ضمن صخور عالية الكثافة لكنها هشة . في الرسوبيات غير المتصلبة، يمكن أن تشكل الصدوع والشقوق حوامل مياه (حشارج خزن المياه) ، ولذلك فأن تحديد مواقعها مهم في دراسة هجرة المياه الأرضية .

لا يمكن الاستغناء عن الجيومورفولوجي في دراسة تواجد المياه الأرضية في مناطق العصر البليستوسيني المتأخر Late pleistocene ، والرسوبيات الماضية. أن وجود رسوبيات جليدية نفاذة مثل الكام Kame والأسكر Eskers وترسبات النفايات outwash يمكن تحديدها ورسمها من خلال دراسة أشكال السطح في تلك المناطق . أن الكثبان الرملية المستقرة والرسوبيات المدرجة وحافات الشواطئ القديمة والرسوبيات النفاذة الأخرى جميعها تعتبر انعكاسات

لأشكال السطح أيضًا . الشكل (2-2) يعطي مثالاً لصدع محدد بتغيرات بسيطة في طوبوغرافية المنطقة . كما تساعد طرق التصوير الچيولوچي بصورة خاصة في العديد من الدراسات الچيومورفية المتعلقة بچيولوچيا المياه الأرضية.

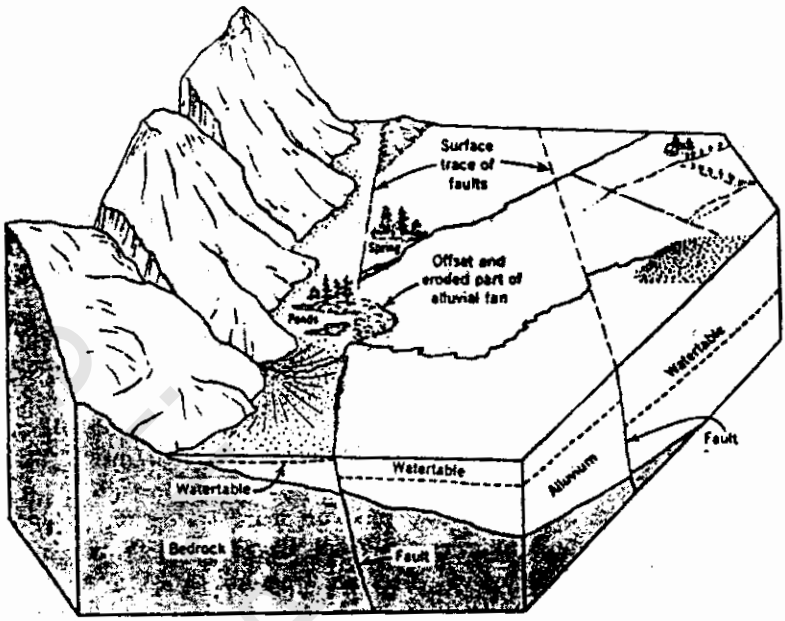


الشكل (2 – 1 – أ) خريطة هيدروچيولوچية لنفس المنطقة في الشكل (ب)



الشكل (2 – 1 – ب) خريطة جيولوجية لنفس المنطقة في الشكل (أ)

خرائط هيدرولوجية وجيولوجية لنفس المنطقة تبين الفرق في التفاصيل الذي يعكس اختلاف الغرب من رسم الخريطتين .



الشكل (2 - 2) شكل مجسم يوضح المعالم الطوبوغرافية الناتجة على امتداد الصدوع (Faults)

• • •

2 - 3 : الطرق الهيدرولوجية للاستكشاف :

تشمل الطرق الهيدرولوجية للتحري عن المياه الأرضية دراسات المياد الكلية المتيسرة لتغذية المياه الأرضية وسهولة هذه التغذية وموقع وكمية المياه الأرضية المستغلة على سطح الأرض (الكمية المستهلكة من المياه الجوفية) . تتضمن الكمية الكلية للمياه المتيسرة للتغذية كل من التساقط الطبيعي والمياه السطحية في المجاري والأنهار الكبيرة الدائمية . بصورة عامة ، تعتمد إمكانية وجود مياد أرضية بدرجة صغيرة أو كبيرة وبصورة مباشرة على التغذية

المتيسرة . لذلك ، من المتوقع مواجهة صعوبة أكبر فى تحديد مواقع المياه الأرضية فى المناطق الصحراوية مما فى المناطق المطيرة التى تمتلك نفس البيئة الجيولوجية .

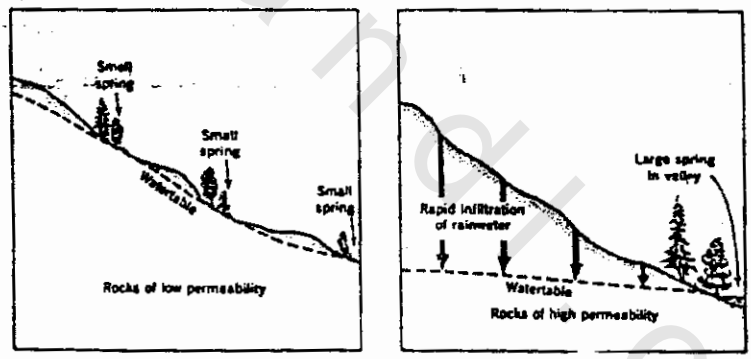
تعتبر سهولة التغذية عامل هيدرولوچي آخر ذو أهمية في عملية الكشف عن المياه الأرضية . إن السطوح الصماء كالطفل (حجر السجيل) ، الطين ، والكوارتزايت Quartzite تعمل على إيجاد جريان سطحى سريع وتمنع التغذية الكافية للمياه الجوفية . ويمكن إيجاد التغذية أو سعة التسرب لأى سطح عن طريق أنواع مختلفة من الأجهزة والمعدات .

تعطى الينابيع من حيث مواقعها وأحجامها صورة واضحة عن الظروف الهيدرولوچية في المناطق الرطبة . كما تشير الينابيع الصغيرة المنتشرة على جانبي الوادي وفي منحدرات التلال ، تشير إلى مياه أرضية ذات مستوى قريب من سطح التربة مع دورة ضحلة لهذه المياه في حشارج ذات نفاذية واطئة (الشكل 2-3) . وبالعكس تشير الينابيع الكبيرة التي تظهر في بطن الوادي (نهاية الانحدار الجبلي تقريبًا) إلى نفاذية عالية وعمق أكبر لمنسوب المياه الجوفية (الشكل 2 - 3) . كما يمكن أن يشير وجود الينابيع إلى موقع مستوى المياه الأرضية وبالتالي يعطي فكرة جيدة عن عمق البئر الذي يحفر في المنطقة المتاخمة .

يمكن تحديد منسوب المياه الأرضية بصورة تقريبية من خلال نوع النباتات النامية في المنطقة . إلا أن وجود النباتات لا يعني بأية حال توفر مياه أرضية يمكن استثمارها ، لأن النباتات تستطيع استخلاص الماء من الطين المشبع والغرين الناعم ، في حين أن هذا الماء الموجود في مثل هذه التكوينات لا يستفاد منه عند حفر الآبار لعدم تغذيته لهذه الآبار نتيجة النفاذية الواطئة جداً لمثل هذه التكوينات .

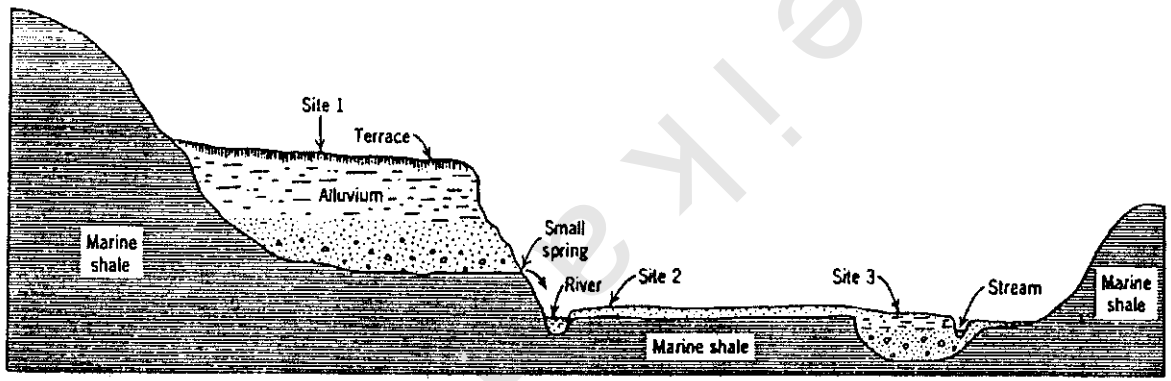
لابد من تحديد كمية المياه الأرضية المستنفذة من قبل الينابيع وعمليات التبخر والنتح في المنطقة أثناء إجراء برامج التحري والكشف عن المياه الجوفية. ويتم تحديد هذه الكمية المستنفذة من خلال قياسها تجريبيًا في الحقل أو حسابها بالطرق الرياضية المناسبة والمعروفة . إذ إن التصريف الطبيعي للمياه الأرضية يشير بوضوح إلى الكمية القصوى من المياه المتوفرة في المنطقة والقابلة للاستثمار .

يجب أن يتظافر التحري الهيدرولوجي مع التحري الجيولوجي للحصول علي أفضل النتائج ، ذلك لأن المنطقة الملائمة لتطوير استثمار المياه الجوفية من الناحية الهيدرولوجية قد لا تكون ملائمة لذلك من الناحية الجيولوجية والعكس صحيح أيضًا . الشكل (2 - 4) يبين حالة بسيطة جداً، فالمواد المكونة



الشكل (2 - 3) مقاطع تبين موقع منسوب المياه الأرضية Water table في مناطق ذات نفاذية واطئة وأخري ذات نفاذية عالية . (a) الميل الهيدروليكي الحاد الضروري لتحريك المياه في الصخور ذات النفاذية الواطئة بدفع المياه الأرضية إلى سطح التربة كينابيع صغيرة متعددة . (b) النفاذية العالية تسمح للماء بالحركة بسهولة داخل الصخور ذات النفاذية العالية في الطبقات السفلى مما يؤدي إلى ظهور ينابيع كبيرة الحجم قليلة العدد تقع في بطن الوادي .

للمنحدر (المصاطب النهرية Terrace) على الجانب الجنوبي للنهر المبين في الشكل تعتبر من الناحية الجيولوجية حشرج مثالي للمياه الجوفية ، في حين تشير الظروف الهيدرولوجية إلى وجود ينابيع صغيرة فقط عند قاعدة الطبقة الحصوية الخشنة . وهذا يوضح إن مواد المصطبة النهرية (Alluvium في الشكل) تحتوي فقط على كمية ضئيلة من المياه بسبب البزل السريع للحصى. من جهة أخرى تشير المعلومات الهيدرولوجية إلى أن النهر دائم الجريان وأن بنراً على الجانب الشمالي من النهر ستكون ملائمة لتغذية سريعة وبصورة مثالية على أساس إنها قريبة من النهر . بينما تشير الدراسة الجيولوجية ، رغم ذلك، إلى وجود طبقة من الطفل (Shale) الكثيف غير النفاذ تمتد تحت مجرى النهر وعند جوانبه . هذه الطبقة ستكون من غير شك مشبعة المياه إلا إنها ليست مسامية بالشكل الذى يسمح لكميات معتبرة من المياه للتسرب نحو البئر، وبذلك لا تسمح هذه الطبقة للمياه بتغذية البئر بالكمية الكافية من المياه .



الشكل (2 -4) مقطع يوضح ضرورة استعمال المعلومات الهيدرولوچية والمعلومات الچيولوچية معًا لدراسة المياه الأرضية . الموقع رقم 1 (Site 1) يعتبر مشجعًا لوجود نطاق ذو نفاذية عالية إلا إنه يفتقر إلى نطاق سميك مشبع بالمياه . الموقع 2 (Site 2) يقع فوق نطاق سميك مشبع بالمياه لكن الحشرج المثالي الذي يسمح بحركة المياه غير موجود 3 (Site 3) يتوفر فيه كل من الحشرج المثالي والنطاق السميك المشبع بالمياه فهو مناسب من كلا الناحيتين الهيدرولوچية والچيولوچية . فالبئر في الموقع 3 يعد ناجحًا .

2 - 4 : الطرق السطحية الجيوفيزيائية Surface geophysical methods :

من الممكن تذليل معظم المشاكل المتعلقة بتحديد مواقع الآبار الناجحة من خلال تطبيق عملية الاستكشاف السطحي الجيوفيزيائي . على العموم يعتبر العمل الجيوفيزيائي أكثر كلفة من الاستشكاف الجيولوجي والهيدرولوجي . لذا فأن قرار استعمال العمل الجيوفيزيائي في تحريات المياه الجوفية يعتمد بالدرجة الأولى على الناحية الاقتصادية . إذا كان مشروع الاستكشاف مهم للغاية من الناحية الاقتصادية وأن الهيكل الجيولوجي للمنطقة مرضيًا ومشجعًا فأن العمل الجيوفيزيائي سيكون استثماره ضروريًا .

يعتمد نجاح العمل الجيوفيزيائي على متغيرات بسيطة محددة هي : الكثافة، الايصالية الكهربائية Electrical conductivity ، القابلية المغناطيسية Magnetic susceptibility ، الجهد الكهربائي Electrical potential ، المرونة Elasticity ، والخواص الفيزيائية الأخرى المقاسة للمنطقة . إذا كان التباين في الخواص بسيطًا فأن القياسات ربما كانت غير دقيقة بما فيه الكفاية للاستفادة منها . وإذا كان التوزيع الخاص للوحدات (الطبقات) الجيولوجية معقد كثيراً ، فأنه لا يمكن تفسير النتائج جيولوجيًا . إن معظم الفشل الحاصل في تطبيق الجيوفيزياء مع الهيدرولوجيا ينشأ من إهمال هاتين الحقيقتين .

تحدد بعض الطرق الجيوفيزيائية بصورة مباشرة وجود أو عدم وجود المياه الأرضية ، في حين لا تعمل طرق أخرى بهذه الدقة . إن أكثر تطبيقات التقنية الجيوفيزيائية فائدة هي المستعملة في مجال تفسير البناء الجيولوجي والطبقات وبذلك تنتفي الحاجة إلى برنامج حفر واسع .

• • •

2 - 4 - 1 : الطرق المغناطيسية Magnetic Methods :

من المحتمل أن يكون قياس التغيرات في المجال المغناطيسي الأرضي أكثر القياسات الجيوفيزيائية سرعة في العمل وأقلها كلفة . يتم قياس شدة المجال المغناطيسي في المستويات الأفقية أو العمودية بواسطة آلة مكونة من نظام مغناطيسي مثبت في إطار خاص أو بواسطة أجهزة أكثر تطوراً تقيس تفاعل الدوران النووي مع المجال المغناطيسي الطبيعي . إن أكبر حالات الانحراف الطبيعية بصورة عامة ناجمة عن وجود المغنتايت Magnetite (أوكسيد الحديد الأسود) في المنطقة ، أما بقية المعادن الحاملة للحديد والمألوفة مثل الهماتايت Hematite ، كلاوكونايت glauconite ، هورنبلند Hornblende ، والليمونايت Limonite فإنها يمكن أن تسبب انحرافات مغناطيسية بكمية محدودة ، يمكن أن تتراوح حالات الانحراف (anomaly) من حوالي 0.001 إلى 0.1 من المجال المغناطيسي الأرضي .

رغم التباينات الطبيعية الكبيرة بين الخواص المغناطيسية للصخور فأن هناك العديد من الصعوبات المتعلقة بتفسير حالات الانحراف . إن سكك الحديد، المباني ، الجسور ، العربات ، أنابيب تغليف الآبار ، خطوط الأنابيب وغيرها من المعالم الحضارية تعمل على إخفاء حقيقة الانحراف المغناطيسي لمسافات تتراوح من 10 - 5000 قدم . لذلك تعتبر طريقة المغناميتر من الناحية العملية غير ذات فائدة في الكشف عن المعالم الجيولوجية القريبة من السطح في المدن . أكثر من ذلك تعتمد الانحرافات المغناطيسية الطبيعية عادة على مسببات عند عمق كبير أو على متغيرات محلية ليست لها علاقة بالمسائل الهيدرولوجية . مثال ذلك ، يمكن أن تولد التراكيز المحلية للمغنتايت في الرسوبيات الغرينية Alluvial deposits انحرافات مغناطيسية حادة ليست لها علاقة بنفاذية الطبقة الحاملة للمياه الجوفية أو بوجود الطبقات الصماء التي

تحصر المياه الأرضية من الأسفل . صعوبة أخرى في تفسير الانحراف المغناطيسي تتمثل في مشكلة حساب التوزيع الخاص للمادة التي تسبب ذلك الانحراف . في الحالات البسيطة من الممكن الحصول على تفسيرات كمية وذلك بعمل مسوحات مغناطيسية في ارتفاعات مختلفة فوق سطح الأرض بواسطة أجهزة قياس مغناطيسية Magnetometer محمولة في الهواء . وهذا مما يضيف كلفة كبيرة أخرى إلى العمل الجيوفيزيائي .

الشكل (2 - 5) يبين أوضاع جيولوجية بسيطة قليلة يمكن أن تكون فيها المسوحات المغناطيسية مفيدة . كذلك تكون المسوحات المغناطيسية مفيدة في إيجاد موقع أنبوب مدفون سابقًا أو في العثور على الأنابيب التي تغلف بئر متروك ومفقود المكان . إن الآلات الشائعة الاستعمال في العثور على أنابيب بطانة الآبار المتروكة وللعثور على المعادن بصورة عامة تستعمل الذبذبات الكهرومغناطيسية بترددات تتراوح بين 500 إلى 2000 دورة في الثانية . حيث تعمل الأجسام المعدنية على تشويه المجال الكهرومغناطيسي ، ويمكن قياس هذا التشويه من خلال مستقبل receiver يوضع على مسافة قصيرة من مركز المجال المغناطيسي .

• • •

2 - 4 - 2 : طرق الجاذبية Gravity Methods :

استعملت دراسات التغيرات الطبيعية في قوة الجاذبية بصورة واسعة في عمليات استكشاف النفط وفي الدراسات النظرية المتعلقة ببناء الأرض وعمومًا تعتبر مسوحات الجاذبية سريعة ورخيصة نسبيًا ، على شرط أن تكون ارتفاعات محطات الجاذبية المشمولة بالمسح قد تم تحديدها مسبقًا . تقسم الآلات المستخدمة في قياس تغيرات الجاذبية بصورة عامة إلى ثلاثة أنواع

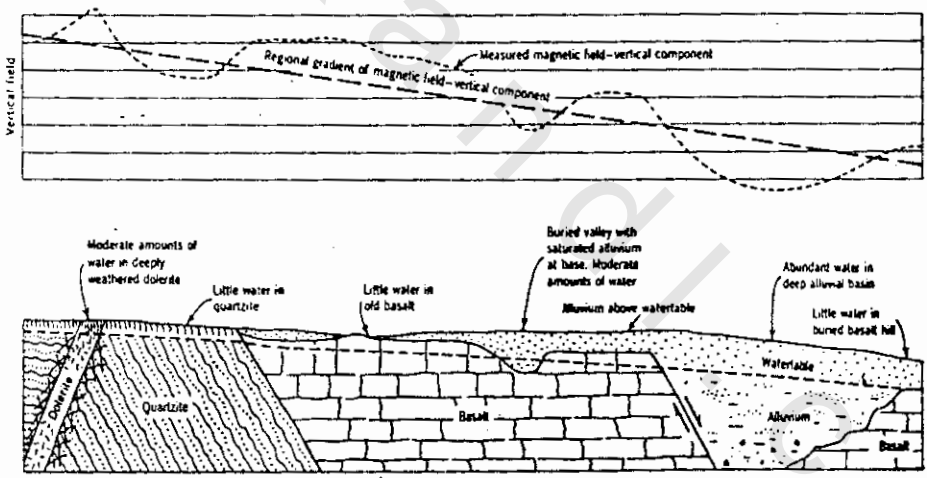
رئيسيه : البندول Pendulum ، الكرافيميتر Gravimeter ، والميزان الالتوائي Torsion balance

يوضع عدد من البندولات على مسافات بينية ثابتة بحيث تكون الاختلافات في فترة الدورة للبندول Period معتمدة على الاختلافات في الجاذبية ، أي أن التغير في الفترة يتناسب مع التغير في الجاذبية . تستخدم معظم البندولات الحديثة تردد اهتزازي سريع . وتتم مقارنة هذا الاهتزاز مع إهتزازات معلومة التردد للحصول على دقة أكثر من 10^{-6} من مجال الجذب الأرضي . أما الكرافيميتر فأنه يقيس التأثيرات المباشرة لسحب الجاذبية على كتلة معينة معلقة في نابض حساس . وبذلك تعتمد التغيرات في طول النابض مباشرة على شدة مجال الجاذبية العمودية . أي أن طول النابض يتناسب طرديًا مع شدة الجاذبية العمودية . تستخدم الطرق البصرية (Optical) أو الكهربائية لتضخيم حركة النابض بحيث يمكن الحصول على دقة حوالي 10^{-8} من مجال الجاذبية الأرضية . أما الميزان الالتوائي فأنه يقيس فرق الجهد gradient الناجم عن فرق الجاذبية ولا يقيس مقدار الجاذبية مباشرة كما في الكرافيميتر . يتكون الميزان الالتوائي من كتلتين صغيرتين مثبتتين في نهايتي قضيب أفقي ذي طول ثابت . هذا القضيب معلق من خلال شعيرة أو مؤشر مصنوع من الكوارتز بحيث تتعرض الشعيرة للّي Torsion عندما لا تتوازن قوة الجاذبية على الكتلتين .

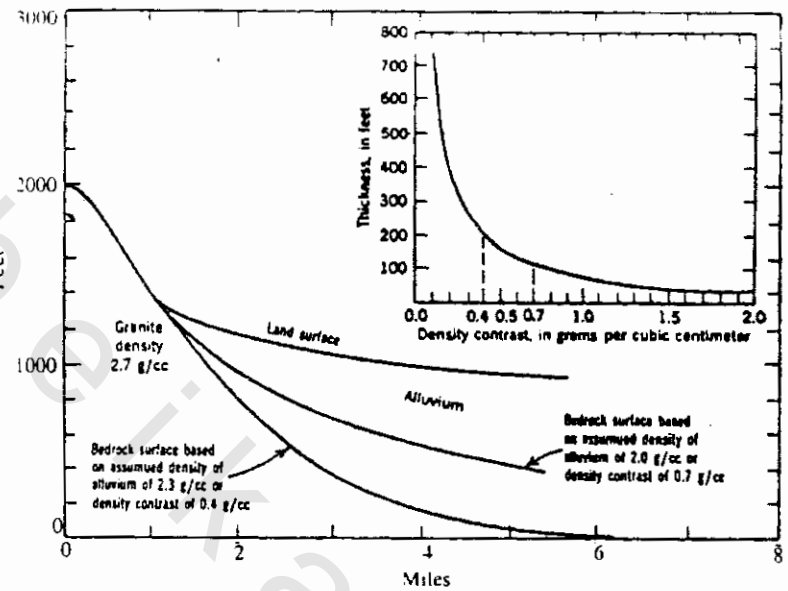
يعتمد التفسير الأفضل لتغيرات الجاذبية على عدد من التصحيحات في الارتفاع ، خطوط العرض ، الطوبوغرافية ، والجيولوجيا المحلية وعلى الافتراضات الجيولوجية المعقولة المتعلقة بانحرافات الجاذبية الباقية بعد التصحيح . من الناحية النظرية ، يوجد عدد من التفسيرات المحددة الممكنة . إذا وضعت الافتراضات اعتماداً على تغيرات كثافة الصخور والظروف

الجيولوجية الأصلية ، فأن وجود معالم محلية مثل الصدوع ، الطيات أو الثنيات Folds يمكن أن يستدل عليه بهذه الطرق . تحت الظروف المثالية يمكن الحصول على نتائج كمية دقيقة بصورة معتدلة أمثال أعماق الرسوبيات الغرينية (لاحظ الشكل 2-6) .

أكبر نقطة ضعف في التطبيقات العملية لطريقة الجاذبية تتمثل في حقيقة أن التغيرات الجيولوجية الصغيرة يصعب تحديدها أو اكتشافها . لذلك تعتبر هذه الطريقة ذات استعمال قليل في معظم المسائل التفصيلية للتنبؤ الهيدروجيولوجي ، رغم أن المسوحات المتعلقة بطريقة الجاذبية قد استعملت بنجاح في كشف الوديان الكبيرة المدفونة .



الشكل (2 -5) مقطع جانبي يبين كيفية استخدام المركبة العمودية للمجال المغناطيسي لمساعدة الهيدروجيولوجي في تحديد مواقع الحفر . تعتمد الطريقة المغناطيسية ، كغيرها من الطرق الجيوفيزيائية ، وبدرجة كبيرة على الفهم المسبق للتوزيع المحلي لأنواع الصخور المختلفة .



الشكل (2 -6) مقطع بياني يوضح تأثير نقص الكثافة المفترض على تفسير ملامسة طبقة تحتية غرينية ، الرسم البياني الداخلي (المصغر) يوضح العلاقة بين نقص الكثافة وبين سمك طبقة ذات مدى أفقي معين اللازمة لإنتاج انحراف مغناطيسي مقداره 1 ملي كال (1 milligal) .

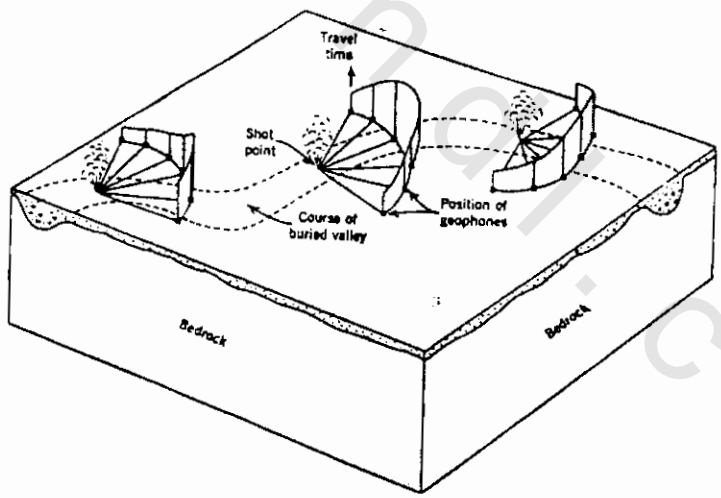
(1 ملي كال هو تعجيل مقداره 10^{-3} سم / ثا^2 أو بصورة تقريبية واحد بالمليون من التعجيل الناتج عن الجاذبية الأرضية)

2 - 4 - 3 : الطرق الزلزالية Seismic Methods :

إن أكثر الطرق دقة وفائدة هي الطرق الزلزالية ، وعلي عكس الطرق المغناطيسية وطرق الجاذبية ، لا تقيس الطرق الزلزالية مجال قوة طبيعية بل تقيس رد فعل الأجسام الجيولوجية إتجاه اهتزازات مستحثة إصطناعيًا . تحدد الاهتزازات هذه عند مسافات واتجاهات مختلفة من مصدر الطاقة بواسطة عدد

كبير من السيزموميترات Seismometers الصغيرة والتي شاع تسميتها بالجيوفون geophones أو الكاشفات detectors ، تسجل الاهتزازات على ورق فوتوغرافي أو على شريط مغناطيسي .

يعتمد ترتيب الكاشفات على الغرض من العمل . يلاحظ في الشكل (2-7) ترتيب مثالي في تحري سريع نسبيًا لمجرى نهري مدفون حيث يظهر الترتيب على شكل مروحي (Fan-Like) تنتشر فيه الكاشفات على مسافات متساوية عن نقطة التفجير (Explosion point) . المواد الهشة المفككة (مثل الحصى) سوف تنقل موجات مرنة بسرعة أبطأ بكثير مما تفعله الصخور المتبلورة المحيطة بها . أما اتجاه المجرى فسوف يتبين من خلال اتجاه وقت المرور البطيء لموجة الطاقة . حيث يتم بهذه الطريقة تحديد إتجاه وعرض النهر ، ولكن لا يتم تحديد عمق الطبقة الرسوبية (الحصى مثلاً) .



الشكل (2 -7) شكل مجسم يبين استعمال طريقة الرمي المروحي Fan-shoothing للاستكشاف الزلزالي . تعتبر الطريقة جيدة في العثور على المجاري للقنوات والأنهار المدفونة بالرسوبيات الغرينية المارة فوق صخور تحتية .

هناك طريقة أخرى تسمى الطريقة الانكسارية Refraction Method وبهذه الطريقة ترتب الكاشفات في خط مستقيم واحد عن نقطه التفجير (لاحظ الشكل 2 - 8) . حيث تتقدم الموجات المشعة من نقطة التفجير بجبهات كروية إذا كانت المادة التي تمر خلالها هذه الموجات متجانسة ومتوحدة الخصائص في جميع الاتجاهات . أما إذا وجدت تغيرات في المادة الطبيعية (المكونة لطبقات التربة) والتي تمر خلالها الموجات فأنها (أي الموجات) ستنكسر بموجب العلاقة الآتية :

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}$$

حيث :

i = زاوية السقوط

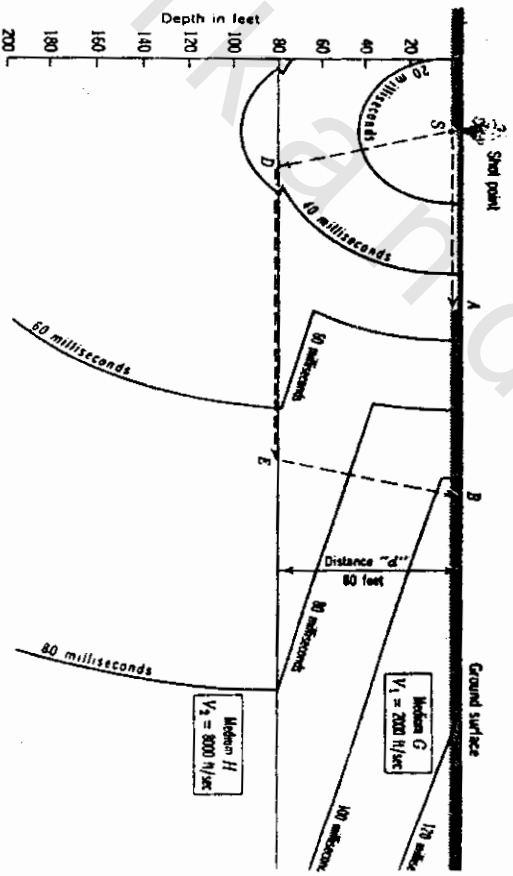
r = زاوية الانكسار

v_1 = السرعة في الوسط الأول

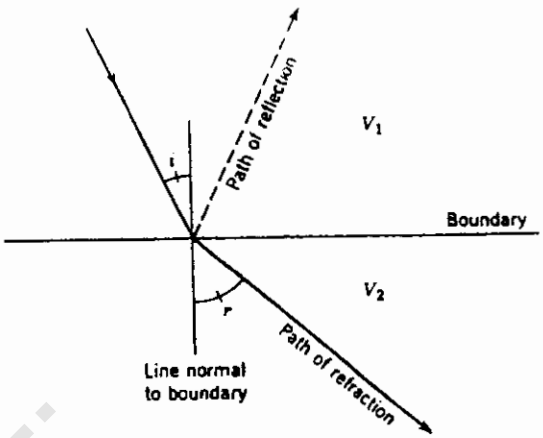
v_2 = السرعة في الوسط الثاني (لاحظ الشكل 2 - 9)

إذا كان ازدياد السرعة باتجاه الانتشار (انتقال الموجات) كبيراً بما فيه الكفاية، أو إن زاوية السقوط عالية جداً ، فأن زاوية الانكسار يمكن أن تصل إلى 90° . وعندما يحدث ذلك فأنه يعطي انعكاس كلي للموجة . عندما تنتقل موجة الطاقة في طبقات صخرية متراصة فأن المواضع المتعاقبة لجبهات الموجة يمكن تبين كما في الشكل (2 - 8) . في النقطة A الطاقة الأولى التي تصل السطح سوف تمر مباشرة خلال الوسط G ، لكن خلف النقطة B لكي تصل الطاقة الأولى إلى السطح سوف تقطع جزء من المسافة خلال الوسط H الذي يمتلك سرعة انتشار أعلى . إذا رسم خط بياني لزمن الحركة والمسافة من مصدر الطاقة (الشكل 2 - 10) فأن السرع في كل من الوسطين يمكن حسابها إضافة

إلى سمك الطبقة العليا . في الوقت الذي تتحرك الطاقة من S إلى B في خط مستقيم ، يتناسب ميل الجزء الأول من الخط البياني عكسيًا مع سرعة انتشار الطاقة في الوسط G ، ونظراً لكون الطاقة التي تصل النقاط خلف B تقطع مسافة متساوية في الوسط G فأن ميل الجزء الثاني من الخط البياني يتناسب مع سرعة الانتشار إلى سرعة الانتشار في الوسط H . يمكن حساب العمق من معلومات كلا السرعتين باستعمال المعادلات التالية . في الشكل (2-8) الطاقة الأولى الواصلة B ستقطع المسافة SDEB والمسافة SB خلال الوسط G . وبذلك سيكون التعبير عن زمن قطع المسافة المباشرة t_1 كما يلي :



الشكل (2 -8) الواقع المثالية لجبهة موجة طاقة إبتدائية معطاة لفترات فاصلة مقدارها 20 ملي ثانية . الطاقة الأولى التي تصل إلى لسطح خلف نقطة B منكسرة خلال الوسط (H) .



الشكل (2 - 9) انكسار الطاقة عبر الحد الفاصل بين مواد تمتلك سرع إنفاذ (نقل) مختلفة

$$t_1 = \frac{SB}{v_1} = \frac{X}{v_1}$$

والتعبير عن زمن قطع المسافة غير المباشرة t_2 سيكون كما يلي :

$$t_2 = \frac{SD}{v_1} + \frac{DE}{v_2} + \frac{EB}{v_1}$$

وبما إن :

$$SD = EB = \frac{d}{\cos i}$$

وإن :

$$t_1 = t_2$$

إذن

$$\frac{X}{v_1} = \frac{2d}{v_1 \cos i} + \frac{DE}{v_2}$$

ولكن :

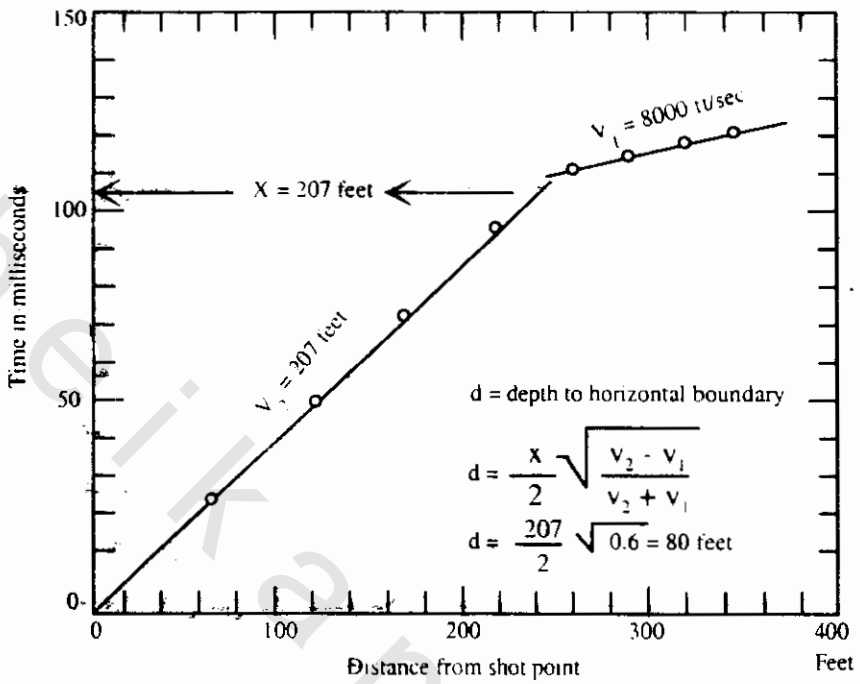
$$DE = X - 2d \tan i$$

إذن :

$$\frac{X}{v_1} = \frac{2d}{v_1 \cos i} + \frac{X}{v_2} - \frac{2d \tan i}{v_2}$$

$$\therefore d = \frac{X}{2} \sqrt{\frac{v_2 - v_1}{v_2 - v_1}}$$

تستعمل المعادلة الأخيرة في حساب أعماق الطبقات الأفقية التي تمتلك سرع أعلى من الطبقة السطحية . وقد اشتقت معادلات كثيرة للتسجيلات التي تظهر ثلاث أو أكثر من الانعكاسات المختلفة في الخط البياني لزمن الوصول (Travel - time curve) . إن عدم الانتظامات في طوبوغرافية السطح، وارتفاعات الطبقات الصماء التحتية ، والمعالم البنائية المختلفة ، وفروقات معينة في سرعة الانتشار ، جميع هذه العوامل تعمل على إيجاد التعقيدات في تفسير منحنيات زمن الوصول (زمن الحركة) . إن قياس زمن الحركة أولاً عند حركة الطاقة في إتجاه واحد ، ثم عند حركة الطاقة في إتجاه آخر يساعد كثيراً في تفسير البناءات الجيولوجية المعقدة . كذلك من المفيد قياس سرعة المواد الطبيعية (المكونة للطبقات) بوضع المتفجرات أو الكاشفات في أعماق معلومة تحت سطح الأرض (من خلال حفر تجريبية) أو بواسطة قياس أوقات الوصول بين نقطتين متقاربتين نسبيًا في مناطق مختلفة . إذا كانت السرع معلومة فأنه بالامكان استعمال الطرق البيانية أو الرياضية لحل المسائل المعقدة.



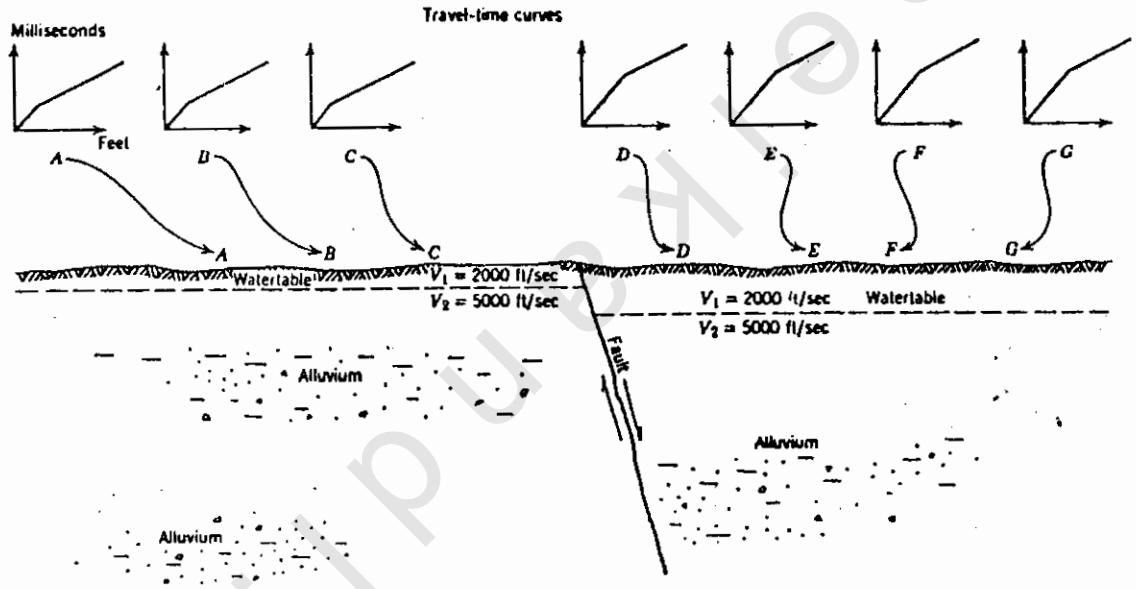
الشكل (2 - 10) منحنى الزمن الحركة Travel-Time curve للمثال المذكور في الشكل (2-8) المعادلة المستخدمة لحساب العمق إلى السطح الفاصل بين الطبقتين (وسطى الانتشار) تعتبر مفيدة فقط في حالة كون سطح الأرض والسطح الفاصل التحتي متوازيين الدوائر الموجودة على المنحنى تمثل البيانات المسجلة بواسطة الكاشفات.

في الأشكال (2-11 ، 12 ، 13) أعطيت مرتسمات لأنواع مختلفة من الحالات المتعلقة بالهيدروجيولوجيا والتي يمكن حل مشاكلها بالانكسار الزلزالي . تعتبر الفروقات الكبيرة في سرعة إنتشار الطاقة أساسية لنجاح العمل . عند التفكير بطرق الانكسار الزلزالية يجب تذكر نقطتين سلبيتين تحدد إستعمال هذه الطرق . الأولى : أنه من المستحيل الحصول على معلومات عما يقع تحت طبقة مكونة من مادة صلبة كثيفة . مثال ذلك طبقة من البازلت

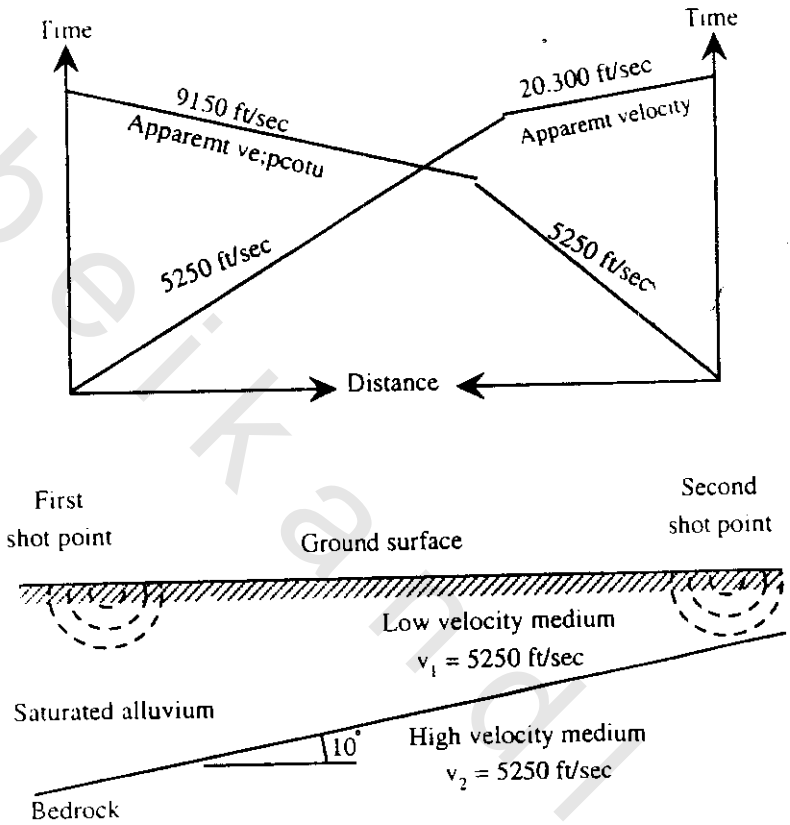
basalt أو الحجر الجيري الصلد سوف تسبب إنحراف الموجات كما مبين في الشكل (2-14) . ولا يوجد هناك تسجيل مباشر للطبقات التي تقع تحتها يمكن الحصول عليه . أما النقطة السلبية الثانية والمهمة فهي الكلفة العالية لعمل المسوحات الزلزالية . إذ إنها تحتاج إلى كمية عالية من المعدات المتخصصة والفنيين المتخصصين مما يجعل هذه الطرق أكثر كلفة من غيرها من الطرق الجيوفيزيائية .

إن إستعمال تقنيات الانكسار يمكن أن يتغلب على مشاكل الطبقات ذات السرعة العالية عند العمق رغم التوسع في استخدام الآلات المعقدة وطرق التفسير المفصلة . وفي مسوحات الانكسار للأعماق الضحلة يمكن استخدام مؤقتين زلزاليين من قبل شخصين في آن واحد وبذلك يمكن تقليل الكلفة. وإذا رغب في تغلغل أقل من 50 قدم يمكن استخدام مطرقة ثقيلة لإحداث الاهتزازات المطلوبة ، وهذا يساعد على عدم استعمال المتفجرات في المناطق السكنية .

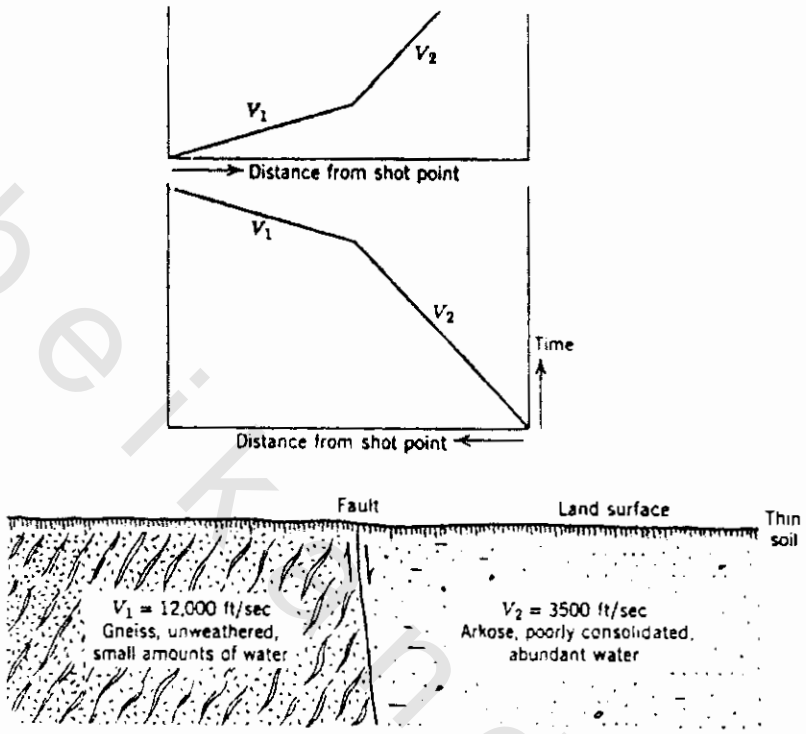
تشير الدراسات النظرية والعملية بأن الفروقات في المسامية وحجم حبيبات تكوين الحشارج الرسوبية يمكن تمثيلها والتعرف عليها من خلال دراسة خواص الامتصاص للطاقة المنكسرة عند ترددات مختلفة . لقد وجد إن خصائص الامتصاص تتعرض إلى تغيرات كبيرة ، في حين أن السرع بين السطوح الفاصلة تتغير بفروقات بسيطة يصعب تمييزها . وعليه يمكن الاستفادة من هذه الطرق إذا تضمنت التنبؤ على المسامية إضافة إلى نفاذية الحشارج الرسوبية .



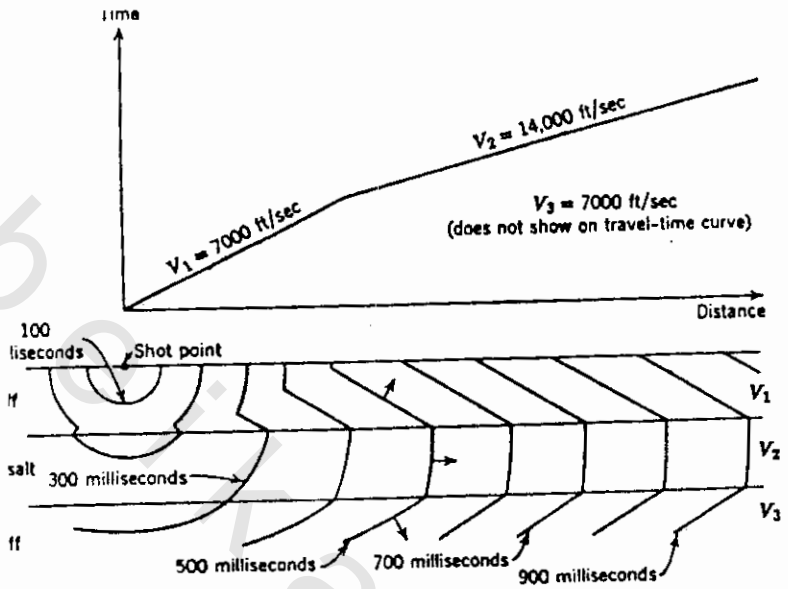
الشكل (2 -11) استعمال الطرق الزلزالية الانكسارية لتحديد منسوب المياه الأرضية على امتداد الصدع حيث ينخفض المنسوب بعد الصدع تبعًا لانخفاض الطبقة الرسوبية الغرينية Alluvium الحاملة للمياه يجب ملاحظة أن مقياس الرسم الأفقي في منحنيات الزمن - الحركة يختلف عن مقياس الرسم الأفقي للطبقات الأرضية .



الشكل (2 -12) منحنيات الزمن - الحركة تبين تأثير المستوى الفاصل المائل على ميل الأجزاء الثانية من المنحنيات . غالبًا ما تكون من المستويات الفاصلة الحقيقية غير منتظمة وليست كما تظهر في الشكل ، وتبعًا لذلك فأن تفسير منحنى الزمن - الحركة عادة ما يكون صعبًا ويحتاج إلى جيوفيزيائيين ذوي خبرة عالية .



الشكل (2 - 13) شكل تخطيطي يبين منحنيات الزمن - الحركة التي حصل عليها في نفس الموقع . ولكن باتجاهات متعاكسة لانتشار الطاقة . إن رسم منحنيات الزمن - مسافة الحركة من كلا الاتجاهين عملية ضرورية للتفسير الدقيق للجيولوجيا تحت السطحية. المنحنى السفلي (الجزء الأول من المنحنيات) وحده يمكن أن يكون مشوشًا نتيجة تأثيرات مستوى فاصل أفقي .



الشكل (2 -14) يوضح أسباب عدم الاستفادة من الطرق الانكسارية في معرفة الطبقات الواقعة تحت طبقة عالية السرعة (طبقة صلبة متراصة مثل البازلت) . تنكسر جبهة الموجة الأولى إلى الأسفل نحو الحجر الركامي المتكون من رماد البراكين (tuff) (الطبقة السفلى) ،تتباطأ فيها ولا تعطي أية معلومات عند السطح قبل إنحناء هذه الجبهة نحو الأعلى تاركة الطبقة الصلبة (البازلت) .

• • •

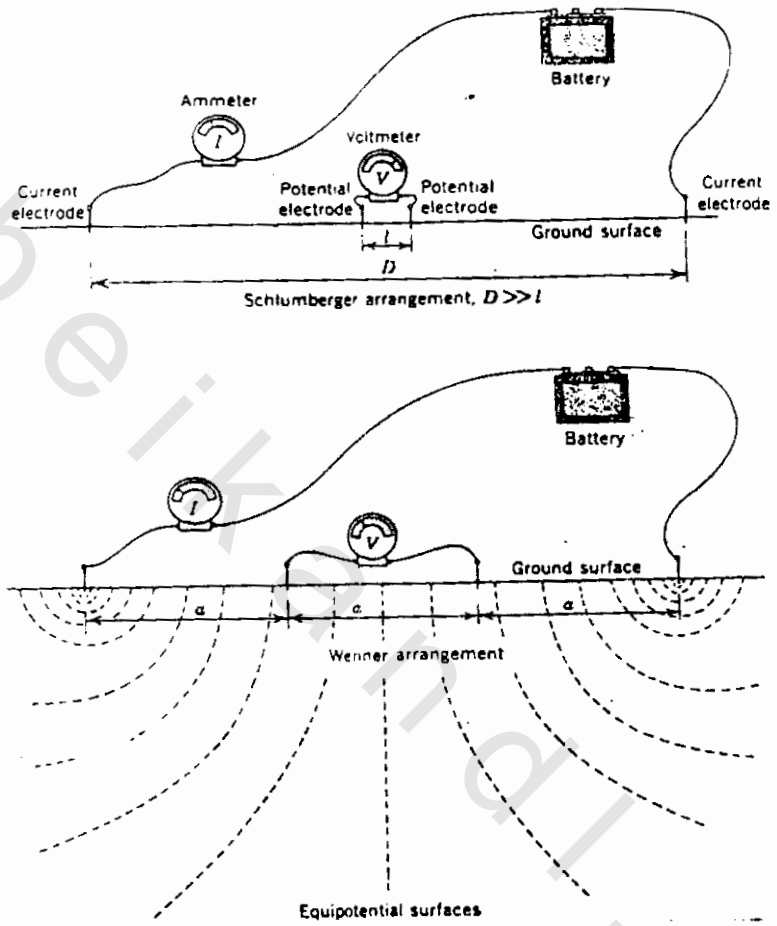
2 - 4 - 4 : الطرق الكهربائية Electrical Methods :

إن الطرق الجيوفيزيائية السطحية الأكثر شيوعاً في استعمالها في التحري عن المياه الأرضية هي الطرق الكهربائية . أن آلاتها المستخدمة رخيصة نسبيًا ولا تحتاج أكثر من إثنين أو ثلاثة أشخاص لإنجاز عملية المسح . لذلك فأن الطريقة الكهربائية بصورة عامة إقتصادية .

يمكن قياس إثنين من أنواع الجهد الكهربائي ، أحدهما الجهد الكهربائي الطبيعي الموجود بين قطبين موضوعين على الأرض . الثاني ، جهد إصطناعي يولد بأمرار تيار كهربائي خلال الأرض . يتم قياس فرق الجهد والمقاومة عادة بجهاز واحد ، حيث يقاس أولاً فرق الجهد الطبيعي ثم المقاومة .

هناك ترتيبات قطبية مختلفة ممكنة ، وأكثرها شيوعاً الترتيب الذي أوجده كل من ونر وبيركر Wenner and berger (الشكل 2 - 15) . يمتاز ترتيب ونر بالعلاقة الأكثر مباشرة بين مسافة القطبين وبين عمق نفوذ التيار، هذا من ناحية ، ومن ناحية أخرى يسمح بتعريف أكثر وضوحًا للظروف تحت السطحية لمسافة معينة بين الأقطاب الخارجية ، ويحتاج إلى أبدي عاملة قليلة لعدم الحاجة إلى تحريك الأقطاب المركزية لكل مرة تتحرك فيها الأقطاب الخارجية .

لم تستخدم تغيرات فرق الجهد الطبيعي بصورة واسعة كتقنية للاستكشاف في جيولوچيا المياه الأرضية . إن فروق الجهد الطبيعية العالية سببها معادن الكبريت المؤكسد Oxidizing sulfide أو تآكل المعادن ، أو كتل مائية متجاورة ذات تراكيب كيميائية مختلفة ، وأسباب كهروكيميائية أخري . في بعض الأماكن يمكن تحديد رسوبيات المعادن أو الصدوع من خلال قياسات فرق الجهد الطبيعي . إن استعمال الجهد الطبيعي في جيولوچيا المياه الأرضية محدود جداً في أعمال البحوث في المناطق التي تكون مياهها ذات تركيب كيميائي مختلف بصورة كبيرة وفي وضع تتلامس هذه الكتل المائية المختلفة التركيب فيما بينها بحكم تجاورها .



الشكل (2 - 15) ترتيب ونر للأقطاب الكهربائية لقياسات المقاومة الأرضية الكهربائية . الدوائر الكهربائية للأميتر ، الفولتميتر ، ومصادر الطاقة الكهربائية مبينة بصورة توضيحية وليست على مقياس رسم معين .

تختلف مقاومة المواد الطبيعية لسريان التيار الكهربائي بصورة واسعة. الغرانيت الصلب مثلاً يمكن أن يمتلك مقاومة مقدارها 10^6 أوم - متر ، في حين يمكن أن يمتلك الطين المشبع بالمياه المالحة مقاومة مقدارها 1.0 أوم - متر فقط، أي بنسبة واحد بالمليون . وعموماً ، تمتلك المعادن الصلدة مقاومات عالية جداً مثل الكوارتز والفلسبار Feldspar (سليكات الألمنيوم) . مياه البحر تمتلك أقل مقاومة من بين المواد الطبيعية الأخرى . الجدول (2-2) يعطي القيم النموذجية لمقاومة مواد طبيعية مختلفة .

الجدول (2-2) قيم المقاومة الكهربائية التقريبية لعدد من المواد الطبيعية

المادة	المقاومة (١,م = متر)
Graphite	3×10^{-4}
Pyrite	10^{-3}
Brine	5×10^{-2}
Shale	1.0
Gypsum	10
Fresh Water	50
Gravel and sand, saturated with fresh water	10^2
Serpentine	3×10^2
Lime Stone	10^3
Granite	10^6
Quartz	10^{11}
Calcite	5×10^{12}

obeikandl.com

نظراً للمقاومة العالية التى تبديها المعادن التحاتية (الكوارتز ، الفلسبار ، والكالسايت) فأن معظم التيار الكهربائي يمر خلال السوائل الموجودة في فراغات المسامات في الصخور الرسوبية . ولذلك فأن مقاومة الصخور تعتمد بدرجة كبيرة على مسامية الصخور وعلى كيميائية السوائل المتشبعة بها . يعتبر وجود الطين Clay مهم أيضًا في تحديد مقاومة الصخور . إن الطين المشبع بالمياه سيكون محاطًا بأغشية من الأيونات المتحركة جزئيًا والتي ستنتقل بفعل فرق الجهد الكهربائي . إن هجرة هذه الأيونات ستضاف إلى الهجرة الطبيعية للأيونات في السائل مسببة انخفاض في مقاومة الصخور الغنية بالطين أو الرسوبيات .

يظهر في الشكل (2 - 15) المجال الكهربائي حول الأقطاب . توضع الأقطاب التي تقيس فرق الجهد بعيدة عن بعضها في الداخل (بين أقطاب التيار الكهربائي) وبمسافة بينية مناسبة كافية لتجنب حدوث الهبوط السريع في الفولتية . إذا وضعت الأقطاب على مسافات متساوية بينها فأنه يمكن اشتقاق المعادلة الآتية لحساب المقاومة الظاهرية :

$$Ra = 2 \Pi a \frac{V}{I}$$

حيث Ra = المقاومة الكهربائية الظاهرية

a = المسافة بين كل قطبين

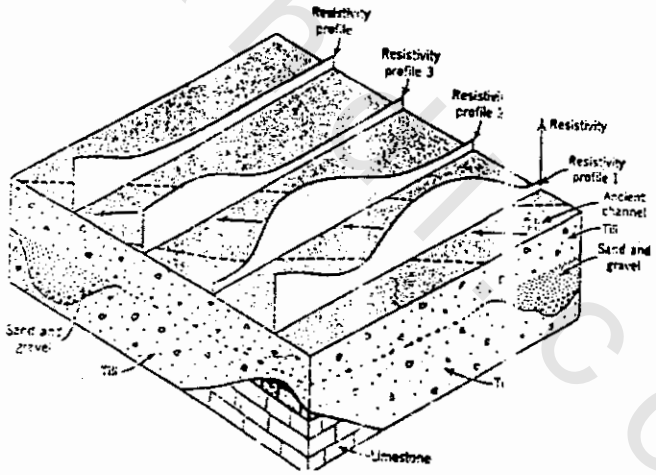
v = فرق الجهد (الفولتية)

I = التيار المسلط

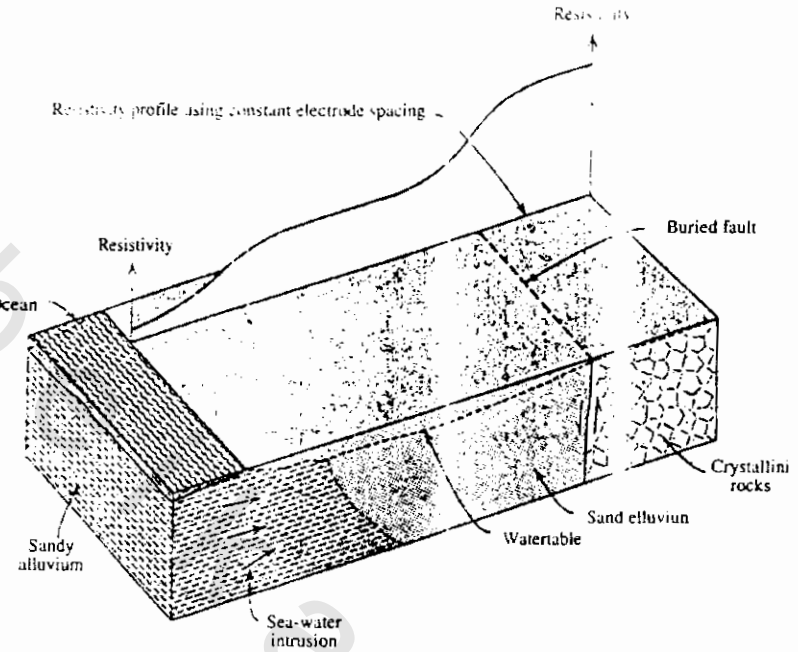
رغم بساطة هذه المعادلة فأنه لا يمكن إعطاء قاعدة عامة صحيحة عن العلاقة بين المسافة بين الأقطاب (a) وبين العمق الفعال لتغلغل التيار .

الافتراض الشائع بأن المسافة بين الأقطاب في ترتيب ونر تتناسب طرديًا مع عمق نفوذ التيار ، هذا الافتراض يمكن أن يولد أخطاءً في الأعماق المحسوبة تصل إلى عدة أجزاء من المائة . إن الطريقة المناسبة لتحديد الأعماق إلى السطوح الفاصلة الأفقية للطبقات الجيولوجية بالطرق الكهربائية هي أن تقارن النتائج التي حصل عليها تجريبيًا في الموقع مع منحنيات نوعية تم حسابها نظريًا لطبقات أرضية ذات فروقات معلومة في مقاوماتها الكهربائية .

إن أبسط ترتيب لتحريات المقاومة الكهربائية هو إستعمال مسافة ثابتة (a) بين الأقطاب وتحريك الأقطاب بخط مستقيم . والنتائج التي يحصل عليها ستبين المقاومة الظاهرية للصخور والرسوبيات عند أكبر أو أقل عمق ثابت . استعملت هذه الطريقة بنجاح في تحديد طبقات حصوية مدفونة محاطة برسوبيات طينية وحجرية مختلفة من مخلفات نهر جليدي سابق . (لاحظ الشكل 2 - 16) . ويلاحظ كذلك تطبيق آخر لهذه الطريقة في الشكل (2-17) .



الشكل (2 -16) مرتسمات المقاطع الجانبية للمقاومة استعملت لتحديد رسوبيات مجرى مدفون محاطة من الجانبين بصفيحتي رسوبيات طينية جليدية (till sheets) بعد الاكتشاف الابتدائي، يتم عمل الاكتشاف التالي بصورة أفضل من خلال جعل مقاطع الفحص عمودية على المجرى .



الشكل (2 -17) استعمال مرتسم المقطع الجانبي للمقاومة لتحديد مدى اقتحام ماء البحر للحشرج الرملي المتجانس (تغلغل ماء البحر في الحشرج) . كذلك تم تحديد صدع في المنطقة بنفس المقطع .

إن المسافة الثابتة بين الأقطاب مناسبة جداً للسطوح الفاصلة العمودية المدفونة عند عمق أقل من 100 قدم . يستعمل الحفر أو الجس العمودي Probing للسطح الفاصل الأفقي ، مثل مستوي المياه في التربة ، أو سطوح الطبقات الصخرية المتراصفة فوق بعضها البعض . ويتم الجس العمودي بجعل النقطة المركزية بين الأقطاب ثابتة وزيادة المسافة الأفقية بين الأقطاب زيادة تدريجية قليلة . ويتم رسم قيم المقاومة الظاهرية مقابل قيم المسافة بين الأقطاب التي تقابلها (الشكل 2 - 18) . سيعطي المنحنى الناتج إيضاح وفكرة جيدة عن مقاومة مختلف الطبقات عند الأعماق المتعاقبة بالزيادة

تعتبر المقاومة الظاهرية ، على أية حال ، مقياس لتأثيرات كل الطبقات بين أكبر عمق للتغلغل وبين سطح الأرض . ولهذا السبب كلما زاد عدد الطبقات كلما أصبح تفسير المعلومات أكثر صعوبة . إذا زاد عدد الطبقات على ثلاث أو أربع لا يمكن الحصول على تفسير دقيق ما لم تتوفر معلومات أخرى مسبقة عن تلك الطبقات .

أفضل نتائج ناجحة لاستعمال طرق المقاومة في جيولوجيا المياد الجوفية تكون عندما تتضمن الحالات طبقتين فقط . فمثلاً تم تحديد سطحين فاصلين من الماء المالح والماء العذب في طبقة بازلت متجانسة وطبقة رمل وبدقة مقبولة، وخصوصاً في المناطق التي يكون فيها العمق إلى السطح الفاصل أقل من 500 قدم . كما حققت الطريقة بعض النجاح في تحديد طبقات الصخور الرسوبية في الوديان النهرية ، وفي تحديد طبقات الحصو أو الرمل تحت الطين والغرين . في حين لاقت الطريقة نجاحاً ضئيلاً في تحديد منسوب المياد في المواد الجليدية والغرينية ، وربما يعزى ذلك إلى التغير الكبير في المحتوى الرطوي فوق منسوب المياه الجوفية .

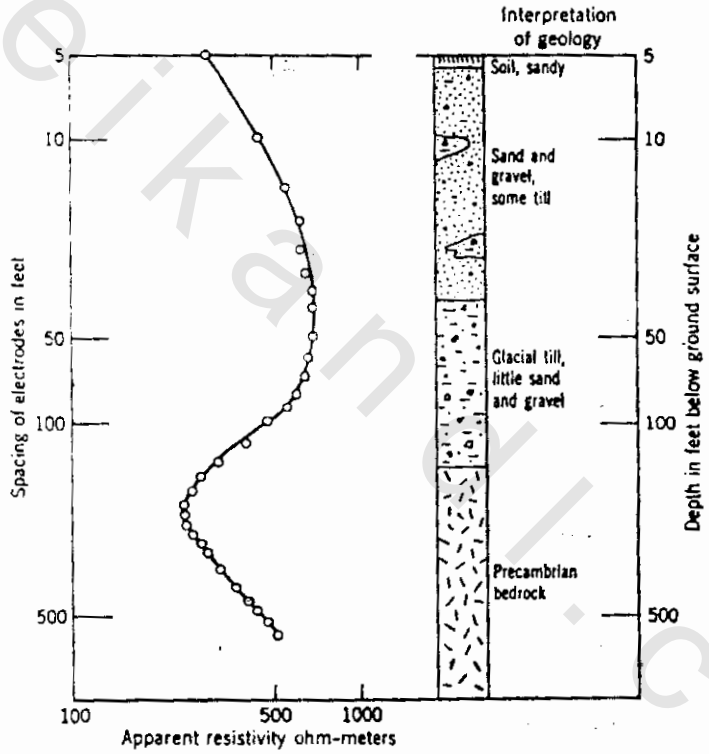
هناك ثلاث نقاط سلبية أساسية تواجه طريقة المقاومة الكهربائية :

الأولى : وجود الأنابيب المعدنية ، سكك الحديد ، الأسلاك ، والمباني التي تكون على تماس مباشر مع الأرض تعمل على تحويل مجرى التيار الكهربائي بحيث تصبح قياسات المقاومة الكهربائية الطبيعية صعبة أو متعذرة في المناطق الحضرية (المدن) .

الثانية : يمكن تفسير معالم جيولوجية بسيطة فقط بهذه الطريقة من دون معلومات إضافية عن طريق الحفر أو الطرق الجيوفيزيائية الأخرى .

الثالثة : إن عمق التغلغل لمعظم المعدات المستخدمة بهذه الطريقة هو أقل من 1500 قدم بسبب الافتقار إلى البطاريات الكفؤة التي تعطي قدرة كهربائية مناسبة إضافة إلى التعقيدات الجيولوجية للأحجام الكبيرة من الأرض .

إذا تم الأخذ بنظر الاعتبار كل هذه السلبيات فأنه بالامكان الاستفادة من الطرق الكهربائية عندما يتم التغلب عليها .



الشكل (2 - 18) المقاومة الظاهرية للمواد التحتية تم تحديدها بطريقة القطب الممتد أو الجس العمودي Probing .

2 - 5 : الفحص بواسطة الحفر test drilling :

في حالة تعذر الاستدلال عن الظروف الچيولوچية من خلال العمل على سطح الأرض ، فلا بد للهيدروچيولوچي أن يتجه للجيوفيزياء ، أو الحفر المباشر للحصول على المعلومات المطلوبة عن الطبقات الجيولوجية . إن الطرق المثالية هي التي تستخدم كل من الحفر المباشر والجيوفيزياء معًا . إلا إن المحددات الاقتصادية غالبًا ما تفرض أحد الخيارات . وغالبًا ما يفرض أحد الخيارين (الحفر أو الجيوفيزياء) من خلال اعتبارين مهمين ، الأول : أن الحفر (لغرض الفحص) يعطي معلومات ونتائج ذات طبيعة أكثر إيجابية ، في حين تعطي التقنيات الجيوفيزيائية نتائج تحمل أكثر من تفسير واحد . الاعتبار الثاني: كلفة الحفر ترتفع بسرعة مع ازدياد العمق ومع أي زيادة في صلابة الصخور .

الميزة العظمى للفحص بالحفر نجدها في المناطق المنبسطة التي يقع تحتها رسوبيات هشة ، حيث لا تبعد الخشارج عن السطح أكثر من 300 قدم . في هذه المناطق يمكن حفر الثقوب بسرعة وبأقل تكاليف عادة .

• • •

2 - 6 : معدات الحفر واستخراج الأتربة Drilling and Excavating Equipments :

المناقشة التالية لمعدات الحفر وإخراج الأتربة هي مجرد نظرة عامة في موضوع معقد . من المفروض أن يكون الهيدروچيولوچي الذي يعمل في برامج التحريات عن المياه الأرضية ملمًا قدر الامكان بالنواجي العملية إضافة إلى النواحي النظرية لعمليات الحفر وإنشاء الآبار . ورغم أن الكتب المختصة الجيدة تغطي هذه المواضيع ، إلا إن الكثير من المعلومات والخبرة التي يحتاجها

المتخصص في هذا المجال يمكن الحصول عليها من الممارسة مع التنوع الواسع جداً للمعدات المستعملة في طرق الحفر الحديثة .

الحفر بالآلات اليدوية :

إن أبسط عملية لحفر الآبار من الناحية الميكانيكية هو الحفر بالآلات اليدوية . وتنحصر هذه الآلات في : المجرفة ، العول ، عتلات ، دلو (أو أي إناء لتعبئة الحفريات) ، ورافعة يدوية . أما إذا كان الحفر في صخور متصلبة فتستعمل آلات أخرى مثل : الأوتاد المعدنية ، مطرقة كبيرة قوية ، بريمة يدوية، ويمكن أن يحتاج إلى متفجرات . لا بد من إسناد جوانب الحفر عند العمل في الطبقات الرخوة غير المتصلبة إذا أريد الوصول إلى أعماق تتراوح بين خمسة إلى عشرة أقدام . أما المواد المستعملة فى إسناد جوانب الحفر فتعتمد على كلفتها والأنواع المتوفرة منها . والأنواع الشائعة هى الألواح الخشبية والصفائح المعدنية ، لكن يمكن استعمال أنواع أخرى مثل القوالب الكونكريتية والبراميل المعدنية ... إلخ .

من ميزات الحفر اليدوي إمكانية استعمال آلات سهلة الحمل والنقل وتتطلب توظيف مالي قليل جداً . أما سلبيات الحفر اليدوي فهي عدم إمكانية النزول إلى أعماق بعيدة بسبب خطر إنهيار الحفر والعمل الشاق في رفع الحفريات إلى الخارج . إن معظم الآبار المحفورة يدويًا ذات عمق أقل من 100 قدم . وإن حجم المواد التي يجب إزالتها لضمان فضاء يكفي لعمل الشخص بصورة مريحة داخل البئر أثناء عملية الحفر وإخراج المواد تعادل على الأقل عشر مرات بقدر حجم المواد التي يجب إزالتها لتوفير الفضاء الكافي لمعدات الضخ للمياه بعد إنتهاء حفر البئر .

كذلك ، تطورت الآلات اليدوية للحفر بالبريمة . يتم أولاً حفر البئر بعمق 15-20 قدم بالبريمة (auger) ثم يدفع أنبوب مغلف بشبكة معدنية مناسبة داخل البئر إلى عمق تحت منسوب المياه الأرضية بحيث يبطن الأنبوب الجدار الداخلي للبئر . إن آبار البريمة يمكن أن تنزل إلى عمق أكثر من 40 قدم بالحفر اليدوي ، إلا إن العمل عمومًا يتباطأ وتقل كفاءته بعد وصول عمق 20 قدم وذلك لأنه يتطلب بعد هذا العمق تفكيك ذراع البريمة فى كل مرة يراد إخراج مواد الحفر إلى السطح وإعادة تركيبه ثانية ، ويمكن التغلب على هذه المشكلة باستخدام رافعة يدوية . تتحدد آبار البريمة اليدوية عادة بقطر أقل من 3 إنج وبعمق أقل من 40 قدم بسبب الاحتكاك على الأنبوب الذي يتزايد مع زيادة العمق ومع زيادة القطر .

تعتبر آبار البريمة اليدوية اقتصادية وسريعة التنفيذ في المناطق الرسوبية الهشة التي يرتفع فيها منسوب المياه الجوفية إلى أقل من 20 قدم تحت سطح التربة . إن توظيف القليل من الوقت والمال يجعل من هذه الطريقة الأكثر كفاءة في الحصول على كميات قليلة نسبيًا من المياه الأرضية . في بعض المناطق يمكن ربط سلسلة من آبار البريمة على مضخة واحدة للحصول على كمية أكبر من المياه لأغراض الري . ويمكن استعمال نفس هذا الترتيب لتخفيض مستوى المياه الأرضية حول الحفريات التي تنفذ للأغراض الإنشائية . إن وجود الجلاميد والكتل الحجرية تعيق نزول البريمة وكذلك الأنابيب الخاصة بتبطين الآبار .

معدات الحفر النفاث أو النافوري Jetting Rig :

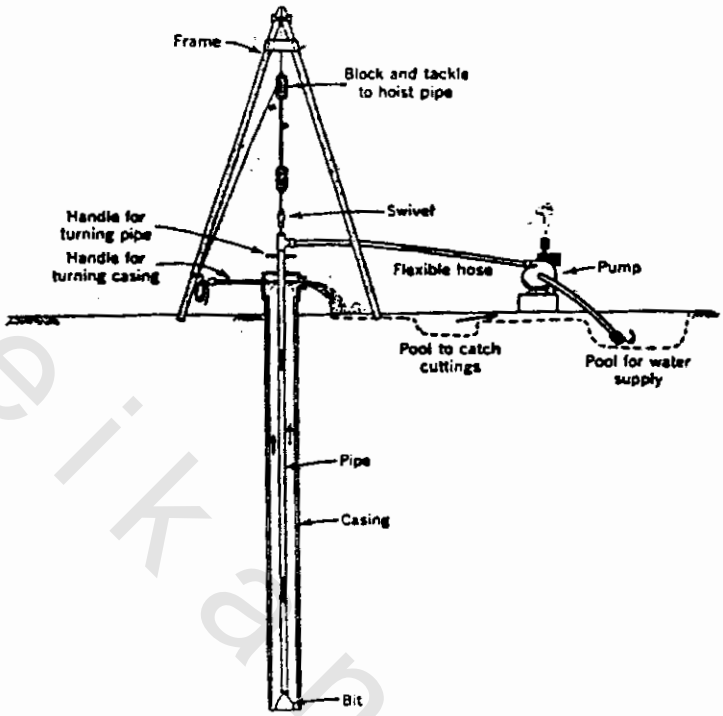
إن أسرع طريقة لحفر الآبار هي الطريقة النفاثة أو النافورية البسيطة والتي يترك فيها أنبوب النفث ليقوم مقام البئر (لاحظ الشكل 2-19). تتمثل طريقة النفث بصورة أساسية بتيار من الماء يدفع بقوة من خارج نهاية أنبوب ضيق

يدخل في أنبوب واسع يمثل قطر البئر . تحتوي نهاية الأنبوب الضيق هذا على أزميل أو منحت أو منقاش (أو ما شابه ذلك) يساعد على تفتيت التربة عندما يدار الأنبوب . تدفع المواد الناتجة من الحت والتفتيت بقوة إلى الأعلى بواسطة الماء الصاعد (والذي يخرج من نهاية الأنبوب الضيق إلى الأنبوب ذي القطر الواسع الذي يحيط بالأنبوب الضيق) . إن طريقة النفث ناجحة فقط في حفر الطبقات الهشة الخالية من الجلاميد والكتل الصلبة جداً . إن المواد الصلبة التي تقذف إلى الخارج مع المياه هي عادة خليط من مواد مختلف الطبقات التي أخترقها البئر ، لذلك من الصعوبة الحصول على معلومات دقيقة عن طبيعة الطبقات إذا كان حفر البئر جزء من برنامج تحريات واستكشاف .

الآلات السلكية Cable Tools :

إن طريقة الدق أو الآلة السلكية هي واحدة من أقدم الطرق والتي لا تزال من أكثرها شيوعًا في تقنيات حفر الآبار . الأجزاء الرئيسية لماكنة الآلة السلكية مبينة في الشكل (2 - 20) . تتحرك الآلات إلى الأعلى والأسفل داخل البئر بواسطة ضربات دق والتي تتراوح عادة بين 1/2 - 3 أقدام . تتم حركة الدق (الصعود والنزول) بواسطة المر (Spudder) المثبت على العجلة حيث يتصل المر بآلة الحفر . يمكن أن يتراوح الوزن الكلي للآلات من 200 باوند إلى أكثر من 2 طن . تتحرك اللقمة Bit (الكابح أو اللسان الحاد في آلة القطع) إلى أعلى وأسفل حتى تمتلئ بحوالي 3 - 6 أقدام من الطين الممزوج بالمواد المتفتتة بواسطة اللقمة . ومن ثم تزاح المواد بواسطة النازح (Bailer) المربوط في نهاية السلك . إذا كانت الطبقات التي يحفر فيها هشة ينبغي حينئذ تنزيل بطانة البئر الأنبوبية نحو الأسفل لتجنب تهدم جوانب البئر . أما في الصخور الصلبة فيوضع التبطين فقط لعدة أقدام الأولى من البئر لمنع سقوط كسر

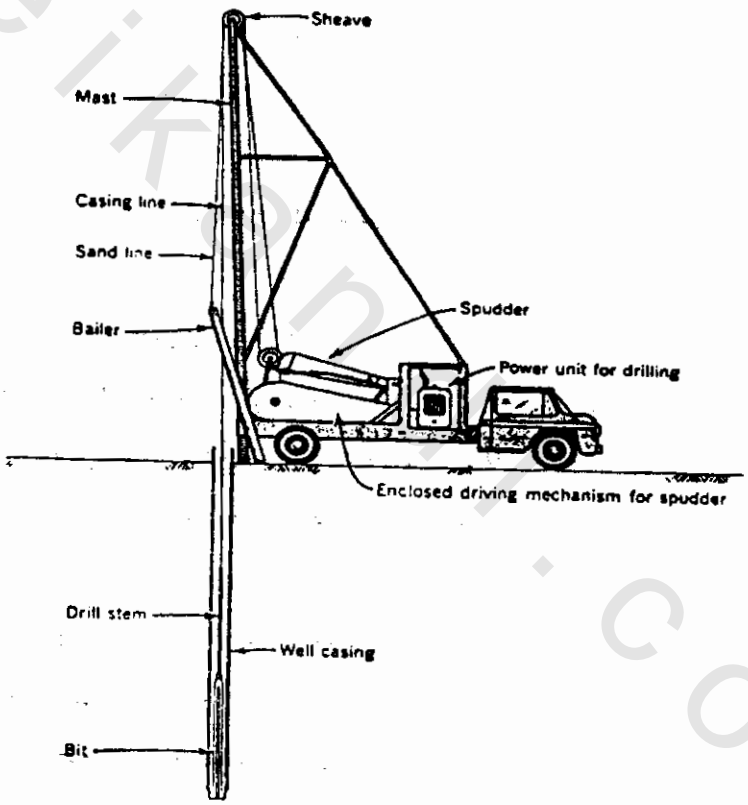
الصخر والتربة العليا إلى الداخل . تتغير معدلات تقدم الحفر مع نوع التكوينات التي يتم فيها الحفر ، وعمق البئر ، وقطره ، ونوع المعدات ، وخبرة العاملين . يمكن أن يصل تباطؤ سرعة العمل إلى 5 - 10 أقدام في اليوم الواحد عند الحفر في الصخور المتبلورة الصلدة . ويمكن أن تصل سرعته إلى 50 - 100 قدم في اليوم الواحد عند الحفر في الصخور الرملية الهشة والطينية الرملية . إذا كانت الصخور متكسرة فأن الصعوبة عادة ما تواجه من خلال الثقوب المنعطفة والملتوية التي تميل إلى إتباع النطاقات الهشة وتؤدي إلى إقتحام آلات الحفر وإنحصارها فيها مما يصعب سحبها ورفعها إلى الأعلى . كما إن المواد غير المتصلبة الحاوية على جلاميد صلبة يصعب فيها الحفر بدرجة كبيرة . حيث تعمل هذه الجلاميد على أنحراف الاستقامة العمودية للبئر ، وتقف عائق أمام آلات الحفر حيث يصعب تفتيتها ، وأخيراً تساهم في الاحتكاك المضاد لإنزال بطانة البئر الأنبوبية . إن الحفر في الطبقات الرخوة الحاوية على الجلاميد ربما يكون أبطأ حتى من الحفر في الطبقات الصخرية المتبلورة الصلدة . أما الصلصال الذي يصبح لزجًا عند الرطوبة وكذلك الطين فأنه يصعب تفتيتهما وكذلك يصعب عادة نزحهما أو إزاحتهما .



الشكل (2 -19) معدات حفر الآبار بطريقة النفث تشير الأسهم إلى إتجاه حركة الماء . يتقدم التغليف نحو الأسفل بوضع أوزان ثقيلة عليه مع تقدم الحفر .

إن إضافة الرمل إلى البئر أثناء عملية الحفر يمكن أن يساعد في تقليل لزوجة الطين وفي منع الطين من تشكيل الكرات الصغيرة أو الكبيرة التي تعرقل عملية الحفر . يمكن أن يتراوح معدل تقدم الحفر في الصلصال اللزج والطين من 15 إلى 50 قدم في اليوم . تصعب عملية الحفر بطريقة الدق السلكية في الطبقات الهشة المكونة من الرمل الناعم ، لأن الرمل ينساب إلى داخل البئر بكميات ربما تكون مساوية للكميات التي ترفع منه **وبذلك** يبقى الحفر يراوح في عمق ثابت تقريبًا ، أو إنه يتقدم ببطء شديد . يساعد ملئ

البئر بالماء أثناء الحفر في السيطرة على الرمل بقدر ما يعمل على عكس جريان الماء من البئر إلى الرمل والذي يساعد بدوره على مسك الرمل في محله . أي إن الماء الذي سيكون بارتفاع عال في البئر سيشغل الفراغ الذي يتركه الرمل المستخرج إلى الأعلى ويمنع الرمل من دخول هذا الفراغ بفعل ضغطه . وربما تكون سرعة تقدم الحفر في المناطق الرملية هذه تتراوح بين 10 - 20 قدم في اليوم .



الشكل (2 -20) معدات طريقة الحفر بالدق السلكية لا حاجة لتبطين البئر عند حفره في مناطق صخرية .

معدات الحفر الدوارة Rotary Rigs :

منذ عام 1920 تقريبًا كانت قد أصبحت طرق الحفر الدوارة شائعة في حفر آبار المياه . وهناك سببن رئيسيان لهذا الانتشار هما السرعة العالية للحفر وعدم الحاجة إلا نادراً لتبطين البئر أثناء الحفر . والميزة الأخيرة مهمة جداً فيما إذا ظهر بأن موقع البئر غير نافع حيث يمكن تركه بدون كلفة ما عدا كلفة الحفر الأولية . وبالعكس عندما يتطلب استعادة بطانة البئر في حالة آبار الطريقة السلكية ربما تكون العملية صعبة في استخراج الأنابيب ورفعها سالمة إن لم تكن العملية متعذرة أصلاً .

الشكل (2 - 21) يبين المخطط الأساسي لمعدات الحفر الدوارة . يم تقطيع الصخور وتفتيت الطبقات بواسطة لقمة bit دوارة ذات أنواع مختلفة . تحول الطاقة إلى اللقمة الدوارة بواسطة أنبوبة فولاذية مجوفة دوارة أيضًا أو بواسطة أنبوب حفر . يدفع الطين Mud خلال أنبوب الحفر ويخرج من عند اللقمة . ثم يرتفع الطين إلى السطح خلال البئر ويزيح قطع الصخر بطريقة نحو السطح والتي تترسب حينئذ في حفرة ترسيب تهيأ مسبقًا قرب موقع البئر . يتحرك أنبوب الحفر من خلال إنتقال الطاقة الحركية إليه بواسطة نظام تعشق التروس (gears) .

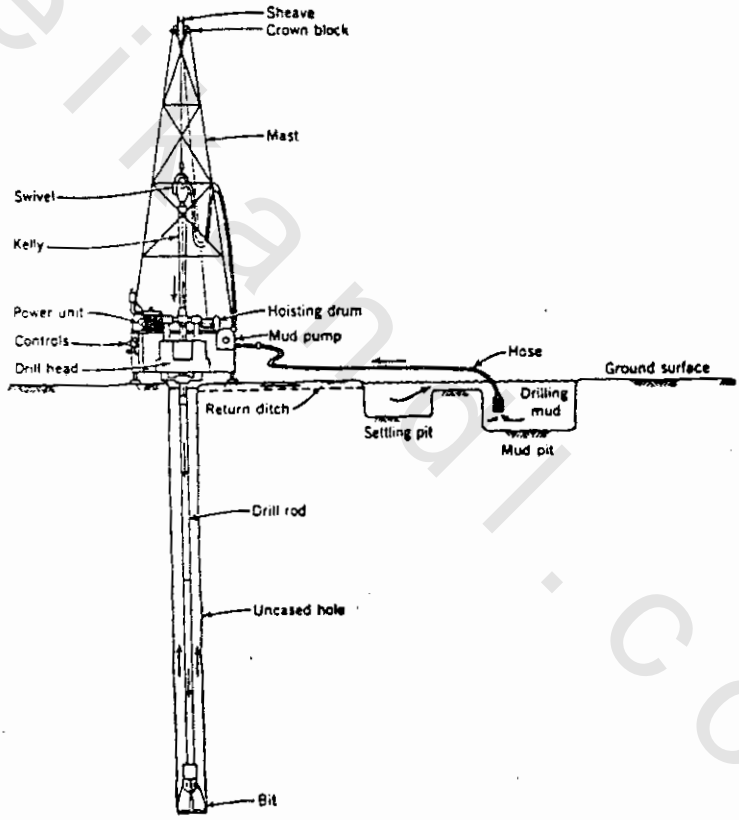
كما في طريقة الدق بالآلة السلكية ، يعتمد معدل تقدم الحفر في الطريقة الدوارة على عدد كبير من العوامل أهمها نوع التكوينات الجيولوجية ومعدات الحفر . يتراوح معدل الحفر في الطبقات الرسوبية غير المتصلبة من 300 إلى 500 قدم في اليوم . أما في الطبقات الصخرية المتصلبة فأن معدل الحفر يتراوح بين 30 إلى 50 قدم باليوم . على عكس طريقة الدق السلكية لا يتأثر معدل الحفر بالآلة الدوارة كثيراً مع ازدياد العمق باستثناء عملية تبديل اللقم،

حيث تسحب أعمدة الحفر إلى الخارج وتستبدل اللقمة ثم يعاد إنزالها إلى داخل البئر لاستئناف عملية الحفر .

تواجه أكبر الصعوبات عند الحفر بالطريقة الدوارة عندما تكون الطبقات عالية النفاذية متضمنة أشكال مختلفة من الكهوف كما في الطبقات الجيرية وطبقات البازلت المتكهفة . تتمثل هذه الصعوبات أو تتسبب من خلال فقدان سائل الحفر (مزيج الماء والطين) الذي ينساب إلى التكوينات النفاذة والكهوف. كما يؤدي تسرب السائل هذا إلى جوانب البئر إلى إزاحة الجدران الساندة للبئر وانهيارها (جوانب البئر) وخصوصًا الأجزاء الهشة والأجزاء العليا من البئر . وتؤدي عمليات الهدم هذه أحيانًا إلى فقدان عدد من آلات الحفر كاللقم وأعمدة الحفر وغيرها . كما تواجه الصعوبة أيضًا في الحفر في الطبقات الهشة التي تحتوي على عقد صغيرة من حجر الصوان والكلاستز . حيث تميل اللقمة إلى الدوران في قمة الصخرة دون النفوذ فيها . إن مثل هذه العقد والجلاميد في الصخور الجيرية أو أجزاء من الصخور الصلدة جداً المتواجدة ضمن الطبقات الهشة غير المتصلبة ، مثل هذه الظروف تعتبر مربكة ومصدر لكثير من لمشاكل في عمليات حفر الآبار .

هناك أنواع مختلفة من معدات الحفر الدوارة . فمعدات الحفر الدوارة المعكوسة تسحب السائل إلى الأعلى خلال أنبوب الحفر بعكس الطريقة الدوارة الاعتيادية عندما كان السائل يضخ إلى الأسفل خلال أنبوب الحفر . يتم ضخ مزيج الماء والطين إلى الحفرة الخاصة به بواسطة مضخات خاصة تسمح بمرور الحصى الكبير خلال أجزاءها . يمتلك السائل الصاعد سرعة عالية بسبب قطر الأنبوب الصغير . تسمح السرعة العالية بصعود القطع الكبيرة من مواد الحفر إلى خارج البئر . وبذلك تزيد من كفاءة الحفر في الطبقات الخشنة التكوين

والرسوبيات غير المتصلبة . إذا أريد الحفر في مناطق شحيحة المياد يمكن استخدام ضاغطات الهواء Compressors لتدوير الهواء داخل أنبوب الحفر بدلاً من مزيج الماء والطين . وهذه الطريقة ممكنة إذا كانت الصخور بصورة عامة غير نفاذة والفتات الناتج من اللقمة صغير نسبيًا . كما تتوفر معدات حفر يمكن استخدامها كمعدات حفر دوارة أو معدات حفر سلكية حسب ظروف المنطقة ، أي أنها مصنوعة بشكل يسمح باستعمالها بأي من الطريقتين .



الشكل (2 -20) المكونات الرئيسية لمعدات الحفر الدوارة لحفر الآبار المنتجة وآبار الفحص . تشير الأسهم إلى إتجاه حركة الماء والطين .

الحفارات الهوائية Pneumatic drills :

تم مؤخراً تصنيع حفارات هوائية عالية السرعة لحفر آبار المياه . تستعمل كتل هوائية كبيرة لرفع فتات ودقائق الحفريات من البئر إلى سطح الأرض . وينحصر إستعمال هذه المعدات في مناطق الصخور المتصلبة الصلدة التي تمتلك كميات قليلة إلى متوسطة من المياه . يمكن حفر آبار بعمق من 50 - 100 قدم في الكرانيت الكثيف جداً في يوم واحد بواسطة الحفارات الهوائية الكبيرة .

أختيار المعدات Selection of Equipment :

يعتمد اختيار معدات الحفر على الهدف الذي تستعمل لأجله هذه المعدات إضافة إلى العوامل الاقتصادية والظروف الجيولوجية . إذا كان الحفر لأجل التحري الجيولوجي السريع للمنطقة فأن الطريقة الدوارة هي المفضلة بصورة عامة وإذا أريد إجراء دراسة مفصلة عن نوعية المياه الأرضية أثناء عملية الحفر فأنه يفضل إستعمال طريقة الآلة السلكية . إن معدات الحفر المصممة لكل من طريقتي الحفر الدوارة والسلكية هي الأفضل لمختلف الأغراض إلا إنها عموماً أكثر كلفة عند الشراء والصيانة .

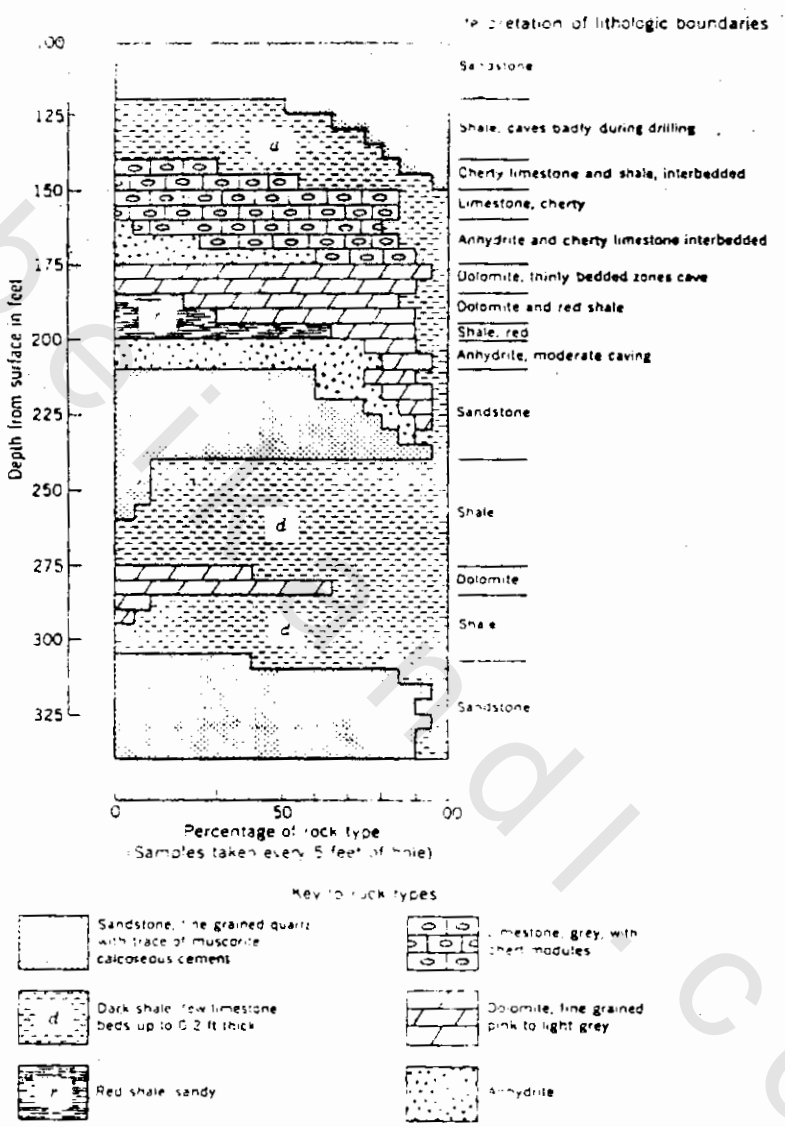
• • •

2 - 7 : التقارير والسجلات الجيولوجية Geologic Logs :

إن تسجيل البيانات والملاحظات حول أي وجه أو ناحية من أوجه ونواحي حفر الآبار يمكن أن يسمى سجل أو تقرير (Log) . إن وقت الحفر ، تثبيت البطانة ، المعلومات الجيولوجية ، التغيرات الجيوفيزيائية ، والتثقيب جميعها أمثلة عن المواضيع المعتادة في التسجيل . من بين العديد من السجلات ، ربما يعتبر التقرير الجيولوجي هو الأكثر أهمية . يعتمد الكثير من الأمور بدرجة

كبيرة على التقارير الجيولوجية الدقيقة ومن هذه الأمور : تحديد الطبقات الحاملة للمياه ، العلاقة بين الآبار المتجاورة ، والتصميم النهائي لبطانة البئر . ولسوء الحظ يصعب عمل سجلات جيولوجية جيدة .

إن أحد أسباب هذه الصعوبة هو حقيقة كون الفتات والتحات الناتج من عملية الحفر عادة ما يكون بشكل دقائق صغيرة ممزوجة مع الطين . فمثلاً مواد الحفر الناتجة باستعمال معدات الحفر الدوارة يجب أن تغسل بعد وضعها على شبكة ذات فتحات أصغر من $\frac{1}{8}$ مليمتر بحيث تبقى الدقائق الأكبر من دقائق الرمل الناعم على الشبكة . فى حفر الدوران السريع سوف يعاد تدوير المواد الأنعم من الرمل مع مزيج الماء والطين الدائر في البئر ، لذلك من الصعب تسجيل الطبقات المكونة من الرمل الناعم جداً أو من الفرين أو الطين الخشن . ولا يتفتت الطين اللزج بسهولة ، وتبعًا لذلك ستتجمع قطع الطين على الشبكة. يعتبر التكهف مشكلة خطيرة فى كلا طريقتى الحفر الدوارة والآلة السلكية غير المبطن . يمكن أن يتساقط كل من الصلصال، الغرين، الرمل، والحصو من الطبقات التي تقع فوق الطبقة التي وصل إليها الحفر . لذلك شاع إستعمال التقارير النسبية (لاحظ الشكل 2 - 22) .



الشكل (2 -22) جزء من تقرير تسجيل لبئر محفور في صحراء سويسه

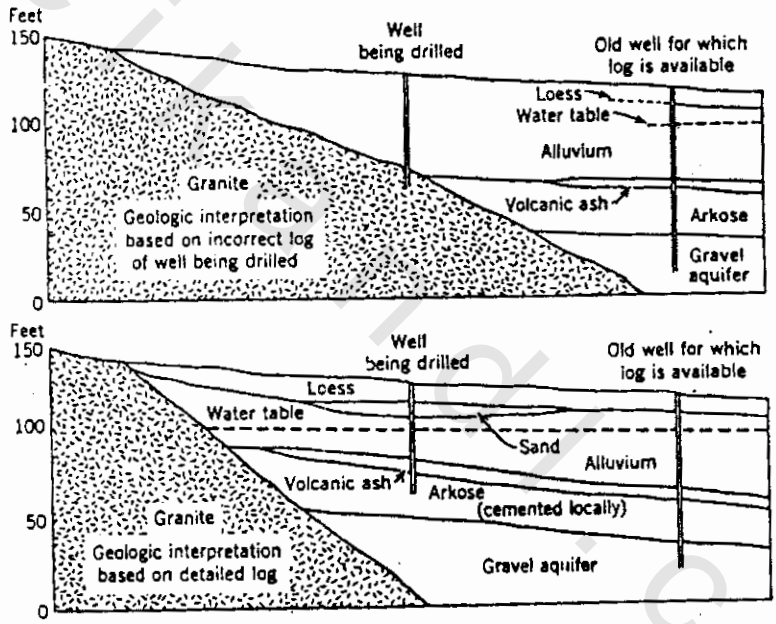
يجب أن يتم التسجيل الجيولوجي دائمًا وعن قرب بالتعاون مع الشخص القائم بعملية الحفر . تنعكس التغيرات في خواص الصخور عادة على التغيرات في معدل تقدم الحفر ورد فعل اللقمة خلال الارتداد في حفر الآلة السلكية أو خلال الاهتزاز في الحفر الدوار . يمكن التعرف على هذه التغيرات أو إكتشافها من قبل عمال حفر الآبار ذوي الخبرة والذين يجب عليهم إعلام الچيولوچي بهذه التغيرات أولاً بأول .

إن معظم التقنيات القياسية تحت السطحية المستعملة في استكشاف وتطوير الحقول النفطية تنطبق على السجلات الخاصة بالآبار المائية . ومن بين الاهتمامات الكبيرة في هذا المجال : المسامية ، النفاذية ، المخلفات غير الذائبة، المتحجرات، نسبة الكلسايت، المعادن الثقيلة، وغيرها . فمثلاً يمكن استخدام المخلفات غير الذائبة Insoluble residues لدراسة الحجر الجيري المتجانس تقريبًا والدولومايت كعامل مساعد في تحديد النطاقات النفاذة . ويمكن استعمال نسب الكالسايت في الترسبات الجليدية لتحديد نطاقات التربة المدفونة التي غسلت من الكربونات والمهمة في دراسة الطبقات الجليدية . ويمكن إستعمال المعلومات المتعلقة بالمتحجرات لحل المعضلات الطبقية وفهم البيئات الچيولوچية السابقة . تفيد المعادن الثقيلة في تحريات أصل الرسوبيات وكذلك عوامل تجويتها . تعتمد المسامية والنفاذية مباشرة على خصائص الصخور والرسوبيات المتعلقة بحمل المياه . إن المعادن الطينية مسؤولة عن العديد من التغيرات الطبيعية للنفاذية . كما إن نوع المعدن الطيني الموجود يحدد نوع التغيرات في النفاذية التي ستحدث إذا تم ضخ ماء ذي تركيب كيميائي غير إعتيادي .

في المراحل الأخيرة من تطور صناعة الآبار المائية منعت الاعتبارات

الاقتصادية إستخدام الأشخاص الجيولوجيين المتدربين في معظم أعمال الآبار المائية ، وأصبح عمل التقرير من الممارسات المعتادة لحفار البئر نفسه . وينبغي على حفار البئر أيضًا الإشراف على العاملين الآخرين ، وتشغيل المكائن ، وتحمل مسؤولية التصليحات الميكانيكية ، والمساعدة في تنفيذ بطانة البئر ، وواجبات عديدة أخرى . رغم إفتقارهم للتدريب الجيولوجي الأساسي والواجبات الكثيرة الضاغطة أثناء عملية الحفر فأنه يستطيع العديد من الحفارين إنجاز تقارير دقيقة ذات فائدة عظيمة للهيدروجيولوجي . إن الحفار المتمرس قد تعلم كيف يكتب تقريراً بسيطًا يمكن إنجازه بسرعة ، ومع ذلك يحتوي على كمية كبيرة من المعلومات . إن العوامل الأكثر أهمية هي حجم الدقائق ، ودرجة الصلابة ، واللون . في العديد من المناطق يمكن الاستفادة من قنينة صغيرة مملوءة بالحامض لفحص الفتات (الدقائق الناتجة من الحفر) من حيث الفوران والرغوة التي تشير بحدوثها عند وضع الحامض على المادة إلى وجود الكاربونات في تلك المادة ، حيث تكون هذه الكربونات عادة كحجر كلس أو دولومايت أو رخام . نظراً لندرة استخراج الجلاميد والحصو الكبير أثناء الحفر فأن العديد من الحفارين لا يذكر التمييز والفروقات بين الحجمين . أما الفروقات الحجمية الأخرى فيجب إجراؤها وذكرها أينما كان ذلك ممكنًا . يجب تجنب إستعمال الأسماء الغامضة التي تسبب الإرباك والإلتباس مثل عبارة « طين النمر Tiger clay » أو « رسوبيات الشوكولاتة Chocolate sediment » أو « الوحل muck » وغيرها . من ناحية أخرى بعض الملاحظات مثل « حوض صلد Hard pan » ، « الأصداف البحرية Sea shells » ، « رائحة البيض الفاسد rotten eggodor » ، « ظاهرة الرمل السريع quick sand » وغيرها تعتبر مفيدة جداً . يمكن تمييز أنواع مألوفة معينة من الصخور

دون الحاجة إلى ممارسة عالية ، لكن يجب عدم قيام الحفار بمحاولات لتمييز الحالات الصعبة ، إذ ربما يقع في أخطاء لا يعلمها . إن عدم التمييز وعدم المطابقة والتعيين والبحث يمكن أن يسبب صعوبة أكبر من إستعمال كلمات رصد أو وصف أقل علمية ، مثال ذلك ، صخور الكرانيت والأركوس متشابهة جداً في المظهر ، لكن العلاقة بينهما من الناحية الهيدروجيولوجية الأصلية يمكن أن تختلف أختلافًا واسعًا .



الشكل (2 - 23) مقطعان جيولوجيان اعتمد كل منهما على نفس المعلومات السطحية (معلومات مأخوذة من على سطح الأرض) ولكن يعتمدان إضافة لذلك على معلومات تقارير جيولوجية مختلفة .

يمكن ملاحظة أهمية تقرير الحفار الصحيح من المقاطع الچيولوچية المبينة في الشكل (2 - 23) حيث اعتمد المقطعان على الملاحظات والتفسيرات الموجودة في تقارير الحفار . أن الهيدروچيولوچي ، من خلال معاينة الحافات الصخرية البارزة على طول التلال المحاذية . يتوقع وجود الكرانيت والأركوس arkose تحت الطبقة السطحية وكذلك يتوقع طبقة حصوية حاملة للمياه توجد عادة بين الكرانيت والأركوس . على أساس التقرير الأول (الجدول 2 - 3) يجب أن يترك البئر ، وعلى أساس التقرير الثاني سيتوقع الهيدروچيولوچي وجود الأركوس ويعاين كل الفتات الخارج من البئر ، ويجب أن يستمر الحفر حينئذ حتى الوصول إلى الغرانيت .

نادراً ما يمتلك الحفارون التسهيلات الضرورية للأحتفاظ بالمواد المستخرجة من حفر الآبار ، وبناءً على ذلك فأن مواد حفرية قليلة ستبقى عادة ، باستثناء حالات قليلة ، مثلاً عندما يحتم القانون المحلي الاحتفاظ بالحفريات أو عندما يطلب صاحب البئر ذلك من الحفار الذي استأجره .

على أية حال ، يجب الاحتفاظ بنماذج نظامية من المواد الحفرية أثناء عمليات الحفر ، ويشار إلى هذه النماذج أثناء كتابة التقارير ، وعندما يتم إختيار قطر التثقيب أو حجم ثقوب الشبكة التي تغلف أنبوب التبطين . يجب الاحتفاظ بالنماذج على الدوام حيثما يكون ذلك ممكنًا . وفي معظم الحالات لا يصنف هذا العمل كجزء من واجبات الحفار .

الجدول (3-2) مقارنة بين عدة أنواع من التقارير

Table 8.3 Comparison Between Types of Loge

Feet	Driller's Log, poor	Feet	Driller's Log, good	Feet	Geologic Log, brief type
0 -10	Soil	0 -10	Silt, brown, soft.	0 - 2	A and B horizons of modern soil.
				2 - 9	Loess, light yellowish brown, friable, calcareous with gastropod remains.
10 - 50	Quicksand and water	10 - 22	Sand, tan, soft, some caving	9 - 22	Sand, medium to fine well sorted, yellowish grey, friable. About $\frac{2}{3}$ quartz and $\frac{1}{3}$ feldspar.
		22-46	Sand and silt with a little clay, tan, soft. Some water below 30ft. Waer stands in well at 29 ft.	22 - 46	Silt, sandy, poorly sorted, yellowish grey, friable, Small layers of clay less than 1 ft thick enconuntered every 1 to 2 ft. Clay is yellowish brown and compact. Sand, silt, and clay lack carbonates; composed of quartz, feldspar, and biotite.
		46- 50	Quicksand, white. water rose in well now stands at 25 ft.	46- 50	Ash, rhyolitic, with about 10 per cent clean medium quartz sand, light tan, friable.
50-65	Granite	50-65	Rock, hard, pink, looks like granite but drills easier than granite.	50-65	Arkose, medium grained, light reddish brown, compact.

8 - 2 : التقارير الجيوفيزيائية Geophysical Logs :

تطورت معظم الطرق الجيوفيزيائية تحت السطحية في مراحلها الأولى لتلبي متطلبات الصناعة النفطية . كما استعملت منها طرق مختلفة في حفر آبار المياه أيضًا . وتحدد إستعمال العديد من هذه الطرق في الآبار غير المبطنة . إن أولى طرق التسجيل الجيوفيزيائي الواسعة الانتشار تستعمل نوعين من القياسات هما الجهد الكهربائي الذاتي Spontaneous potential ، والمقاومة الكهربائية electrical resistivity . وبعد سنوات عديدة من التطور لطرق أخرى كثيرة ، فأنه لا تزال هاتان الطريقتان من بين أكثر الطرق الجيوفيزيائية إستعمالاً وفائدة .

تقارير الجهد الكهربائي الذاتي Spontaneous potential Logs :

ربما تكون طريقة الجهد الكهربائي الذاتي أفضل الطرق بالنسبة لأعمال الآبار المائية . يتم إحداث الجهد الكهربائي أولاً بواسطة خلية كهروكيميائية والتي تتكون عندما يربط كل من البئر والمادة النفاذة والصلصال معًا (الشكل 2-24) وثانيًا ، بواسطة تأثير كهروحركي لسوائل تتحرك خلال المادة النفاذة . في معظم التكوينات الجيولوجية يتم استحداث الجهد الذاتي من خلال التأثير الكهروكيميائي . لقد أوضح الباحث وايلي wyllie بأن الجهد الكهروكيميائي المتكون في الآبار المفتوحة المملوءة بالطين الذي يمتلك مقاومة كهربائية أعلى بكثير من ماء التكوين (المياه الأرضية) يمكن التعبير عنه بالصيغة الآتية :

$$E = K \log_{10} \frac{\text{Activity of interstitial water (فعالية الماء الأرضي المسامي)}}{\text{Activity of the mud filtrate (فعالية المرشح الطيني)}}$$

حيث E = الجهد المتولد ، K = ثابت يعتمد على درجة الحرارة .

نظراً لكون الفعاليات الكيميائية ولمعظم الظروف تقريبًا تتناسب مع الايصالية الكهربائية للمحاليل فأنه بالامكان إستخدام المعادلة الآتية :

$$E = K \log_{10} \frac{Rinf}{Rw}$$

حيث Rinf = مقاومة المرشح الطيني

Rw = مقاومة الماء الذي يتشبع به التكوين النفاذ

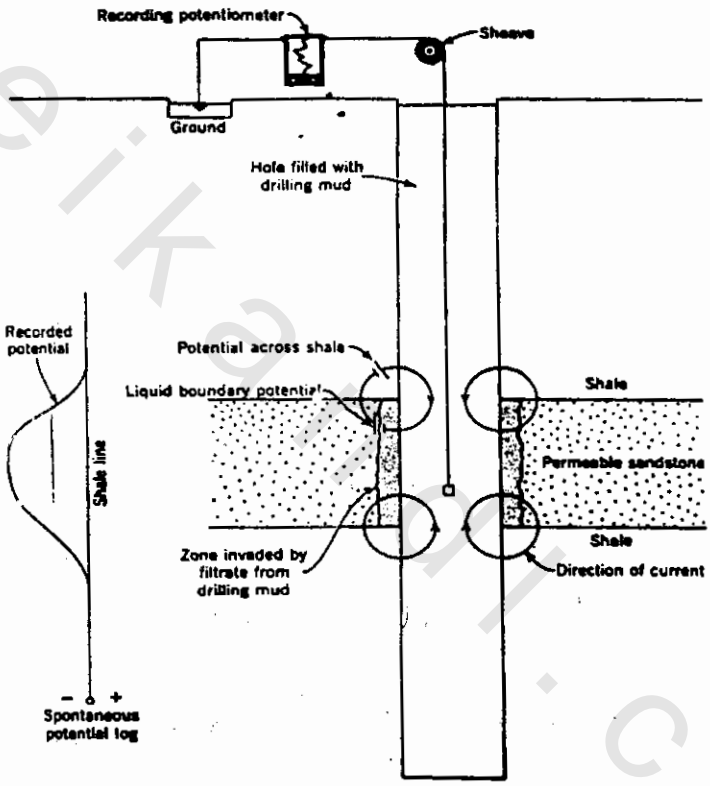
يتم قياس الجهد الذاتي في بئر ما بإنزال قطب منفرد داخل البئر غير المبطن وغمس القطب الآخر في حفرة صغيرة عند سطح الأرض مملوءة بطين الحفر . يفترض إن الجهد المسجل مساويًا صفر مقابل الطبقات السمكية من الصلصال غير النفاذ أو الطين . يمكن رسم خط بين كل النقاط ذات الجهد المساوي صفر وعادة ما يسمى هذا الخط بـ « خط الصلصال Shale line » . وبالاتفاق الاصطلاحي يتم عمل التقارير بحيث إن الانحرافات الواقعة إلى يسار خط الصلصال تعتبر سالبة والانحرافات الواقعة إلى يمين خط الصلصال تعتبر موجبة. إذا كانت الطبقات النفاذة أقل من 8 إلى 20 مرة بقدر قطر البئر فأن قيمة أقل بعض الشيء من الجهد الكلي المبين في المعادلة الأخيرة المذكورة أعلاه سيتم تسجيله . ويعزى الفرق إلى حقيقة أن السريان القليل للكهربائية بين الطبقات النفاذة وغير النفاذة سوف تتحول جزئيًا خلال طين الحفر في البئر وخلال الطبقة النفاذة التي غطيت بالطين (الشكل 2 - 24) . يرمز إلى مقاومة الصلصال بـ R_{sh} ، مقاومة الرمل R_s والطين في البئر R_m .

إذا كان الجهد الكلي المتولد هو E والجهد المقاس هو V والتيار المار I فأن:

$$V = I R_m$$

$$E = I (R_m + R_{sh} + R_s)$$

وبذلك يمكن ملاحظة أن V تساوي تقريباً E عندما تكون قيمة R_m كبيرة جداً مقارنة بمجموعة R_s و R_{sh} . تكون قيمة R_m كبيرة عندما يكون قطر البئر صغيراً ، أو عندما تكون مقاومة الطين عالية جداً . ستكون قيم R_{sh} و R_s عالية نسبيًا إذا كانت الطبقات ضحلة (قليلة السمك) .



الشكل (2 -24) تسجيل الجهد الكهربائي الذاتي . اتجاه سريان التيار والجهد الذاتي الناتج في بئر فحص يخترق حشرج تكون مياهه الموجودة في الصخور الرملية أكثر ملوحة من طين الحفر . إن الجهد الكهروكيميائي الكلي يساوي المجموع الجبري لجهد سطح السائل الفاصل والجهد المتولد عبر غشاء الصلصال .

يستعمل الجهد الكهربائي الذاتي لتحديد الطبقات النفاذة وتحديد السطح الأعلى والسطح الأسفل للطبقات بصورة دقيقة وكذلك لمعرفة نوعية المياه . يعتمد تولد الجهد الذاتي على وجود الطبقات النفاذة . ولسوء الحظ يعتبر من المتعذر قياسي قيمة محددة مطلقة للنفاذية . وعمومًا تعتبر طريقة السجل للجهد الكهربائي الذاتي هي الأفضل في تحديد السطح الأعلى والأسفل للطبقات مما لو استعملت طريقة سجل المقاومة الكهربائية . يمكن تحديد الانحراف في المنحنى والذي يمثل سطح الطبقة بدقة قدم واحد على سجل الجهد، في حين يمكن تحديد ذلك الانحراف بدقة 3 إلى 5 قدم على سجل المقاومة .

يمكن التعرف على نوعية المياه من سجل الجهد باستعمال المعادلة :

$$E = K \log_{10} \frac{R_{mf}}{R_w}$$

ويمكن إيجاد جميع القيم في هذه المعادلة باستثناء قيمة R_w وبذلك يمكن حل المعادلة لايجاد قيمة R_w . ونظراً لكون R_w هي دالة للتركيز الأيوني فإنه يمكن الحصول على قيمة تقريبية لنوعية المياه . وعمومًا ، تعتبر هذه الطريقة أكثر نجاحًا في دراسة المياه المالحة والمحاليل الملحية (مياه البحر) ويمكن الحصول على معلومات نوعية فقط إذا كانت المياه عذبة .

هناك عدة أسباب تحول دون الحصول على نتائج دقيقة من المعادلة أعلاه ، منها إن المعادلة مبنية على افتراض إن جهداً كهروكيميائيًا يتولد من تراكيز مختلفة لكاتيون واحد أحادي التكافؤ وأينون واحد أحادي التكافؤ . في العديد من المياه الطبيعية لا يتضمن هذا الافتراض خطأ كبير نظراً لأن معظم الأيونات هي صوديوم وكلوريد . لكن في العديد من المياه الأخرى ذات التركيز الأيوني المنخفض تشكل الأيونات الأحادية التكافؤ أقل من 50% من التركيز

الأيوني الكلي . ومن الأسباب الأخرى التي تعطي خطأ هو الافتراض بأن الجهد الكهربائي هو كهروكيميائي بصورة كلية ، في حين إن الجهد الكهروحركي electrokinetic تحت بعض الظروف يمكن أن يزيد على الجهد الكهروكيميائي . سيكون الجهد الكهروحركي سالبًا ، وبذلك إذا كانت مقاومة المرشح الطيني أعلى من مقاومة الماء في الحشرج فأن الجهد الكهروحركي سيضاف إلى الجهد الكهروكيميائي . سبب ثالث للخطأ ينشأ من تأثيرات الشكل الهندسي لسمك الطبقة وقطر البئر . إذا تم تجنب الطبقات الضحلة أو التي تحتوي على طبقات خفيفة من الطين متداخلة معها فأن الأخطاء المتأتية من الشكل الهندسي للطبقة ستكون قليلة . المصدر الرابع للخطأ والذي أصبح مهمًا في الحشارج الحاملة للمياه العذبة يأتي من حقيقة إن R_m ليست كبيرة جداً مقارنة بمجموع R_{sh} و R_s وبذلك فأن V لا تساوي تقريبًا إلى E كما ذكرنا في معادلة سابقة أخرى . رغم الشكوك التي يتضمنها تحديد نوعية المياه فأنه يمكن حساب قيمة لمقاومة المياه ضمن 100% من القيمة الصحيحة لمعظم المياه المالحة قليلاً . ويمكن الحصول على دقة 10 - 20% للمياه المالحة . كذلك يمكن الحصول على دقة أكثر بصورة عامة من خلال عوامل تصحيح عددية مشتقة من الخبرة الطويلة في أحواض المياه الأرضية الصغيرة .

الخطوة الأولى في حساب مقاومة المياه بطريقة الجهد الكهربائي الذاتي هو قياس الجهد كما يظهر بواسطة الانحراف عن خط الصلصال Shale line . إذا كانت الطبقة موضع الفحص سميكة بدرجة كافية مع وجود طبقات نفاذة سميكة أخرى فأنه يمكن رسم خط رمل Sand line يربط بين كل الانحرافات القصوى عن خط الصلصال ، ويقرأ الجهد حينئذ على إنه الفرق بين خطي الصلصال والرمل . الشكل (2 - 25) . يمكن أن يكون الجهد سالبًا أو موجبًا ، والعلامة الجبرية هذه تطبق في المعادلة :

$$E = K \log_{10} \frac{R_{mf}}{R_w}$$

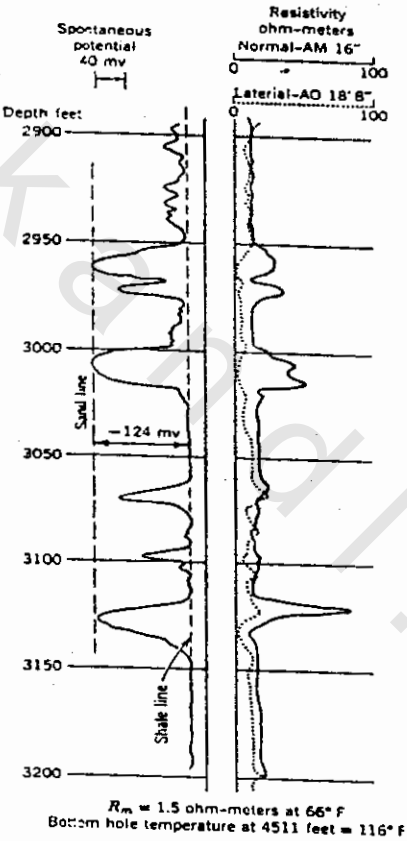
إن العديد من الآبار ضحلة جداً بحيث لا تسمح برسم خطوط الرمل ، لذلك تعامل الحشارج بصورة إنفرادية وإذا كانت ضحلة (قليلة السمك) يجب تطبيق عامل تصحيح الشكل الهندسي على قيمة الجهد لغرض إيجاد قيمة الجهد الحقيقي المتولد في البئر .

الخطوة الثانية هي إيجاد درجة الحرارة عند الطبقة موضع الفحص معظم التقارير الكهربائية تسجل درجات الحرارة العظمى التي تفترض على إنها درجة حرارة قعر البئر . إن المعدل السنوي لدرجة حرارة الهواء في المنطقة مضافًا إليها درجتان مئويتان تفترض على أنها تمثل درجة الحرارة على عمق 60 قدم تحت سطح الأرض (الشكل 2 - 26) . في حالة عدم توفر معلومات يعول عليها عن درجات الحرارة في قعر البئر يستعمل الميل الحراري الچيولوچي المحلي لإيجاد درجة الحرارة عند العمق المطلوب .

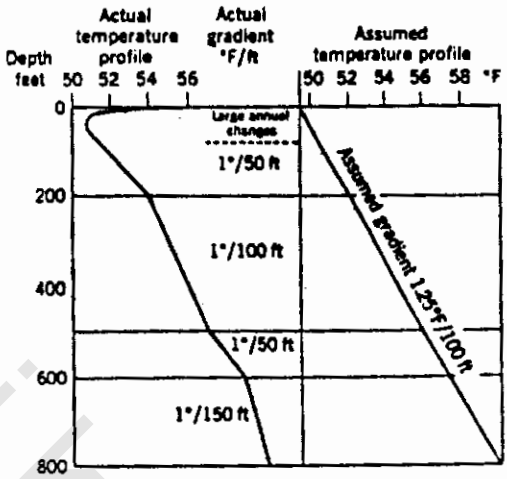
الخطوة الثالثة هي إختيار القيمة الأفضل لـ K باستعمال درجة الحرارة المستخرجة للتكوين . إذا كان البئر ضحلاً وفي منطقة ذات مناخ معتدل فأنه يمكن إستعمال القيمة (70 mv -) بدون الحاجة إلى تصحيح درجة حرارة التكوين . تعتبر القيمة (65 mv -) للماء القريب من الانجماد أفضل . وللماء عند درجة حرارة حوالي 150 F̊ تزداد القيمة إلى (80mv -) لاحظ الجدول (2 - 4).

الخطوة الرابعة هي قراءة مقاومة المرشح الطيني mud filter من بيانات السجل ، وإذا لم تعطي مقاومة المرشح الطيني فأن مقاومة الطين غير المرشح unfiltered mud والموجودة دائمًا في بيانات السجل يمكن ضربها في 0.8 للحصول على قيمة تقريبية مقبولة .

الخطوة الخامسة تعويض قيم كل من R_{mf} , K , E في المعادلة وحساب القيمة المجهول لـ R_w . ويمكن أن تعتمد هذه القيمة على التركيز الأيوني معبراً عنه كـ Nacl) باستعمال الشكل (2 - 27) . ستكون مقاومة الماء بأعتباره محلول في درجة حرارة المرشح الطيني . لذلك من إستعمال الشكل (2 - 27) فأن قيمة تركيز Nacl (PPm) تقرأ من منحنى المقاومة عند درجة حرارة المرشح الطيني . وهذا موضح في المثال العددي المبين في الشكل (2 - 28) .



الشكل (2 - 25) مسجل كهربائي لبئر نفطي يخترق صلصال وحجر رملي مشبع بالماء المالح . من الناحية المثالية ، يجب أن تمتد خطوط الرمل إلى أكثر من الثلاث طبقات من الحجر الرملي المبينة في هذا المثال .

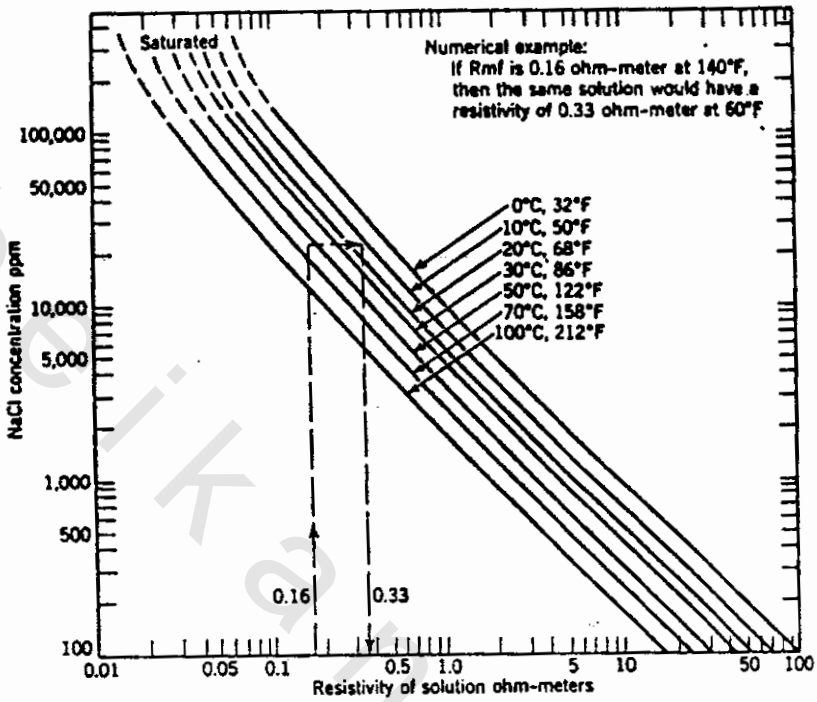


الشكل (2 - 26) مثال عن السجل الجيوحراري geothermic log يوضح تأثيرات الايصاليات الحرارية على الميل الحراري عند أعماق مختلفة . يصعب الحصول على رسوم بيانية مفصلة عن درجة الحرارة . لذلك من المعتاد عمليًا استعمال ميل حراري مفترض يعتمد على درجات حرارة قعر البئر ومعدل تقريبي للدرجات الحرارية السطحية .

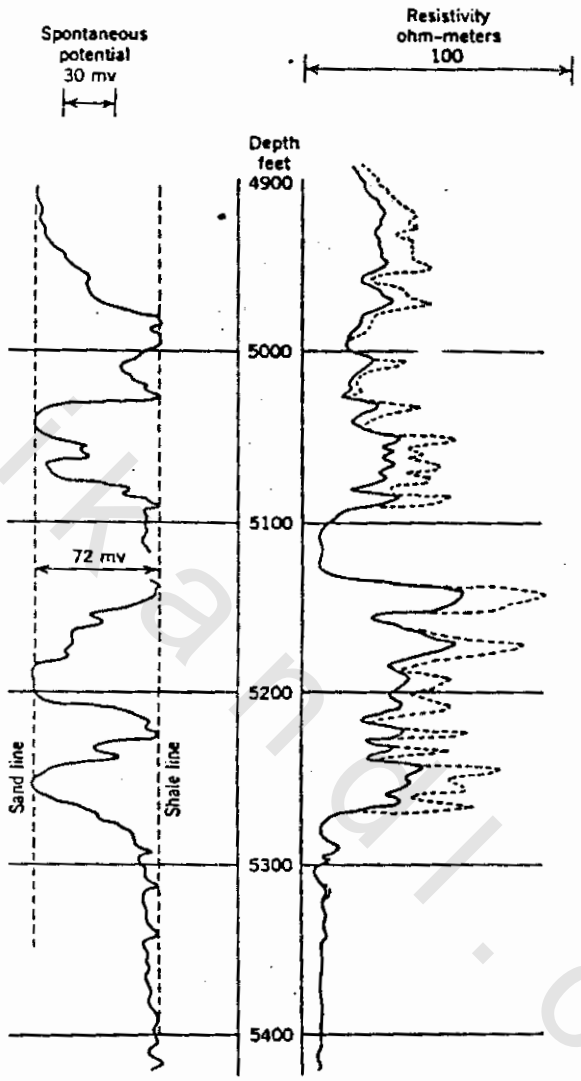
الجدول 2 - 4 قيم الثابت K

الثابت الكهروكيميائي K ملي فولت Millivolts	درجة الحرارة	
	فهرنهايت °ف	مئوية °م
- 65	32	0
- 67	50	10
- 69	68	20
- 72	86	30
- 74	104	40
- 77	122	50
- 79	140	60
- 81	158	70
- 83	176	80

obeikandl.com



الشكل (2 - 27) العلاقة بين درجة الحرارة وتركيز Nacl وبين مقاومة المحلول .



الشكل (2 - 28) جزء من سجل كهربائي لبئر يخترق طبقات رملية وصلصالية . تبين الحسابات طريقة إيجاد محتوى المواد الصلبة الذائبة في المياه المالحة والمالحة قليلاً في الحشارج.

مثال :

From Log:

R_m = 1.36 ohm - metersat 71 f

Spontaneous potential = - 72 mv

Estimated :

Temperature at 5000 ft = 120f

R_{mf} = 0.8 , R_m = 1.09 ohm - metersat 71 f

from table 2 - 4 :

k = - 77 mv

$$S.P. = k\log_{10}\frac{R_{mf}}{R_w}$$

Solving for R_w :

$\therefore R_w$ 0.12

from figure 2 - 27 :

Estimated solinity =

53000ppm as Nacl

تقارير وسجلات المقاومة Resistivity Logs :

تقيس سجلات المقاومة تأثير تيار كهربائي يتم إنتاجه في عربة التسجيل وينقل إلى التكوين (الطبقة) خلال أقطاب موضوعة داخل آلة تسمى مسبار الارتفاعات Sonde » . يستعمل عدد كبير من المسافات بين الأقطاب والترتيبات المختلفة في تسجيل المقاومة تحت السطحية . البعض منها مبين في الشكل (2 - 29) . تستعمل معظم سجلات المقاومة مجموعة مؤلفة من ثلاث أو أربع ترتيبات قطبية وذلك للحصول على أعماق مختلفة لتغلغل التيار .

أن مقاومة الصخور المشبعة بالسائل لمرور التيار الكهربائي هي دالة لثلاثة عوامل أولية . الأول ، ملوحة السائل الموجود في المسامات ، الثاني ، مسامية الصخور . والثالث ، درجة حرارة الصخور والسائل . والعوامل الأخرى ذات الأهمية هي المعادن الموجودة في الطبقات والشكل الهندسي للفراغات المسامية. والمعادلات التي تعبر عن العلاقات بين بعض المتغيرات الرئيسية هي :

$$F = \frac{R_o}{R_w} \qquad (1)$$

$$F = \frac{C}{\theta^m} \qquad (2)$$

تسمى القيمة F = بعامل التكوين (Formation factor)

R_w = مقاومة ماء التكوين

R_o = المقاومة الكتلية للتكوين (bulk resistivity)

θ = المسامية

c و m = ثوابت تعتمد على طبيعة المعادن والشكل الهندسي لفراغات المسامات .

تتراوح قيم F من 3 إلى 200 لمعظم التكوينات الطبيعية . ومعظم قيم C قريبة من 1.0 ، إلا إن قيم m تتراوح بين 0.3 في الرسوبيات غير المتصلبة إلى 2.2 في الصخور المتصلبة .

تستعمل سجلات المقاومة للتعرف على أنواع الصخور وإيجاد الخصائص الكيميائية للسائل الموجود في حساماتها . كما يلاحظ من المعادلة (2) أعلاه ستكون الصخور الصلبة غير المسامية كالصخور الجيرية ذات مقاومة عالية جداً . وبالعكس ، المواد ذات المسامية العالية المشبعة بالماء المالح ستكون ذات مقاومات واطئة . تعمل المعادن الطينية على تخفيض المقاومة بسبب الأيونات المتجمعة على سطوح المعدن والتي تزيد كثيراً من سعة حمل التيار من قبل تلك الطبقات الحاملة لها . وفي معظم التقارير تسجل مقاومات منخفضة جداً لطبقات الصلصال والطين .

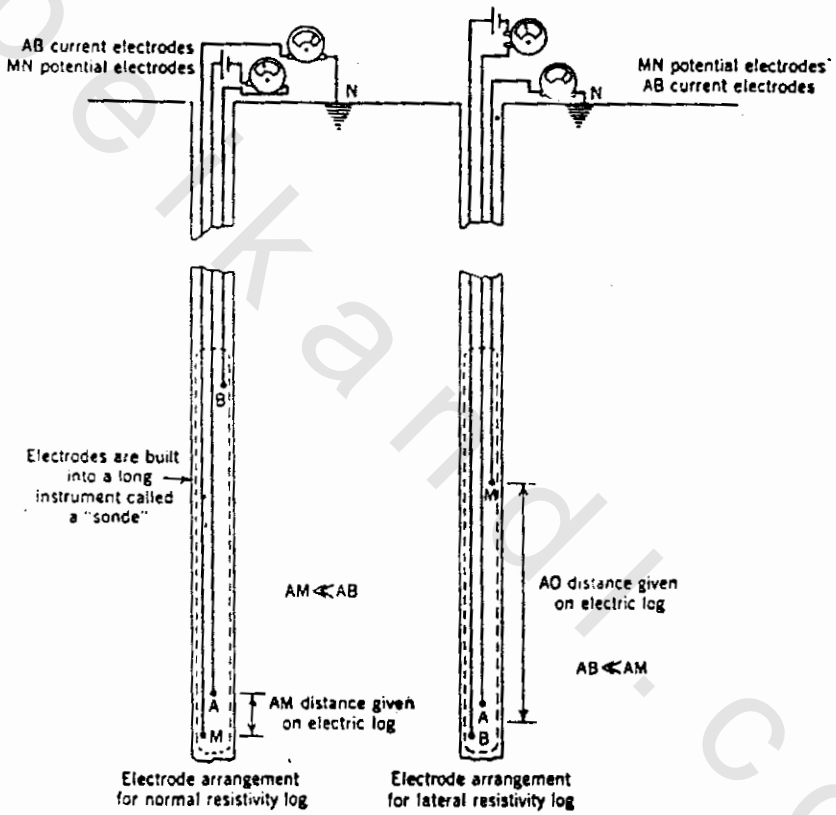
كما في تقارير الجهد الكهربائي الذاتي ، توجد في تقارير المقاومة أشكال وترتيبات متميزة للطبقات أو القطاعات المعينة .

يمكن استعمال المعادلة (1) أعلاه في بعض المناطق لإيجاد نوعية المياه في الطبقات الرملية أو الصخرية الرملية . ويمكن الحصول على قيمة تقريبية لـ F بافتراض مسامية معقولة للحشرج موضوع البحث . ويمكن حساب مقاومة التكوين الحقيقية R_S من منحنيات المقاومة . في العادة ، تستعمل مسافات بينية قطبية واسعة مع الطبقات السميكة المتجانسة ستعطي من خلال المعاينة المباشرة قيمًا للمقاومة قريبة من القيمة الحقيقية . ولمعظم العمل يجب إجراء تعديلات من خلال معاملات تصحيح للعوامل المختلفة . من العوامل الأكثر أهمية هي قطر البئر ، ترتيب الأقطاب ، والمسافة بينها ، مقاومة الطين ، عمق تغلغل الرشح الطيني ، وسمك الطبقة . في الشكل (2 - 30) أعطيت قواعد مختلفة تسمح بالتقريب للقيمة الحقيقية للمقاومة مع دقة كافية لمعظم أعمال المياه الأرضية .

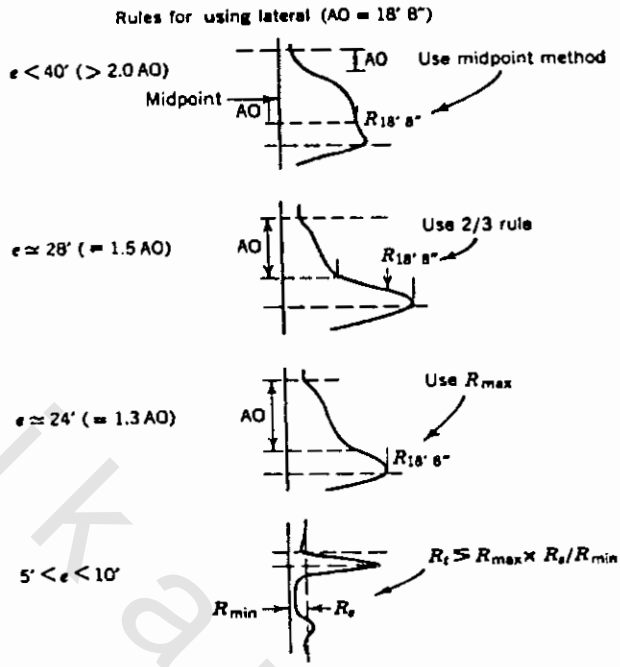
في حساب مقاومة المياه R_W ، من الضروري أن نتذكر بأن R_W هي مقاومة المياه عند درجة حرارة الحشرج الحامل لها . لذلك فأن التركيز المكافئ (ppm Nacl) من الشكل (2 - 27) يتم الحصول عليه من المنحني الذي يمثل درجة حرارة التكوين .

حدث تطور كبير في عمليات سجلات المقاومة من خلال تطوير ما يسمى بـ «سجل الحث induction log » وفي هذه التقنية لا توجد أقطاب في تماس مباشر مع طين الحفر ؛ وبدلاً من ذلك تجهز الطاقة على شكل تيار متناوب إلى ملف محولة . سينتج بذلك مجال مغناطيسي يسبب سريان تيارات معاكسة في المنطقة المحيطة بالبئر . وتعمل هذه التيارات بدورها على إيجاد مجالاتها المغناطيسية الخاصة بها والتي يتم كشفها بواسطة مستقبل (receiver) موجود في الجهاز . وتتناسب قوة الاشارة المستلمة من قبل الجهاز مع الإيصالية، أو

أنها تتناسب عكسيًا مع مقاومة الطبقة موضوع البحث . إن جهاز الحث هذا لا يتأثر إلا قليلاً بعمود طين الحفر الموجودة داخل البئر وبالطبقات الموجودة فوق وتحت الجهاز وهذا التأثر هو أقل مما في حالة سجلات المقاومة . يعتبر سجل الحث أكثر نجاحًا مع أنواع طين الحفر ذات المقاومة العالية .



الشكل (2 - 29) مخطط يبين التشكيلات القطبية في طريقة سجل المقاومة .



الشكل (2 - 30) قواعد لإيجاد مقاومة التكوين الحقيقية R_t من سجلات المقاومة . حيث e = سمك الطبقة ، R_{max} = المقاومة العظمى ، R_{min} = المقاومة الدنيا R_S مقاومة الصلصال shale

السجلات أو التقارير الصوتية Acoustic Logs :

تقيس طرق السجلات الصوتية سرعة الصوت في الصخور القريبة من البئر. نظراً لكون وقت مرور الصوت يعتمد بدرجة كبيرة على المسامية ، فقد استعملت الطرق الصوتية بصورة واسعة لإيجاد المسامية . وتطبق التقنيات في الوقت الحاضر بكثرة في حالات المسامية المعتدلة ، والصخور الرملية المتراصة جيداً . والصخور الجيرية والدولومايت . وقد أجرى بعض التطوير على الطرق الصوتية بحيث يمكن تحديد الانكسارات في الصخور المتصلبة الصلدة .

طرق تسجيل النشاط الاشعاعي Aadioactivity Logs :

يعطي النشاط الاشعاعي أسس أخرى مفيدة في عملية التحري الجيوفيزيائي . تتحلل النظائر الطبيعية غير المستقرة للعناصر مثل الثوريوم ، اليورانيوم ، الراديوم ، والأكتينيوم إلى عناصر أكثر إستقراراً . وتنبعث في عملية التحلل هذه أشعة ألفا (α) وأشعة كاما (ɣ) وأشعة بيتا (β) . إن كل من أشعة الفا وبيتا عبارة عن دقائق مشحونة توقف بسهولة نسبيًا من قبل المادة . وعلى العكس ، تخترق أشعة كاما كثيراً في المادة فهي الأشعة المقاسة في التحري تحت السطحي .

تعزى أشعة كاما الطبيعية بدرجة كبيرة إلى وجود النظائر غير المستقرة لليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم وكذلك نواتج تحلل تلك العناصر . يقاس النشاط الاشعاعي بواسطة آلة بطيئة الحركة تحتوي علي كاشف لأشعة كاما (هذا الكاشف عبارة عن آلة ومضية) . عندما تصل أشعة كاما إلى الكاشف تصدر ومضة ضوئية صغيرة في البلورة الموجودة في الكاشف حيث يستدل من رؤية هذه الومضة على وجود أشعة كاما. يوقف الضوء بواسطة مكثف ضوئي والذي يرسل بدوره تيار كهربائي إلى مسجِّل عند السطح . يتناسب التيار المسجَّل مع النشاط الاشعاعي الموْجود في البئر . ونظراً لكون انبعاث أشعة كاما من النظائر غير المستقرة عشوائي الحدوث (أي غير مستمر أو منتظم) فأن دقة التسجيل تزداد كلما بقي الجهاز في نفس الموقع لفترة أطول.

تستخدم طرق تسجيل أشعة كاما الطبيعية لدراسة طبيعة الطبقات . وهي مفيدة خصوصًا للآبار المبطنة تواً ، لأن معدن التبطين له تأثير ضئيل على النتائج . وبصورة عامة تمتلك طبقات الصلصال العضوي أعلى فعالية لأشعة كاما . وتمتلك بعض الصخور الرملية فعاليات عالية جداً أيضًا . أن كل من الصلصال ، الحجر الجيري الصلصالي ، والحجر الرملي الصلصالي تمتلك

فعاليات معتدلة . أما الحجر الرملي ، الحجر الجيري ، والدولومايت عمومًا ذات فعاليات واطئة ، وكذلك الملح والفحم .

تستعمل قياسات كاما أيضًا للسيطرة على العمق أثناء تنفيذ حفر الآبار . حيث يمكن وضع مؤشرات للنشاط الإشعاعي في بطانة البئر والتي بدورها تعتبر مؤشراً لعمق البئر . إذا استعمل السمنت حول البطانة ، فأنه يمكن فحص موضعها بطريقة تسجيل أشعة كاما على شرط مزج مواد مشعة جيدة مع السمنت .

obeikandl.com

الفصل الثالث

المياه الأرضية

في

الصخور النارية والمتحولة

3 - 1 الصخور النارية المتحولة والبلوتونية

3 - 1 - 1 المسامية والنفاذية

3 - 1 - 2 تغير النفاذية مع العمق

3 - 1 - 3 إنتاجية الآبار

3 - 1 - 4 تعيين موقع البئر

3 - 1 - 5 نوعية المياه

3 - 2 الصخور البركانية

3 - 2 - 1 النفاذية والمسامية

3 - 2 - 2 تحديد مواقع الآبار

3 - 2 - 3 نوعية المياه

obeikandi.com

obeikandl.com

الفصل الثالث

المياه الأرضية في الصخور النارية والمتحولة

3 - 1 : الصخور النارية المتحولة والبلوتونية :

Metamorphic and plutonic Igneous Rocks

تشمل الصخور النارية المتحولة الصخور التي تبدلت عن صورتها الأصلية إلى صورتها الحاضرة نتيجة التغيرات الحاصلة بفعل الظروف الطبيعية كدرجة الحرارة والضغط أو العوامل الكيميائية ومن أمثلتها الشست Shist والسليت Slate . أما الصخور النارية البلوتونية فهي الصخور النارية التي تصلبت وهي في باطن الأرض أي أن برودتها كانت بطيئة وكان الوقت واسعًا أمام مختلف المعادن لتتبلور ومن أمثلتها الغرانيت والديورايت .

• • •

3 - 1 - 1 : المسامية والنفاذية :

تمتلك القطع الصلبة من الصخور النارية المتحولة والبلوتونية مساميات أقل من 3% وربما أقل من 1% . والمسامات القليلة الموجودة بصورة عامة صغيرة وغير متصلة مع بعضها . ونتيجة لذلك تكون نفاذيات هذه الصخور قليلة إلى حد يمكن أن تعتبر معدومة في معظم المسائل العملية . تنشأ النفاذيات والمساميات المحسوسة عادة خلال تكسر وتجوبة الصخور . فمثلاً القياسات المختبرية لنفاذية النماذج غير المتكسرة للصخور الرسوبية المتحولة شمال ولاية مشيغان الأمريكية أعطت قيمًا متوسطة أقل من (0.01 millidarcys) (لاحظ الجدول 3-1) . وقد أظهرت فحوصات الحشارج وبوضوح أن نفس الصخور

كمجموعة كانت أكثر نفاذية بمقدار ألف مرة أكثر من النماذج الفردية غير المتكسرة . كما أوضحت الفحوصات أن النفاذية الموازية للطبقات تعادل مرتين أو ثلاث مرات معدل النفاذية .

الانكسارات غير المصحوبة بالصدوع السائدة تعطي زيادة طفيفة فقط في المسامية الكلية للصخور . حيث تشير الملاحظات في حفريات الأسس الإنشائية وفي الصخور المعرضة للسطح (الظاهرة فوق السطح) في القنوات وممرات الطرف ، تشير إلى أن الحجم الكلي للفضاء المفتوح ضمن الانكسارات لا يشكل إلا نسبة ضئيلة من الحجم الكلي للصخور . في أغلب الأحيان تكاد تكون الشقوق مغلقة دائمًا ولا توجد شقوق يزيد عرضها على 2 مليمتر أو أنها توجد بندرة .

تشير إنتاجية الآبار إلى إن النفاذية الناتجة من انكسارات الصخور غير المعرضة للتجوية ضمن عدة مئات من الأقدام من السطح تتراوح عمومًا بين 0.001 إلى 0.0 / دارسي (darcys) . تتراوح النفاذية من ما يقرب الصفر في الصخور الصلدة إلى عدة مئات من الدارسي في الصخور المتكسرة كثيراً . ونتيجة الاتجاه الأحادي لمعظم الانكسارات الحاملة للمياه فإن نفاذية الصخور بشكل عام غير متناظرة (غير متساوية بين الاتجاهات) .

الجدول (3-1) نفاذية بعض الصخور المتحولة

Table 9.1 Permeability of Metasediments from Marquette Mining District, Michigan (Stuart, Brown, and Rhodehamel 44)

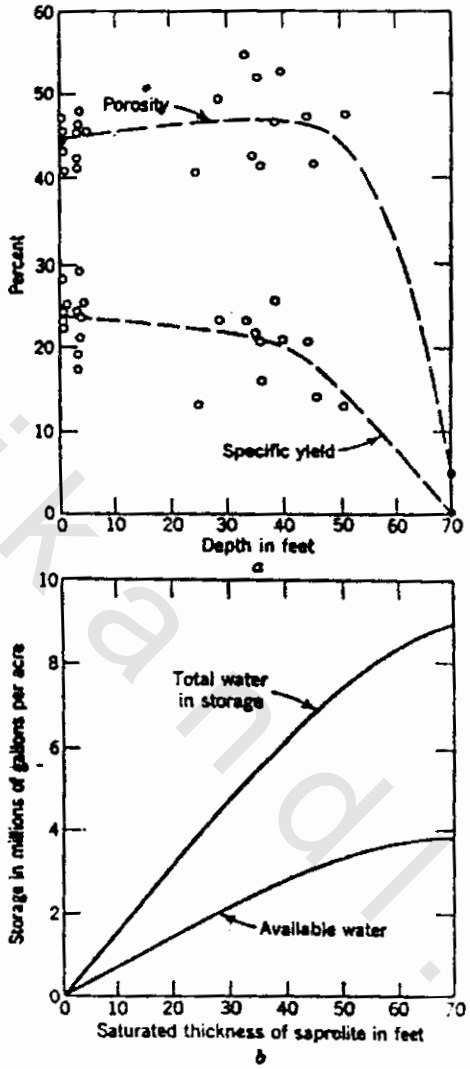
Rock Type	Number of Samples	Permeability of Unfractured Samples, millidarcys			
		Mean	Median	Highest	Lowest
Iron Formation and iron ore	36	1.65	0.006	38.0	0.00011
Graywacke	5	0.033	0.003	0.15	0.00027
Slate	9	0.006	0.0013	0.045	0.0005
Chert	1	...	0.00019	...	...
State with quartz seams	1	...	181.0	...	...
Mica schist	1	...	0.0021	...	...
Quartzite	1	...	0.0019	...	...
Conglomerate	1	...	0.028	...	...

يمكن أن يمتد تأثير التجوية إلى عمق أكثر من 300 قدم في الطبقات الصخرية في المناطق ذات التجوية الفعالة . ومن الاعتيادي ملاحظة أعماق تجوية تتراوح من 5 إلى 50 قدم بصورة عامة تعمل المعادن المتميأة في الصخور المعرضة للتجوية عند السطح على تكوين حبيبات متفككة ذات مسامية أكثر من 35% . (لاحظ الشكل 3-1) . وتتناقص المسامية من العمق حتى تصل إلى الطبقات التي تكون المعادن المكونة لها قد تعرضت إلى تغيير بسيط جداً. ففي بضعة الأقدام الأخيرة فوق الطبقات الصخرية غير المتحولة تكون المعادن متميأة قليلاً ، إلا إن هذا التميؤ كافيًا لاعطاء تمدد متميز من حبيبات المعادن وهذا التمدد أو التوسع يعمل بدوره على إيجاد مسامية تتراوح من 2 - 10٪ .

عمومًا ، توجد النفاذية العظمى ضمن الصخور المتحللة جزئيًا تحت نطاق الطبقات ذات الحجم الحبيبى الطينى الوافر . حيث تشير إنتاجيات الآبار من المياه إلى أن نفاذية الجزء السفلي من الصخور المعرضة للتجوية هي أكبر من نفاذية الصخور غير المتحولة .

تحتوي العديد من الصخور المتحولة وعدد قليل من الصخور النارية على معادن كاربوناتية حيث تتعرض هذه المعادن لتحلل وذوبان سريع نسبيًا من قبل المياه الأرضية المتحركة . رغم الكهوف الهائلة المتكونة بالتحلل في الصخور والنفاذية الموضعية التي يمكن أن تكون عالية ، فأن الفراغ المسامي للحجوم الكبيرة من الصخور ربما لا يكون أكبر من 2 - 5٪ . ذلك لأن التحلل والذوبان متركز بدرجة كبيرة في الصدوع والانكسارات ولا يؤثر بالصخور ككل .. في بعض المناطق ربما تكون المنخفضات الموجودة عند السطح في صخور الكوارتزايت والكرانوديورايت (granodiorite) قد تكونت نتيجة التحلل المباشر للصخور مكونًا معادن سليكانية .

• • •



الشكل (3 - 1) نتائج فحوصات مختبرية على نماذج من صخور متحولة متعرضة إلى درجة عالية من التجوية .

a - المسامية والإنتاج النوعي .

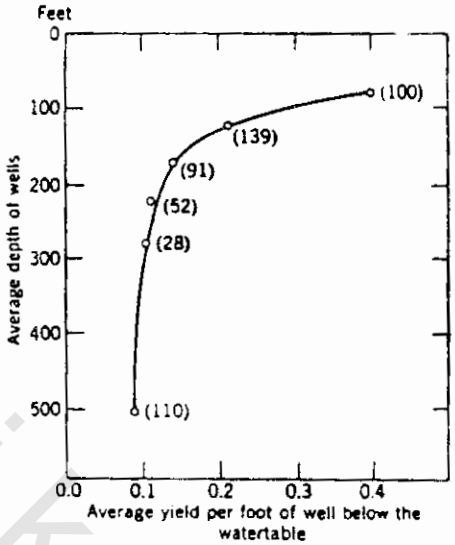
b - الماء الكلي المخزون (الموجود في الطبقات) والماء المتيسر للآبار .

3 - 1 - 2 : تغير النفاذية مع العمق :

بتناقص معدل نفاذية الصخور النارية المتحولة والبلوتونية بسرعة مع العمق (الشكل 3 - 2) يأتي هذا التناقص من تأثير مشترك لوزن الطبقات العليا من جهة ، وميل الاضطرارات السطحية إلى التغلغل فقط لمسافة قصيرة نحو الطبقات الصخرية . كما تبدي الصدوع والفواصل والانكسارات الأخرى قليلاً إلى الانغلاق مع العمق بسبب ثقل الطبقات فوقها . بعض الفتحات التي تعتبر مهمة للهيدرولوچين يمكن أن توجد في جميع الأعماق . إن جريان الماء نحو بعض الإنفاق والقنوات الموجود بمئات وأحيانًا آلاف الأقدام تحت سطح الأرض يبين بأن الفتحات تحت الأعماق العالية كبيرة بما يكفي لتجهيز المياه إلى الآبار.

تشمل الاضطرابات السطحية التي تسبب نفاذية الصخور ، الإنزلاقات الأرضية ، مساقط الصخور ، تخفف الثقل على الطبقات التحتية بفعل التآكل والتعرية ، التجوية الكيميائية ، تغلغل الجذور النباتية إضافة إلى فعاليات الإنسان المختلفة ، الانزلاقات الأرضية ومساقط الصخور تؤثر فقط على الجزء الأعلى من الصخور التحتية وتنتج رواسب من حطام الصخور التي يمكن أن تعتبر نطاقات مهمة للتغذية السريعة للمياه الأرضية وكطبقات حاملة للمياه عند تشبعها . يعتقد أن التعرية والتآكل تعمل على إيجاد بناء صفائحي في صخور الكرانيت المتماسكة . الانكسارات الضيقة الموازية بصورة أو بأخرى للسطح في البناء الصفائحي تعتبر مصادر مياه محلية مهمة . تزداد المسافة بين الانكسارات بسرعة من العمق بحيث تصبح نادرة أو غير موجودة تحت عمق عدة مئات من الأقدام .

أن التجوية الكيميائية فكما ذكرنا فإنها محدودة عادة بال 300 قدم العليا من الصخور . وتغلغل جذور النباتات فعال فقط لعدة عشرات من الأقدام تحت سطح الأرض .



الشكل (3 - 2) تناقص إنتاجية الآبار مع العمق في الصخور المتلورة .

- الأعداد الظاهرة قرب نقاط المنحنى تبين عدد الآبار المستعملة في كل نقطة ملاحظة.

• • •

3 - 1 - 3 : إنتاجية الآبار :

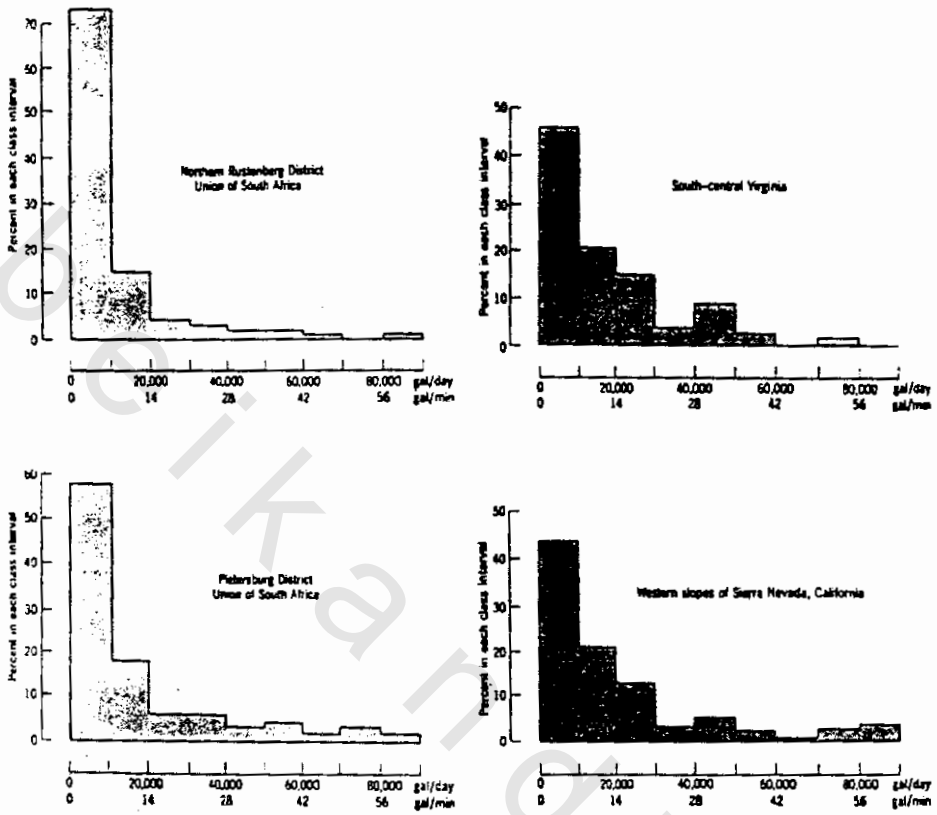
بصورة عامة تعتبر إنتاجية الآبار منخفضة في معظم الصخور النارية المتحولة والبلوتونية . ويتراوح معدل الإنتاج لمجاميع من الآبار في مناطق مختلفة من 10-25 غالون بالدقيقة . الصخور المتعرضة للتجوية العميقة مع تغذية وافرة من المياه المحلية يمكن أن تمتلك معدلات إنتاج عالية تصل إلى 50 غالون/دقيقة . تكون التغيرات بالانتاجية ضمن منطقة محددة كبيرة ، لكن هناك ميلاً لمعظم الانتاجيات لتكون صغيرة مع عدد محدود فقط من الانتاجيات العالية (لاحظ الشكل 3 - 3) . من 2 - 10٪ من الآبار تمتلك إنتاجية أكثر من 50 غالون / دقيقة . من ناحية أخرى تصنف 50٪ من الآبار

في بعض المناطق على أنها آبار فاشلة ، رغم أن من 5 - 20% من حالات الفشل تعتبر مألوفة .

تعكس الاختلافات في إنتاجية الآبار مقدار وطبيعة الاختلافات في درجة التجويه أو الانكسار أكثر مما تعكس الاختلافات في التركيب المعدني أو النسيجي في الصخور . أي أن الفروقات في الإنتاجية تأتي نتيجة الاختلاف في درجة التجوية والانكسار أكثر مما تأتي بسبب الاختلافات في التركيب والنسجة للطبقات . لوحظ في أحد مناطق السويد أن ثلاثة آبار واقعة على صدع انكسار واحد تنتج ما بين 15000 , 25000 لتر / ساعة ، في حين كان المعدل للمنطقة التي تملك نفس نوع الصخور 300 لتر / ساعة فقط .

يلاحظ من البيانات الواردة في الجدول 3 - 2 لمناطق مختلفة إنه لا يمكن وجود فروقات كبيرة في معدلات الإنتاجية تعزى إلى نوع الصخور وحده . تظهر أقل الانتاجيات في الصخور المتحولة التي يزداد صغر وانسداد الصدوع والمفاصل مع العمق . في حين تظهر أكبر الانتاجيات من صخور الكاربونات التي تعمل فيها المياه المتحركة علي توسيع الانكسارات والشقوق بأذابة الكالسايت والدولومايت .

رغم ذلك ليس لنوع الصخور وحده تأثير مهم دائمًا على الإنتاجية ، في حين أن التاريخ التكتوني وما يتبعه من تجوية لكل من الصخور النارية والمتحولة في المنطقة سيكون متميزاً في تأثيره على إنتاجية الآبار . لذلك ، في منطقة واحدة يمكن أن يكون معدل الإنتاجية لصخور الشيست المكوفية مساويًا لضعف معدل الإنتاجية لصخور الشيست الأمفيبولية . بينما في منطقة أخرى يمكن أن يحدث العكس . حتى في نفس النوع من الصخور يمكن أن توجد إنتاجيات مختلفة في مناطق متجاورة كما في حالة وجود صخور متكسرة صفائحية مجاورة لصخور أصلية ذات تركيب مماثل .



الشكل (3 - 3) هستروكرامات إنتاجيات آبار من مناطق ذات صخور نارية متحولة دبلوتونية.

a - الآبار في منطقة كرانيت معرض في معظمه للتجوية 16% منها في حواجز صخور الدياباز diabase . من ض من الـ 234 بئر المجدولة 50% صنفت على أنها فاشلة .

b - الآبار في صخور مختلفة من الشيست ، النيس ، الماربل والقاعدي . من بين 269 بئر مجدولة 25% منها مصنفة فاشلة .

c - معظم الآبار في صخور الشيست والنيس . من بين 303 من الآبار المجدولة 3% تنتج أكثر من 90.000 غالون/ يوم و6% تنتج أقل من 1000 غالون / اليوم .

d - معظم الآبار في صخور كرانو دايو رايت . من بين 239 بئر مجدولة 8% تنتج أكثر من 20000 غالون/ يوم . 16% تنتج 1000 غالون / يوم أو أقل ، 8% مصنفة على أنها آبار جافة .

Table 9.2 Mean Yield of Wells in Various Rock Types, yield in gpm

	Lithology							
	Granite	Gabbro	Gneiss	Schist	Phyllite	Slate	Dolomite	Quartzite
Pretoria- Johannesbury Union of South Afrrica (9)	10	...	...	25	...	...	...	...
Northern Rhodesia (36)	...	...	...	15	6	...	34	...
Western Rajasthan, India (45)	6	...	...	...	...	8	...	...
Sweden (27)	9	...	10	...	...	...	...	10
United States :								
Connecticut (11)	13	...	12	14	...	...	...	...
Maryland (6)	...	11	12	24(1)	8	...	...	...
Virginia (15,22)	12	...	17	12(2)	...	...	...	...
North Carolina (20)	17	30(3)	23	22	...	...	...	...
Maine (1)	25	...	...	20	...	15(4)	...	...
Southern New England (2)	38	...	9	10	...	...	...	...

(1) Wissahickon Formation-Schist, phyllite, and quartizite, "albite facies"

(2) Wissahickon Formation .

(3) Also includes diorite

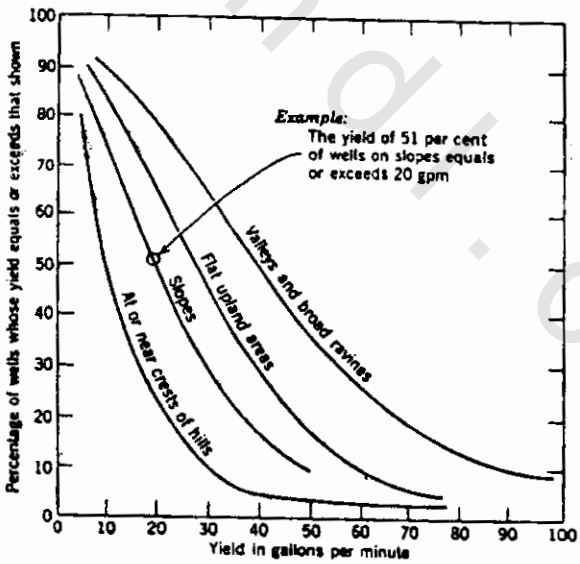
(4) Median yield of 91 wells is only 8 gpm

الجدول (3 - 2) معدل إنتاج آبار في أنواع مختلفة عن الصخور . الإنتاج بالغالون / دقيقة

obeikandl.com

يمكن الحصول على إنتاجيات من الصخور في مناطق المناخات الرطبة أعلى من الإنتاجيات في صخور المناطق الجافة عندما تكون بقية العوامل متكافئة . ربما يكون سبب ذلك أن الأعماق إلى المياه الأرضية بصورة عامة أقل في المناطق الرطبة وأن المياه ستشبع الصخور الأكثر نفاذية قرب السطح . كذلك ، تعمل كمية المياه الكبيرة المتحركة في المنطقة على زيادة النفاذية من خلال تعجيل التجوية قرب السطح وزيادة تحلل وذوبان المعادن على طول الانكسارات .

لقد وجد أن طوبوغرافية المنطقة تعطي مؤشر مهم عن إنتاجية الآبار في مناطق معينة (الشكل 3 - 4) تنتج الآبار المحفورة في الأراضي المستوية المرتفعة وفي الوديان كميات أكبر من المياه على خلاف الآبار المحفورة في جوانب الوادي والقمم الحادة للتلال والجبال . إن شحة المياه في أو قرب المنحدرات الشديدة يمكن أن تفسر بحقيقة أن التعرية قد عملت على إزاحة معظم الصخور المتجوية عالية النفاذية . وتنخفض مناسيب المياه الأرضية كذلك بسبب بزلها إلى نقاط التعريف في المناطق المنخفضة المجاورة.



الشكل (3 - 4) إنتاجية الآبار في ظروف طوبوغرافية مختلفة .

تشير التجارب العملية على أن أعلى إنتاجية تكون للآبار المحفورة في أو قرب الوديان الضيقة الشديدة الانحدار . تنشأ هذه الوديان عادة في عدة أماكن على طول النطاقات المنكسرة عالية النفاذية مما يفسر الإنتاجية العالية للآبار المحفورة فيها .

تتأثر جميع إنتاجيات الآبار بطرق الفحص ونوعية طرق التنفيذ في الحفر . ويعتبر هذا مهمًا بصورة خاصة عند مقارنة البيانات الخاصة بمناطق فيها آبار للاستخدام المنزلي ثم حفرها بأعماق تكفي للحصول على غالونات قليلة بالدقيقة مع البيانات الخاصة بمناطق فيها آبار عامة وآبار صناعية ثم حفرها إلى أعماق أكبر كثيراً لأجل الحصول على أقصى كمية ممكنة من المياه . لذلك ستكون معدلات الإنتاجية غير ذات قيمة مهمة ما لم يؤخذ بالحسبان عمق وقطر البئر ، وتفاصيل الإنشاء الأخرى . من ناحية أخرى ، تنتهي فحوصات الضخ عادة بسرعة بحيث أن الإنتاجيات المسجلة أكثر بكثير من القيم الحقيقية .

• • •

3 - 1 - 4 : تعيين موقع البئر Well Location :

إن إمكانية إنتاج أكثر من 50 غالون / دقيقة من عدة آبار في معظم المنطقة تؤكد وجود نطاقات ذات نفاذية عالية وأنه يمكن استعمال الطرق الجيولوجية والجيوفيزيائية لإثبات فرص تحديد المياه في تلك النطاقات . في حالات مختلفة في جنوب استراليا استطاع الجيولوجيون تحديد المياه في الصخور المتحولة في حين فشلت طرق التخمين الأخرى . كما نجحت طرق المجسات المقاومة الكهربائية السطحية في منطقة في جنوب أفريقيا بتحديد مواقع خمسة آبار ناجحة من مجموعة ستة . حيث كانت نسبة النجاح 10% فقط للآبار المعينة بالطرق الأخرى .

إذا كانت أجزاء الصخور المعرضة للجو كثيرة ومتعددة في المنطقة فأن معلومات جيولوجية مفصلة تغيير في تحديد مدى الفواصل ، والصدوع ، والخنادق ، وسطوح التماس الجيولوجية . (الشكل 3 - 5) . عمومًا ، أكثر نطاقات حمل المياه أفضلية توجد في الرخام والدولومايت المنكسر بالصدع والمزاج جزئيًا بالذوبان . يأتي بعدها في الأهمية النطاقات المنكسرة والحاوية على الصدوع . العديد من نطاقات الصدوع المفتوحة في الماضي الجيولوجي تعرضت في أغلب الأحوال إلى التماسك والتصلب ثانية بفعل الكوارتز أو الكالسايت أو بمعادن أخرى . يجب تجنب مثل هذه الصدوع بصورة عامة . تميل الصخور التي تشوهت بصورة ملحوظة إلى إيجاد منكسرات حاملة للمياه قرب الفجوات والثغرات الميكانيكية مثلاً على طول عروق الكوارتز الضيقة الصلدة التي تقطع صخور الفيلايت . إذا كان العرق أو الخندق يمتلك نفس الصفات الميكانيكية للصخور التي يمر بها فأن الانكسار سيكون عمومًا أقل كثيراً .

معظم الصدوع والفواصل وفي العديد من المناطق تكون عمودية تقريبًا . تتراوح المسافات الفاصلة بين المفاصل بصورة عامة من 0.5 إلى 10 قدم أو تساوي أو أكبر من قطر معظم الآبار المحفورة .

فالآبار التي هي عمودية غالبًا ستتقاطع بسبب ذلك فقط مع واحد واثنين من المفاصل في الطبقات . مثال ذلك ، وجد في أوغندا أنه بعد وجود انكسار واحد حامل للمياه فأن فرص وجود انكسار آخر في الـ 20 قدم التالية من الحفر هي فقط أكثر قليلاً من 1% وفرص وجود انكسار آخر في 140 قدم هي حوالي 33% . الآبار الأفقية في مثل هذا التشكيل الجيولوجي ستكون أكثر نجاحًا بسبب العدد الأكبر من الانكسارات التي يمكن أن تتقاطع مع مقطع البئر . إن كلفة حفر المسافات العمودية البعيدة للوصول إلى الأعماق الضرورية لتنفيذ أذرع جانبية ضمن الصخور المشبعة بالمياه ستكون بصورة عامة أكبر من قيمة

المياه المنتجة . ومع ذلك يعتبر العديد من الآبار الأفقية ناجحًا في الصخور المتجوية بصورة عميقة عندما يكون حفر المسافات الإضافية غير مكلفًا . أو في المنحدرات الجبلية الحادة حيث يمكن أن يبدأ الحفر الأفقي من السطح .

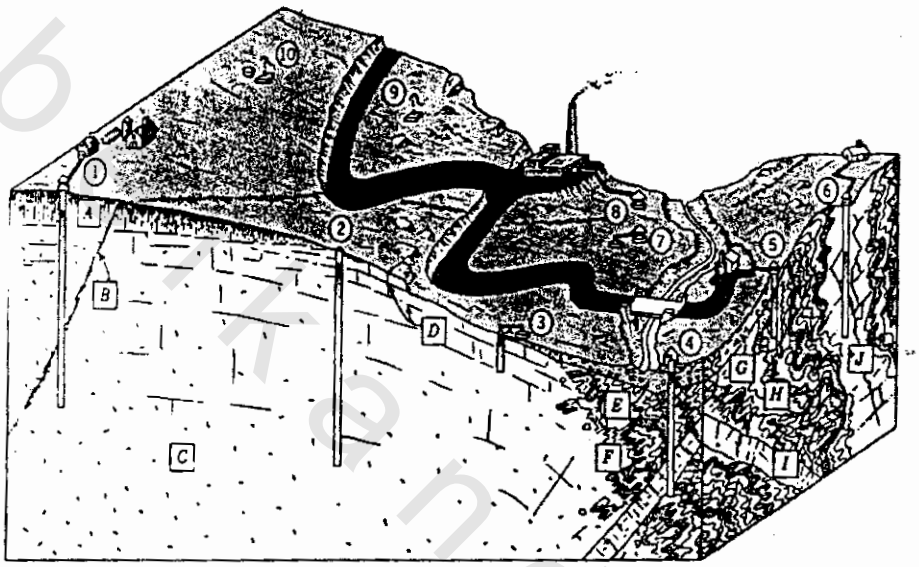


Figure 3.5 Hypothetical region showing the relationship between geologic features and expected well yields.

Type of well	Use	Depth (feet)	Production (gpm)	Source of water
1 Drilled	Farm	210	25.0	Lower pat of weathered granite and fault zone. Small amount from joints.
2 Drilled	None	200	0.1	Very small amount from joints.
3 Drilled	Stock	30	0.5	Small amount from joints. Water is artesian.
4 Drilled	Observation	125	15.0	Lower part of alluvium and fractures and joints in and near dike.
5 Drilled	Domestic	80	1.5	Lower part of colluvium and joints in schist.
6 Drilled	Domestic	130	45.0	Cavernous zone in small body of marble.
7 Dug	Stock	20	4.5	Alluvium.
8 Drilled	Industry	160	35.0	Lower part of alluvium and same fault as in well # 1.
9 Dug	None	15	0.2	Small amount from joints. Well dry during droughts.
10 Dug	Stock	25	0.7	Weathered granite.

GEOLOGIC UNITS

A. Residual soil on granite	Granite	E. Alluvium	G. Colluvium.	J. Aplite dike.
B. Fault	I. Joints in granite	F. Contact between granite and schist.	H. Schist.	J. Marble.

الشكل (3 - 5) يبين العلاقة بين المعالم الجيولوجية وإنتاجية البئر المتوقعة.

يجب استعمال الطرق غير المباشرة في تحديد مواقع الآبار المائية ضمن المناطق ذات التربة الثقيلة أو الغطاء النباتي الكثيف . تعتبر التعميمات المتعلقة بالطوبوغرافية ، أعماق الآبار ، وأنواع الصخور المحلية التي نوقشت آنفًا دلائل أولية في تحديد الآبار يمكن أن تكون الدراسات الجيومورفية المفصلة قادرة على تحديد المناطق ذات الصخور السميكة المتجوية أو المناطق التي توجد فيها طبقات رسوبية . تبرز الصور الجوية عادة الاختلافات الصغيرة في طبيعة التربة أو الغطاء النباتي ، وفي نسجة الصرف ، وكذلك في مسارات السلاسل الصغيرة . هذه الاختلافات يمكن أن تشير إلى وجود الصدوع والارسابات ، وطبقات صخور الكاربونات .

يمكن أن تكون الدراسات الجيوفيزيائية مفيدة جداً في تحديد المعالم الجيولوجية المخفية ، رغم ذلك يعتبر التحديد المباشر للمياه الأرضية متعذراً . تحدد المسوحات المغناطيسية مواقع الصخور الفنية نسبيًا بالحديد . ويساعد تخطيط مواقع هذه الصخور في تحديد الصدوع . كذلك يمكن أن تتعرض الصخور القاعدية للتجوية بعمق أعلى مما في الصخور المجاورة ، وبذلك يمكن أن تكون مواقع مفصلة لتواجد المياه الأرضية . أما طرق المقاومة الكهربائية والزلزالية فإنها تستعمل على مدى أوسع من الطرق المغناطيسية في مناطق الصخور النارية المتحولة والبلوثونية . يتم التطبيق الأولي لتحديد سمك الصخور المتجوية ، مثال ذلك ، قرب لوساكا شمال روديسيا تبين المناطق ذات المقاومة الواطئة وجود مواد طيات سميكة تملأ الجزء العلوي من معالم منهارة في الدولومايت ، ثم حفر ثمانية آبار إلى الصخور المتهدمة كان معدل إنتاجها 660 غالون / دقيقة مقارنة بمعدل مقداره 34 غالون / دقيقة لطبقة الدولومايت ككل وحوالي 18 غالون / دقيقة لجميع الصخور في المنطقة . علاقات عديدة

لموقع الانكسار ، عرض الانكسار ، وكمية المياه المخزونة قرب البئر يمكن أن تعطي أي نوع من منحنى السحب . عدد من الحالات الممكنة مبينة في الشكل (3 - 6) . الحالة المألوفة في سحب المياه من الآبار من أنظمة الانكسارات هي الإنتاجية العالية أو المتوسطة والتي تتناقص بسرعة مع الوقت . والسبب في ذلك عادة هو الخزن غير الكافي للمياه قرب البئر . لذلك من الحكمة تحديد الآبار بحيث يمكن سحب المياه من النطاقات المتجوية أو الارسابات المتشبعة لأن هذه المواد تحتوي من 20 - 40 مرة من المياه في وحدة الحجم بقدر ما تحتويه الصخور غير المتجوية . إذا كان بالامكان تحقيق النقاوة البايولوجية بواسطة الترشيح الكفؤ فإنه يمكن حفر الآبار قرب المجاري الدائمة أو البحيرات لتجنب استنزاف أنظمة الانكسارات .

• • •

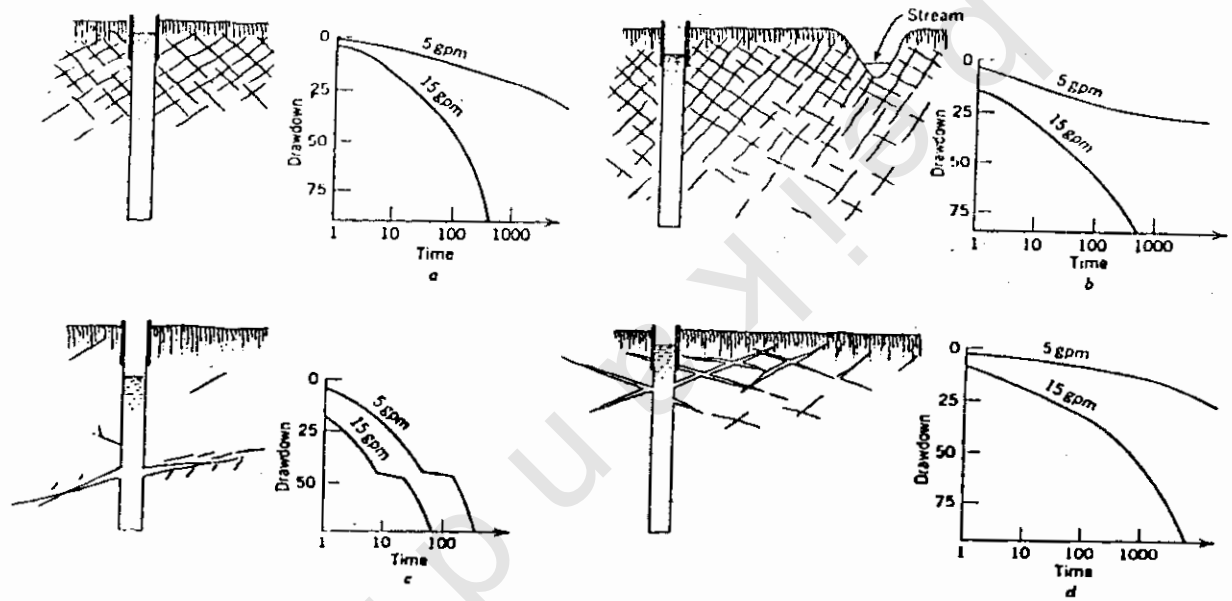
3 - 1 - 5 : نوعية المياه :

الخصائص الكيميائية للمياه المستخرجة من الصخور النارية المتحولة والبلوتونية هي على العموم ممتازة . وجدت استثناءات في المناطق الجافة حيث يمكن أن تتركز الأملاح في مياه التغذية بسبب التبخر أو في بعض المناطق بسبب هجرة مياه البحر إلى انكسارات الصخور .

المياه المستخرجة من الدولومايت والرخام يمكن أن تمتلك عسره متوسطة إلى عالية والمياه الموجودة في السربنتين ، الدولومايت ، الكابرو ، الأمفيبولايت وصخور أخرى معينة تمتلك تراكيز عالية من المغنيسيوم مقارنة بتراكيز الكالسيوم . الصخور التي تحتوي القليل من الكوارتز ولكن تحتوي الكثير من معادن السليكات الأكثر ذوبان الأخرى مثل صخور الديورايت والسينايت ستمتلك نسبة عالية من السليكا الذائبة تتراوح من 25 - 55 جزء بالمليون على

عكس الكوارتزايت ، الرخام ، السليت ، والفيلايت والتي تمتلك أقل من 30 جزء بالمليون سليكا . لقد لوحظ أن المياه المستخرجه من صخور الفرانيت ، النيس ، الشست ، والريولايت في شمال ولاية كارولينا تميل لتكون حامضية قليلاً وتمتلك متوسط مواد صلبة ذائبة حوالي 71 جزء بالمليون وعسرة متوسطة مقدارها 23 جزء بالمليون . على عكس ذلك المياه المستخرجة من صخور الكابرو ، الديورايت ، أو الأنوسايت تمتلك مياه ذات قاعدية قليلة مع متوسط كلي لمواد صلبة ذائبة مقداره 233 جزء بالمليون ومتوسط عسرة 145 جزء بالمليون .

توجد مشكلة التلوث البيولوچي للمياه الأرضية حيثما كانت التربة ضحلة أو غير موجودة أصلاً فوق الصخور الحاملة للمياه . رغم ذلك يمكن أن تتحرك الأحياء المجهرية المرضية في انكسار عرضه أقل من مليمتر واحد بحرية وكفاءة أكثر من حركتها في الطبقات الرسوبية . وتزداد المشكلة سوءاً بحفر الآبار إلى أعماق قليلة في الصخور وعدم حمايتها في معظم الأحيان من الجريان السطحي المباشر لمياه الأمطار والتي تدخل إلى البئر .



الشكل (3 -6) منحنيات السحب لآبار محفورة في صخور متبلورة متكسرة :

a - سحب مياه البئر من انكسارات صغيرة قرب السطح . معدل الضخ المضمون لهذا البئر هو أقل من 5 غالون / دقيقة .

b - انكسارات صغيرة ولكن كثيرة تحيط بهذا البئر مع مصدر دائم قريب للتغذية (مجرى) . المعدل المضمون للضخ من هذا البئر حوالي 5 غالون / دقيقة .

c - هذا البئر فاشل باستثناء كونه مصدر لكمية صغيرة جداً من المياه . بعكس المنحنى كيفية تغذية البئر من الانكسار الوحيد المعزول الذي يقطعه البئر .

d - انكسارات كبيرة تسحب المياه من الصخور المتجوية النفاذة لتثبت إنتاجية متوسطة حوالي 5 غالون / دقيقة للبئر .

3 - 2 : الصخور البركانية Volcanic Rocks :

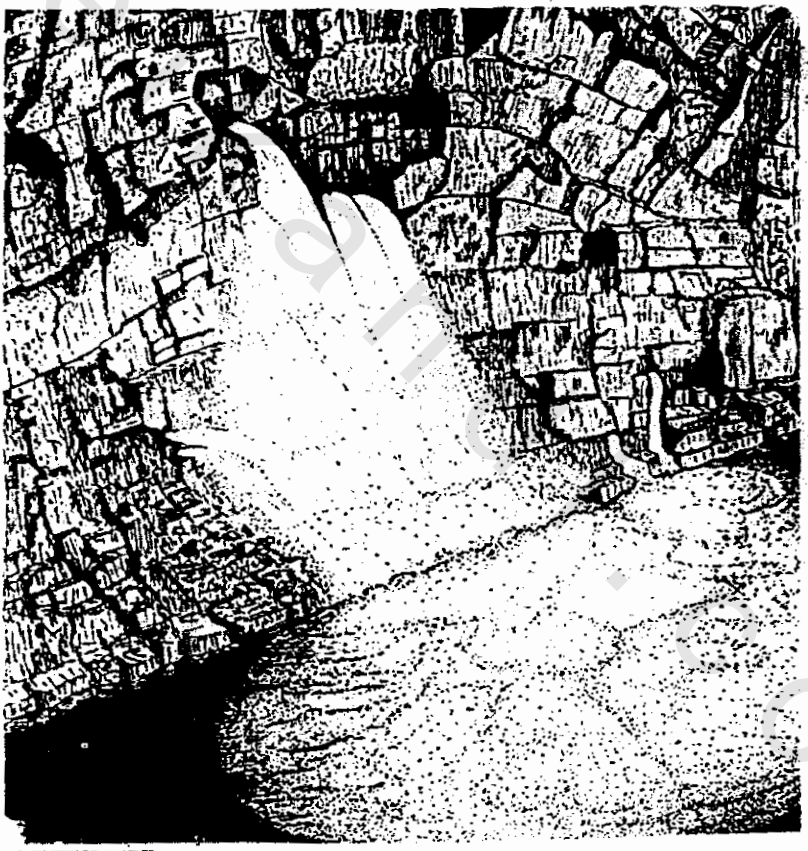
تشتمل الصخور البركانية على مواد ذات مدى واسع من الخواص الهيدرولوجية . تمتلك بعض طبقات البازلت الحديثة تقريبًا أعلى قابليات نقل (Transmissivity) معروفة . هذا على عكس ما في صخور التوف Tuffs التي تمتلك بصورة عامة مساميات عالية ولكن نفاذيات واطئة جداً . في حين تمتلك صخور أخرى مساميات ونفاذيات واطئة . ورغم قابليات النقل العالية لطبقات البازلت الحديثة إلا أنه قد يصعب جداً الحصول على المياه منها . ويعزى ذلك إلى حقيقة أن المياه الأرضية تنصرف بحرية من هذه الطبقات إلى نقاط التصريف المنخفضة المجاورة أو إلى البحر ، أو ربما يكون العمق إلى هذه المياه بعيد جداً . لذلك توجه انتباه الهيدروچيولوچي إلى النطاقات غير النفاذة التي تمنع فقدان المياه وتعمل على رفع منسوب المياه الأرضية قرب السطح . في حين يتوجه انتباه الهيدروچيولوچي نحو النطاقات النفاذة في حالة الصخور النارية المتحولة والبلوتونية .

• • •

3 - 2 - 1 : النفاذية والمسامية :

تتراوح مسامية الصخور البركانية غير المتكسرة من أقل من 1% في البازلت الصلد إلى أكثر من 85% في البيومايس Pumice . صخور الأنسياب الثقيل الكثيف ذات مسامية من 1-10% والصخور البركانية الفقاعية ذات مسامية تتراوح من 10 - 50% . رغم إمكانية كون المسامية عالية جداً فإن النفاذية تعتمد بدرجة كبيرة على البناءات الأولية والثانوية الأخرى ضمن الصخور . المفاصل الناتجة عن التبريد ، أنابيب المقذوفات ، الأشكال الشجرية، المعالم الناتجة من التواء المقذوفات المتجمدة جزئيًا والفراغات الباقية بين

الانسيابات البركانية المتعاقبة (الشكل 3 - 7) هي بعض المعالم التي تعطي لصخور الاندسايت والبازلت نفاذيتها العالية . إضافة إلى المعالم التي تسبب النفاذية ، يمكن أن تزداد المسامية موضعيًا في الصخور من خلال التجوية . تعتبر الترب في بعض المناطق ذات نفاذية أقل من الصخور البركانية وتعتبر نطاقات مهمة لتكوين المياه الجاثمة Perched waters . النطاقات النموذجية ذات المسامية والنفاذية العاليتين تلاحظ في الشكل (3 - 8) .



الشكل (3 - 7) مياه جارية من بين الفراغات الموجودة بين الانسيابات البركانية المتعاقبة .

عند وجود الوديان قرب الانفجارات البركانية فإن الحمم سوف تنساب أسفل الوديان وتدفن أي طبقات رسوبية موجودة . عندما تحتوي الوديان مجاري من أنظمة صرف واسعة . فإن طبقات سميكة من الحصى يمكن أن توجد وستكون حشارج مهمة عندما تدفن . والانهار التي تغلق بالحمم البركانية تكون بحيرات مملوءة بالغرين والطين أو الرماد البركاني . يمكن أن تكون هذه الترسبات طبقات صماء تحيط بطبقات الحصى النهري .

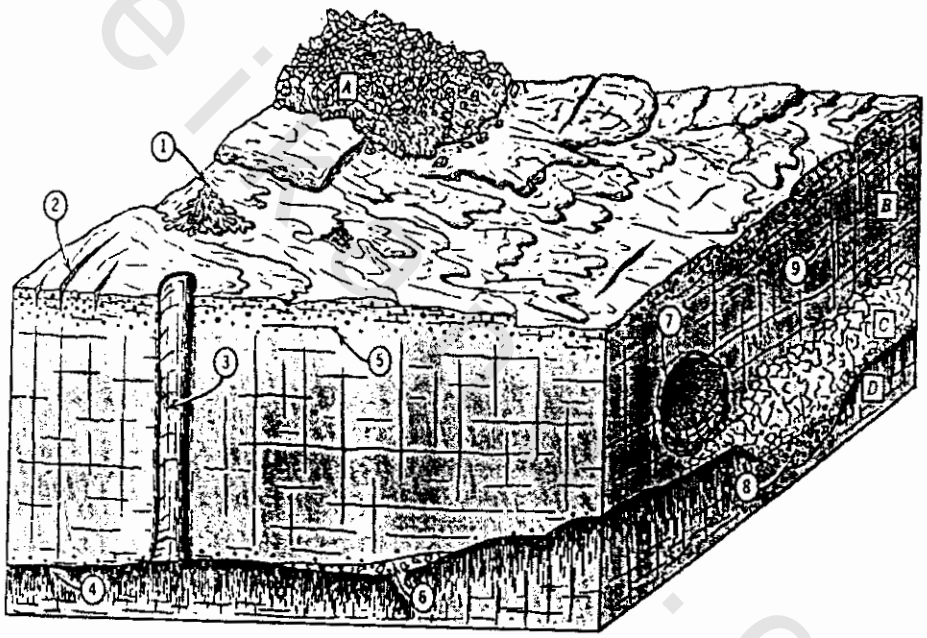


Figure 9.8 Hypothetical sequence of lava flows showing various features that produce permeability and porosity within basaltic rocks.

Features Producing porosity
1. Orifce of spatter cone
2. Crack on small pressure ridge
3. Tree mold
4. Buried Soil
5. Vesicles
6. Small pocket of pyroclastic blocks
7. Lava tube
8. Buried stream gravel
9. Cooling joint

Sequence of Flows
A. Recent aa flow
B. Recent pahoehoe flow
C. Ancient buried aa flow
D. Very old buried pahoehoe flow

الشكل (3 - 5) انسياب الحمم البركانية والمعالم المختلفة التي تسبب المسامية والنفاذية ضمن صخور البازلت

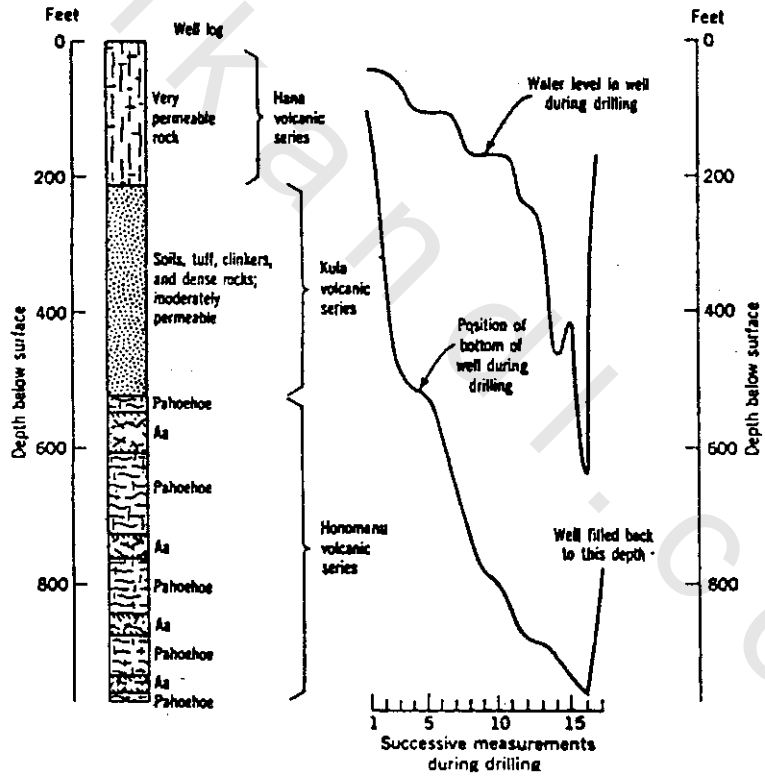
الصخور البركانية التي لا تحتوي على رسوبيات متداخلة بينها فإنها ستكون ذات نفاذية واطئة نسبيًا . إن الارتفاع السريع لمناسيب المياه الأرضية في المناطق المرورية تبين بأن المسامية يمكن أن تكون أقل من 5% في الصخور البركانية التي تعتبر حشارج جيدة إلى ممتازة . الرسوبيات المتداخلة مع الحمم البركانية تعمل بدرجة كبيرة على زيادة المسامية لكتل كبيرة من الصخور التي في معظمها صخور بركانية . تهيئ الرسوبيات تحت الظروف المناسبة فراغات خزينة للمياه الأرضية بينما تعمل الصخور البركانية على إيصال المياه إلى البئر.

إذا اقتلعت عدة أطنان من الصخور كنماذج لقياس نفاذيتها في المختبر فأن مدى القيم التي يتم الحصول عليها من مختلف أنواع الصخور البركانية ستتراوح من صفر تقريبًا إلى أكثر من 1000 دارس . تعزى النفاذية الأفقية بدرجة كبيرة إلى الفراغات المسامية بينما تعزى النفاذية العمودية غالبًا إلى انكسارات الحمم البركانية المتصلبة جزئيًا في المراحل الأخيرة من حركتها إضافة إلى التشققات الناتجة من التقلص . وفي أغلب الحالات تكون النفاذية العمودية صغيرة جداً بالمقارنة مع النفاذية الأفقية . النفاذية العمودية منخفضة في العديد من المناطق إلى درجة تكون حشارج محصورة منفصلة عن بعضها . وجدت فروقات في الضغط تزيد على 100 قدم في الحفر خلال الطبقات الكثيفة من الحمم البركانية التي تكون الطبقات المحصورة . الشكل (3 - 9) يبين تسجيلات نموذجية لمناسيب المياه في بئر محفور في سلسلة من الحشارج النفاذة في صخور بازلتية .

تميل نفاذية ومسامية الصخور البركانية إلى الانخفاض ببطء مع الزمن الجيولوجي . ويعزى بعض هذا الانخفاض إلى انضغاط الطبقات ، إلا أن أمتلاء المسامات بالمعادن الثانوية ربما يكون السبب المهم لهذا الانخفاض . الصخور البركانية في جنوب البرازيل ، غرب ووسط الهند ، وشرقي الولايات

المتحدة جميعها ذات حشارج رديئة وخواص حمل المياه مماثلة لما في الصخور النارية المتحولة والبلوتونية .

الحمم البركانية الفنية بالسليكا مثل الريولايت والداسايت هي أكثر لزوجة ومتفجرة في سيول كثيفة وسميكة وهي ذات نفاذية ومسامية تعتمد مباشرة على حجم الشظايا أو الانسجام ودرجة امتلاء المسامات بالمعادن الثانوية . الانسجام الرديء بين مكونات الصخور ووفرة المواد الناعمة سيؤدي إلى نفاذية واطئة ومسامية متوسطة إلى عالية . صخور التوف الملتحمة تعتبر ذات مسامية واطئة ونفاذية واطئة جداً .



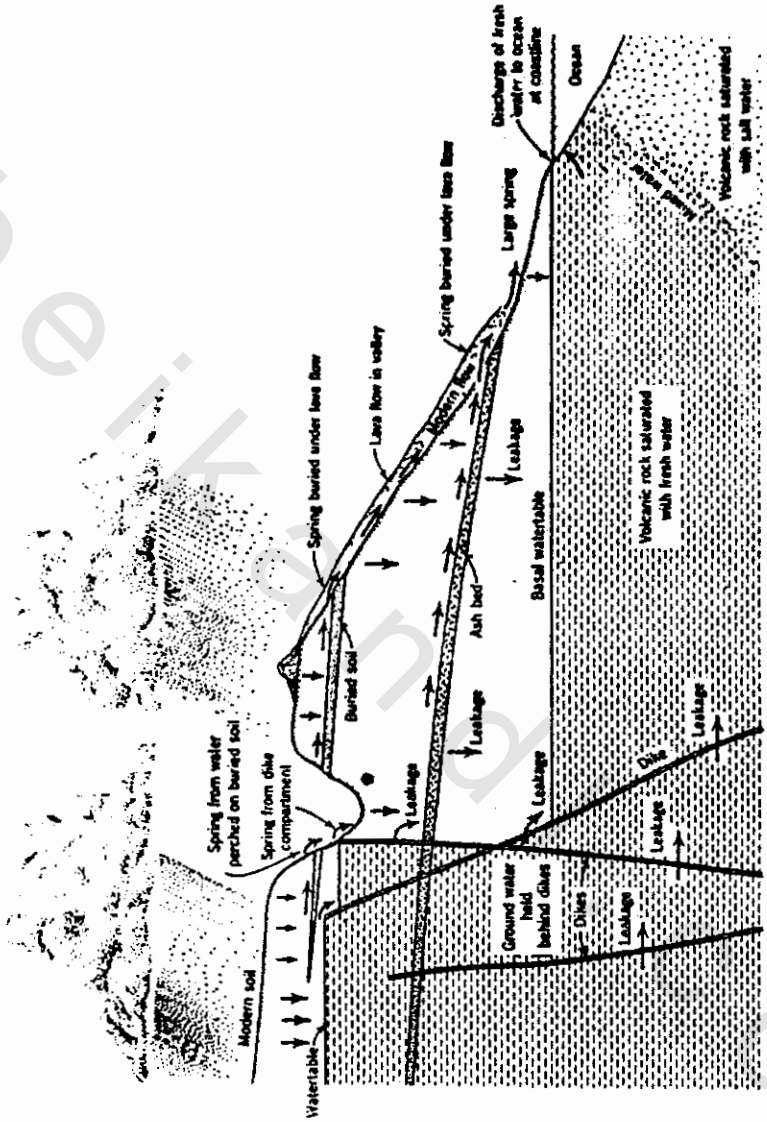
الشكل (3 - 9) تسجيل خاص ببئر يبين تذبذبات منسوب المياه كلما تقدم الحفر خلال حشارج بازلتية متعاقبة .

3 - 2 - 2 : تحديد مواقع الآبار :

في تحديد المواقع الفردية للآبار أو في عمل خطط نظامية لتنمية واستثمار المياه الأرضية لكل المنطقة ضمن مناطق الصخور البركانية فإن الخطوة الأولى هو إجراء مسح هيدروجيولوجي للمنطقة . إن عمليات جمع المعلومات الهيدروجيولوجية كبيانات تعريف المجرى ، قياسات مناسيب المياه في الآبار، إلى غير ذلك من النواحي الهيدروجيولوجية تعتبر هذه العمليات متماثلة تقريبًا في معظم المناطق . لا توجد مجاري مياه سطحية في المناطق البركانية بسبب سعة التسرب العالية التي تتمتع بها الصخور والتربة ، وقد لا توجد مجاري سطحية حتى وإن كانت أمطار المنطقة تصل إلى 200 أنج سنويًا . فإذا افترض أن مقدار التبخر - النتح هو 50 إنج ، فإن هناك مناطق سيكون فيها معدل التسرب السنوي من الأمطار يزيد على 150 إنج . وحتى في المناطق القليلة الأمطار فإن هناك 50٪ من هذا المطر تتسرب إلى الطبقات تحت السطحية .

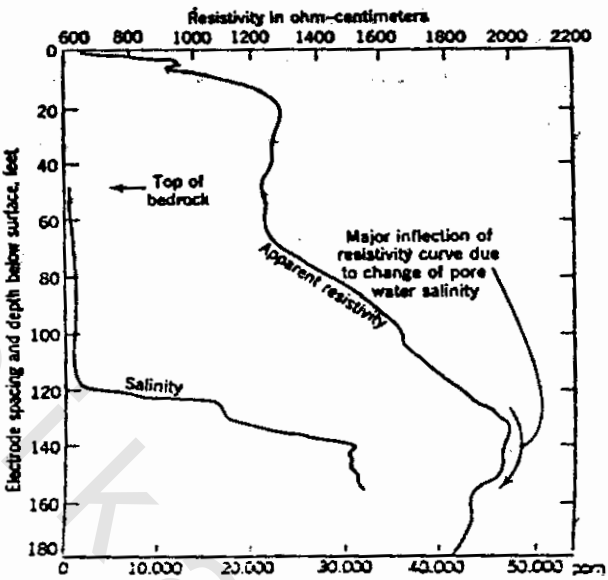
تتميز الدراسات الهيدروجيولوجية للصخور البركانية عن الدراسات التقليدية بالاهتمام الشديد الذي توليه إلى التاريخ الجيومورفي للمنطقة كعامل مساعد في تحديد مواقع الوديان السابقة ، والترب المدفونة ، والمعالم الأخرى التي تؤثر على حركة المياه الأرضية (الشكل 3 - 10) . في بعض المناطق يمكن تحديد التسلسل الطبقي لطبقات الحمم البركانية ويمكن الاستفادة منه في تحديد النطاقات النفاذة تحت سطح الأرض .

دراسات الصور الجوية مع دراسة البروزات الصخرية الظاهرة على السطح ستحددان المنطقة العامة التي تتواجد فيها السداد الجيولوجية وهذه السداد عبارة عن التخوم والحواجز العمودية الكبيرة في الصخور البركانية الحديثة . تتغير مواقع الطبقات غير النفاذة لتقابل الطبقات النفاذة بواسطة الصدوع ويمكن أن تكون حواجز عمودية محلية مهمة .



الشكل (3 - 10) دورة المياه الأرضية في صخور البازلت عالية النفاذية في جزيرة هاواي تبين الأسهم اتجاه حركة المياه . يطفر الماء العذب على تماس مع مياه البحر .

تعتبر التقنيات الجيوفيزيائية عمومًا محدودة الاستعمال في الصخور البركانية . والسبب الرئيسي في ذلك هو الافتقار إلى الفروقات الكبيرة في الحساسيات المغناطيسية، ومعدلات المرونة والايصاله الكهربائية . الاستثناء الوحيد والمهم هو في تحديد التداخل بين المياه العذبة والمياه المالحة في الصخور البركانية . مياه البحر التي تملأ الفراغات المسامية تقلل وبدرجة كبيرة من المقاومة الكهربائية للصخور لذلك ستلاحظ انجرافات متميزة عند منطقة التداخل بين المياه العذبة والمالحة . إذا كانت الصخور البركانية تحتوي بينها على رسوبيات غرينية أو أية رسوبات غير متصلبة فأن العديد من الطرق الجيوفيزيائية يمكن أن يستعمل في تحديد التماسات الجيولوجية المهمة . في بعض الأماكن، أكثر من طبقتين أو ثلاث طبقات متناوبة من الرسوبيات والبازلت تجعل من التفسير الجيوفيزيائي صعبًا. أما طرق الانكسار الزلزالي فهي عممًا غير ذات فائدة تحت الطبقة الأولى من البازلت لأنها ستحول الاشارة المبكرة إلى جميع الكاشفات . يستعمل الانعكاس الزلزالي لتحديد التماسات الجيولوجية تحت البازلت . ومما يحدد استعمالها هو الكميات الكبيرة عن المتفجرات اللازمة .



الشكل (3 - 11) نتائج مسح المقاومة السطحية مقارنة مع ملوحة المياه الأرضية من بئر محفور بعد إنتهاء المسح .

يتم حفر آبار الفحص في الصخور البركانية النفاذة عادة بطريقة معدات الآلة السلكية لأن السائل المتحرك يفقد فى النطاقات المتكهفة . أما الطبقات البركانية الأقدم والمتراصة فيمكن حفرها بأى نوع يمكنه التغلغل في الصخور الصلدة . يمكن الحفر في الرسوبيات النارية الهشة (ما لم تكن نفاذة كثيراً) بالطرق الدوارة التي تستعمل سوائل حفر دوارة مناسبة . تعتمد سعة البئر المحفور في النطاقات النفاذة من البازلت على قطر البئر فقط . وكلما كانت الطبقات قديمة وكثيفة كلما قلت إنتاجيتها من المياه .

استعملت الأنفاق بصورة واسعة في جزر هاواي لاستثمار المياه الأرضية الجاثمة على الترب المدفونة وصخور التوف المرتبطة بالحواجز والتخوم . وتستعمل الأنفاق والحفر الجانبي القصير لاستخلاص المياه العذبة ومن دون

سحب متزايد لتجنب إثارة المياه المالحة وخلطها بالمياه العذبة - الآبار المزودة بالحفر الجانبي ستنتج كميات أكبر من المياه بسبب العدد الكبير من النطاقات النفاذة التي ستتقاطع معها هذه الأنفاق الجانبية - النفاذيات الاستثنائية الموجودة في بعض صخور البازلت تشجع على إنتاج كميات كبيرة من المياه مما يؤدي إلى الانخفاض التدريجي لمناسيب المياه الأرضية .

• • •

3 - 2 - 3 : نوعية المياه:

معظم المياه المستخرجة من الصخور البركانية ذات نوعية كيميائية جيدة إلى ممتازة . وبصورة عامة تميل هذه المياه لتكون مياه بيكاربونات - مغنيسيوم - كالسيوم ، أو في حالة الصخور البركانية الحامضية مياه بيكاربونات - صوديوم مع كميات كبيرة نسبيًا من السليكا . توجد المياه ذات النوعية الكيميائية الرديئة قرب الينابيع الحارة وفوهات البراكين حيث تكون المياه ذات نسبة عالية من الصوديوم والكلورايد . حتى عندما لا تكون هذه المياه الحارة حاوية على نسبة عالية من هذه الأيونات فإن الأس الهيدروچيني PH المنخفض أو المحتوى العالي من الفلورايد ربما يكون غير مقبولاً . ويمكن أن توجد المياه ذات النوعية الكيميائية الرديئة على طول المناطق الساحلية حيث يشبع ماء البحر الصخور أو في المناطق الصحراوية حيث التبخر والأملاح الموجودة في الهواء تذوب في المياه السطحية التي تسرب إلى الطبقات تحت السطحية .

ونظراً للنفاذية العالية لبعض الصخور البركانية فإن التلوث البايولوچي يعتبر خطراً كامنًا . ولسوء الحظ تميل الصخور البركانية للتجوية بسرعة وبذلك فإن التربة السميكة الناتجة ستحرك الكثير من الأحياء المجهرية المرضية .

الفصل الرابع

المياه الأرضية في الصخور الرسوبية

4 - 1 تقديم

4 - 2 أنواع الصخور وسمك الطبقة

4 - 3 النفاذية والمسامية

4 - 3 - 1 الصخور التحاتية ذات الحبيبات الناعمة

4 - 3 - 2 الصخور الرملية

4 - 3 - 3 الصخور الكاربوناتية

4 - 4 إنتاجية الآبار

4 - 5 التحري عن المياه الأرضية

4 - 5 - 1 التحري عن المياه الأرضية في الصخور الرملية

4 - 5 - 2 التحري عن المياه الأرضية في الصخور الكربوناتية

4 - 6 كهوف الصخور الجيرية

4 - 7 إدارة المياه الأرضية

4 - 8 نوعية المياه

obeikandl.com

obeikandl.com

الفصل الرابع

المياه الأرضية في الصخور الرسوبية

4 - 1 : تقديم :

يتمركز الاهتمام الهيدروچيولوچي العام في الصخور الرسوبية على كهوف الصخور الجيرية . ملايين من الناس تزور سنويًا الكهوف الواسعة في فرجينا ، انديانا ، ميسوني ، ونيومكسيكو في الولايات المتحدة ، إضافة إلى يوغسلافيا وفرنسا والبلقان ومناطق أخرى كثيرة في العالم .

كما يتمركز الاهتمام العلمي أيضًا على كهوف الصخور الجيرية والآبار الارتوازية العميقة ، ورغم أن الدراسات الخاصة بهذه الكهوف قد بدأت منذ سنوات طويلة إلا أن العديد من الملامح الهيدروجيولوجية لأصل الكهوف لاتزال غير مفهومة .

إضافة إلى أصل الكهوف والضغط الارتوازي هناك عدد من الاهتمامات السائدة الأخرى في هيدروجيولوجية الصخور الرسوبية . التنظيم الطبقي للنفاذية ، وأصل المياه ذات الخصائص الكيميائية غير الاعتيادية ، ومعدل هجرة المياه في الحشارج ذات التكوين الحجري الرملي جميعها ذات اهتمام خاص .

• • •

4 - 2 : أنواع الصخور وسمك الطبقة :

الصخور الصلصالية ، الطينية ، الغرينية والصخور الأخرى ذات الحبيبات الناعمة تشكل حوالي 50% من الصخور الرسوبية . تأتي بعدها بوفرتها

الصخور الرملية ثم الصخور الكربوناتية وأخيراً أنواع أخرى قليلة مختلفة تشمل الكونكلومريت ، الجبس ، الشرت Chert ، التلايت Tillite ، الأملاح ، والدياتومايت diatomite . تشكل الأنواع الصغيرة أقل من 2% من جميع الصخور الرسوبية المعرضة - يتراوح سمك الطبقة عادة من بضعة سنتمترات إلى عدة أمتار . رغم أن الطبقات المتناوبة من الصخور الجيرية الصلصالية والصخور الرملية هي المتميزة في معظم السلاسل الطبقية الرسوبية ، فأن الطبقات الانفرادية يمكن ان تكون سميكة بحيث أن الآبار المائية ضمن مناطق معينة تخترق طبقة واحدة من الصخور رغم إن الآبار ذات عمق أكثر من 100 متر .

• • •

4 - 2 : النفاذية والمسامية :

4 - 3 - 1 : الصخور التحاتية ذات الحبيبات الناعمة :

Fine - graind Detrital Rocks

معظم الصخور التحاتية الناعمة التكوين ذات مساميات عالية نسبيًا إلا أنها ذات نفاذيات واطئة . الجدول (4 - 1) يعطي نفاذية ومسامية عدد من أنواع الصخور الرسوبية - الصخور الصلصالية السيليكونية ، وبعض الصخور الطينية ومعظم صخور الأركليت argillites تظهر مفاصل واسعة متقاربة إذا كانت الصخور قرب السطح ، كذلك إذا كانت هذه الصخور متضمنة بالتصدع فأن الانكسارات التي تبقى مفتوحة لأعماق معتبرة يمكن أن تنمو وتتوسع . يمكن أن تعطي المفاصل والانكسارات عدة غالونات من المياه في الدقيقة للآبار. وتعتبر الصخور ناعمة التكوين حواجز أمام حركة المياه الجوفية . في المناطق ذات التركيب الطبقي الأفقي تعتبر الطبقات ذات التكوين الناعم بمثابة

حشارج صماء الحصر المياه في الأنظمة الارتوازية . ومع ذلك فأن من الخطأ افتراض عدم حدوث حركة محسوسة للمياه خلال الطبقات الصماء التي تحصرها. مثال ذلك ، 100 قدم من الصخور الغرينية ذات نفاذية 0.1 ملي دارسي تمتلك فرق ضغط هايدروليكي مقداره 10 قدم عمودي على السطح سوف تنقل 1.84×10^6 غالون من المياه كل سنة خلال كل ميل مربع من الطبقة.

الفراغ المسامي الكبير في العديد من الصخور الرسوبية ناعمة التكوين يوفر خزن لكميات هائلة من المياه . رغم ذلك لا تستطيع الآبار المنفردة في معظم المناطق استخراج كميات مهمة بصورة مباشرة من هذه المياه، ويمكن حث بزل المياه إلى الحشارج بتخفيض الضغط فيها . لذلك ، لا بد من الأخذ بنظر الاعتبار المياه المخزونة في الصخور الصلصالية والصخور المماثلة عند عمل مسوحات مخزون المياه الجوفية ، خصوصًا عند وجود ضغط هايدروستاتيكي يكفي لحث بزل المياه . وبسبب تأثير الخاصية الشعرية يعتبر البزل بفعل الجاذبية أكثر أهمية في الرسوبيات الخشنة أو في النطاقات المنكسرة . تتناقص مسامية الرسوبيات ذات التكوين الناعم مع العمق ، وإلى حد ما ، مع العمر . طبقات الطين الناعم المترسبة حديثًا ستكون ذات مساميات تتراوح بين 50-90% . سيعمل الانضغاط على دفع المياه الموجودة في المسامات إلى خارج المواد الناعمة إلى الطبقات النفاذة المتاخمة في الرمل لذلك ستكون المسامية عند أعماق عدة مئات من الأقدام أقل من 50% . عند أعماق عدة آلاف من الأقدام ستكون النفاذية أقل من 30% وفي معظم الحالات أقل من 25% . المياه المنبثقة في المسامات عند انضغاط الطبقات سوف لا تساهم بحجم ملحوظ من المياه إلى الحشارج المجاورة تحت الظروف الطبيعية بسبب بطء معدلات الانضغاط التي تتعرض لها الرسوبيات ناعمة التكوين . يمكن أن

يزيد إنتاج البئر من معدل الانضغاط المحلي بحيث يمكن أن تندفع كميات محسوسة من المياه من الرسوبيات ، خصوصًا إذا كانت هذه الرسوبيات ضعيفة الترسيخ . مياه المسامات التي تكون مالحة أصلاً ستكون مصدراً مهمًا للمكونات الذائبة في النطاقات عندما تتحرك هذه المياه إلى الحشارج . إذا انسحبت هذه المياه إلى الحشارج القريبة من السطح بواسطة الصدوع والفواصل الطبقية فإنه ستتكون مناطق محلية من المياه المالحة ، وعندما يدفع الماء إلى السطح فإنه ربما تنتج ينابيع مالحة .

Table 4.1 Porosity and permeability of Sedimentary Rocks

Description and Age	Porosity per cent	Permeability, millidarcys	Reference
Grand Saline Salt (Salt dome)	less than 1.0	4.1	17
Hutchinson Salt, Permain	less than 1.0	7.3×10^{-3}	17
Bradford Sandstone, Devonian	14.8	2.7	51
Berea Sandstone, Mississippian	19	383	51
Oil Creek Sandstone, domlomitic, silica and carbonate cement, Ordovician	6.7	4	50
Woodbine Sandstone, medium granined, moderately cemented with silica, Cretaceous	25.6	4400	50
Repetto Sandstone, coarse grained, poorly indurated, clay cement, pliocene	19.1	36	50

Description and Age	Porosity per cent	Permeability, millidarcys	Reference
Willcox Sandstone, shaley friable, poorly sorted, only partly cemented, Eocene	15.3	0.3	2
Limestone, Wichita Fromation, compact, crystalline, no visible pores, permain	4.1	less than 0.1	3
Limestone, Wichita Formation, compact, crystalline, some visible pores, permain	10.1	7.7	3
Limestone, chalky, Devonain	29.5	37.8	3
Limestone, oolitic	21.6	339	3
Limestone, Charles Formation, fine grained, originated as carbonate mud with enclosed pellets and fossil fragments, mississippain	8.4	0.1	35
Dolomite, Red River Formation, sucrose, intercrystalline porosity, ordovician	11.9	16.5	35
Dolomite, Turner Valley Formation, sucrose with fossil fragment molds, mississippian	27.8	290	35
Dolomite, Red River Formation, interlocking mosaic of subhedral crystals, ordovician	6.3	1.0	35
Shale, pennsylvania, depth 468 feet. (Permeability			

Table 4.1 Continued

Description and Age	Porosity per cent	Permeability, millidarcys	Reference
measured with 0.02 N NaCl)	...	$9\ 10^{-5}$	18
Shale, Cretaceous (Permeability measured with 0.02 N NaCl)	...	$4\ 10^{-3}$	18
Shale, Gros Ventre Formation, Cambrian	11.1	...	31
Graneros Shale, Cretaceous	24.9	...	31
Chanute Shale, pennsylvanian	15.0	...	31
Nonesuch Shale, siliceous precambrian	1.6	...	31

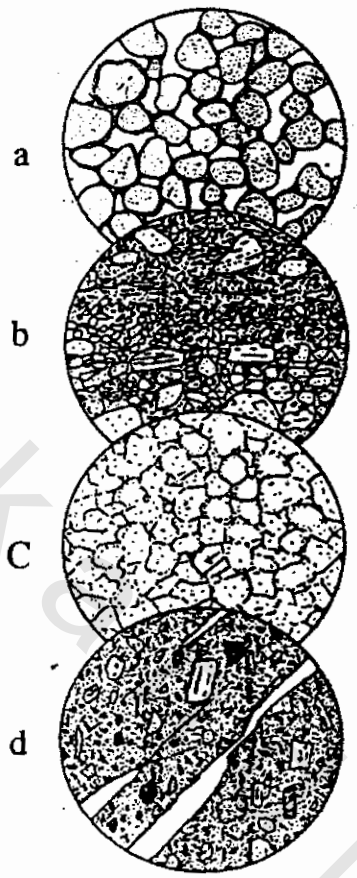
الجدول (4-1) مسامية ونفاذية عدد من الصخور الرسوبية

4 - 3 - 2 : الصخور الرمليّة Sand stone :

تتراوح مسامية الصخور الرملية من أقل من 5% إلى أقصى قيمة حوالي 30% . يعتمد مقدار فراغ المسامات على درجة انتظام وانسجام الحبيبات ، وشكل الحبيبات ، ودرجة السمنتة Cemention . الشكل (4 - 1) . ومن بين هذه المتغيرات تعتبر درجة السمنتة أكثرها أهمية . وفوائد السمنتة المألوفة هي معادن الطيني ، الكالسايت ، الدولامايت ، والكوارتز . يمكن أن تكون السمنتة الأصلية موضعية بدرجة كبيرة أو أنها قد تعرضت إلى الغسل بدرجات متفاوتة بحيث أن خواص الصخور ككل يمكن أن تكون متغيرة بدرجة كبيرة . الصخور الرملية التي تعرضت للسمنتة بالكالسايت يمكن أن تصبح متصلبة

عند السطح من خلال عودة ترسب الكالسايت حول سطوح حبيباتها . يمكن أن تكون الاستنتاجات المتعلقة بالخصائص الهيدروليكية لهذه الصخور من خلال ملاحظات البروزات الصخرية على السطح ، يمكن أن تكون مضللة . سمنت السليكا في الصخور الرملية سيكوِّن نموات على حبيبات الرمل تميل إلى التعشق مع النموات الموجودة على الحبيبات المجاورة الأخرى . إن المراحل المتقدمة من السمنتة بالسليكا يمكن أن تنتج صخور ذات صلابة عالية جداً ومساميه منخفضة . يمكن أن توجد المعادن الطينية كمكونات أصلية أو كنواتج تحللية . الصخور المسمنتة بالطين غير صلدة عادة كما في الصخور الرملية الأخرى . تميل مسامية الصخور المسمنتة بالطين لتكون عالية بسبب كون الطين ذاته ذو مسامية عالية .

أجريت دراسة على 65 بئر حفرت في منطقة مساحتها 8 أيكر . وأخذت النماذج الصخرية لجميع الآبار حيث تم دراسة 2000 نموذج . رغم أن القياسات المختبرية على النماذج تشير إلى فروقات كبيرة في النفاذية بين آبار تبعد عن بعضها 10 - 35 قدم فقط ، إلا إن النفاذية التي حصل عليها من فحص حشرج تتطابق جيداً مع معدل النفاذية المحسوب من فحوصات المختبر . وقد وجد أن الفروقات الموضعية في النفاذية ضمن الصخور الرملية التي فحصت جاءت بصورة أساسية نتيجة الفروقات في حجم حبيبات الصخور الرملية .



الشكل (4 - 1) مقاطع خفيفة من أنواع مختلفة من الصخور الرملية .

a - الصخور الرملية المسامية ذات السمنتة القليلة بالكالسايت . الانسجام الجيد والاقطار الحبيبية الكبيرة ستجعل من هذه الصخور حشرج جيد .

b - صخور رملية مسامية مع سمنتة قليلة بالطين . الانسجام الرديْ يجعل من هذه الصخور حشرج رديْ .

c - أورثوكوارتزايت orthoquartizite ذات مسامية أقل من 1% . هذه الصخور سوف لا تنتج مياه للآبار .

d - مسامية قليلة ناتجة من الانكسارات . هذه الصخور ستعطي كمية معتدلة من المياه خلال الانكسارات .

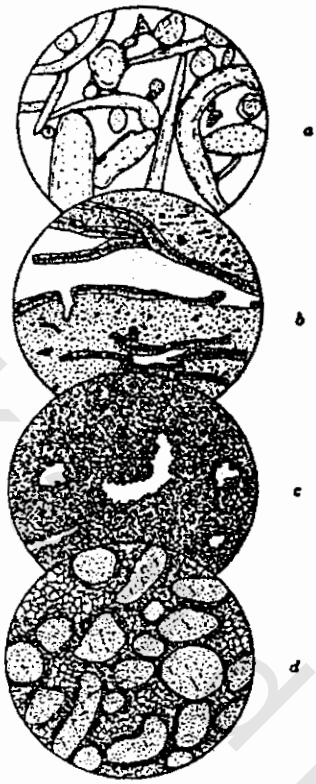
نفاذية الصخور الرملية المتصلبة أقل بكثير من نفاذية الترسبات الرملية غير المتصلبة المماثلة لها في التكوين . مثال ذلك ، الرمل ذو الحبيبات المتوسطة عمومًا ذو نفاذية تتراوح بين 1000 - 30000 ملي دارسي ، لكن نفاذية الصخور الرملية المماثلة ذات الحبيبات المتوسطة تتراوح عمومًا بين 1-500 ملي دارسي ، بعض الانخفاض في نفاذية الصخور الرملية عما هي في الرمل يأتي نتيجة الانتظام المتقارب بين الحبيبات الرملية في حالة الصخور ، إلا أن معظم الانخفاض في النفاذية يعزى إلى انحسار الفراغ المسامي نتيجة السمنت الموجود (الدقائق الناعمة جداً الموجودة بين حبيبات الصخور) . إن العدد الكبير من المتغيرات المؤثرة على النفاذية تجعل من المستحيل التعرف على النفاذية على أساس المسامية وحدها .

• • •

4 - 3 - 3 : الصخور الكاربوناتية Carbonate :

الحجر الجيري والدولومايت هما النوعان الشائعان من الصخور الكاربوناتية، وهما متأصلان من عدد كبير من الترسبات المختلفة ، كأنواع الطين اللاعضوية الجيرية المترسبة ، وشظايا الأصداف ، وترسبات المنحدرات، ورمل الكالسايت ، وتراكمات بقايا الأحياء العضوية المائية وغيرها (الشكل 4-2) . المسامية والنفاذية الأصلية للعديد من هذه الرسوبيات قد تغيرت بسرعة بعد دفنها إلى درجة أن البناءات الرسوبية الأصلية تعرضت هي الأخرى إلى التحول إلى بناءات أخرى غير مماثلة . على العكس من ذلك إذا كانت الصخور صماء نسبيًا ولم تتعرض للتشويه فأن البناءات الرسوبية ربما تقاوم إلى ما لا نهاية . بعض التغيرات المهمة تأتي نتيجة الانضغاط وتحلل الكالسايت والأركونايت ، وعودة ترسب سمنت الكالسايت ، وتكون الدولومايت المعدني .

المسامية الأصلية عالية نسبيًا في معظم صخور الحجر الجيري الحديث . والنفاذية بصورة عامة منخفضة باستثناء الصخور التي لم تمتلئ مساماتها بالسمنت .



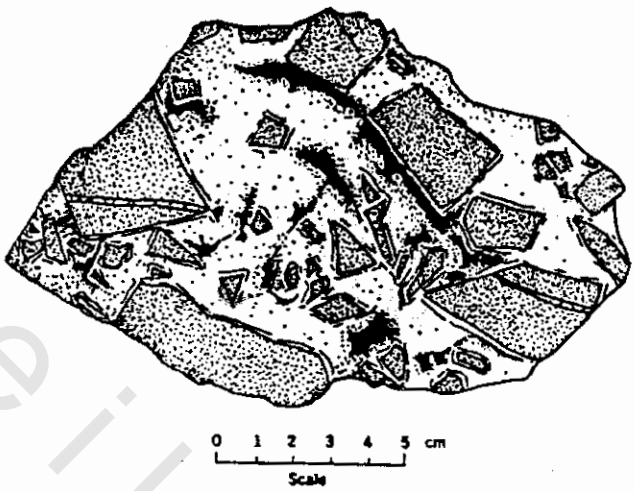
الشكل (4 - 2) مقاطع لأنواع مختلفة من الصخور الكاربوناتية .

a - صخور الكوكوينا coquina مع كميات قليلة من السمنت الكلي . المسامات الكبيرة المتصلة تجعل من هذه الصخور حشرج ممتاز .

b - حجر جيري ذو مسامية عالية تكونت بفعل قشور الاشنات المتراكمة بشكل ورقي إلا أن المسامات غير متصلة بما يكفي لتسمح بهجرة سريعة للمياه .

c - دولومايت ذو مسامية عالية باعتدال تكونت المسامات الكبيرة بفعل تحلل شظايا المتحجرات . نقص المسامات المتصلة جعل من هذه الصخور حشرجًا ضعيف جداً .

d - حجر جيري صلد تكون بفعل سمنتة كاملة تقريبًا والفراغات مملوءة بالكالسايت المتبلور ضمن الرمل الجيري الأصلي هذه الصخور لا تعطي مياهًا للآبار باستثناء مناطق الانكسارات وفتحات التحلل والذوبان .



الشكل (4 - 3) حجر بريشة جيري معرض للسمنتة الجزئية .
الأجزاء السوداء تمثل المسامات الأكبر التي لم تمتلئ كليًا بالسمنت الجيري
« الملون باللون الخفيف »

يمكن أن تتراوح النفاذية من أقل من ملي دارسي واحد للحجر الجيري الصلد الغني بالطين إلى عدة آلاف دارسي لحجر البريشة Breccia الخشن المعرض للسمنتة الجزئية (الشكل 4 - 3) . من المألوف وجود نفاذية بقيم متوسطة تتراوح من 10 - 500 ملي دارسي للحجر الجيري الذي يمتلك بعض المسامية الأصلية . أما الحجر الجيري الصلد المتبلور فإنه ذو نفاذية أقل من ملي دارسي واحد (لاحظ الجدول 4 - 1) .

رغم أن بعض الفراغ المسامي الأصلي يمكن أن يبقى في الحجر الجيري القديم فأن الأشكال الأخرى من المسامية أكثر أهمية بالنسبة لإنتاج المياه . الانكسارات وفتحات الذوبان والتحلل الثانوية على طول الطبقات والنطاقات

ذات المسامية الأولية ربما تنقل معظم المياه . التغير من الكالسايت إلى الدولومايت يولد فراغ مسامي معتبر أيضًا . بلورات الدولومايت صغيرة بحيث أن نفاذيتها أقل من 300 ملي دارسي ما لم تتوسع المسامات بفعل التحلل والذوبان الثانوي . الحجر الجيري ذو المسامات المتولدة من ذوبان الأولايت oolite يمتلك معدل نفاذية مقداره 3.4 ملي دارسي ومسامية 3-11% . الحجر الجيري الذي كان أصلاً كوكوينا Coquina يمتلك معدل نفاذية 5.1 ملي دارسي ومعدل مسامية 6.3% . الدولومايت له معدل نفاذية 3.0 ملي دارسي ومعدل مسامية 13% . أعلى نفاذية سجلت لجميع الصخور كانت 1165 ملي دارسي وأعلى مسامية كانت 32.4% .

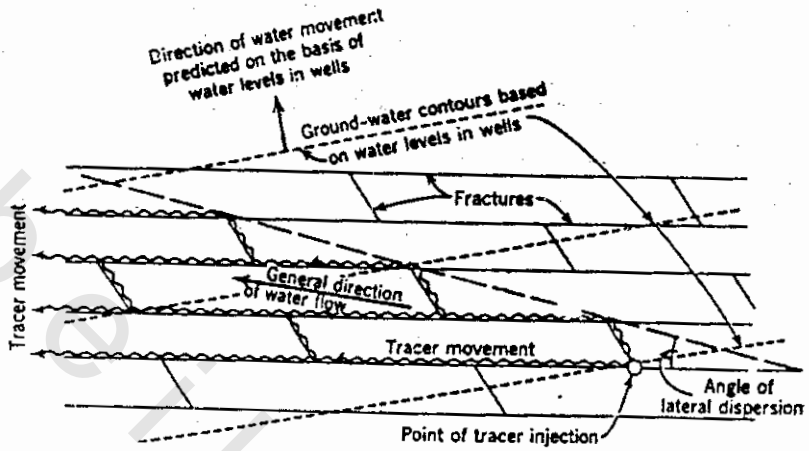
إن النفاذيات المألوفة لمعظم الصخور الكاربوناتية القديمة غير كافية لتسمح حتى بعدة غالونات بالدقيقة من المياه للجريان إلى الآبار الضحلة . ربما يبدو هذا غريبًا للوهلة الأولى نظراً لأن الصخور الكاربوناتية بنفاذية من 20-100 ملي دارسي يمكن أن تنتج كميات كبيرة من النفط إلى الآبار النفطية . يمكن تفسير هذا الاختلاف الواضح عندما نأخذ بنظر الاعتبار فرقين مهمين بين إنتاج النفط والماء . الفرق الأول ، إن آبار النفط أعمق بكثير من آبار المياه وبذلك يمكن الحصول على ضغط هيدروستاتيكي على قرب آبار النفط . الفرق الثاني، تختلف المواد المنتجة في كلتا الحالتين اختلافًا شاسعًا . إذ أن الآبار النفطية التي تنتج من 2-20 غالون / دقيقة من النفط تعتبر آبار منتجة وناجحة جداً في معظم الحقول النفطية . في حين أن الآبار المائية المستخدمة للأغراض الصناعية والبلدية أو للري تصنف على إنها آبار فاشلة ما لم تنتج على الأقل 50 غالون / دقيقة .

الاستنتاج المهم المتعلق بنفاذية الصخور الكاربوناتية القديمة وبعض الصخور

الكاربوناتية الحديثة هو أن البحث يجب أن يتم للنطاقات ذات المسامية الثانوية الناتجة من الانكسارات والذوبان . النطاقات ذات المسامية الأولية رغم كونها نفاذة بما يكفي لتكون مهمة بالنسبة للصناعة النفطية فهي حشارج رديئة بالنسبة للآبار المائية . تعتبر النفاذية الأولية للصخور ككل مهمة بقدر ما توفر من الفراغ المسامي للمياه الأرضية التي تتحرر ببطء نحو النطاقات الأكثر نفاذية . ويجب ملاحظة أن المسامية المقاسة في المختبر ربما لا تمتلك الاتصالات الكافية بين مساحاتها لتجهيز المياه إلى الآبار .

الصخور الكاربوناتية التي تحتوي على قنوات ذوبان واسعة أو انكسارات متكونة أصلاً باتجاه واحد ستكون ذات نفاذيات عشوائية غير متناظرة أو متساوية في كل الاتجاهات . لذلك لا يمكن التنبؤ باتجاه حركة المياه الأرضية ببساطة من خلال رسم الخطوط الكنتورية التي تمثل مناسيب المياه الأرضية في المنطقة . (الشكل 4 - 4) يوضح مثال عن الجريان غير المتناظر (جريان ثنائي الأبعاد) والذي يكون فيه الهبوط في الضغط (head drop) في جميع القنوات (الانكسارات) يتناسب طرديًا مع طول القناة .

جميع الصخور الرسوبية لها كمية معينة من التركيب الطبقي الذي يعطي بعض الجريان غير المتناظر في الاتجاه العمودي بالمقارنة مع ما في الاتجاه الأفقي . ولوحظ من خلال العديد من القياسات المختبرية لنماذج الصخور الرملية بأن متوسط نسبة النفاذية الأفقية إلى النفاذية العمودية كانت 1.5 وحوالي 12% من النماذج أعطى نسبة أكثر من 3.0 . وأقل من 6% أعطى نفاذية عمودية أعلى من النفاذية الأفقية أي أن النسبة أقل من 1 .



الشكل (4 - 4) نموذج لصخور ذات انكسارات بين العلاقة بين الاتجاه الحقيقي لحركة المياه الأرضية والاتجاه المستنتج من رسم الخطوط الكنتورية التي تمثل مناسيب المياه الأرضية .

4 - 4 : إنتاجية الآبار :

معظم الآبار في الصخور الرسوبية المتصلبة باعتدال ذات إنتاجية تتراوح بين 1 - 500 غالون / دقيقة وتنتج الصخور ذات التكوين الناعم عمومًا أقل من 5 غالون / دقيقة ، والصخور الرملية بين 5 - 200 غالون / دقيقة ، والحجر الجيري ذو إنتاجية ربما تتجاوز 200 غالون / دقيقة . لكن الإنتاجيات المألوفة تتراوح بين 5 - 20 غالون / دقيقة .

رغم أن الإنتاجيات المسجلة تعطي بعض التصور عن خصائص الخشارج المتعلقة بحمل المياه الأرضية ، فإن الاختلافات الواسعة في طرق حفر وتنفيذ الآبار وطرق الفحص تجعل من هذه القيم عرضة إلى الاختلافات التي لا يمكن

أن تعزى إلى خصائص الحشارج . السعة النوعية المعبر عنها بالفالون / دقيقة والتي ينتجها البئر لكل قدم من السحب ستعطي معلومات أكثر فائدة . إذا كان سمك الحشرج معلوم ، يمكن تقسيم السعة النوعية على قيمة السمك هذا للحصول على دليل السعة النوعية S.C. index الذي يمكن أن يستعمل للتنبؤ عن إنتاجية البئر في أجزاء من الحشرج لا تملك المعلومات الإنتاجية عنها لكن سمكها يمكن إيجاده .

توزيعات التردد للسعة النوعية للآبار في معظم الصخور الرسوبية المتصلبة باعتدال تشير إلى إنحراف قوي نحو اليمين (أي توزيع موجب) في الشكل 4-5. علاقة الانحراف هذه سائدة أكثر في الحجر الجيري والأورثوكوارتزايت المنكسر.

يمكن زيادة إنتاجية الآبار الأصلية بدفع كميات من الحامض المستعمل لتوسيع الفتحات في الصخور الكاربوناتية أو بتكسير الصخور بواسطة المتفجرات أو بضخ سائل بقوة وضغط عالي إلى البئر أو باستعمال أكثر من طريقة معًا . وقد لوحظ أن نجاح طرق الحث والتحفيز هذه يكون أكثر في الآبار ذات الإنتاجية الابتدائية الواطئة . يمكن تحسين السعة النوعية لهذه الآبار بمقدار 20 - 800 ٪ . ويفشل حوالي 2 - 10٪ من جميع المحاولات بطرق الحث هذه لتحسين إنتاجية الآبار . ومع ذلك وبسبب حقيقة كون كلفة طريقة الحث والتحفيز يمكن تكلف 40% من الكلفة الأصلية للبئر فإن محاولات التحفيز يمكن أن تكون حالات فشل من الناحية الاقتصادية حتى وإن أدت إلى تحسين إنتاجية البئر .

يعزى التحسين الحقيقي لإنتاجية الآبار إلى عدد من التعديلات في الحشرج والبئر . ثم قذف 100 إلى 600 باوند من النايتروكليسرين باتجاه النطاقات الحاملة للمياه في الآبار العميقة المحفورة في الصخور الرملية في ولاية

الينويس الأمريكية . وكانت نسبة التحسن في الإنتاجية يتراوح بين 22 إلى 38 بالمائة . وتعزى الزيادة في إنتاجية هذه الآبار إلى توسيع مقطع البئر وإزاحة المواد الناعمة التكوين التي تغلق السطوح الجانبية للبئر والتي ترسبت أثناء عملية الحفر . كما يمكن أن تكون المتفجرات فعالة في فتح الانكسارات في الصخور المتبلورة والصخور المتصلبة جداً الأخرى . ومن المألوف استعمال المعالجة الحامضية للآبار فى الصخور الكاربونانية في ولاية ميسوري وغيرها . ربما يعمل الحامض على تنظيف السطوح الجانبية للبئر . يمكن أيضًا أن يدخل إلى الانكسارات الصغيرة في محيط البئر ويزيد من النفاذية موضعيًا بإذابة بعض المواد . يصل معدل التحسينات بفعل طريقة الحامض في مناطق معينة إلى أكثر من 250 بالمائة .

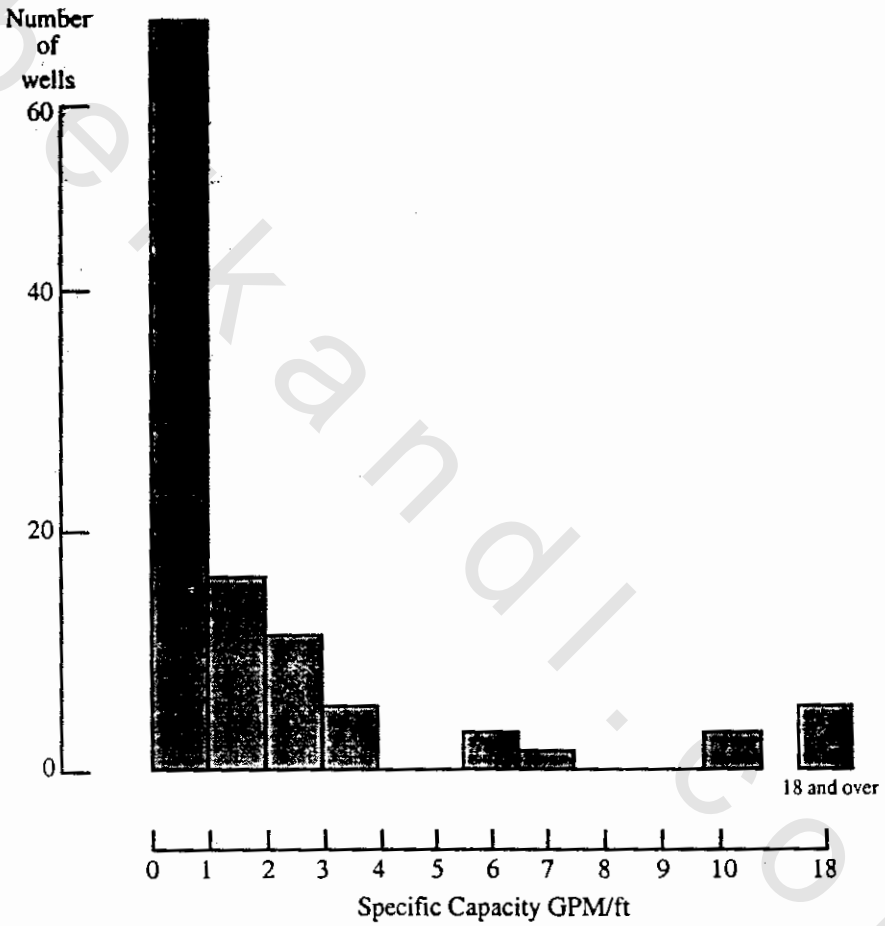
• • •

4 - 5 : التحري عن المياه الأرضيَّة :

تعتبر التحريات ناجحة بصورة خاصة في المناطق ذات الطبقات المنبسطة تقريبًا . من الاعتيادي في مثل هذه الظروف سهولة دراسة البناءات الطبقية المحلية المكشوفة إلى السطح والتنبؤ عن الأعماق إلى الوحدات الطبقية التحتية بدقة تصل إلى أكثر من 10% . وهذه الحقيقة صحيحة خصوصًا في طبقات الحجر الجيري . ترسبات مجاري القنوات السابقة ، الشواطئ ، والحواجز، جميعها يمكن أن تشكل أجسام غير منتظمة من الحجر الرملي يصعب التنبؤ عن مواقعها على أساس التعرض السطحي وحده (لاحظ الشكل 3-6) .

طبقت طرق جيوفيزيائية عديدة خصوصًا الزلزالية منها بشكل واسع في التحري عن النفط . يمكن تقصي أثر الصخور الرسوبية المتصلبة عادة ولمسافات طويلة بواسطة تقنيات الانكسار . ويمكن الحصول على معلومات مفصلة عن

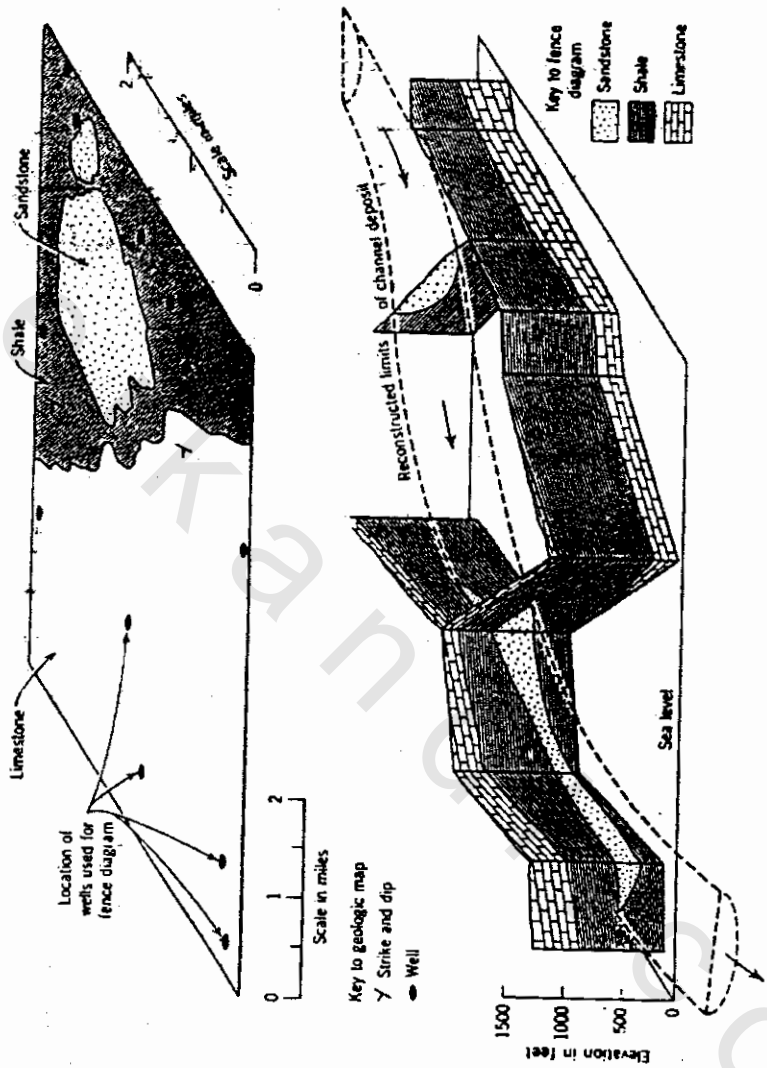
الأعماق إلى مختلف الطبقات . إضافة لذلك ، من الممكن رسم الصدوع والطيات والثنيات ضمن الطبقات الرسوبية . إضافة إلى المجسات الجيوفيزيائية .



الشكل (4 - 5) توزيع التردد للسعة النوعية لـ 105 بئر في صخور ميسوري . معظم الحشارج تتكون من الحجر الجيري .

obeikandl.com

يتم إجراء بعض الأعمال الجيوفيزيائية الأخرى للمساعدة في تحديد مواقع الآبار في الصخور الرسوبية . ويؤخذ الجانب الاقتصادي بنظر الاعتبار عند إجراء هذه الأعمال عادة . إذا كانت الآبار المراد حفرها عميقة جداً فإن كلفة المسح الجيوفيزيائي الفعال ربما تكون أكبر من كلفة حفر بئر مائي منفرد . أما إذا كان البئر ضحلاً (قليل العمق) فإنه يمكن الاستفادة من المعلومات المأخوذة عن البروزات السطحية للصخور للتحري عن الظروف الجيولوجية . مع ذلك تستعمل في مسوحات المياه الأرضية وبصورة واسعة المعلومات الجيوفيزيائية والمعلومات الطبقية التي جمعت من الصناعة النفطية . حيث يمكن الحصول على نوعية المياه الكيميائية . العمق إلى الحشارج والنفاذيات النسبية لمختلف الوحدات الجيولوجية ولمناطق واسعة شريطة أن تكون الأعمال الجيولوجية والجيوفيزيائية السطحية وتحت السطحية التي تمت في الصناعة النفطية كامنة لهذا الغرض .



الشكل (4 - 6) رسم سياجي مستنتج من خارطة جيولوجية سطحية وسجلات آبار . من المتعذر تحديد الموقع تحت السطحي لمجرى قناة مدفون بالحجر الرملي على أسس الاستكشاف السطحي وحده .

4 - 5 - 2 : التحري عن المياه الأرضية في الصخور الرملية :

الصخور الرملية المسمنتة بأحكام ذات المسامية والنفاذية المنخفضة تعطي المياه إلى الآبار عن طريق الانكسارات . نفس الأسس العامة الدالة عن المياه في الصخور المتبلورة في المناطق البلوتونية تنطبق على هذه الصخور الرملية . معظم المناطق الجيدة لتواجد المياه الأرضية تمتد على طول نطاقات الصدوع وضمن النطاقات المرتبطة كليًا . توجد أفضل الآبار في الوديان الواسعة ومناطق الأراضي العالية المنبسطة على عكس قمم التلال والجبال أو منحدرات الوديان وتتناقص نفاذية الصخور بصورة عامة مع العمق .

يجب توخي الحذر بعدم الخلط بين الصخور الرملية المتصلبة سطحيًا - Case hardened مع الصخور الرملية المسمنتة خلال شملها الكلي . عادة ما تفضي الصخور المتصلبة سطحيًا إلى رمال غير متصلبة أو صخور رملية ضعيفة القوة عند أعماق أقل من 20 قدم . لذلك ، فالصخور الرملية التي تبدو صلبة وغير نفاذة عند السطح يمكن أن تكون حشارج جيدة مع العمق .

• • •

4 - 5 - 2 : التحري عن المياه الأرضية في الصخور الكاربوناتية :

رغم أن مواقع الطبقات الجيرية الانفرادية يمكن تحديدها بالدراسات البنائية والطبقية ، فإن إنتاجية الطبقات يصعب التنبؤ عنها بصورة خاصة . المفاصل الصغيرة ، الاختلافات في التركيب ، الصدوع ، الطبقات الصغيرة من الصلصال أو الشرت ، والنفاذية الابتدائية ، جميعها يمكن أن تتحكم في مواضع فتحات الذوبان والتحلل في صخور الحجر الجيري الكثيفة والدولومايت. في بعض الأماكن يتم العلم بتكوينات معينة على أنها حشارج جيدة من خلال أدلة بسيطة . فقط في أماكن قليلة يمكن للتحري السطحي العرضي (غير المركز) أن يبين صلاحية أو عدم صلاحية طبقة جيرية لتكون

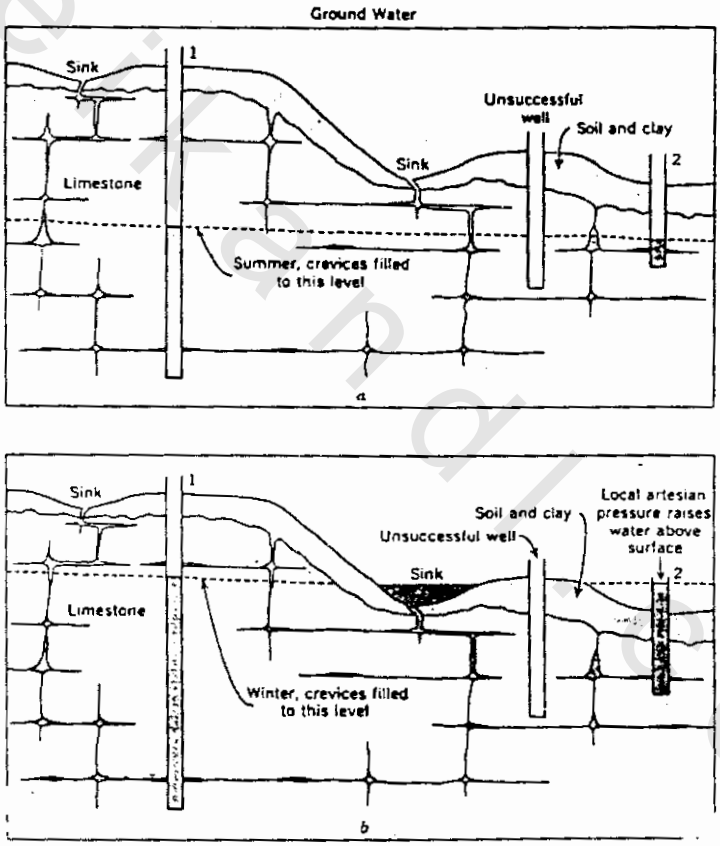
حشرجًا حاملاً للمياه . العلامة أو الدليل الذي يؤخذ من البروزات الصخرية الظاهرة هو وجود فتحات ذوبان ، أو مفاصل متقاربة ، أو وجود صدع في النطاق موضوع البحث . الدليل الذي يبين إن وحدة الحجر الجيري أو الدولومايت قد لا تكون حشرجًا جيداً عند العمق هو وجود عدد كبير من أجزاء صلصالية إضافة إلى عدم وجود فتحات الذوبان .

الملاحظات في مقالع الحجر والحفريات الأخرى قرب الصخور الكاربوناتية الأفقية تبين بأن فتحات الذوبان على امتداد المفاصل العمودية متباعدة فيما بينها وأن الفتحات على امتداد سطوح الطبقات هي أكثر أهمية بالنسبة لإنتاج المياه . إضافة لذلك المفاصل العمودية التي توسعت بفعل الذوبان قرب السطح غالبًا ما تمتلئ بالطين القادم من التربة الواقعة فوقها . من ناحية أخرى ، غالبًا ما تبقى الفتحات الأفقية مفتوحة . نظراً للفرصة الضئيلة جداً في تقاطع البئر مع الشقوق العمودية فإن معظم الآبار تحصل على مياهها من فتحات الذوبان الأفقية على امتداد سطوح الطبقات . (الشكل 4 - 7 والشكل 4 - 8) . مع ذلك ، تميل الفتحات الأفقية لتكون أفضل نمواً قرب الصدوع لذلك يجب أن تستعمل تحريات الصدوع العمودية عند السطح لتحديد المواقع الأكثر ملائمة لآبار المياه .

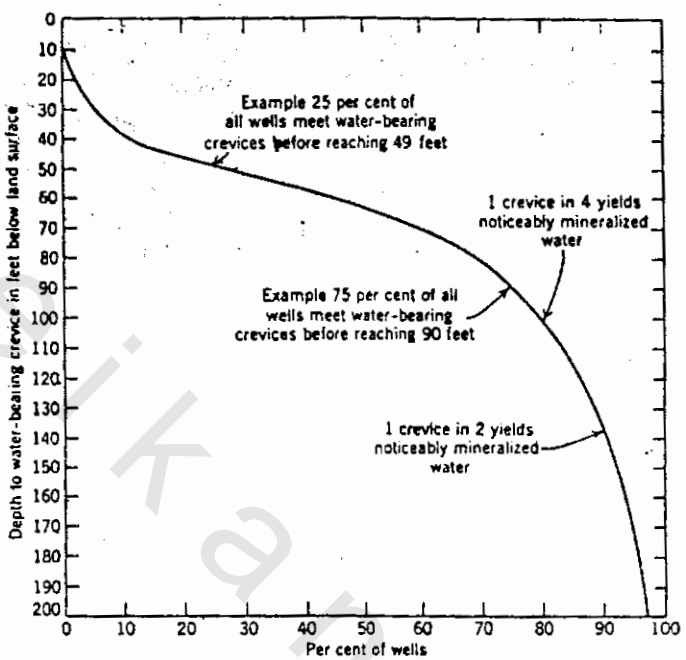
في المناطق ذات الحجر الجيري السميك أو الدولومايت ، تعتبر الآبار الواقعة في بطن الوادي أفضل نوعًا ما من تلك التي تقع في جوانب الوادي . مخزون المياه في الرسوبيات المتاخمة مع منسوب المياه القريب من السطح تعتبر جزء من الميزة المفضلة لآبار بطن الوادي . الآبار المحفورة في الأراضي المرتفعة الواسعة هي الأخرى أفضل وأكثر نجاحًا من تلك التي تحفر في منحدرات الوديان . الشقوق وفتحات الذوبان توجد بكثرة على امتداد قمم الثنيات المحدبة للصخور وضمن الأغوار أكثر من تواجدها على جونب الثنيات . (الشكل 4 - 9) .

تعيين موقع الآبار في المناطق ذات الطبقات الطباشيرية السميكة أصعب كثيراً مما في الحجر الجيري الصلد أو الدولومايت . يمكن أن تظهر الوديان تعرية وتآكل على طول المناطق المتكسرة كثيراً. لذلك فأن قابليات النقل العالية يمكن أن تعزى إلى الانكسارات وليس إلى الموقع الطوبوغرافي .

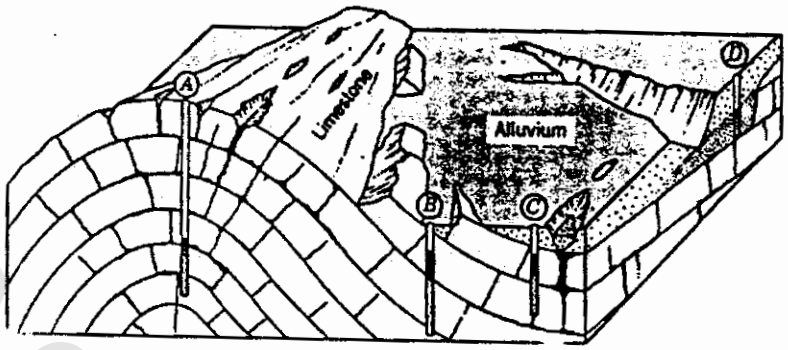
يحتفظ الحجر الجيري الحديث عمومًا ببعض المسامية الأصلية ، وإذا كان الحجر الجيري مكون من مواد حتاتية خشنة فإنه لا يصعب تحديد النطاقات النفاذة.



الشكل 4 - 7) المرتسمات تبين كيفية وجود المياه في الشقوق تحت مستوى الماء الأرضي والظروف الارتوازية .



الشكل (4 - 7) العلاقة بين العمق والنسبة المئوية للآبار التي تقطع الصدوع أو الشقوق الحاملة للمياه .



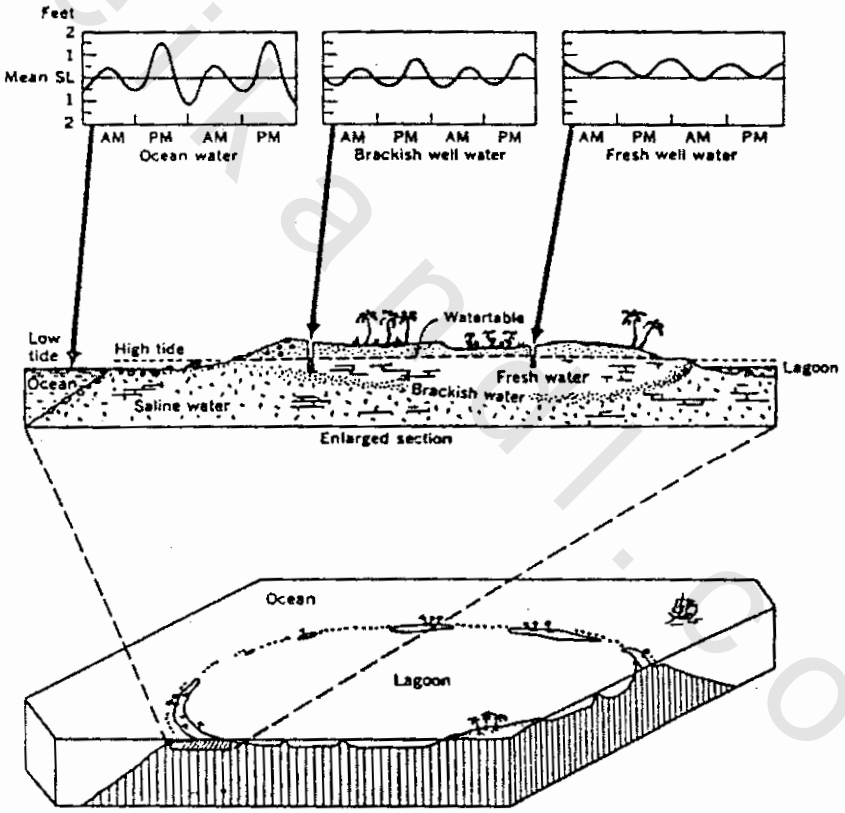
الشكل (4 - 9) آبار مائية في منطقة صخور كاربوناتية منثنية نحو الأعلى (محدبة) . الأجزاء السوداء تبين النطاقات ذات فتحات ذوبان . البئر A ناجح إلا أن عمق رفع المياه بالضخ كبير . البئر B ذو إنتاج منخفض ، البئر C ناجح ذو رفع ضخ قليل . البئر D محفور في المنطقة الرسوبية Alluvium .

معظم الجزر المرجانية التي فوق مستوى سطح البحر تتركب من مواد متشظية منتصبة على قمة رصيف صخري بحري متصلب وصلد ، المادة المتشظية تتغير من شظايا (كسارة حجر) خشنة جداً على الجانب البحري من الجزر إلى رمل كلسي ناعم في الجوانب الأخرى (الشكل 4 - 10) الكسارة الخشنة مسمنتة عادة إلا أنها تحتفظ بنفاذية عالية .

المياه الأرضية في الجزر متأصلة من مياه البحر التي تتحرك من وإلى داخل الصخور في الجزيرة تبعًا لتغيرات منسوب مياه البحر بسبب المد والجزر وكذلك من مياه الأمطار المتسربة إلى الأسفل مباشرة . المياه الصالحة للشرب غير موجودة في الجزر الصغيرة خصوصًا في المناطق ذات الأمطار القليلة . أما في الجزر الكبيرة فإن مياه الأمطار تسرب إلى الأسفل وتطفو على مياه البحر التي تشبع الصخور التحتية . بسبب التغير في النفاذية عبر الجزر فأن عدسة المياه العذبة (تتجمع المياه العذبة فوق المياه المالحة على شكل عدسة كبيرة) ستكون

غير متماثلة الجوانب ، حيث ستكون أكثر سمكًا قرب جوانب الجزيرة غير المواجهة للبحر حيث النفاذية أقل ولا تجري المياه نحو الخارج بالسرعة التي تجري بها من جانب البحر ذو الكسارة الخشنة (الشكل 4 - 10) .

تجمع مياه الشرب في معظم الجزر من الجريان السطحي للسقوف وتخزن في خزانات خاصة لهذا الغرض . في الجزر الكبيرة تستعمل المياه الأرضية للغسل وللشرب بكمية محدودة . السمك القليل لعدسة المياه العذبة يحول دون ضخ واسع النطاق دون صعود المياه المالحة وامتزاجها كليًا مع المياه العذبة .



الشكل (4 - 10) عدسة مياه عذبة أرضية وتذبذبات منسوب ماء البحر في جزيرة مرجانية .

4 - 6 : كهوف الصخور الجيرية Lime stone caverns :

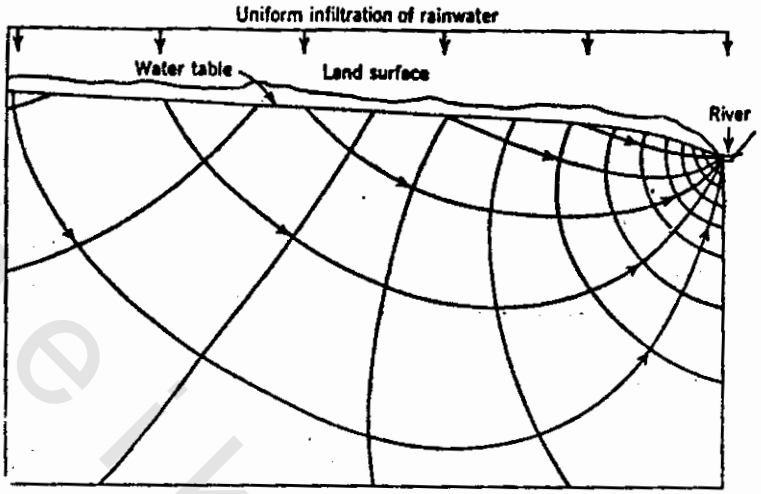
الناحية الممتعة في الهيدرولوچي ذات العلاقة الوثيقة بوجود المياه في الطبقات الجيرية هي دراسة كهوف الصخور الجيرية . قبل عام 1930 يفترض معظم الجيولوچيين بأن هذه الكهوف متأصلة فوق منسوب المياه نتيجة تأثيرات مشتركة لمحلول المياه والتعرية التي تسببها مياه الكهوف الجارية . الباحث (W.M. Davis) أعلن أن هذه المعالم الجيولوجية كالكهوف الأنبوبية الشكل ، والفروع العمياء (المنقطعة) المتصلة بالكهوف ، وغيرها يمكن تفسيرها جيداً وذلك بافتراض أن الكهوف قد حفرت تدريجيًا تحت منسوب المياه الأرضية وليس فوقه كما كان يعتقد . أما أجزاء الكهوف فوق أو عند منسوب المياه الأرضية فقد ظهرت من قبل المجاري السطحية المتصلة بالمجاري الكهفية من خلال أنظمة جريان مستمرة ، ومن قبل اضطراب وإثارة مجاري الكهوف، ومن قبل التواءات وتعرجات المجرى المنخندقة فوق أسطح بعض الكهوف . معظم الكهوف فوق مستوى المياه الأرضية تظهر بعض الدلائل عن الامتلاء الجزئي بتراكمات أجزاء الصخور المتساقطة ، والشظايا المتساقطة من تهدم السقف تملأ أجزاء من الكهوف ، وكذلك الطين الساقط على امتداد السقوف .

وأصبحت الآن حقيقة معروفة من أن تكوين الكهوف يحدث تحت منسوب المياه الأرضية وعند منسوب المياه الأرضية وفوق منسوب المياه الأرضية .

الباحث (Davis) ناقش مسألة تكون الكهوف الجيرية عند عمق تحت منسوب المياه الأرضية ، على أساس حقيقة أن السطوح المتساوية الجهد (equal potential sarface) في الوسط المتجانس المتناظر قرب بالوعة خطية (مجرى) تولد جريان عميق لبعض المياه كما مبين في الشكل (4-11) . أن إمكانية الذوبان العميق للحجر الجيري تتعزز بدراسات جيوكيميائية حديثة أكدت وجود الماء تحت المشبع بالنسبة إلى $caco_3$ عند أعماق 800 قدم أو أكثر تحت

السطح. إن معاينة خطوط الجريان Flow net في الشكل (4-11) تبين الازدحام الملحوظ لخطوط الجريان قرب مجرى النهر وبعض الازدحام (تقارب خطوط الجريان) تحت منسوب المياه ، وهذا يؤكد بدوره وجود نطاقات ذات سرعة جريان أكثر من غيرها . ونظراً لأن معدل الذوبان يتناسب طرديًا مع كمية المياه التي تلامس الصخور في وحدة الزمن ، فإن المناطق ذات السرعة العالية لجريان المياه ستكون النطاقات ذات الذوبان الأعلى . وبذلك سيتغير التجانس وتتحول كمية أكبر من المياه قرب المجرى وسطح المياه . إذا كان النظام الطبقي للصخور الجيرية أفقيًا تقريبًا . فإنه سيضيف عدم تناظر آخر مما يعزز آثار الذوبان قرب منسوب المياه . وبناء على ما تقدم ، في الصخور المتجانسة تقريبًا سيكون العدد الأكبر من الكهوف المتكونة حديثًا قرب منسوب المياه وقرب نقاط التصريف الطبيعي للمياه الأرضية .

تبين سجلات حفر الآبار عمومًا بأن فرص ملاقات كهوف كبيرة مملوءة بالمياه قليلة حتى في المناطق التي لوحظت كهوفها . حتى لو تم تعيين الاتجاه العام للكهوف فإن خرائط الكهوف الموجودة فوق منسوب المياه تشير بأن عدد قليل من الآبار فقط يمكن أن تلاقي الكهوف بسبب الاتجاه العام غير المنتظم للكهوف. مع ذلك من المؤكد وجود الكهوف الكبيرة تحت منسوب المياه كما برهنت على ذلك آبار الفحص ، ودراسات أسس السدود الإنشائية ، وملاحظات الينابيع الكبيرة . بعض الينابيع ذات تصريف أكثر من متر مكعب واحد / ثانية . مثل هذه التصاريف لا يمكن أن تجري تحت الأرض إلا من خلال فتحات كبيرة جداً . ويلاحظ أكبر ينبوع يتدفق من الصخور الجيرية قرب مدينة رأس العين في سوريا والتي تقع على أحد روافد نهر الفرات قرب الحدود التركية . يتراوح تصريف هذا الينبوع بين 35 - 40 متر مكعب في الثانية وبمعدل 38.7 متر مكعب في الثانية ، وينابيع أخرى في نفس المنطقة الجيولوجية ذات تصاريف أكثر من متر مكعب واحد في الثانية .



الشكل (4 - 11) خطوط جريان المياه الأرضية في وسط متجانس متناظر ذو تغذية سطحية .

4 - 7 : إدارة المياه الأرضية Ground water maua jemont :

الإنتاجيات المائية النوعية للصخور الجيرية المنخفضة تأتي في معظمها نتيجة الاستهلاك المفرط لهذه المياه في الأوقات التي تكون فيها التغذية الخارجية لهذه المياه قليلة نسبيًا . وإذا كانت الكهوف متصلة مع بعضها على امتداد المناطق المجاورة فأن تأثير الإنتاج المفرط للمياه سيعم بسرعة ليشمل تلك المناطق المجاورة . إن الاستهلاك المفرط للمياه الأرضية في المناطق الجيرية لا يعمل على حفظ مستويات تلك المياه . فحسب بل يعمل على الحد من تكون ونمو كهوف جديدة .

إضافة إلى ذلك تتسبب الفعاليات المختلفة للإنسان في عمليات تلوث واسعة مختلفة الأنواع للمياه الأرضية هذه تسهل فتحات الذوبان الكبيرة عملية دخول الملوثات العضوية واللاعضوية . في كثير من الأحيان تستعمل

الحفر ومقالع الحجر المتروكة ، والآبار الضحلة للتخلص من النفايات ومياه الأمطار والمواد الأخرى غير المرغوبة ، ومن الاعتيادي أن تتقاطع الآبار أو الشقوق والفتحات مع الطبقات الصخرية الحاملة للمياه مما يوفر فرصًا كافية لتغذية المياه الأرضية بالملوثات بصورة مباشرة . كما أن السحب المفرط للمياه من الطبقات الحاملة لها القريبة من شواطئ البحار سيحفز مياه البحار المالحة على التوغل في هذه الطبقات وتلويث المياه العذبة بالأملاح .

• • •

4 - 8 : نوعية المياه :

يمكن أن تختلف النوعية الكيميائية للمياه الأرضية المستخرجة من الصخور الرسوبية من مياه مشبعة بالأملاح في الصخور البحرية المدفونة إلى مياه جاوية على أقل من 100 جزء بالمليون من المواد الصلبة الذائبة في الصخور الرملية قرب السطح . عند الأخذ بنظر الاعتبار المياه الأرضية في كل الصخور الرسوبية فإن المياه المالحة تعتبر أكثر وزن من المياه العذبة في هذه الصخور . ولحسن الحظ تجثم المياه العذبة دائمًا فوق المياه المالحة وقرب سطح الأرض في حين تتمركز المياه الغير صالحة للشرب في الأعماق البعيدة .

إن مشكلة أصل الأملاح في العديد من الصخور الرسوبية القديمة تبقى واحدة من المشاكل الملحة والمحيرة في جيوكيميائية المياه الأرضية . من الاعتيادي في رسوبيات العصر الحجري الثالث لا تتعدى ملوحة المياه الطبيعية الأصلية ملوحة مياه البحر ما لم يوجد اتصال مع ترسبات ملحية حديثة أو ناتجة من التراكمات الملحية نتيجة عملية التبخر المستمرة . من ناحية أخرى، المياه الطبيعية الأصلية في الصخور الرسوبية في العصر القديم تحتوي عادة كمية كلية من المواد الصلبة الذائبة تتراوح من 100000 - 350000 جزء

بالمليون . معظم هذه المواد الذائبة الموجودة في الطبقات الرسوبية لا تظهر أي دليل حول اتصالها بترسبات تبخرية .

إن الترحيل المميز للأيونات الضعيفة الارتباط خلال المراحل المتقدمة من انضغاط الصلصال هو أحد المصادر الممكنة للملوحة العالية في المياه الأرضية . تفسير آخر مماثل أكثر شيوعًا يتمثل في المرور التفضيلي للمياه الأرضية في طبقات الصلصال الذي يسمح للمواد الصلبة الذائبة بالتراكم والنمو في الطبقات الدنيا كلما ملأت المياه النطاقات المدفونة عميقًا من خلال تسرب المياه في البروزات الصخرية الظاهرة على السطح أو من خلال تدفق المياه الأصلية من طبقات الصلصال الواقعة تحتها .

بغض النظر عن الميكانيكية الحقيقية المسؤولة عن التركيز الأصلي للمواد الذائبة ، فإن الهجرة المتتابعة للمياه المالحة خلال تعرض الطبقات الحاملة لها للتعرية تعتبر ذات اهتمام خاص من قبل الهيدروجيولوجيين . ينابيع المياه المالحة المتدفقة في مناطق الصخور الرسوبية البحرية الأصل تشهد على صحة التدفق البطيء للمياه الأصلية الطبيعية .

ربما تحدث إزالة المياه المالحة في مراحل في العديد من الحشارج التي تتقاطع جانبيًا مع التكسرات والمفاصل . كما يزاح بعض المياه المالحة في كل مرحلة تعرية .

عادة تكون الفروقات في نوعية المياه الكيميائية واضحة بين المجاميع الثلاث الشائعة من الصخور الرسوبية ، الرملية ، والصلصالية والكاربوناتية . يحتوي الصلصال عادة على أعلى كميات من الحديد ، الفلور ، وقيمة منخفضة لـ PH ، عادة بين 5.5 إلى 7.0 ، الحجر الجيري يحتوي نسبة أقل من Sio_2 ، ونسبة أكبر من الكالسيوم والمغنيسيوم ، وقيم PH عمومًا فوق 7.0 .

نوعية مياه الصخور الرملية متغيرة بعض الشيء معتمدة على نوع الصخور المتاخمة لها ، والتركيب المعدني للرمال ، وعمق الطبقات . العديد من الآبار التي تستخرج المياه الصالحة للشرب من حشارج الصخور الرملية العميقة على امتداد السهل الساحلي للمحيط الأطلسي في الولايات المتحدة وخليج المكسيك تعتبر ذات مياه عذبة ذات محتويات من الكالسيوم والمغنيسيوم أقل من 20 جزء بالمليون . إلا أن محتويات هذه المياه عن الصوديوم والبايكربونات هي عالية نسبيًا .

obeikandl.com

الفصل الخامس

المياه الأرضية في

الرسوبيات غير المتصلبة

5 - 1 تقديم

5 - 2 المسامية ، النفاذية ، والإنتاجية النوعية

5 - 3 الوديان النهرية

5 - 3 - 1 الخصائص العامة 5 - 3 - 2 النفاذية

5 - 3 - 3 إنتاجية الآبار 6 - 3 - 4 التحري عن المياه الأرضية

5 - 3 - 5 نوعية المياه

5 - 4 الوديان ذات الأصل التكتوني

5 - 4 - 1 أنواع الرسوبيات 5 - 4 - 2 المسامية، النفاذية، والإنتاجية

5 - 4 - 3 تعيين مواقع الآبار 5 - 4 - 4 مشاكل انضغاط الحشرج

5 - 4 - 5 نوعيه المياه

5 - 5 السهول الساحلية

5 - 6 مناطق الرسوبيات الهوائية

5 - 7 المناطق المغطاة بالجليد

5 - 8 مناطق الرسوبيات المتنوعة

obeikandl.com

obeikandl.com

الفصل الخامس

المياه الأرضية في الرسوبيات غير المتصلبة

5 - 1 : تقديم :

يبدأ البحث عن المياه الأرضية عادة مع التحري في الرسوبيات غير المتصلبة . وهناك أسباب ترجح هذا التفضيل . الأول ، سهولة الحفر في هذه الرسوبيات ، لذلك سيكون التحري سريعًا ورخيصًا . الثاني ، توجد هذه الرسوبيات في معظم الأحيان في الوديان حيث تكون مستويات المياه الأرضية قريبة من السطح وبذلك سيكون رفع الضخ للمياه قليلاً . الثالث ، أن الرسوبيات غير المتصلبة تقع في أماكن مناسبة لتغذية المياه الأرضية من مصادر سطحية وجوفية للمياه وخصوصًا الأنهار والبحيرات . الرابع ، تمتلك الرسوبيات غير المتصلبة بصورة عامة إنتاجية مياه عالية نسبة لإنتاجية التكوينات الأخرى . الخامس ، وربما السبب الأكثر أهمية ، نفاذية هذه المواد أعلى بكثير من نفاذية المواد الطبيعية الأخرى باستثناء الصخور البركانية الحديثة والجيرية المتكهفة .

يمكن تقسيم الرسوبيات غير المتصلبة على عدد كبير من الأنواع على أساس أصل تكوينها . وأكثر هذه الأنواع أهمية هي الفيضية الغرينية alluvium ، رواسب الجلاميد الصلصالية التي يرسبها الجليد till ، الرسوبيات الملامسة للجليد ، رواسب اللويس التي حملتها الرياح loess ، الكثبان الرملية dune sand ، الرمال والأطيان البحرية marine sands & clays ، والرواسب البحيرية الرملية ،الطينية Lacustrine sands & clays .

5 - 2 : المسامية ، النفاذية ، والإنتاجية النوعية :

تتراوح مساميات الرسوبيات غير المتصلبة من 20% في الغرين الخشن ضعيف الانتظام إلى حوالي 90% في الأطيان الناعمة والمواد العضوية الجافة . وعمومًا المساميات بين 25 - 65 تعتبر مألوفة كثيراً . (لاحظ الجدول 5 - 1) . تتراوح قيم الإنتاجية النوعية لهذه الرسوبيات من صفر تقريبًا إلى حوالي 50%. في الغرين الناعم والطيني أقل من 10% . في الرمل الخشن والحصو أكثر من 50% . على عكس قيم المسامية المنسجمة هناك اختلافات واسعة في نفاذية الرسوبيات غير المتصلبة المختلفة . أعلى النفاذيات المسجلة كانت أكثر من 10^9 مرة أكبر من أوطأ النفاذيات . رغم المدى الواسع لهذه القيم يمكن وضع قيمة تقريبية للنفاذية إذا كان الأصل الجيولوجي للرسوبيات معلومًا .

تعتمد كل من المسامية والإنتاجية النوعية والنفاذية على شكل وتجمع ، وتوزيع حجم والتحام الدقائق المكونة للرسوبيات غير المتصلبة . تميل الدقائق الزاوية (كثيرة الزوايا) للتماسك عن بعد من خلال الأركان الحادة والزوايا غير المنتظمة معطية قيمًا عالية للمسامية والنفاذية والإنتاجية النوعية لقطر حبيبي معين . في حين أن الدقائق ذات الأركان المحدبة قليلاً والزوايا القليلة بحيث يسهل تشابكها مع بعضها فإنها تعطي انضغاطية قصوى . والدقائق المدورة لا تستطيع التشابك وبذلك تكون أقل انضغاطًا وستكون ذات مسامية ونفاذية وإنتاجية نوعية مماثلة لما في الدقائق الزاوية جداً . وإضافة إلى طبيعة زوايا الدقائق يؤثر الشكل الكلي للدقائق تأثيراً كبيراً على طبيعة تجمع الدقائق وانتظامها . الدقائق المصفحة (ذات سطوح) تميل لتكوين فتحات صندوقية خصوصًا في المواد ناعمة الحبيبات حيث يمكن لقوى التماسك الصغيرة مقاومة الوزن القليل للحبيبة الواحدة التي تميل للدوران نحو أقرب تراص أو تراكم (الشكل 5 - 1) . نظريًا يمكن أن تتراص الكرات الصلدة وتنتظم لتعطي

مسامية تتراوح بين 25.95 - 47.64% . أما الدقائق ذات الشكل الصفائحي (ذات سطوح) فإنها يمكن أن تتراص وتنتظم لتعطي مسامية تتراوح بين صفر تقريبًا إلى 100% تقريبًا .

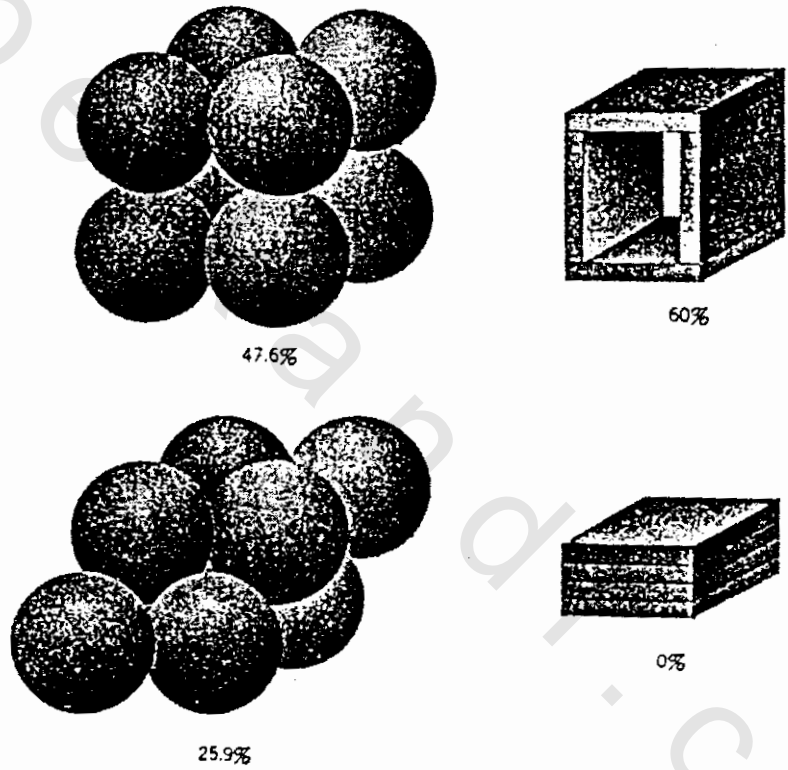
Sample Number	Orientation of Sample	Type of Sediment	Dominant Size	Permeability, darcys	Porosity, per cent	Specifice Yield	References
1	Vertical	alluvium	fine sand	26.4	51.1	45.5	26
2	horizontal	alluvium	fine sand	25.3	51.5	45.8	26
3	vertical	alluvium	fine sand	16.5	47.0	39.9	26
4	horizontal	alluvium	fine sand	13.2	45.7	39.0	26
5	vertical	loess	silt	0.33	49.3	33.1	26
6	horizontal	loess	silt	0.22	50.7	34.7	26
7	horizontal	marine	clay	0.000016	48.5	3.6	26
8	vertical	marine	medium sand	38.5	41.7	38.3	26
9	horizontal	marine	medium sand	55.0	40.2	37.6	26
10	...	alluvium	fine sand	5.5	52.2	...	42
11	...	alluvium	coarse sand	189	33.3	...	42
12	...	alluvium	gravel	1130	25.1	...	42
13	...	artificial	gravel (large than 38 mm)	43500	38.0	...	2
14	...	...	clay (kaolinite)	0.0015	50.0	...	2
15	...	...	clay (montmorillonite)	0.000015	66.6	...	2
16	...	dune sand	medium sand	28.0	35.8	34.5	8

Note : Samples 1 and 2,3 and 4,5 and 6, and 8 and 9 are paired samples from identical locations.

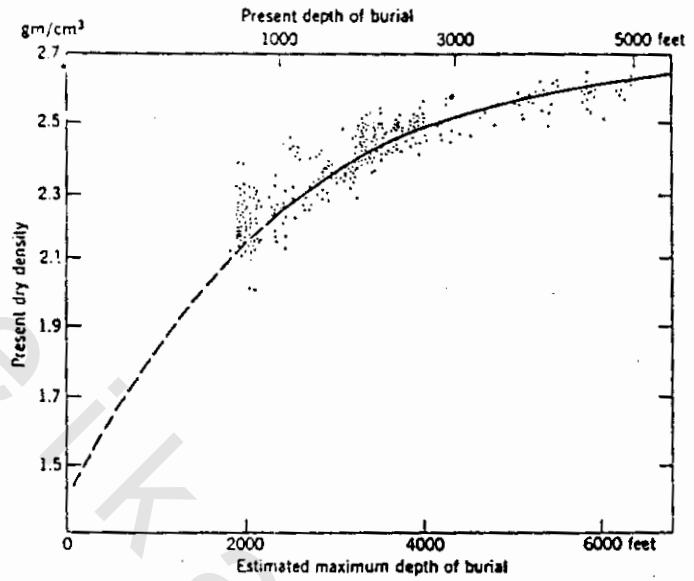
(الشكل 5-1) مسامية ونفاذية رسوبيات غير متصلبة ممتازة

إن طريقة أو أسلوب الترسيب سيكون لها بعض الأثر على انتظام أو تراص الدقائق . مثال ذلك ، الترسبات الصلصالية تحت الجليد ستكون ذات مسامية أقل مسامية رسوبيات الطيني الجاري ذات نفس التركيب . أن الرمال المترسبة على الجانب المحجوب عن الرياح من الكثيب الرملي ستكون أكثر مسامية من الرمال ذات نفس الحجم التي تترسب في الجانب المواجه للرياح . يؤثر عمق الدفق أيضًا على انتظام الدقائق نتيجة الزيادة الطبيعية في الضغط (الشكل 5-2) . معدل النقص في المساحية ضمن الألف قدم العليا قد يزيد قليلاً على 5% ، رغم أن دراسات النماذج المختبرية قد أوضحت اختلاف واسع في النتائج حتى أنه قد وجدت زيادات وليس نقص في المسامية مع العمق ذلك نتيجة التغيرات في حجم وشكل الدقائق . يعتبر نقص المسامات نتيجة الدفق مهم جداً في الترب والرسوبيات الطينية والصلصالية إلا أنه قليل الأهمية إلى حد كبير في الرمال والحصى . يعزى معظم النقص في المسامية إلى الآثار الناتجة عن الحركة التبادلية بين الحبيبات التي لا تؤثر على شكل الحبيبات بل تؤثر على طبيعة رصفها وتراصها وانتظامها . ويحدث بعض التشويه المرن للحبيبات والذي سرعان ما يختفي وتعود الحبيبات إلى شكلها الطبيعي بعد إزالة الضغط حيث تتمدد الحبيبات لتعود إلى شكلها الأصلي وبذلك يزداد حجم النموذج الذي يستخرج من الأعماق عند إرساله إلى المختبر ولابد أن يؤخذ هذا التمدد بالحسبان خصوصًا تلك النماذج التي تؤخذ من أعماق تزيد على 100-200 قدم . تعتبر كل من المسامية والنفاذية والإنتاجية النوعية حساسة لحجم الدقائق وتوزيع الحجم الدقائقي وطبيعة ترتيب وانتظام الدقائق . يحدد حجم الدقائق الأهمية النسبية للشد السطحي والقوى الجزيئية الأصغر التي تمسك بالمياه ضمن الفراغات المسامية . كذلك يساعد حجم الدقائق على

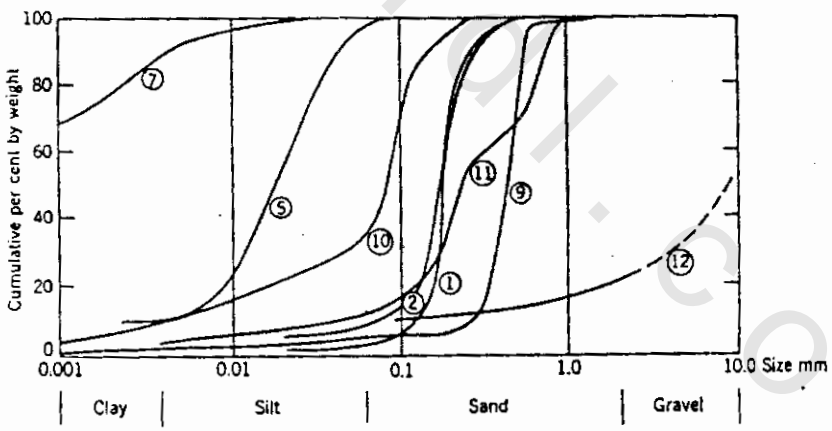
تحديد أقطار المسامات ذات التأثير المباشر على النفاذية (الشكل 5-3) والإنتاجية النوعية . أما توزيع الحجم (Sorting) فيحدد مدى تداخل الحبيبات الصغيرة بين الحبيبات الكبيرة لشغل الفراغ الموجود بينها (الشكل 5 - 4) .



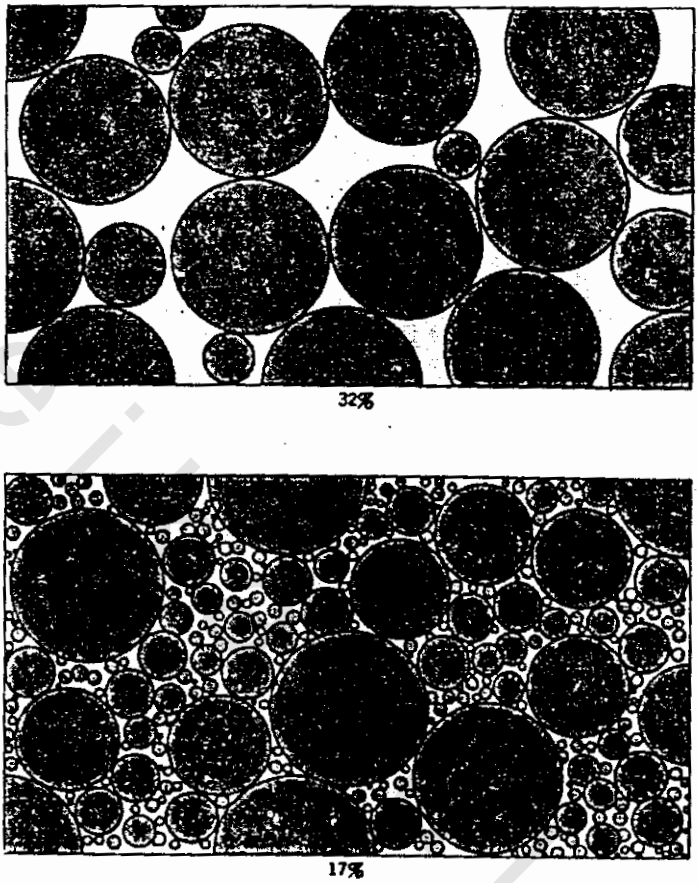
(الشكل 5-1) الانتظام والرصف المتقارب والمفتوح لدقائق مصفحة وأخرى كروية . تبين الأشكال المسامية العظمى والدنيا للترتيبات المختلفة المستقرة للدقائق .



(الشكل 5 - 2) زيادة كثافة الصلصال مع العمق في نماذج صخرية



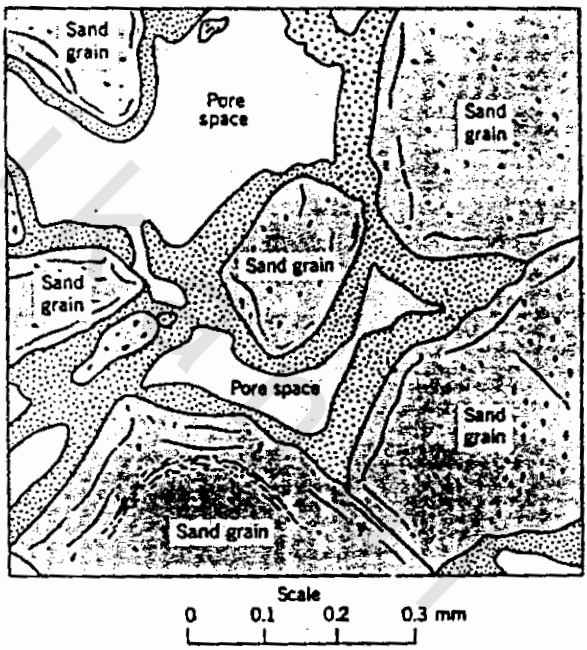
(الشكل 5 - 3) التوزيع الحجمي لنماذج مختلفة مدرجة في الجدول 5-1 . يمكن ملاحظة أهمية الحجم في تأثيره على النفاذية من مقارنة الحجوم المتوسطة مع النفاذية . عدد النماذج على المنحنيات تتقابل مع عدد النماذج في الجدول .



(الشكل 5 - 4) الفرق في المسامية الناتج عن الاختلاف في التوزيع الحجمي Sorting للحبيبات الأرقام تحت الأشكال تمثل نسبة المسامات في النماذج (المسامية) .

كل الرسوبيات تقريبًا توجد فيها كمية قليلة من المواد السمنتية رغم ذلك تعطي مظهر كونها غير متصلبة كليًا . الطين والمواد الغروية الموجودة في جميع الرسوبيات (عدا النقية جداً) تميل لتكوين أغشية أو أغلفة على الدقائق الأكبر منها. تنمو الأغشية الطينية جيداً في ضمن نطاق B من الترب (الشكل 5-5) حيث يمكن أن تنخفض النفاذية إلى قيمة صغيرة مقارنة بقيمها الأصلية .

ونظراً لانتفاخ الطين عند التميؤ فإن نفاذية المواد المسمنتة بالطين ستتأثر بكمية الرطوبة الموجودة تأثراً كبيراً . أما السليكا ، الكالسايت ، الليمونايت، ومواد السمنتة الأخرى المألوفة في الصخور الرسوبية فهي غير مهمة نسبيًا في نظيراتها غير المتصلبة .



(**الشكل 5 - 5**) أغلفة أو غشاءات الطين التي تغلف حبيبات الرمل في الترب الرملية كما تظهر في الرسم بالمناطق الخفيفة المنقطة .

5 - 3 : الوديان النهريَة River Valleys :

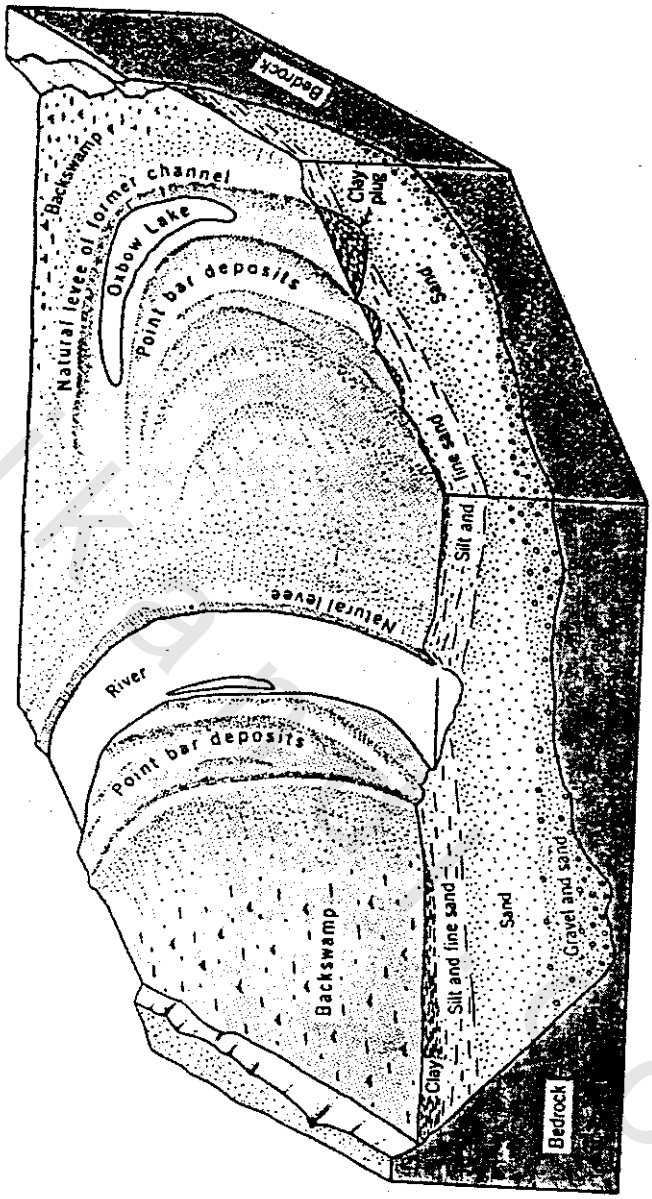
5 - 3 - 1 : الخصائص العامة :

إن توزيع نسب الطين ، الغرين ، الرمل ، والحصو في وديان الأنهار معقد جداً . إلا أن الأشكال العامة لها منتظمة ويمكن التعرف عليها . في الوديان الواسعة التي يشغل منها مجرى النهر جزء محدود يمكن أن تصنف الرسوبيات على أساس أشكالها الطوبوغرافية ومواقعها بالنسبة لمجرى النهر (الشكل 5-6). أخشن الرسوبيات التي توفر أفضل الحشارج هي الرمال والحصى حيث تشكل هذه الرسوبيات الحمولة الثقيلة للنهر والتي تترسب مباشرة ضمن مجرى النهر . أما رسوبيات ما يسمى بسد الجرف (Point bav) فهي رسوبيات تتكون عند انعطاف المجرى والتواءاته حيث يحدث الترسيب لحمولة النهر من المواد عند الجرف أو الجانب المحدب من النهر (لاحظ الشكل 5 - 6) لانخفاض سرعة الجريان في الجانب المحدب من الالتواء وزيادة السرعة في الجانب المقعر من التواء النهر حيث يحدث التآكل في هذا الجرف . وكلما غير النهر مجراه ترك بجانبه سدود جرفية مع منخفضات اعتراضية كانت تمثل مجراه الأصلي . ثم تمتلئ هذه المنخفضات تدريجيًا بفعل ترسبات الطين والغرين أثناء فترات فيضان مياه النهر . ونتيجة لعمليات الترسيب هذه وانتقال المجرى إلى مواقع متتالية تظهر في المنطقة سلسلة من شرائح مقوسة من الرسوبيات ناعمة التكوين تغطي طبقة رملية أكثر سمكًا . ترسبات الفيضانات المستمرة سوف تبني طبقة سميكة من الرسوبيات الناعمة تتراوح بين الغرين الخشن عند السداد الجانبية الطبيعية للنهر إلى الطين الغرين الناعم ضمن المستنقعات الخلفية Back Swamp . تصل رسوبيات الفيضان ناعمة الحبيبات إلى أعلى سمك لها عندما تملأ الانعطافات الأولى المقتطعة من النهر . تسمى هذه الامتلاءات الناعمة بسداد الطين Clay plugs .

ليست كل وديان الأنهار تظهر هذه السلسلة الكلية من رسوبيات سهل الفيضان العديد من الأنهار التي تحمل كميات كبيرة من العوالق الخشنة والناعمة تبين سهول فيضية واسعة تتخللها إعداد المجاري المتقاطعة . هذه القنوات المتقاطعة لا تبني أكتاف بارزة أو منخفضات ممتلئة بالرسوبيات أو أية أشكال رسوبية ناتجة عن مجاري ذات قنوات مستقيمة أو ملتوية .

يمكن أن تسبب التغيرات في نظام مجرى النهر السائد انقطاعات مفاجئة في النهر تاركة مواد السهل الفيضي الأولية كرسوبيات مدرجة . وتظهر هذه الرسوبيات عمومًا نفس أنواع الرسوبيات كما في رسوبيات الوادي المتاخمة باستثناء التغيرات التي قد تحدث في مصدر الرسوبيات وسعة حمولة النهر بسبب التغيرات في صرف المياه في منطقة التغذية .

رغم التغير الجانبي الكبير في رسوبيات وادي النهر فإن معظم رسوبيات الوادي ذات تعاقب عمودي بسيط من الحصى أو الرمال الخشنة قرب قاع النهر إلى الغرين والطين عند القمة . يعتمد السمك النسبي للطبقات الخشنة والناعمة على نوع الرسوبيات التي يحملها النهر والتاريخ الجيولوجي للنهر في المنطقة موضوع البحث . المواد الخشنة المنجرفة بفعل الجليد والتي تملأ وادي جبلي تمتلك عادة كمية قليلة فقط من المواد ذات الحبيبات الناعمة في الأعلى . يكون بعض هذه الوديان ممتلئًا بأكثر من 200 قدم من المواد المحمولة الخشنة . من ناحية أخرى ، عندما تغلق الأنهار بصورة مفاجئة قرب مصباتها فإنها يمكن أن تملأ وديانها بالطين والغرين حيث سترسب معظم حمولتها من المواد العالقة بعد انخفاض سرعة الجريان . تزداد رسوبيات معظم الأنهار سمكًا عند الشواطئ لأنها تملأ الوديان الأولى التي قد تعمقت بسبب مستويات ماء البحر المنخفضة خلال العصور الجليدية .



(**الشكل 5 - 6**) رسوبيات وأشكال طوبوغرافية نموذجية كسهول فيضية واسعة لأنهار كبيرة .

5 - 3 - 2 : النفاذية :

أجريت العديد من الدراسات حول خواص حمل المياه من قبل الغرين المترسب من وديان مجاري الأنهار الاعتيادية . تعتبر الرسوبيات ذات الحبيبات الناعمة عديمة النفاذية . أما الغرين والأطيان الهشة غير المنضغطة تملك نفاذية عدة ملي دارسي على الأقل . وفي العديد من الرسوبيات الأخرى تصل النفاذية إلى عدة مئات من الملي دارسي . يمكن أن نفسر بعض النفاذية على أساس البناء المفتوح للطين الأصلي وحبيبات الغرين . فيما يعزى معظم النفاذية إلى البناءات الثانوية كثقوب الجذور النباتية ، جحور وملاجيء الديدان والحشرات ، وشقوق التجفيف . معظم نطاقات الرسوبيات الغرينية الحاملة للمياه ذات نفاذية تتراوح بين 10 - 100 دارسي ، ولا يستبعد وجود نفاذيات عظمى تصل إلى 500 دارسي .

• • •

5 - 3 - 3 : إنتاجية الآبار :

يمكن الحصول على إنتاجية معتدلة للآبار تتراوح من 10 - 50 غالون/دقيقة من جميع الرسوبيات النهرية تقريبًا والمتأصلة من مجاري دائمية كبيرة . الإنتاجيات الأكبر التي تتراوح من 100 - 2000 غالون / دقيقة هي مألوفة أيضًا عندما تكون النطاقات النفاذة بسمك 10 قدم على الأقل والنطاق المشبع من الرسوبيات بسمك 40 قدم على الأقل .

لا يمكن حساب الإنتاجية الدقيقة للآبار قبل الحفر . لكن يمكن تقديرها بافتراض قيم نفاذية معقولة بعد الأخذ بالحسبان السمك الكلي المتوقع للحشارج ، ومواقع مناسيب المياه قرب الآبار ، وقرب الحدود الهيدرولوجية . مثال ذلك ، بئر فحص قرب نهر أركنساس أظهر 15 قدم من الرمل الخشن، ذو

قطر حبيبي حوالي 0.8 ملم ، ورمل ناعم بسمك 5 قدم ذو قطر حبيبي مقدار 0.1 مليمتر . والمتبقي من عمق بئر الفحص يقع ضمن طبقات غرين وطين . وباستعمال المنحنى المبين في الشكل (5 - 7) لاستخراج قيمة الإيصالية الهيدروليكية Hydraulic conduetivity حيث تضرب هذه القيمة بالسمك تحصل على القابلية النقلية trausmissirity والتي ستكون 16000 غالون/يوم- قدم . إذا كانت الحشارج التي يخترقها البئر محصورة Confined وتقع على بعض المسافة من الحدود الهيدرولوجية فإنه يمكن استخدام التعبير الآتي (تقريبي) :

$$T = \frac{1.22\ Q}{S}$$

حيث T = القابلية النقلية trausmissivity

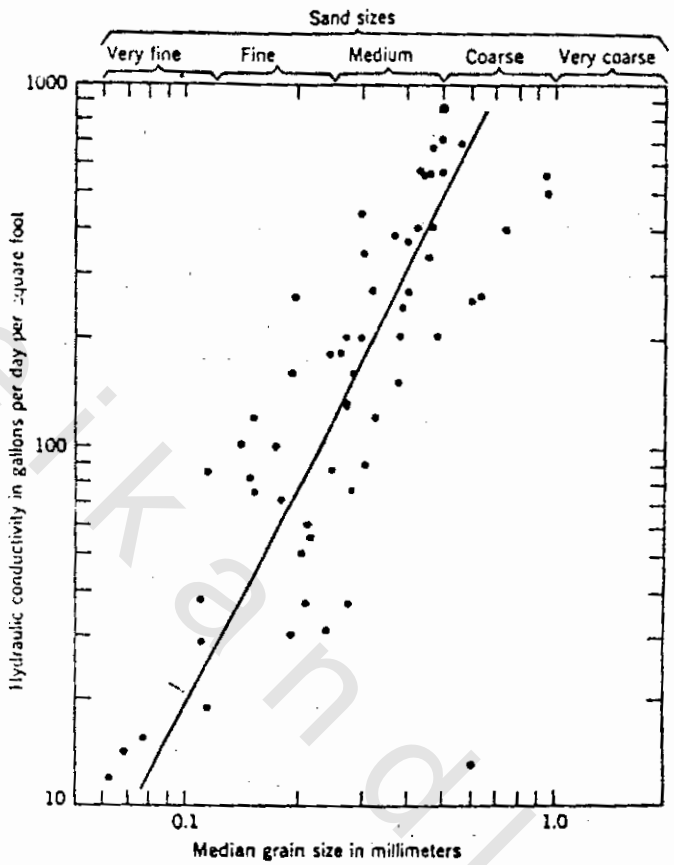
Q = تصريف البئر

S = الهبوط في منسوب المياه الأرضية في البئر

يجب تقدير قيمة S بأخذ الفرق في الارتفاع بين مستوى الماء الأرضي الابتدائي وموقع معتدل لمستوى الماء الأرضي المستقبلي (بعد الضخ) ويمكن أن يكون هذا الموقع السطح العلوي للحشرج الرئيسي . إذا فرضت S = 20 ft (في المثال) فأن الإنتاجية المتوقعة (Q) ستكون :

$$16000 \times \frac{20}{1.22} \times 1440 = 182\text{g pm}$$

هذه الطريقة تقريبية لتقدير إنتاجية الآبار ويجب عدم استعمالها إذا توفرت طرق أخرى . ومع ذلك يمكن أن تكون مفيدة للمساعدة في تحديد مضخات الفحص ، وفي التوصية على نوع تنفيذ البئر ، وتقرير الحاجة إلى آبار فحص أخرى من عدمها .



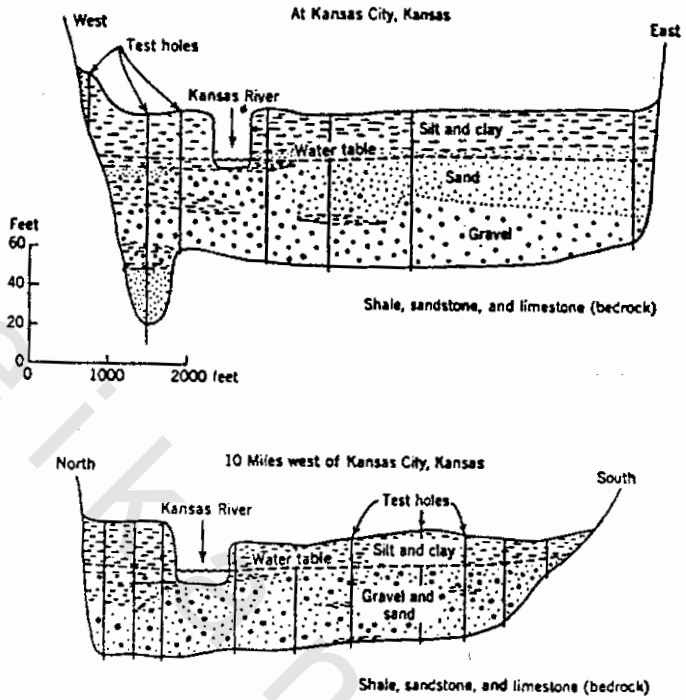
(الشكل 5 - 7) العلاقة بين متوسط حجم الحبيبات الرملية ونفاذية الرمل في وادي نهر أركنساس .

5 - 3 - 4 : التحري عن المياه الأرضية :

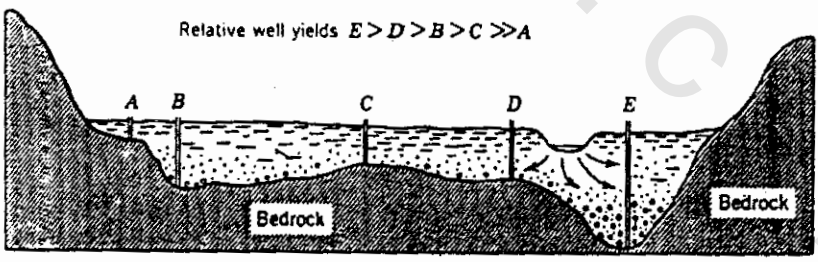
لا نحتاج إلى خبرة عالية للحصول على آبار ذات إنتاجية معتدلة ضمن الوديان الرسوبية ذات المجاري المائية السطحية الدائمة . من ناحية أخرى ، ربما يحتاج تحديد مواقع الآبار ذات الإنتاجية العالية إلى خبرات الجيوفيزيائيين إضافة إلى الهيدروجيولوچيين عمومًا لا بد من محاولة تجنب المناطق ذات

رسوبيات المياه البطيئة الجريان والتي ستكون في معظمها طين وغرين وإيجاد مناطق قرب مصادر التغذية ذات السمك الأعلى من طبقات الرمل والحصو المشبعة بالمياه . يكون التاريخ الجيولوچي معقداً في مناطق الإنسيابات الجليدية والبركانية الحديثة لوجود عدد من التغيرات في أساليب الصرف إضافة إلى وجود مواد غير رسوبية مندفعة نحو وديان الأنهار مما يجعل مهمة الهيدروچيولوچي صعبة .

إن السطوح الفاصلة بين الطبقات الصخرية التحتية وبين الطبقات الرسوبية غير المتصلبة العلوية في السهول الفيضية لا تكون أفقية أو منبسطة تمامًا، بل تحتوي على وديان داخلية ممددة صنعتها الأنهار بالتعرية والحث للصخور التحتية عندما كانت الأنهار تجري مباشرة فوق الصخور قبل تكوّن السهول الفيضية الارسابية . (لاحظ الشكل 5 - 8 والشكل 5 - 9) . إن تحديد مسار الوادي المدفون هو أحد المهمات الأولى التي يقوم بها الهيدروجيولوچي وبذلك يمكن تعيين مواقع الآبار التي تتقاطع مع أعلى سمك من الحصى والرمل . بعد تحديد مسار الوادي المدفون سيكون من السهل تعيين مواقع الآبار في أقرب الأماكن الممكنة لمصادر التغذية (لاحظ الشكل 5 - 9) .



(الشكل 5 - 8) وادي داخلي مدفون تحت رسوبيات نهر كنساس قرب مدينة كنساس الأمريكية الوادي المدفون (المقطع الأعلى في الشكل) معروف جيداً لدى أهالي المدينة ويقع على مسافة عشرة أميال إلى الغرب من مجرى النهر الحالي .

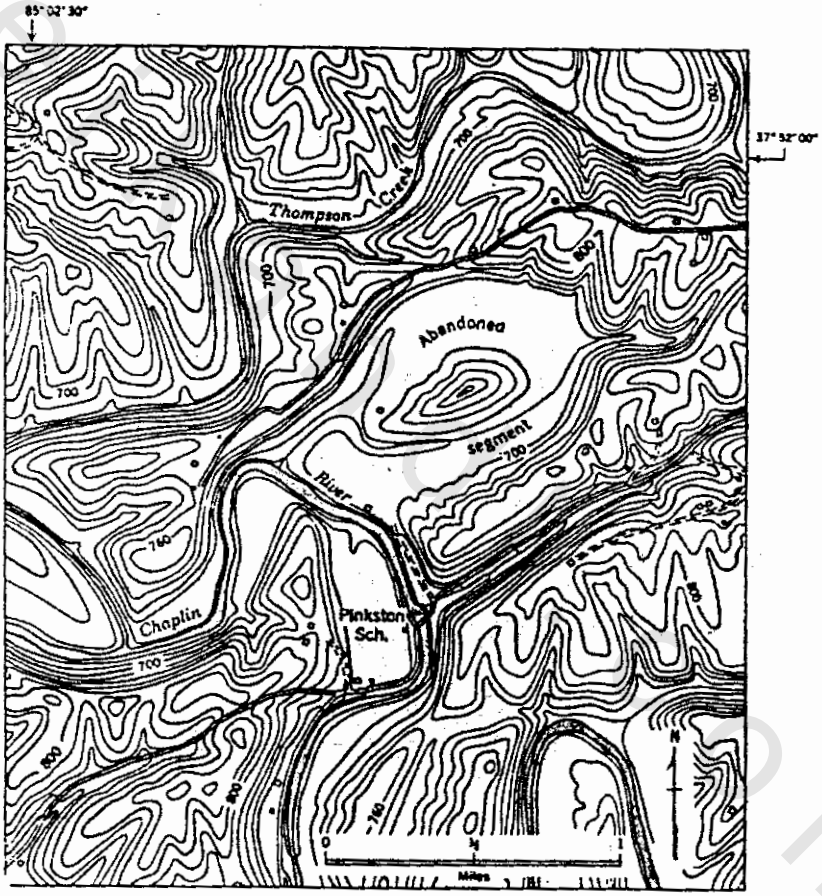


(الشكل 5 - 9) مقطع في وادي رسوبي يبين تأثيرات سمك الحشرج والحدود الهيدروجيولوجية على إنتاجية الآبار .

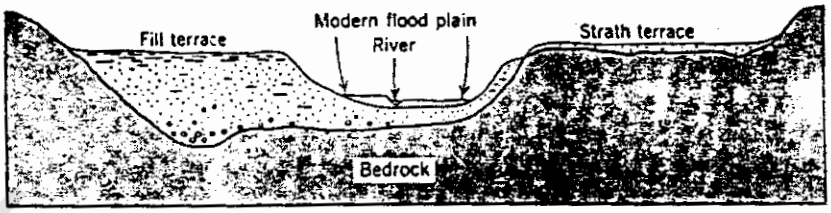
توجد دلائل جيولوجية قليلة على السطح تشير إلى مواقع الوديان الداخلية المدفونة . إذا كان الترسيب جديداً ، أو أن جوانب الوادي المكشوفة تقاوم التآكل ، فإن وجود جروف عالية حادة الانحدار بعيدة عن المجرى الحالي ربما يشير إلى إن المجرى الأصلي للنهر كان يرتطم بهذه الجروف . ولسوء الحظ ، تنحرف مجاري معظم الأنهار الحديثة بسرعة لا يمكن معا الربط بين طوبوغرافية جانب الوادي وبين موقع الجزء الأعمق من الرسوبيات . كما أن وجود مجاري جانبية صغيرة تحمل كميات كبيرة من الطمى إلى المجرى الرئيسي يمكن أن تكون إشارة أخرى . تميل هذه المجاري الصغيرة إلى دفع المجرى الرئيسي إلى الجانب المقابل من الوادي .

يمكن استخدام الطرق الجيوفيزيائية وآبار الفحص للحصول على معلومات جيولوجية معول عليها في سمك ونوع الرسوبيات في وديان الأنهار . وتأتي الصعوبات التي يمكن مواجهتها في تفسير معلومات آبار الفحص من ضعف التسجيل والتفسير الطبقي غير الصحيح . حيث يمكن أن يفسر الصلصال Shale على أنه رسوبيات طينية متصلبة ، أو تفسر الجلاميد الكبيرة على إنها طبقات صخرية . لكن البيانات الزلزالية يمكن الركون إليها دائمًا تقريبًا شريطة أن تفسر من قبل جيوفيزيائيين متمرسين . أما التقنيات الكهربائية ، رغم كونها أقل كلفة ، فلا يعول عليها كما يعول على الطرق الزلزالية . الرمل المترسب على الصخور الرملية والطين الملامس للصلصال والعديد من الارتباطات الأخرى بين الرسوبيات والطبقات الصخرية يمكن أن لا تعطي الفروقات المحسوسة في المقاومات الكهربائية الضرورية للتمييز بين هذه الطبقات المترابطة ، المتشابهة الخواص تقريبًا . من ناحية أخرى يمكن الحصول على نتائج ممتازة في رسوبيات الوديان ضمن مناطق من الصخور النارية والمتحولة حيث تكون الفروقات في المقاومة الكهربائية ربما عشرة أضعاف أو أكثر بين الرسوبيات والصخور التي تحتها .

الوديان النصف دائرية الموجودة بدون أنهار يمكن أن تشير إلى مواقع وديان نهرية متروكة تحتها رسوبيات سميكة (الشكل 5 - 10) . توجد المدرجات أيضًا على امتداد معظم الأنهار الكبيرة . ويمكن أن تكون هذه المدرجات موجودة أصلاً ضمن منحدر جانب الوادي (صخرية) ولا تحتوي على مواد قادرة على خزن المياه كما يمكن أن تكون مدرجات إملائية رسوبية تعتبر مثالية لحمل المياه الأرضية (لاحظ الشكل 5 - 11) .



(**الشكل 5 - 10**) جزء وادي متروك لنهر شابلن في الولايات المتحدة .



(الشكل 5 - 11) مقطع يبين مدرج تكونت بفعل الأملاء الرسوبي على أحد جوانب النهر ، ومدرج صخري بتربة خفيفة موجود أصلاً ضمن صخور الوادي في الجانب الاخر من النهر .

5 - 3 - 5 : نوعية المياه :

تعتبر النوعية الكيميائية للمياه جيدة في معظم وديان الأنهار . باستثناء المناطق الصحراوية ، تأتي المياه الأرضية من التغذية المحلية على سطح الوادي ومن الجريان الداخلي الجانبي القادم من المجاري والحشارج الموجودة في الوديان الفرعية المتصلة بالوادي الرئيسي . تتحكم في كيميائية المياه في الوديان النهرية عدة عوامل أهمها الغطاء النباتي وأنواع الصخور في المجاري الجانبية وعلى سطح الوادي . فعلى سبيل المثال ، في وسط الولايات المتحدة حيث تكون الصخور الكاربوناتية هي السائدة ، فإن معظم المياه الأرضية هناك ذات تركيز عالي بالكالسيوم ، المغنيسيوم والبايكر بونات . في غرب الولايات المتحدة تحمل الرسوبيات على امتداد العديد من المجاري مياه أرضية غنية بالكالسيوم والسلفايت المشتقة من الصخور القريبة الغنية بالجبس والأنهايدرايت .

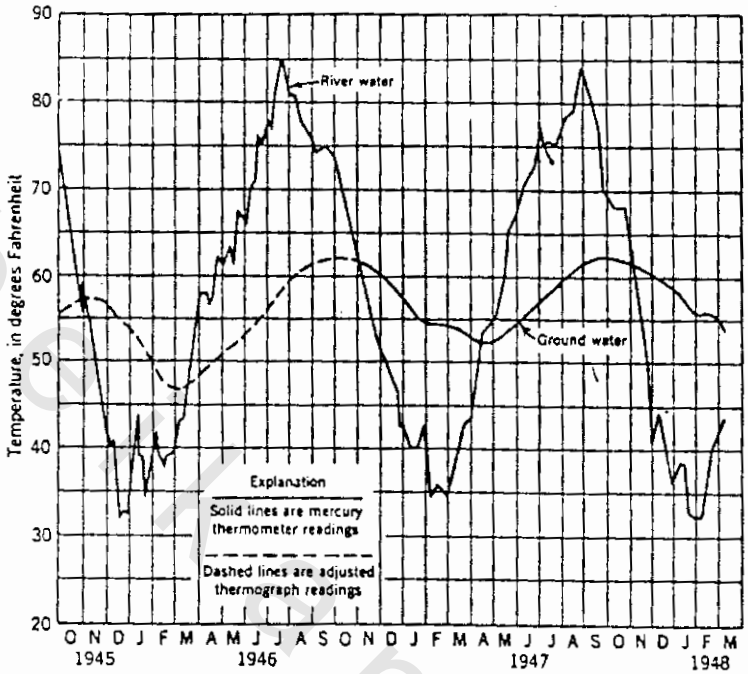
عندما يكون استثمار المياه الأرضية مكثفًا وتتلقى الحشارج تغذية مباشرة من الأنهار فإن نوعية المياه تتأثر بنوعية مياه الأنهار المغذية . في العديد من المناطق تتماثل تقريبًا نوعية مياه الأنهار مع المياه الأرضية المحلية . وفي

مناطق أخرى يكون الفرق محدوداً . أحد النواحي المزعجة للتغذية النهرية هي التذبذبات في درجات الحرارة التي تسببها في المياه الأرضية (اشكل 5 - 12). ودرجات الحرارة الصيفية العالية لمياه النهر يمكن أن تقلل الفائدة من المياه المستعملة في أغراض التبادل الحراري في المباني المكتبية والمشاريع الصناعية.

الآبار المائية المنفذة عميقًا قرب الصخور يمكن أن تسحب مياه ذات نوعية رديئة من أسفل الرسوبيات . في معظم الأماكن تكون هذه المياه أصلية طبيعية قد تسربت ببطء إلى الرسوبيات الواقعة فوق تلك الصخور .

تقريبًا الصحوبة الوحيدة التي تواجه من حيث نوعية المياه في كل المناطق تقريبًا هو الوجود المبعثر للمياه عالية النسبة من الحديد والمنخفضة من المغنيسيوم . وقد يكون توزيع هذه المكونات ناجم التراكمات تحت السطحية للنفايات العضوية .

تلوث الآبار المائية في الرسوبيات بالأحياء المجهرية المرضية نادر الحدوث . الطبقات والعدسات الكبيرة من الغرين والطين والموجودة دائمًا تقريبًا تعمل على ترشيح الأحياء المرضية هذه وحتى فى الحشارج الحصوية . الحصو النفاذ يعزر من الحركة السريعة نسبيًا للملوثات الكيميائية التي يمكن أن تتقدم عرضيًا نحو المشاريع الرسوبية .



(الشكل 5 - 12) تذبذبات درجة الحرارة في المياه الأرضية الناتجة في جزء منها من التغذية من نهر أوهايو .

5 - 4 : الوديان ذات الأصل التكتوني Valleys of Tectonic origin:

5 - 4 - 1 : أنواع الرسوبيات :

يرجع أصل الوديان الكبيرة عمومًا إلى الحركات التكتونية أكثر من رجوعه للتعرية بواسطة مجاري الأنهار . بعض هذه الوديان محاطة بأنظمة تصدع طويلة . ومن أمثلتها الوديان الضيقة العميقة لنهر الأردن ونهر أونز في كلفورنيا . السهول الرسوبية الواسعة كسهل نهر بو في إيطاليا وسهل نهر جانجيز في الهند لم تكن مثيرة كالوديان العميقة إلا أنها بسبب حجمها تحتوي على كميات كبيرة من المياه الأرضية . الوديان الواسعة متمركزة بواسطة التواءات القشرة الأرضية . والعديد من هذه الوديان مجزأة بواسطة حواجز

وتلال منخفضة . ومن أمثلة هذه الوديان الكبيرة المعقدة الوادي الأوسط في تشيلي .

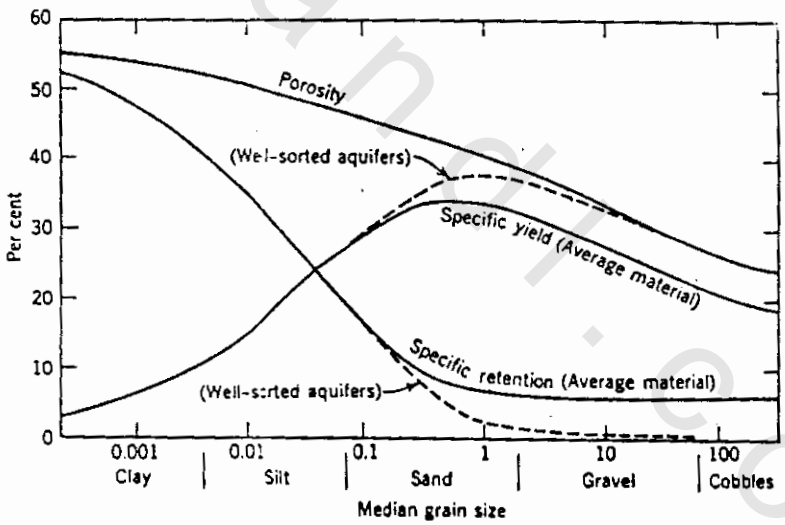
تمتلئ الوديان الكبيرة على نحو مميز بترسبات الأنهار المتكونة من كميات هائلة من المواد المتعرية من الجبال المحيطة . كما توجد أنواع أخرى من الرسوبيات ربما تكون أكثر أهمية . واعتماداً على التاريخ الجيولوجي ، المواد البحيرية ، البركانية ، المواد التي تجلبها الرياح ، وحتى المواد الجليدية يمكن أن تكون أكثر أهمية من الرسوبيات الطموية . يتجاوز السمك الكلي لمثل هذه الرسوبيات 2000 قدم ويمكن أن يصل في بعض الوديان إلى أكثر من 5000 قدم . تقاس كمية المياه الأرضية المخزونة في مثل هذه الوديان بمئات الملايين من الأيكر - قدم .

الوادي الأوسط في كلفورنيا (ويسمى أيضًا الوادي العظيم) يظهر العديد من المعالم المألوفة في الوديان الكبيرة ذات الأصل التكتوني . هذا الوادي محاط في معظم جهاته بالجبال العالية التي تطرح الرسوبيات فيه لمدة خمسين مليون سنة على الأقل ويمكن أن تصل إلى 100 مليون سنة . تحتضن منطقة الوادي حاليًا أكثر من 25000 قدم من الرسوبيات معظمها ذات أصل بحري ومشبعة بالماء الصالح . ومنها 500 - 3000 قدم رسوبيات ذات أصل غير بحري تقع مباشرة تحت السطح وتحتوي واحد من أكثر خزانات المياه الأرضية أهمية في الولايات المتحدة .

نطاقات المياه العذبة في الوادي الأوسط هذا تكونت بفعل المجاري النهرية الكثيرة في الوادي والتي تضيف رسوبياتها إلى الرسوبيات الطموية للمجاري الرئيسية . ورغم أن أكثر من 90% من هذه الرسوبيات قد جاءت مع المجاري فإن الأطيان البحيرية المختلفة والكثبان الرملية عند السطح تشير بأن بعض الرمال تحت السطحية هي أيضًا قد جلبتها الرياح .

5 - 4 - 2 : المسامية النفاذية ، والإنتاجية النوعية :

خصائص رسوبيات الوديان الكبيرة لحمل المياه تماثل تلك التي لوديان الأنهار الضيقة باستثناء وفرة المواد ناعمة الحبيبات في الوديان الكبيرة . كذلك تميل المواد الناعمة المدفونة لتكون ذات نفاذية منخفضة نتيجة الانضغاط بواسطة وزن الطبقات الجاثمة فوقها . وعمومًا تلك النطاقات الحاملة للمياه نفاذيات تتراوح من 10 - 100 دارسي ونطاقات الغرين والطين ذات نفاذية أقل من 0.1 دارسي . وتتراوح مسامية المواد تحت السطحية من حوالي 25% إلى 06% . والإنتاجية النوعية من عدة بالمائة إلى 40% (الشكل 5 - 13) . وتتراوح إنتاجية الآبار في الرسوبيات العميقة في الوديان بـ 300 - 3000 غالون / دقيقة .



(الشكل 5 - 13) العلاقة بين متوسط حجم الحبيبات وخواص خزن المياه للطمى في الوديان الكبيرة.

5 - 4 - 3 : تعيين موقع الآبار :

يصعب إلى درجة كبيرة التنبؤ بموقع الحشارج تحت السطحية فى رسوبيات الوادي اعتماداً على المسح الچيولوچي السطحي وحده . الحشارج الفردية هي عادة رسوبيات مجرى نهري قديم احتفظت بالأشكال المتقطعة والملتوية لنظيراتها في المجاري الحديثة .

الطرق الچيولوچية السطحية أكثر نجاحًا في تحديد الخطوط العامة للأشكال الهيدرولوچية مما في تحديد مواقع الحفر . يمكن تخطيط حدود الطبقات الصخرية للوادي وتحديد سطوح التماس القريبة من السطح . كما يمكن التمييز بين الوحدات الچيولوچية ضمن رسوبيات الوادي . ويمكن تمييز الرسوبيات الطموية الأكثر قدمًا من خلال التعرية والتجوية الكثيرة للبروزات السطحية . إذا كانت الرسوبيات الأقدم تشكل سطح تلامس مستوى مع الرسوبيات الأحدث (العليا) فإنه يستدل من ذلك أن السطح الفاصل بينهما سيكون منحدراً نحو الأسفل بشدة . من ناحية أخرى إذا كانت الرسوبيات الأقدم (السفلى) ذات سطح تلامس غير منتظم (متعرج) فإنه يستدل أن السطح الفاصل قليل الإنحدار قريب من السطح (الشكل 5 - 14) يمكن تحديد المناطق ذات التغذية العظمى من خلال تخطيط المناطق الرملية والحصوية البارزة على السطح . دراسات أحواض الصرف الفرعية إلى الوديان الكبيرة يمكن أن تشير إلى أنواع الرسوبيات المتوقعة في الوادي الرئيسي . تميل أحواض الصرف الصغيرة إلى طرح الحطام والكتل الرسوبية غير المصنفة (غير مفرزة مختلفة الأنواع) إلى الوادي الرئيسي الكبير كنتيجة للفيضانات الومضية (المفاجئة). فى حين أن أحواض الصرف الأكبر يمكن أن تمتلك مجاري مائية دائمية تعمل على فرز وتصنيف الرسوبيات ونقل الرمال النظيفة والحصى إلى الوادي

الرئيسي . أحد المعالم الجيولوجية السطحية الأكثر أهمية هي التي يرافقها التصدع . الصدوع القديمة الممتدة إلى الطبقات تحت السطحية سوف تعطي بعض الإشارة إلى سمك الرسوبيات الموجودة تحت السطح . كما أن الصدوع الفعالة تعطي إشارات إلى التشخن النسبي للوحدات تحت السطحية إضافة إلى وجود الحدود الهيدرولوجية تحت السطح .

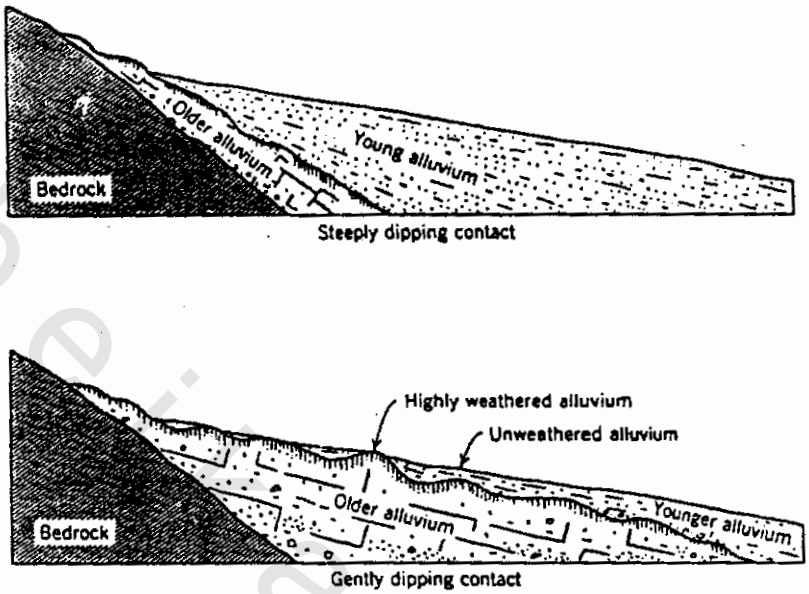
بدون شك ، هناك العديد من العوامل التي تجعل الصدوع في الرسوبيات غير المتصلبة تميل إلى تكوين الحدود والحواجز الهيدرولوجية . ومن أهمها ، الأول فعل الصدع في سحق الصخور والمعادن على طول سطح الصدع . وسيكون هذا السحق فعالاً في الأعماق الكبيرة حيث يزداد الاحتكاك بين الدقائق بازدياد الضغط . العامل الثاني أن الطبقات الصماء قد تصعد أو تنزل على امتداد الصدع لتقابل الطبقات النفاذة وتغلقها . ويصبح هذا الأثر الأكثر أهمية عندما يكون عدد النطاقات النفاذة محدوداً . الثالث ، تميل الصخور القديمة المنبسطة للدوران بموازاة سطح الصدع وبذلك تقلل النفاذية العمودية على الصدع . الرابع ، ترسيب المعادن على امتداد سطح الصدع سيقلل من النفاذية أيضًا .

وجد أن النمط الرسوبي الكلي في الأحواض الصحراوية ذو الحجم المتوسط مهما . تتكون الأجزاء العليا من المروحيات الرسوبية من مواد أكثر قدمًا أو أنها غنية بالسيول الطينية والمواد الأخرى غير المصنفة جيداً الناتجة عن الفيضانات الومضية وبذلك ينخفض معدل نفاذيتها عما هي في الرسوبيات السفلية من المروحة الرسوبية . أما رسوبيات الجزء الوسطي (بين الأجزاء السفلى والأجزاء العليا) من المروحة الرسوبية فإنها تتجدد بفعل المجرى وتصبح ذات نفاذية أعلى رغم الحبيبات الصغيرة الحجم . الأجزاء البعيدة (السفلى) من المروحيات الرسوبية تتداخل مع رسوبيات تسود فيها الحبيبات الناعمة . الآبار

المحفورة في الأجزاء النائية من المروحية الرسوبية أقل إنتاجية من الآبار في الأجزاء الوسطية .

المجسات الچيولوچية والجيوفيزيائية مع دراسات السطح يمكن أن تستعمل معًا لتعطي فكرة جيدة عن الظروف الچيولوچية تحت السطحية . يعتمد نجاح العمل في جزء منه على الكثافة الجغرافية ودقة المجسات والمعلومات الأخرى المتوفرة . رغم صعوبة الكشف عن الطبقات الفردية المستقلة إلا أنه يمكن الحصول على معلومات طبقية أخرى مفيدة . تعتبر استمرارية الطبقات الصماء ونصف الصماء ذات أهمية خاصة . والألوان أو الطبيعة الطبقية المتميزة هي الأخرى تعتبر مفاتيح مفيدة . من العلامات الجيدة الأطيان البحيرية ، طبقات الرماد ، إنسيابات الحمم البركانية ، الترب المدفونة ، ونطاقات الأنسجة النباتية المتحللة . الطبقات التي تعتبر علامات ستمكن من تحديد انحدارات وأشكال السطوح الفاصلة للطبقات الأخرى وتساعد في معرفة كون الطبقات مستمرة أو غير مستمرة . كما يمكن أن تساعد المجسات الجيوفيزيائية بترتيبات مميزة على تحديد استمرارية طبقات الطين . بعد تحديد مدى الطبقات الصماء يصبح تفسير حركة المياه الأرضية أكثر سهولة .

عمومًا ، لا تساعد الطرق الجيوفيزيائية في تحديد الحشارج الأعمق ضمن الوديان الكبيرة . إلا إنها أكثر فائدة في تحديد مدى وإرتفاع البازلت ، المارل ، الرمل المتحجر ، والنطاقات الأخرى ذات الفروقات المتميزة في المقاومة والخواص الزلزالية . إذا كانت الحشارج قريبة من السطح يمكن تحديدها بالطرق المقاومة الكهربائية .



(**الشكل 5 - 14**) علاقات التماس بين الرسوبيات القديمة والحديثة ، في حالة عدم توفر تمييز طبقي معروف يمكن الاستفادة من عدم انتظام السطح الفاصل للتنبؤ بارتفاع الرسوبيات القديمة.

5 - 4 - 4 : مشاكل إنضغاط الحشرج :

انخفاض الضغط الارتوازى في رسوبيات الوادي السميكة تعزز من انضغاط الحشارج وطبقات الغرين والطين المتاخمة لها . تشير الفحوصات المختبرية إلى أن انضغاط الحصى والرمل قليل نسبيًا وأن معظم التغير في الحجم ناجم عن انضغاط المواد ذات الحبيبات الناعمة . من ناحية أخرى ، إن حدوث التغيرات الحجمية بسرعة بعد التغيرات بالضغط يؤكد أن الرسوبيات الأقرب إلى الحشارج هي فقط التي تتأثر حالاً بعد انخفاض الضغط . على أية حال ، بسبب انخفاض الضغط السائد انضغاط المواد ذات الحبيبات الناعمة الموجودة مباشرة فوق أو تحت الحشرج . إن هبوط سطح الأرض في رسوبيات الوادي ناتج عن انضغاط الحشارج والرسوبيات المتاخمة لها وليس بسبب

الهبوط التكتوني الملاحظ من خلال بروز بطانة البئر فوق السطح بعد انخفاضه نحو قعر البئر . وقد أوضحت الدراسات أن معدل الهبوط سيتعلق بمعدل انخفاض الضغط الإرتوازي .

هناك العديد من مناطق الهبوط يسبب ضخ المياه الأرضية معروفة في الولايات المتحدة واليابان وانكلترا والمكسيك . مناطق الهبوط الأكثر إثارة هي الوادي العظيم الجنوبي في كليفورنيا ومنطقة مكسيكوستي والتي حدث الهبوط في وديان كبيرة ذات أصل تكتوني . في كلتا المنطقتين تجاوز الهبوط 15 قدم .

يمكن أن يسبب هذا الهبوط مشاكل واسعة . حيث تتدهور سعة خزن المياه الأرضية بدرجة كبيرة . والمناسيب الطوبوغرافية التي حددت من خلال مسوحات واسعة ومكلفة ستتغير وينبغي إعادة المسوحات بين فترة وأخرى ، وتبعًا لذلك يجب إعادة رسم الخرائط الطوبوغرافية أيضًا . وسرعة جريان المياه في الأنهار والقنوات يمكن أن تصبح بطيئة بسبب الانخفاض في الميل الهيدروليكي نتيجة هبوط الأرض في مناطقها . وإذا امتدت الآبار تحت نطاقات كبيرة معرضة للهبوط فإن مقر بطانات الآبار ستبقى مستقرة دون هبوط في حين تهبط الطبقات التي تعلوها وتسلط بذلك جهد سحب على امتداد البطانة ، والجهد الناتج ينقل إلى البطانة وعادة ما يؤدي إلى تحطيمها . كما أن ركائز المباني والمنشآت الأخرى يمكن أن تمتد إلى أو تحت نطاقات الهبوط حيث تبقى المباني ثابتة في حين ينزل مستوى الأرض مما يربك أرضية المباني ويحطمها وتتقطع كل الاتصالات الأرضية المتصلة بالمباني . وهذا التأثير كان مدمراً في مدينة مكسيكوستي حيث كان بعض الهبوط ناجم عن ضخ واستنفاذ المياه الأرضية من الحشارج الواقعة 150 قدم أو أقل تحت سطح الأرض. وأصبحت المشاكل التي سببها الهبوط في مدينة مكسيكوستي خطيرة بحيث منع ضخ المياه الأرضية عن وسط المدينة .

5 - 4 - 5 : نوعية المياه :

إن المياه الأرضية في الوديان الكبيرة ذات الأصل التكتوني تختلف كثيراً من حيث خواصها الكيميائية . يمكن أن توجد المياه المالحة المتأصلة من مياه بحر قديم أو من ذوبان الأملاح المتراكمة من التبخر في الحشارج الأعمق أو قرب السطح في الأجزاء الوسطية من الأحواض المغلقة الكبيرة . في حين أن الوديان الكبيرة التي تمتلك صرف خارجي جيد خلال تاريخها الجيولوجي يحتمل أن تكون مياهها ذات أفضل نوعية كيميائية . يمنع الصرف الخارجي تراكم المياه المالحة من خلال التبخر ويعزز الدوران السريع للمياه الأرضية والذي يعتبر الأكثر فاعلية في إزالة أية مياه طبيعية يمكن أن تتحرك نحو السطح .

معظم الرسوبيات المشتقة من الصخور الرسوبية ستحتوي علي كميات كبيرة من الكالسيوم ، المغنيسيوم ، الكاربونات ، والسلفات متيسرة للذوبان في المياه الأرضية . تحتوي هذه المياه على 50 - 200 جزء بالمليون كالسيوم ، 10 - 50 جزء بالمليون مغنيسيوم ، 100 - 250 جزء بالمليون بايكربونات ، و50 - 300 جزء بالمليون سلفات . أما نسبة الكلورايد في هذه المياه فهي متغيرة كثيراً وتعتمد على ظروف الغسل التي تعرضت لها الرسوبيات . وبالعكس ، إذا كانت الرسوبيات مشتقة من الصخور النارية المتحولة والبلوتونية فأن التركيز الكلي للمواد الذائبة أقل بكثير . وبصورة خاصة السلفات والكلورايد فهي منخفضة وعمومًا أقل من 50 جزء بالمليون لكل منها . السليكا هي الوحيدة المتوفرة أكثر مما في المياه التي تشبع الرسوبيات المشتقة من الصخور الرسوبية . إن وجود المواد البركانية سيزيد من كمية السليكا أكثر . وبصورة عامة ، يعتبر التركيز الكلي للمواد الذائبة في مياه الرسوبيات المشتقة من الصخور البركانية وسطًا بين تركيزه في مياه نوعي الرسوبيات السابقين (الرسوبيات المشتقة من الصخور الرسوبية والرسوبيات المشتقة من الصخور النارية) .

يعتبر التلوث البيولوجي مشكلة خطيرة في آبار الوديان الكبيرة . أكبر خطر للتلوث العضوي هو في مناطق الخشارج النفاذة القريبة من سطح الأرض . التنفيذ الفاشل للآبار أو الموقع غير المناسب لرمي النفايات سبب دخول الأحياء المرضية بشكل أو بآخر إلى مياه البئر .

■ ■ ■

5 - 5 : السهول الساحلية Coastal Plains :

تمتلك السهول الساحلية في الحجم ، فمنها رسوبيات الوادي الصغير المنعزل التي تصنف كرسوبيات مجري اعتيادي . ومنها السهول الواسعة عديمة المعالم تقريبًا التي تشكل حافات بعرض مئات الأميال من الشواطئ المحاذية للمحيط المتجمد الشمالي والمحيط الأطلسي . وعمومًا ، تمثل رسوبيات السهول الساحلية كلا البيئتين البحرية والبرية . وتتمثل الرسوبيات البحرية بدورها بالبحرية والشاطئية إضافة للبيئات البحرية العميقة .

العديد من الوحدات الطبقية على امتداد السهول الساحلية تصنف من رسوبيات غرينية جزئيًا إلى رسوبيات بحرية كاملة . ومعظم الرسوبيات هي الطين والغرين وتحتوي بعض المناطق على كميات وافرة من المارل والحجر الجيري .

■ ■ ■

5 - 5 - 1 : خصائص إنتاج المياه :

تعتبر خصائص إنتاج المياه في الرسوبيات الواقعة تحت السهول الساحلية مماثلة عمومًا إلى تلك الخصائص في رسوبيات الوديان الكبيرة . تتراوح نفاذية النطاقات الحاملة للمياه عمومًا بين 1 إلى 100 دارسي ونفاذية نطاقات الطين والفرين أقل من 0.01 دارسي .

التماثل العام بين الرسوبيات الغرينية مع الرسوبيات الساحلية يوحي بأن المواد الخشنة ذات إنتاجية نوعية من 15 - 35% والمواد الناعمة أقل من 10% .

إنتاجية آبار الري وآبار الأغراض الصناعية والبلدية تتراوح بين 200 إلى 3000 غالون / دقيقة ، أي نفس ما في الوديان الكبيرة تقريبًا . الإنتاجيات الأقل تكون مألوفة في الوحدات الرسوبية الأقدم والمناطق الساحلية التي تتلقى الرسوبيات في بيئات محصورة .

تحتوي رسوبيات السهل الساحلي ضمن الولايات المتحدة ، خصوصًا على امتداد خليج المكسيك أكثر احتياطيات المياه الأرضية أهمية من أية بيئة جيولوجية . إنتاجيات الآبار العالية مع التغذية الوافرة للمياه توحي بأن الاستثمار الموسع للمياه الأرضية لمعظم ساحل الخليج سيكون ممكناً من دون استنزاف سريع للاحتياطيات .

5 - 5 - 2 : نوعية المياه :

تصنف المياه في الحشارج الساحلية إلى أربعة أنواع (الجدول 5 - 2) . مياه ذات محتوى منخفض من المواد الذائبة مع كون أيونات الصوديوم، الكالسيوم، والبايكربونات هي الأكثر وفرة فيها والموجودة قرب السطح في المنطقة المكشوفة من الحشارج . عند أعماق تتراوح من عدة مئات إلى أكثر من 1000 قدم تكون معظم المياه غنية ببايكربونات الصوديوم مع كميات منخفضة جداً من السلفات ، الكالسيوم ، والمغنيسيوم . ومن المحتمل أن تكون السلفات قد خفضت من قبل البكتريا الموجودة في الحشارج في حين تم التبادل بين أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم مع أيونات الصوديوم المأخوذة من المعادن الطينية . عند عمق أكبر توجد المياه الطبيعية الممزوجة مع المياه العذبة في النطاقات الضحلة . هذه المياه غنية بكلوريد الصوديوم . النوع الرابع من المياه هي مياه

البحر التي اقتحمت الحشارج الساحلية حديثاً . هذه المياه قليلة المحتوى من السليكا ولكنها ذات محتوى من السلفات أعلى من المياه الطبيعية الاعتيادية.

توجد بعض المياه الأرضية الأكثر نفاذة من حيث كمية المواد الذائبة في رسوبيات المدرجات للسهول الساحلية الخليجية . تتلقى الحشارج معدلات تغذية عالية مصحوبة بدوران سريع للمياه . خلال فترات من مئات الآلاف من السنين ثم غسل معظم المكونات بحيث أن المياه المتغلغلة خلال الحشارج ذات اختلاف كيميائي بسيط عن مياه الأمطار الأصلية .

Fresh Water from Shallow Well near Mobile, Alabama (35)		Sodium Bicarbonate Water from "700-Foot" Sand near New Orleans Louisiana (12)	Brackish Sodium Chloride Water from a 749- Foot Well near Mobile, Alabama (35)	Water from a 60-Foot Well Contaminated with Sea Water in Mobile, Alabama (35)
SiO_2	9.4	36	16	5.5
Fe	0.1	0.25	0.4	1.9
Ca	0.6	2.0	35	159
Mg	0.2	1.7	19	439
Na	2.5	220	1680	3840
K	0.5	2.2	11	136
HCO_3	6.0	385	408	427
SO_4	2.5	0.1	6	706
Cl	2.8	131	2630	6760
F	0.0	0.4	0.8	1.0
Total Solids	27	590	4780	13.000

(الجدول 5 - 2) تصنيف نموذجي للمياه الأرضية في حشارج السهول الساحلية كل القيم معطاة بالجزء بالمليون .

5 - 6 : مناطق الرسوبيات الهوائية Regions of Eolian Deposits :

5 - 6 - 1 : توزيع وطبيعة الترسبات :

الرسوبيات الهوائية (الرسوبيات التي تحملها الرياح) أقل انتشاراً من الرسوبيات الجليدية أو رسوبيات المجاري النهرية . أجزاء عديدة من العالم كجنوب أوكرانيا ، جنوب شرق العربية السعودية وغيرهما قد غطيت بالترسبات الهوائية . يصعب إيجاد الحجم الحقيقي للترسبات الهوائية في التحري تحت السطحي بسبب صعوبة التعرف على المعالم البنائية والنسجية المتميزة في مقاطع الحفر . العديد من الرسوبيات الرملية والغرينية افترضت على أنها بحرية أو نهرية هي بالحقيقة ترسبت بفعل الرياح . يمكن تقسيم الرسوبيات الهوائية إلى نوعين ، الطفل ، والكثبان الرملية ، الكثبان الرملية مصنفة جيداً ويتراوح حجم معظمها حبيباتها من 0.05 - 0.5 مليمتر . ومتوسط حجموها عمومًا يقع ضمن 0.1 إلى 0.3 مليمتر . أما الطفل فحبيباته ذات حجم قريب من حجم حبيبات الغرين وهي أيضًا مصنفة جيداً ولكن لا تشبه الكثبان الرملية حيث يختلف متوسط حجمها كثيراً . يوجد الطفل الأكثر خشونة قرب منطقة الأصل (مصدر الرسوبيات) ويصل متوسط حجم حبيباتها إلى 0.07 ملم ، وعلى بعد عدة أميال من منطقة المصدر يكون متوسط حجم حبيبات الطفل إلى 0.009 ملم .

5 - 6 - 2 : خصائص إنتاج المياه :

تمتلك الكثبان الرملية خصائص هايدروجيولوجية متجانسة أكثر من أي نوع من المواد الحاملة للمياه . تتراوح المسامية بين 35 - 40% والنفاذية بين 5-50 دارسي مع متوسط حوالي 25 دارسي . توحي المعلومات الضئيلة عن الموضوع إلى أن الإنتاجية النوعية تتراوح بين 30 - 38% . الرمال المتجوية والمواد

الكثبانية غير الاعتيادية كالجبس وحبات الطين تمتلك خواص حمل المياه تختلف كثيراً عن الرمال الكثبانية الغنية بالكوارتز .

رغم أن المقاطع الطبقية واضحة في رسوبيات الكثبان الرملية ، إلا أن الاختلافات البسيطة في حجم الحبيبات والاتجاه ، والتركيب لا تسبب ظروف عدم تماثل أو تناظر عالية . لم تستثمر حشارج الكثبان الرملية بصورة واسعة بسبب صعوبة تنفيذ الآبار التي تمنع دخول الرمل الناعم المتفكك إليها ، وبسبب الصرف السريع للكثبان الرملية النفاذة وعدم وجود النطاقات المشبعة في العديد من الكثبان ، وأخيراً بسبب عدم صلاحية مناطق الكثبان الرملية للاستيطان . رغم هذه العوائق فإن مناطق الكثبان الرملية ملائمة للتنمية المائية بسبب معدلات التغذية العالية ، نوعية المياه الجيدة ، والنفاذية العالية .

تتراوح مسامية الطفل من 40 - 55% . تأتي هذه المسامية العالية بسبب ميل دقائق الغرين للانتظام بشكل شبكات مفتوحة نتيجة فعل الالتحام (السمنتة) بواسطة الكميات الصغيرة الموجودة من الطين في الطفل . يختص الطفل الخشن بأنتاجية نوعية مقدارها 35% وأقل من 15% للطفل الناعم . وتختلف نفاذية الطفل بمدى أوسع من القيم من حوالي 10^{-4} دارسي إلى قيمة قصوى حوالي 1.0 دارسي . ومتوسط مقداره 10^{-2} دارسي .

المفاصل العمودية ، وثقوب الجذور النباتية ، وحجور الحشرات والديدان تعطي الطفل نفاذية غير متناظرة مع الاتجاهات . النفاذية العمودية للطفل أكبر بكثير من النفاذية الأفقية . في العديد من المناطق تعمل الترب المدفونة على الفصل بين صفائح الطفل ذات الأعمار المختلفة . تكون محتويات نطاقات التربة من الطين أعلى مما هي في الطفل المحيط بها لذلك ستكون نفاذية هذه الترب أقل مما في الطفل . ويمكن أن تكون الترب المدفونة صماء إلى درجة عالية بحيث يمكن أن تتكون عليها مياه جاثمة خلال المواسم المطيرة .

ليس من الضروري أن يكون الطفل حشرج حامل للمياه على الدوام بسبب نفاذيته المنخفضة وبسبب كون الطفل عندما يكون عالي النفاذية فإنه يقع عادة في الأماكن الطوبوغرافية العالية حيث يكون الصرف تحت السطحي فعالاً . إذا وقع الطفل فوق ترب صماء أو صخور متصلبة فإنه يمكن حفر آبار خدمية جيدة باستثناء فترات الجفاف الطويلة .

5 - 6 - 3 : نوعية المياه :

تتركب معظم الكثبان الرملية الفعالة من معادن نظيفة وخاملة نسبيًا وبذلك لا تسبب إلا تغيير بسيط في خواص المياه الكيميائية التي تتغلغل فيها . وكنتيجة لذلك تكون معظم المياه في الكثبان الرملية ذات نوعية جيدة باستثناء الأماكن التي تترشح إليها المياه الرديئة جانبيًا . أما المياه الأرضية في الطفل فينبغي أن تكون أكثر معدنية بسبب تغير كيميائية المياه في نطاقات التربة إضافة إلى وفرة كميات أعلى من الطين ذو القابلية التبادلية العالية، ووفرة المعادن الهشة ، والكميات الكبيرة نسبيًا من كاربونات الكالسيوم المتنقلة ضمن الطفل تحت نطاق التجوية .

■ ■ ■

5 - 7 : المناطق المغطاة بالجليد Glaciated Terrain :

5 - 7 - 1 : التوزيع وانواع الرسوبيات الجليدية :

قبل مليون سنة كان 30% من سطح الأرض مغطى بالجليد ، أما الآن فإن 10% فقط من سطح الأرض مغطى بالجليد . تتأثر هيدرولوجية المناطق غير المغطاة بالجليد بالصفائح الجليدية التي تنزلق فوقها . تزيح الجبهات الجليدية المتحركة المتكررة جزء كبير من الرسوبيات غير المتصلبة الموجودة كترب متبقية

ورسوبيات السهول الفيضية . وتلقى كميات كبيرة من الحطام المزاح من قبل الجليد قرب حافات المناطق الجليدية . أو يترسب بعد تعريته على امتداد قنوات الصرف خلف الحافات الجليدية . معظم المواد الناعمة أتت لتستقر في قيعان المحيطات أو على رسوبيات الطفل المتأصلة من التعرية الواسعة للسهول .

يمكن أن تقسم الرسوبيات الجليدية إلى مواد رديئة التصنيف تترسب مباشرة من الجليد وتسمى (till) ورسوبيات مصنفة مائيًا (صنفت من قبل المياه الجارية والتصنيف هنا يعني عزل المواد الرسوبية المختلفة حسب حجومها وأنواعها) . وتقسم المواد المصنفة مائيًا إلى مواد قادمة لتستقر في الحافات القريبة من الجليد ، أي رسوبيات ملامسة للجليد ، ومواد تحمل بعيداً عن منطقة الجليد بواسطة مجاري المياه الناتجة من ذوبان الجليد . تدعى الرسوبيات الأخيرة الرسوبيات المنجرفة Outwash .

يترسب قسم من المواد الجليدية من الجليد الذائب ببطء عند قواعد الثلاجات وتكون أكثر كثافة وأكثر قابلية للتكسر . وجميع المواد المترسبة مباشرة من الجليد رديئة التصنيف (تحتوي على أحجام وأنواع متعددة) وتتميز بالجلاميد المتناثرة .

أما الرسوبيات الملامسة للجليد فإنها تتمثل في أنواع نسيجية مختلفة تتراوح من الغرين والطين المترسب في المنخفضات والبحيرات على أو بمحاذاة الجليد إلى جلاميد خشنة وحصو كبير تترسب من خلال المجاري المائية التي تحمل الحطام المنجرف بواسطة الجليد الذائب . وتنتج أشكال طوبوغرافية واسعة الاختلاف من تراكمات الرسوبيات الملامسة للجليد . عندما يذوب الجليد يترك الحطام المنجرف كمدرج على امتداد جوانب الوادي ، ويتأثر جزء المدرج الملامس للجليد بقوة بالانهيارات والإنزلاقات المفاجئة وبذلك تتكون حواجز غير منتظمة

تواجه مراكز الوديان . ويمكن أن تزاح التجمعات الصغيرة للمواد الملامسة للجليد نحو الأسفل عند ذوبان الجليد وتتكون بهذه الطريقة تلال صغيرة تسمى الكيم Kam . وتتكون المدرجات الكيمية من تراكم الحطام الجليدي (كل ما تجرفه الصفائح الجليدية من مواد تشمل جلاميد الصخر والحصو والرمل والطين والنباتات ... إلخ) على امتداد حافات الجليد الراكدة التي تبقى فى مناطق الوادي . كما يمكن أن تكون بعض هذه التلال الكيمية عبارة عن بقايا لكتل كبيرة من الرسوبيات الملامسة للجليد والتي تعرضت لعوامل الجرف والتعرية . أما ما يسمى بالأيسكر Eskers فهي الأشكال الأكثر تميزاً من الأشكال الأرضية المختلفة المتكونة من الرسوبيات الملامسة للجليد . وهي عبارة عن حافات طويلة متعرجة تتركب من الرمل الخشن والحصى رسبتها مجاري جليدية سابقة ومعظمها تكون خلال طور الركود الجليدي .

5 - 7 - 2 : خواص حمل المياه :

الرسوبيات الجليدية رديئة التصنيف التي تتعرض لوزن الجليد الذي يعمل على انضغاطها يجعل من هذه الرسوبيات كثيفة غير نفاذة . تتراوح مساميتها بين 25 - 45% . وتوجد المساميات العالية في الرسوبيات الجليدية الغنية بالطين . تتراوح النفاذية بين 1.7×10^{-5} إلى 5×10^{-2} دارسي . نفاذية الرسوبيات الجليدية في المناطق الجبلية أكثر من ذلك وربما تصل إلى أكثر من 1.0 دارسي .

تغطي الرسوبيات الجليدية غير المصنفة عدة ملايين ميل مربع من سطح الكرة الأرضية . لكن لا يزال عدد قليل نسبيًا من الآبار التي تسحب مياهها مباشرة من هذه الرسوبيات . ومعظم الآبار التي تسحب مياهها من الرسوبيات الجليدية الطينية ربما تحصل على مياهها من المفاصل أو عدسات الرمل

الصغيرة ضمن تلك الرسوبيات . وعدد من الآبار في الوديان الجبلية تسحب مياهها من الرسوبيات الجليدية الخشنة التكوين .

خصائص حمل المياه الرسوبيات الملامسة للجليد Ice - contactdepositi تتراوح بين تلك التي في الطين وبين التي في الحصو الخشن . الآبار التي تسحب مياهها من المواد الملامسة للجليد هي أكثر شيوعًا نسبيًا حيث أن هذه الرسوبيات منخفضة طوبوغرافيًا بما يكفي لمنع الصرف السريع للمياه . إنتاجيات من 200 - 2000 غالون / دقيقة مع سعة نوعية تتراوح من 10-100 غالون / دقيقة لكل قدم هبوط مألوفة في الرسوبيات المنجرفة . الخصائص الهيدروجيولوجية للرسوبيات الجليدية المنجرفة متماثلة مع تلك الخصائص الموجودة في رسوبيات الوديان النهرية . ندرة وجود رسوبيات سهول الفيضان الناعمة ذات السمك العالي ووفرة الجلاميد الكبيرة تميز الرسوبيات الجليدية المنجرفة عن الرسوبيات النهرية الاعتيادية .

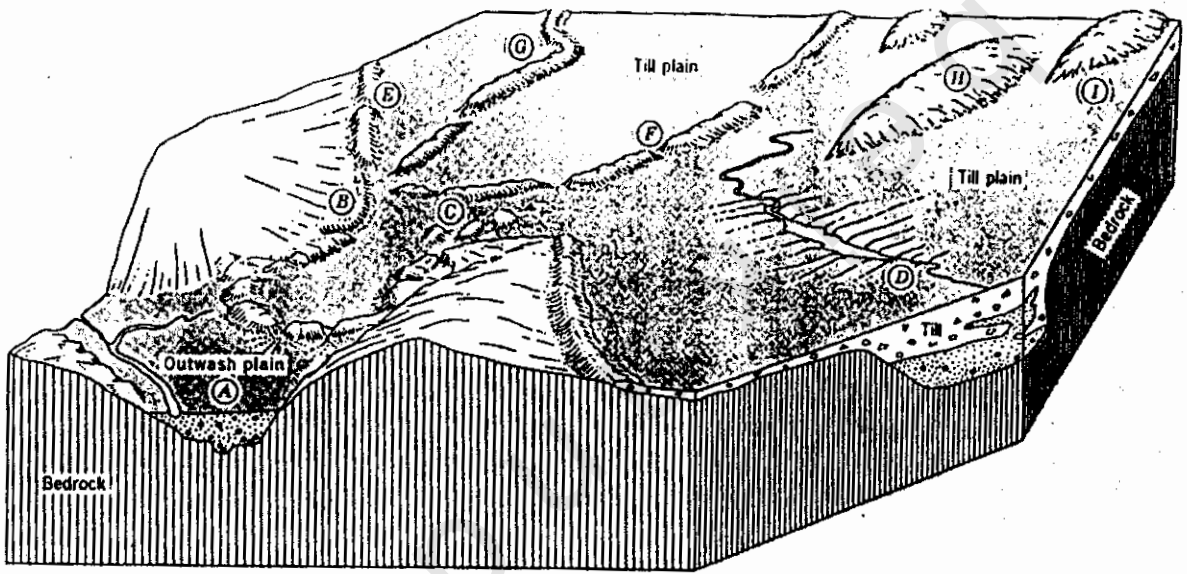
5 - 7 - 3 : التحري عن المياه الارضية :

تحديد المناطق المناسبة لتنمية المياه الأرضية في المناطق الجليدية يمكن أن يكون صعبًا للغاية . فالرسوبيات الجليدية التي لا يزيد عمرها على 100.000 سنة تحتفظ بمعظم شكلها الطوبوغرافي الأصلي . عندما تكون هذه الرسوبيات الحديثة موجودة فأن العديد من الأشكال الطوبوغرافية الأكثر تميزاً يمكن تخطيطها بالطرق الجيولوجية التقليدية بمساعدة الصور الجوية والخرائط الطوبوغرافية (الشكل 5 - 15) حتى مع التحديد الدقيق للمعالم السطحية فإنه يمكن أن يكون تحديد الحشارج صعبًا . الأسكرات Eskers ، الكيمات Kames، ومدرجات الكيم Kames Terracy ستكون في مواقع طوبوغرافية فوق المجاري المتاخمة وبذلك سيكون الصرف فعالاً جداً وبذلك يمكن أن يوجد

عدد قليل فقط من الحشارج المشبعة بالمياه ضمن الرسوبيات الملامسة للجليد . في هذه المناطق ستكون الحشارج وبأكثر الاحتمالات قوة ضمن الطمي الجليدي القديم ، وضمن الرسوبيات المنجرفة Out wash وضمن رسوبيات القنوات الجليدية المدفونة وضمن الطبقات الصخرية التحتية . كما يمكن أن توجد أعداد كبيرة من جيوب المواد المصنفة مائيًا Water Sorted ضمن الركام الجليدي الأخير . إذا كان الركام الجليدي واسعًا وهناك تغذية كبيرة كافية فإن العديد من هذه الجيوب المعزولة من المواد النفاذة يمكن أن تكون حشارج محلية مهمة .

يمكن أن تحتوي الرسوبيات الجليدية غير المصنفة (Till) قنوات مملوءة بالحصى تكونت خلال تراجع الحافات الجليدية مع التقدم اللاحق للجليد وترك الرسوبيات متداخلة بين صفائح واسعة من الرسوبيات غير المصنفة . ونظراً للمدى الواسع للرسوبيات الحصوية القنواتية هذه ضمن الرسوبيات غير المصنفة فإنها ستكون حشارج أفضل من الجيوب المعزولة من المواد الرسوبية الملامسة للجليد . ولغرض تمييز وكشف هذه القنوات الحصوية فإنه يحتاج إلى بروزات ظاهرة مختلفة ومقاطع جيوفيزيائية أو آبار فحص ضمن الرسوبيات غير المصنفة .

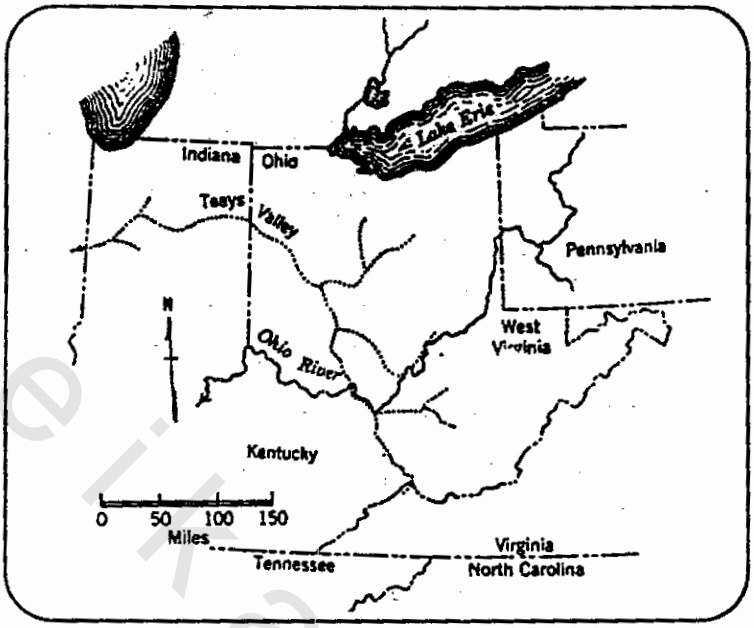
الوديان المملوءة بالرسوبيات المنجرفة جليديًا تمثل النوع الأكثر أهمية من الحشارج ضمن المناطق الجليدية في بعض الأماكن لم تملأ هذه الوديان تمامًا وبذلك فإن الوديان الحديثة تدل على موقع الوديان القديمة الأكثر عمقًا . في أماكن أخرى ، تغطي معظم سهول الرسوبيات الجليدية غير المصنفة القديمة وديانًا مدفونة تاركة معالم سطحية ضئيلة أو لم تترك أية معالم تشير إلى وجودها . والعديد من هذه الوديان مملوءة بالمواد الرسوبية الجليدية ذات السمك الإجمالي الأكثر من 50 قدم من الحصى والرمل النفاذ على امتداد الحطام الجليدي الأقل نفاذيه .



(الشكل 5 - 15) معالم طوبوغرافية لمنطقة تغطت بالجليد في العصر البليستوسيني الأخير . A . سهل الخزافي يمتلك حشارج ممتازة . B- مدرج كيمي جائم على مواد نفاذة . الموقع الطوبوغرافي العالي يوحي بأن معظم المياه الأرضية قد صرفت (بزلت) إلى خارج الرسوبيات الملامسة للجليد . C - كيمات (تلال صغيرة) ، مواد نفاذة ذات مدى محدود ، يحتمل وجود كميات قليلة من الرسوبيات المشبعة في أجزاء قواعد التلال . D - منخفض في سهل رسوبي جليدي (Till plain) يوحي بوجود رسوبيات تحتية كبيرة السمك وتعرضت للانضغاط من الطبقات العلوية . وهذا مكان محتمل ليكشف س وادي مدفون . E - طمي جليدي جانبي . القرب من الأراضي الصخرية العالية يشير إلى أن الرسوبيات الجليدية جاثمة فوق صخور تحتية قريبة من السطح . F - ترسبات جليدية أخيرة . في هذه النقطة يحتمل أن تكون المواد الجليدية أكثر سمكًا . يمكن أن توجد كميات ضئيلة من المواد المصنفة مائيًا والتي يمكن أن تكون مشبعة بالمياه . G - أسكر Esker ، مواد نفاذة مع نطاق مشبع خفيف قرب قاعدة الترسبات . H - تل جليدي معظمه مواد رسوبية جليدية ويمكن أن يكون اللب صخري وفرصة قليلة لوجود المياه .

المجاري الكبيرة التي تتبع الخطوط الكنتورية باتجاه التقدم الجليدي سوف تغلق في العديد من المناطق أو تنحرف نحو البحيرات في مناطق أخرى . عادة ما تترسب العوالق الناعمة في أجزاء النهر السفلي العريضة القليلة السرعة . من أحسن أمثلة الوديان الجليدية المعروفة هو وادي نهر تيز Teays في الولايات المتحدة (الشكل 5 - 16) الذي كان يجري في الشمال من غرب ولاية فرجينيا إلى أوهايو . يبلغ عرض قاع وادي النهر (مجراه) في جنوب أوهايو 1.5 ميل وبمقدار 200 - 300 قدم تحت منسوب الأراضي العالية الصخرية المتاخمة له . وكان الطين والغرين المترسب في الجزء الشمالي من هذا الوادي قد وصل أعلى سمك مقداره 264 قدم . في هذا الجزء من أوهايو تكون الرسوبيات غير نفاذة بما يكفي لتكوين حشارج مائية .

ينجز التحري عن المياه الأرضية بصورة أفضل في المناطق الجليدية من خلال المشاركة بين التخطيط الچيولوچي السطحي والتحري الجيوفيزيائي ، وآبار الفحص . إذ أن التخطيط الچيولوچي ومدة لم يكن غير ذي فائدة فحسب بل قد يكون مضللاً . مثال ذلك : رسوبيات جليدية حددت من خلال تلال جليدية ذات طبقات صخرية . يمكن أن تكون المواد الرسوبية الجليدية طبقة خارجية خفيفة نسبيًا لذلك فإن المحاولات المستندة على الچيولوچي السطحية لتحديد الحشارج ربما تكون فاشلة أو لا طائل منها . من ناحية أخرى ، يمكن أن تحدد التحري الزلزالي الوديان المدفونة ، لكن المعلومات المتعلقة بالتاريخ الچيولوچي للمنطقة ستكون ضرورية لتقرير فيما إذا كان الوادي مملوء بالرمل الناعم والغرين حيث يكون غير مناسب ، أو أنه مملوء بالرمل المتوسط الحجم حيث سيكون مناسبًا كحشرج حامل للمياه . آبار الفحص ستكون الطريقة المؤكدة الوحيدة لإثبات وجود الحشارج المناسبة ، لكن كلفة الحفر ، كما ذكرنا سابقًا ، أكثر بعدة مرات من أغلب طرق التحري الأخرى . الشكل (5 - 15) يبين بعض المناطق المناسبة للمياه الأرضية في الجليدية .



(**الشكل 5 - 16**) مسارات نظام الصرف لنهر تيز (الخطوط المنقطة) في أوهايو والولايات المجاورة - مسار نهر أوهايو الحالي مبين بالخط الأسود المتصل .

5 - 7 - 4 : نوعية المياه :

نوعية المياه الأرضية في الرسوبيات الجليدية ذات الحركة الفعالة عمومًا جيدة . عندما تكون المياه الأرضية راكدة تقريبًا كالمياه الموجودة تحت صفائح الركام الجليد السميك ، فإن هذه المياه يمكن أن تحتوي الكثير من المواد الذائبة مما يعني أنها غير صالحة للاستعمال . وهذا يصح خصوصًا إذا كانت المياه الأرضية الناضحة إلى الأعلى من الصخور البحرية التحتية مالحة .

المياه المستخرجة من الرسوبيات الجليدية خالية دائمًا من الأحياء المرضية تقريبًا . مع ذلك يجب أن يتخذ الحذر الشديد لحماية الآبار في المناطق الجليدية خصوصًا عندما تكون الآبار ضحلة وقريبة من النفايات أو مجاري المياه القذرة

التي قد تتصل بها . إن الرسوبيات المنجرفة جليديًا ذات النفاذية العالية ربما تستطيع نقل الأحياء المرضية إلى مسافات بعيدة .

■ ■ ■

5 - 8 : مناطق الرسوبيات المتنوعة Regions of Miscellaneous Deposits :

ليس بالمقدور مناقشة كافة أنواع الرسوبيات غير المتصلبة التي تشمل أعداد كبيرة . لكن يمكن ذكر الأنواع الأكثر شيوعًا وبإيجاز والتي لم تتم مناقشتها في الفقرات السابقة . إن التعرف على معظم هذه الأنواع يكون صعبًا حالما يختفي شكلها الأصلي بدفنها تحت رسوبيات أخرى . عندما تظهر الطبقات في عمليات الحفر يمكن تصنيفها بسهولة على أساس حجم وشكل الحبيبات .

يمكن أن يكون حطام الأنزلاقات الأرضية ينابيع محلية مهمة تنبثق من المواد المتكسرة . عندما يكون حطام الإنزلاق الأرضي غير متصلب في بدايته فقد لا توجد شقوق مفتوحة عند العمق وأن الكتلة ككل غير نفاذة خلال المادة الخشنة التي يمكن أن تكون جزء من ركام الانزلاق .

كما أن كسر الحجر المتساقط يكون ذات نفاذية عالية جداً . ويمكن أن يغطي هذا الكسر عدة مئات من الأيكرات . تغطي المنحدرات المبنية من الحجر المتساقط الصغير الحجم أجزاء واسعة من الوديان الجبلية وتشكل مناطق تغذية مهمة للمياه الأرضية المحلية . إن كمية المياه المطلوبة لبدء التسرب نحو الداخل قليلة تمامًا في مثل هذه المناطق . وقد أشارت التجارب التي أجريت في جامعة ستانفورد بأن مياه سمكها 0.2 ملم فقط كافية لترطيب معدل سطح غير منتظم من الصخور المنكسرة ، وأن مياه إضافية (تزيد قليلاً على هذا العمق) ستؤدي إلى تغلغل المياه نحو الصخور التحتية . وتتجمع المياه الراشحة في الفراغات الكبيرة ولا ترطب السطوح الكلية للطبقات الصخرية .

حافات الشواطئ التي تكونها المحيطات أو البحيرات تجثم عادة فوق مواد نفاذة جداً . عندما يكون الحافات واسعة والتغذية فعاله فإن الرسوبيات الشاطئية هذه ستنتج مياه كافية لآبار الاستعمال المنزلي . الحافات الشاطئية الواقعة فوق المستويات الحالية للبحر أو البحيرة منتشرة بصورة واسعة حول بحر البلطيق شمال أوربا والبحيرات العظمى في أمريكا الشمالية وعلى امتداد العديد من السهول الساحلية في العالم .

obeikandl.com

الفصل السادس

المياه الأرضية في مناطق التطرف المناخي

Ground water in elimatic Extremes

6 - 1 تقديم

6 - 2 مناطق التساقط العالي الاستثنائية

6 - 3 المياه الأرضية في المناطق الجافة

6 - 3 - 1 خصائص الحشارج

6 - 3 - 2 تغذية المياه الأرضية

6 - 3 - 3 دورة المياه الأرضية

6 - 3 - 4 نوعية المياه

6 - 3 - 5 التحري عن المياه الأرضية

obeikandl.com

obeikandl.com

الفصل السادس المياه الأرضية في مناطق التطرف المناخي

6 - 1 : تقديم :

توجد التطرفات المناخية على سطح الأرض بصورة واسعة . يندر التساقط في بعض المناطق الصحراوية لفترات قد تصل إلى مائة سنة . والمعروف عن هذه المناطق بأنها ذات معدل تساقط سنوي أقل من أنج واحد وربما قيل عن ذلك في بعض المناطق إلى ما دون 0.1 إنج . في مناطق التطرف المناخي المعاكس نجد أن معدل التساقط السنوي الأقصى في بعض المناطق ربما يزيد على 450 إنج . أما التطرف الحراري فهو الآخر كبير كما في التطرف المطري . تتراوح القيم المسجلة من حوالي 125 - فْ في القطب الجنوبي إلى 136 فْ في شمال أفريقيا . ويتراوح المعدل السنوي لدرجات الحرارة من أقل من 10 - فْ في أجزاء من أنتاركتيكا إلى حوالي 80 فْ في المناطق المدارية المختلفة .

لا تتطلب التطرفات الحرارية والمطرية استعمال قوانين هيدروجيولوجية جديدة إلا أنها تستلزم تعديلات مناسبة للأفكار والنظريات التقليدية عن توزيع وكمية تغذية المياه الأرضية ، ومقدار انحدارات المياه الأرضية gradients، واستمرارية الحشارج الحاملة لها، وأماكن تواجد المياه رديئة النوعية .

■ ■ ■

6 - 2 : مناطق التساقط العالي الاستثنائية :

إن مناطق التساقط العالي جداً صغيرة نسبيًا في مداها بالمقارنة مع المناطق ذات الدرجات الحرارية المنخفضة أو التساقط المنخفض . أحسن المناطق المعروفة

بالتساقط الكلي الذي يزيد على 150 إنج سنويًا هي في جبال بورنيو Borneo، غرب الكاميرون ، شمال شرق مالاكاشي ، شرقي الهند ، شمال شرق غينيا الجديدة ، جنوب تشيلي ، شرقي كولومبيا ، وجنوب بورما . توجد مناطق عديدة أصغر من المتقدم ذكرها معظمها يقع في المناطق الجبلية . نادراً ما نستطيع توزيع المطر بالتساوي على طول السنة ، إلا أن معظم المناطق أعلاه لم تشهد فترات جفاف استثنائية . لذلك فأن المياه متوفرة على طول السنة لتغذية المياه الأرضية . المناطق ذات التساقط العالي نسبيًا وليس العالي جداً تتلقى تساقط كلي يزيد على 50 إنج سنويًا ، إلا أنها تمر بفترات مطيرة أو فترات جفاف واضحة . تكون فصول الجفاف قاسية في مثل هذه الأماكن كما يحدث في جنوب الهند ، شمال شرق أمريكا الجنوبية ، وشرق أفريقيا الوسطى بحيث إن حالات العجز المائي المنزلي والزراعي مألوفة سنويًا في هذه المناطق.

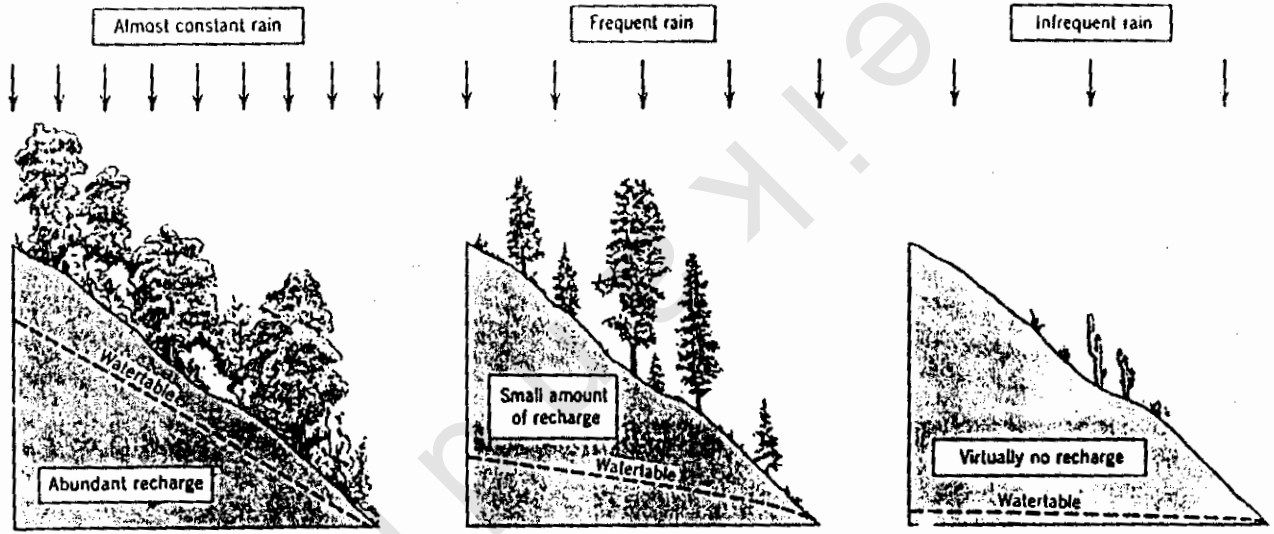
إن الآثار الهيدروجيولوجية المهمة للتساقط العالي جداً موجودة حتمًا رغم نتيجة الدراسات حول الموضوع - ومعظم المناطق ذات التساقط العالي جداً مأهولة بعدد قليل من السكان لذلك لم يتطور استثمار المياه الأرضية ما عدا استعمال كميات صغيرة من مياه الينابيع والأنهار ومياه الأمطار المتجمعة من السقوف . وتعتبر هذه الاستثمارات غير المتطورة كافية عمومًا لسد معظم الاحتياجات نظراً لوجود التغذية المائية المستمرة تقريبًا .

إن وجود مصادر التغذية الوافرة للمياه الأرضية يوحي بأن جميع الحشارج مشبعة بالمياه عدا النطاقات النفاذة ذات النفاذية العالية أو بتعبير آخر ، إن معظم الصخور التحتية مشبعة بالمياه عدا النطاقات النفاذة ذات الصرف الحر (تتسرب منها المياه إلى الخارج) . وكنتيجة طبيعية ستكون مناسيب المياه الأرضية قريبة من السطح والميل الهيدروليكي أكثر حدة مما في الحشارج المماثلة في المناطق غير المطيرة (الشكل 6 - 1) .

كما أن وفرة المياه توحي أن غسل المواد الذائبة والذائبة جزئيًا من الحشارج سيكون سريعًا . وهذا يعني بدوره أن النوعية الكيميائية للمياه الأرضية ستكون جيدة لمعظم الأغراض . كما أن تحلل المواد العضوية سيكون موجود بكثرة في مناطق الغابات والذي يساهم في زيادة ثاني أوكسيد الكاربون والأحماض العضوية في المياه الراشحة مما يقلل من الأس الهيدروچيني PH ويزيد من محتوى المنغنيز والحديد في المياه . وتعمل الحركة السريعة للمياه الأرضية أيضًا على النزوح السريع للمياه الطبيعية المالحة من الحشارج التي كشفت حديثًا بسبب التعرية .

تعتبر الأهمية الاقتصادية للمياه الأرضية في المناطق المطيرة جداً قليلة الأهمية في الوقت الحاضر . في المستقبل ، ربما تبرر النفاذة الچيولوچية وندرة العكورة في معظم هذه المياه الأرضية الاستثمار الأوسع لها في هذه المناطق .

obeikandl.com



(الشكل 6 - 1) آثار الكميات المختلفة من التغذية المائية للمياه الأرضية على موقع منسوب المياه تحت سطح الأرض نفاذية الصخور في الحالات الثلاث متماثلة .

6 - 3 : المياه الأرضية في المناطق الجافة :

Ground Water in Arid Regions

تنتشر المناطق الجافة وشبه الجافة في جميع العروض من العالم . ولا تسمى المناطق الجافة الموجودة في القطبين مناطق صحراوية رغم وجود الأحواض المغلقة والبحيرات المالحة فيها . تقع معظم الصحاري الحقيقية بين خطي عرض 15°-50° شمال وجنوب خط الاستواء . تمتلك أكبر صحراء منفردة مساحة تزيد على مساحة الولايات المتحدة وتمتد من المحيط الأطلسي عبر شمال أفريقيا وشبه الجزيرة العربية إلى الخليج العربي . وتوجد صحاري كبيرة أخرى في وسط آسيا ، جنوب غرب أمريكا الشمالية ، وسط استراليا . شكل المناطق الجافة في العالم $\frac{1}{10}$ مساحة اليابسة وما يساويها أو أكثر قليلاً من المناطق شبه الجافة . تمون المياه الأرضية إضافة للمياه السطحية المستوردة الاحتياجات المنزلية والزراعية في بعض أجزاء المناطق الجافة وشبه الجافة .

* * *

6 - 3 - 1 : خصائص الحشارج :

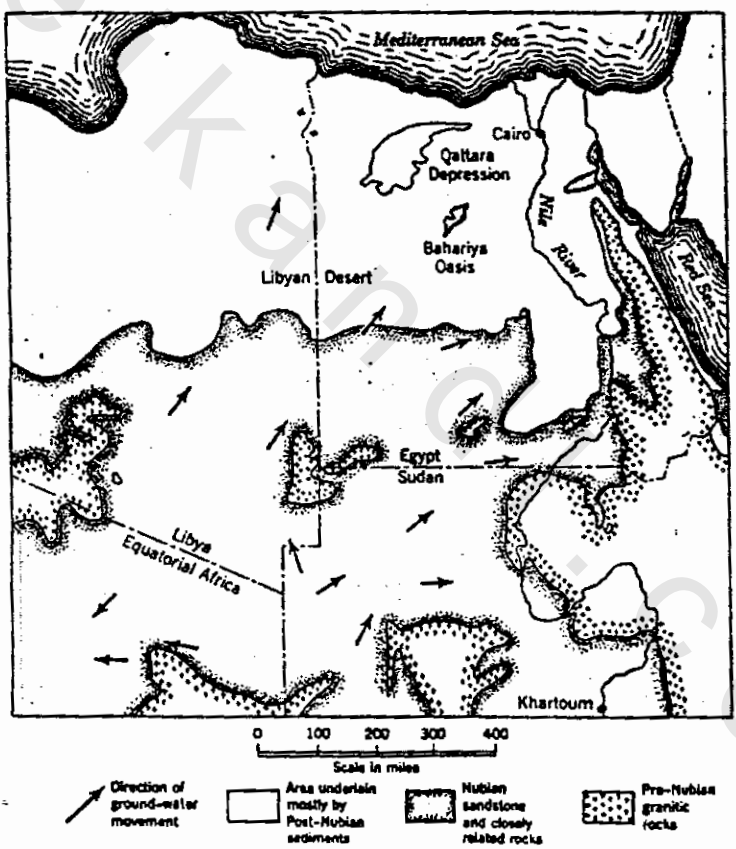
تعتبر الحشارج التي سبقت تكون الصحاري غير متأثرة كثيراً بزيادة الجفاف. عدم وجود المواد العضوية ودرجات الحرارة العالية توحي بأن الكميات الصغيرة من المياه الراشحة التي يمكن أن توجد سوف لا تذيب كمية كبيرة من ثاني أوكسيد الكاربون مقارنة بالمياه الأرضية في المناطق المعتدلة الرطبة . وهذا يعني ، مع النقص الحاد في الرطوبة ، بأن التجوية الكيميائية بعد تكوّن الصحاري . ستكون بطيئة وسيتباطأ أيضًا تكوين فتحات الذوبان في الصخور الكاربوناتية وغيرها . لذلك فإن الحشارج الكاربوناتية الواسعة الموجودة في بعض الصحاري ربما تكون آثار لمناخات سابقة مطيرة أكثر من المناخ الحالي . حشارج أخرى مثل تلك الموجودة في المنحدرات الجنوبية لجبال الأطلس ربما يعزى

أصلها إلى فعل الكميات الكبيرة من المياه الراشحة في المناطق المجاورة للأراضي العالية الكثيرة المياه والتي تتاخم هذه الصحاري .

تؤثر الظروف الصحراوية بشدة على نوع الرسوبيات والتي تتحكم بدورها في أنواع الحشارج الموجودة في الرسوبيات غير المتصلبة . نادراً ما تكون المجاري المائية نشطة وقوية بما يكفي لتثبيت مساراتها فوق العوائق ذات الأصل البركاني أو التكتوني والتي تعترض جريانها . وينتج عن ذلك أحواض مغلقة مملوءة بالرسوبيات الحجيرية الناعمة الممزوجة بالبقايا الملحية في أجزائها الوسطية . توجد المياه العذبة والحشارج المناسبة فقط على امتداد حافات مثل هذه الأحواض أو في الحشارج الأكثر عمقًا الغير متأثرة بالظروف الحالية من الجفاف . تكون رسوبيات المجاري النهرية الحشارج الأكثر أهمية المترسبة تحت الظروف الصحراوية . على عكس المجاري في المناطق الرطبة تحمل المجاري المائية الصحراوية كميات كبيرة من المواد العالقة والمجروفة والتي قد تصل إلى تراكيز عالية بحيث تكون التيارات الجارية عبارة عن مزيج لزج من الطين والعوالق الأخرى . والرسوبيات الناتجة تتميز برداءة التصنيف ونفاذية واطئة بصورة عامة . تتكون النطاقات النفاذة عندما يستمر الجريان طويلاً في تصنيف وعزل العوالق الخشنة في المجرى . يحدث هذا عادة خلال مراحل انحسار الجريان وحصر الجريان في الأجزاء الضيقة عند قعر المجرى . وتبعًا لذلك تشكل النطاقات النفاذة جزء صغير فقط من الرسوبيات النهرية ويصعب بذلك تحديدها بواسطة عمليات الحفر .

تكونت رسوبيات العصر الحديث غير المتصلبة التي تملأ الوديان بفعل البراكين وتصدع الصخور وهي تشكل معظم الحشارج الصحراوية المهمة في جنوب غرب الولايات المتحدة ، شمال غرب المكسيك ، شمال تشيلي ، وأجزاء معينة من وسط آسيا . من ناحية أخرى تعتبر التعرية هي العملية السائدة في معظم المناطق الصحراوية الأخرى والتي نتج عنها اقتراب الطبقات الصخرية من السطح وحشارج غير متصلبة تتمثل برسوبيات ضحلة على امتداد المجاري

سريعة الزوال ، وأجزاء من قاعدة الكثبان الرملية وامتلاءات أحواض الهبوط والانكماش ، ولحسن الحظ ، تمتلك بعض الأحواض الصحراوية التي تفتقر إلى الرسوبيات الطموية السميكة حشارج واسعة من الصخور المتصلبة ونصف المتصلبة . (لاحظ الشكل 6 - 2) ومن أمثلة ذلك الصخور الرملية النوبية في مصر والسودان . حيث تحتوي مياه تتراوح بين مياه صالحة للشرب في أجزاء تبعد عدة مئات من الأميال عن مناطق التغذية إلى مياه قليلة الملوحة في الأجزاء المدفونة عميقًا من الحشارج .



(الشكل 6 - 2) المنطقة المكشوفة والاتجاه العام لحركة المياه الأرضية في النوبة (في مصر والسودان) والصخور الرملية لشمال شرق أفريقيا .

6 - 3 - 2 : تغذية المياه الأرضية :

معظم المعالم الهيدروجيولوجية المتميزة في المناطق الجافة متعلقة بكمية ونوعية المياه الأرضية المتوفرة . جميع الترب النفاذة عدا النفاذة جداً تمنع مرور مياه التغذية خلالها عندما يكون المطر أقل من 5 - 10 إنجات . وتعتمد الكمية المضبوطة على نفاذية التربة ، احتفاظ التربة النوعي بالمياه وتوزيع الأمطار بالنسبة لدرجة الحرارة . مثال ذلك : تربة ذات احتفاظ نوعي 15% واستنفذت رطوبتها إلى عمق 2 قدم خلال حرارة الصيف ستحتاج إلى 3.6 إنج من الأمطار فقط لسد النقص في رطوبة التربة . إذا حدث المطر في أوقات مختلفة من السنة فأن فترات الجفاف المتخللة ستسبب فقدان المياه من التربة بحيث تحتاج إلى كميات تزيد على 3.6 إنج لبدء التغذية . على العكس ، الرمال في الكثبان الرملية ذات احتفاظ نوعي بالمياه مقداره أقل من 5% ولذلك فأن مطراً مقداره 2 إنج سيتغلغل أكثر من 3 أقدام في الرمل ، وهذا ربما يكون عميقًا بما يكفي للتغلغل تحت نطاق الجفاف الفصلي في أجزاء من الكثبان .

لا يحدث تسرب واسع للمياه السطحية خلال الترب الصحراوية التي تحتوي كميات محسوسة من الطين . السطوح الصخرية أو الطينية الصلبة القاحلة المألوفة في العديد من المناطق الصحراوية تسيل عليها الأمطار حتي وإن كان مقدارها عدة أعشار من الإنج . وفي حالات نادرة ربما لا تحتوي المياه الجارية هذه على مواد عالقة . إلا أن الشائع هو تعرية كميات كبيرة من التربة والحطام السطحي من قبل المياه الجارية على هذه السطوح الصحراوية . وينتج عن ذلك مزيج مائي يتراوح بين الماء العكر جداً إلى الطين اللزج الجاري . إذا كان الماء الجاري قليل العكورة وكان مقر المجرى نفاذاً فأن المياه ستتسرب إلى الحصى والرمل في قعر القناة . جزء كبير من هذه المياه سيرجع ثانية إلى الجو بالتبخر.

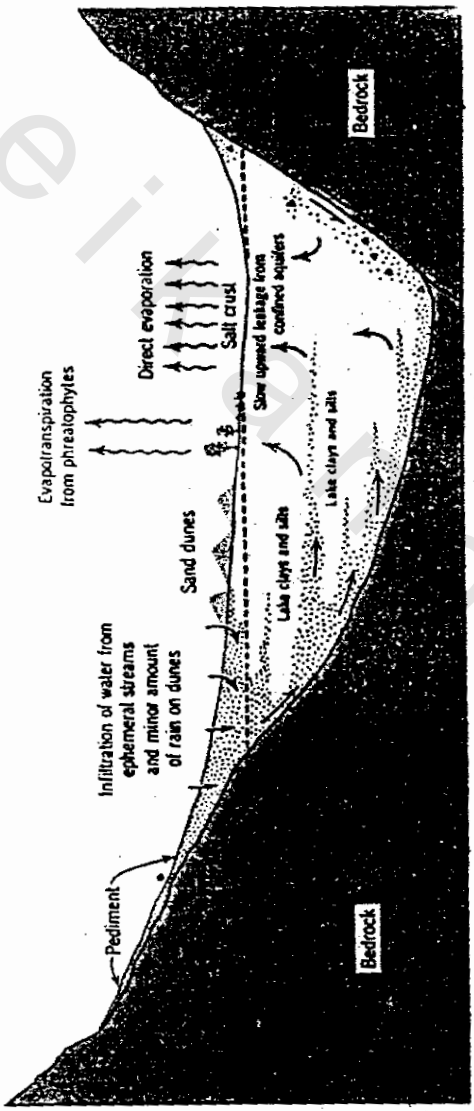
عندما يكون التسرب فعالاً فإنه يمكن أن تتغذى الخشارج التحتية . ربما معظم التغذية تحدث عندما يكون المجرى ضيقًا وليس في الأجزاء التي يتسع فيها المجرى ليغطي أجزاء كبيرة من السطح الصحراوي . وهذا يسبب التركيز الأعلى للمواد النفاذة عند المضايق وحقيقة أن المجاري الضيقة غالبًا ما تتلقى الجزء الأخير من المياه السطحية الجارية والمكونة من المياه المنصرف من حطام الفيضان المشبع والمترسب سابقًا والذي يعتبر خالي من العوالق تقريبًا .

ويعتقد أن معظم التغذية للمياه الأرضية في المناطق الصحراوية تمت خلال قعر المجاري السطحية . مناسيب المياه المسجلة في بعض الأماكن يمكن أن تساند هذا الاعتقاد . وقد أشارت بعض الدراسات إلى أن التغذية تحصل خلال أجزاء صغيرة محدودة من المنطقة التي تغطيها مياه الفيضان . وما يشير إلى التغذية الضئيلة للمياه الأرضية في الأراضي الصحراوية هي الأعماق البعيدة لهذه المياه في الأراضي العالية والميل الهيدروليكي المنبسط المألوف في المنطقة. ويمكن أن يكون الميل الهيدروليكي قليل جداً بحيث لا يمكن تمييز حواجز هيدروجيولوجية . إلا أن استثمار المياه الأرضية بشكل مفرط أدى إلى زيادة الميل الهيدروليكي بزيادة المياه المتحركة خلال الخشارج .

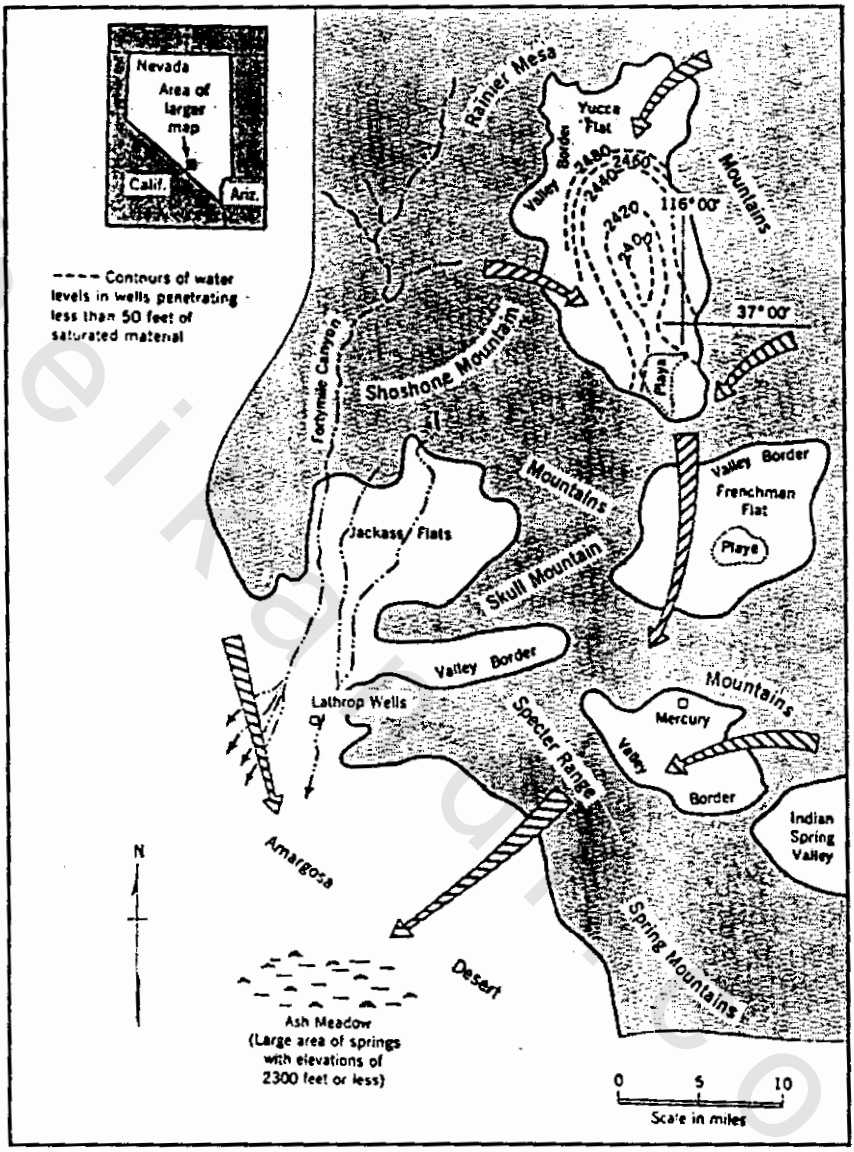
6 - 3 - 3 : دورة المياه الارضية :

العديد من الأحواض الصحراوية في غربي الولايات المتحدة مملوءة بالمياه حتى السطح وقسم منها بشكل بحيرات دائمة . إن المياه الراشحة إلى الأجزاء العليا من المراوح الطموية ستستهلك من قبل النباتات وبواسطة التبخر المباشر من التربة في الأجزاء الوسطية من الأحواض (الشكل 6 - 3) . وجد استثناء لهم لهذه الحالة العامة في جنوبي ولاية نيفادا الأمريكية . وهنا رغم الأمطار التي تتجاوز 10 إنجات على الجبال العالية فإن الأحواض لم تمتلئ ومستويات

المياه الأرضية في الآبار أكثر من 1000 قدم تحت سطح الوادي . هناك صخور منكسرة ذات تركيب معقد ونفاذية عالية تكفي لجعل هذه الصخور تعمل كمبزل تحتي في المنطقة ينقل المياه الأرضية إلى نقاط تصريف مختلفة (الشكل6 - 4) .



(الشكل 6 - 3) دورة المياه الأرضية في حوض مغلق بسيط في الصحراء الخط المنقط يبين منسوب المياه في الآبار إذا حفرت في هذه المنطقة .



(الشكل 6 - 4) دورة المياه الأرضية خلال صخور متكسرة جنوبي ولاية نيفادا الأمريكية . الخطوط الكنتورية المغلقة لمناسيب المياه ضمن الصخور البركانية المسامية والصخور الرسوبية ناتجة عن حركة المياه جزئيًا باتجاه نحو الأسفل إلى الحشارج التحتية ..

6 - 3 - 4 : نوعية المياه :

يلاحظ عمومًا أن النوعية الكيميائية للمياه الأرضية في المناطق الصحراوية رديئة بدرجة أكبر مما في المناطق ذات الأمطار الاعتيادية (الشكل 6 - 5) . إن العوامل التي تؤدي إلى زيادة المواد الصلبة الذائبة في المياه الأرضية هي :

الأول : الأملاح التي تحتويها مياه الأمطار والثلوج ستتركز عند السطح بسبب معدلات التبخر العالية ، لذلك ستجد الأمطار الثقيلة والفيضانات العرضية مصدراً جاهزاً للأملاح والمواد الذائبة كلما تسربت هذه المياه نحو الأسفل لتغذية المياه الأرضية .

الثاني : ترسبات الأملاح المدفونة التي ستذوب في المياه الأرضية غالبًا ما تكون منتشرة في الرسوبيات قرب السطح في المناطق الصحراوية .

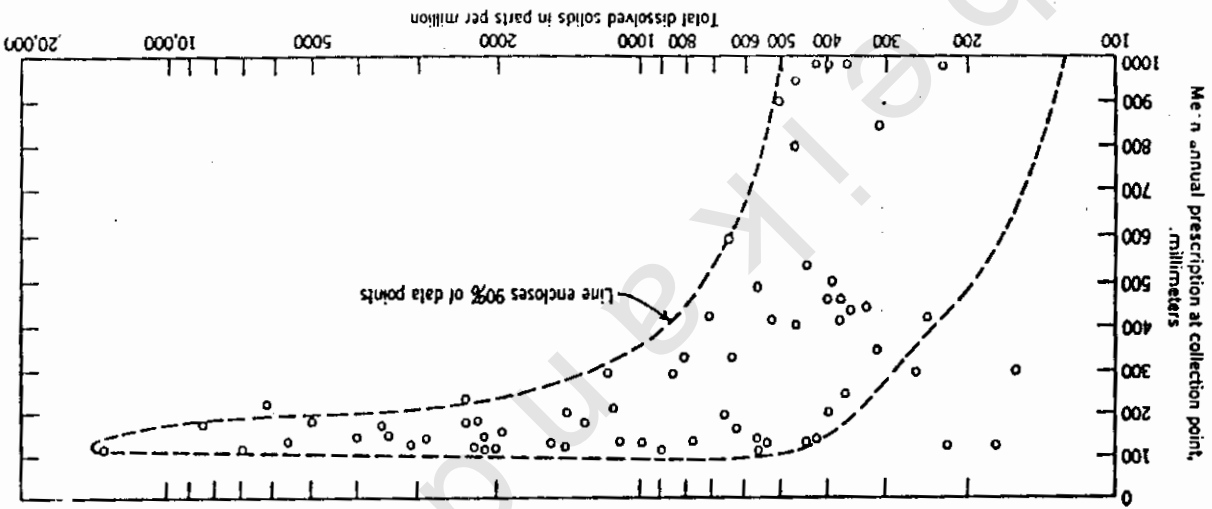
الثالث : الدورة البطيئة للمياه الأرضية تعمل على إبطاء حركة المياه الطبيعية الأرضية وبذلك تسمح بمزيد من الوقت لذوبان المواد القليلة الذوبان الملامسة للمياه الأرضية .

الرابع والأخير : يتركب الغبار الناعم في جزء منه من أملاح قابلة للذوبان والذي تثيره الرياح سيتراكم حتى يتم جرفه إلى التربة بالأمطار العرضية . إن مكونات الغبار الجاف المتساقط القابلة للذوبان تشكل مصدر المواد الصلبة الذائبة في المياه الأرضية للمناطق الصحراوية .

على أية حال تعتبر المياه الأرضية الصالحة للشرب نادرة في العديد من الصحاري . ويمكن وجود المياه قليلة الملوحة في العديد من المناطق الواسعة التي تعلم ساكنيها التعايش مع استعمال مياه تحتوي مواد ذائبة أكثر من

3000 جزء بالمليون . توجد المياه ذات المواد الذائبة الأقل بكميات صغيرة في الصخور المتحولة والبلوتونية المنكسرة وفي الرسوبيات المشتقة من هذه الصخور. هناك حشارج أخرى مناسبة هي النطاقات الواقعة عند قواعد الكثبان الرملية الكبيرة جداً . وفي حشارج البازلت والصخور الجيرية النفاذة في المناطق المكشوفة والتي تتغذى من خلال الأمطار .

إن أفضل المياه الأرضية الممول عليها من حيث النوعية هي المياه التي تأتي إلى المناطق الصحراوية بالوسائل الصناعية أو الطبيعية وتتحرك مسافات قليلة في الأجزاء تحت السطحية . وهناك أمثلة لهذا النوع من المياه موجودة في العديد من وديان غربي الولايات المتحدة ، وعلى امتداد نهر النيل، وغيرها.



(الشكل 6 - 5) العلاقة بين المعدل السنوي للأمطار والكمية الكلية للمواد الذائبة في 70 نموذج من المياه الأرضية في سوريا . التساقط هو للمساحة التي أخذ منها النموذج ويختلف في العديد من النماذج عن التساقط فوق منطقة التغذية .

obeikandl.com

6 - 3 - 5 : التحري عن المياه الأرضية :

توفر الأراضي الصحراوية عمومًا أفضل الفرص لتطبيق الطرق العلمية في دراسة المياه . البروزات الصخرية مكشوفة تمامًا وبدون مشاكل يسببها الغطاء النباتي كما في مناطق أخرى غير صحراوية . كما أن الاستيطان البشري قليل الكثافة في المناطق الصحراوية مما يتيح الفرص لاستخدام المتفجرات ولا توجد أية عوائق أخرى تجعل من مسوحات المقاومة الكهربائية صعبة . وأن نقاط التصريف الطبيعي للمياه الصالحة الواضحة من خلال أماكن تواجد النباتات . تستعمل الطرق الهيدروجيولوجية التقليدية في التحري عن المياه الأرضية في المناطق الصحراوية . ويتطلب العمل بعض التعديلات في طرق التشغيل بسبب الأعماق الكبيرة للوصول إلى الحشارج وبسبب عدم كفاية الآبار الموجودة لتعطي التحكم الچيولوچي والهيدرولوچي المطلوب . ويفضل استعمال الطرق الزلزالية مع آبار الفحص .

تعتبر النباتات واحدة من العلامات السطحية التي توصي بوجود المياه الأرضية . وتعطي المساحة الكلية للنمو النباتي فكرة عامة عن الكمية الكلية من المياه التي تتصرف إلى السطح . بعد تصنيف أنواع النباتات وتمييزها وقياس كثافة الغطاء النباتي يمكن الحصول على تقدير تقريبي . وحتى بدون هذا العمل ، قياس بسيط للمساحة من الصور الجوية يمكن أن يضرب بقيمة معقولة للنتح للحصول على تقدير أول للكمية . مثال ذلك ، إذا كانت مساحة مقدارها 250 أيكر مغطاة بنباتات كثيفة ، من المتوقع أن تتراوح قيمة النتح بين 2.0 إلى 7.0 قدم من المياه لكل سنة . إذا افترضت قيمة معقولة قدرها 3.5 قدم / سنة ، فأن التصريف المقدر سيكون 875 إيكر - قدم / سنة ، أي تصريف ثابت مقداره حوالي 540 غالون / دقيقة يكفي لتجهيز مدينة تعداد سكانها أكثر من ألف شخص .

كذلك تعطي النباتات بعض الدليل عن عمق المياه الجوفية . فالحشائش تنمو بقوة عندما يكون مستوى المياه الأرضية بصورة عامة أقل من 10 قدم تحت سطح التربة . وتنمو الشجيرات عندما يكون منسوب المياه الأرضية أقل من 30 قدم تحت السطح ، وتنمو الأشجار عندما يكون منسوب المياه الأرضية أقل من 90 قدم تحت سطح التربة . وهذه أرقام تقريبية بالطبع . تعتمد الأعماق الحقيقية على عرض الحافة الشعرية ، كمية المطر السطحي، أنواع النبات الحقيقية ، وعوامل أخرى . وتعطي النباتات النامية فكرة عن نوعية المياه أيضًا . فمثلاً ينمو الصفصاف والحور القطني عادة حيثما يكون الماء عذبًا.

الفصل السابع

جريان المياه الأرضية

7 - 1 تقديم

7 - 2 الخصائص العامة لحركة المياه الأرضية

7 - 3 مسامية الصخور والتربة

7 - 4 حساب كمية وسرعة جريان المياه الأرضية

7 - 5 إنتاجية الآبار

7 - 5 - 1 الآبار المحصورة

7 - 5 - 2 الآبار غير المحصور

7 - 5 - 3 الفرضيات المستعملة في إشتقاق معادلات التصريف

7 - 6 الجريان غير الثابت من الآبار

7 - 7 تحسين إنتاجية الآبار

obeikandi.com

obeikandl.com

الفصل السابع جريان المياه الأرضية

7 - 1 : تقديم :

تتحرك المياه الجوفية من مستويات الطاقة الأعلى إلى مستويات الطاقة الأقل، حيث أن طاقتها تأتي نتيجة الارتفاع والضغط . وتهمل الطاقة الحركية (التي تتناسب مع مربع السرعة) بسبب السرعة المنخفضة جداً لحركة المياه الأرضية . تعاني المياه الأرضية أثناء جريانها فقدان في الطاقة بسبب الاحتكاك في الوسط الحبيبي خلال مسارها فيه . يسمى الفقدان في الطاقة لوحدة الطول التي تقطعها المياه بالجريان « الميل الهيدروليكي Hydraulicgra-diut » وهو يتناسب مع سرعة المياه الأرضية . وعند التعبير عن التناسب بين الميل الهيدروليكي وسرعة الجريان بمعادلة رياضية ينتج لدينا ما يسمى بقانون دارسي . حيث وجد الباحث دارسي أن معدل الجريان Q يتناسب طرديًا مع الفقدان في الطاقة وعكسيًا مع طول مسار الجريان ، ويتناسب طرديًا مع معامل K يعتمد على طبيعة الرمل . ويمكن التعبير عن هذا القانون كما يلي :

$$Q = KA \frac{h_1 - h_2}{dt} = KAi \qquad \text{أو} \qquad V = Ki$$

حيث A = مساحة مقطع الطبقة التي تجري خلالها المياه .

$$i = \text{الميل الهيدروليكي} = \frac{dh}{dt}$$

■ ■ ■

7 - 2 : الخصائص العامة لحركة المياه الأرضية :

إن جريان جميع المياه الأرضية في الطبيعة هو ثلاثي الأبعاد إلى حد ما . ومن الناحية العملية لا يمكن تحليل حركة المياه الأرضية الطبيعية ثلاثية الأبعاد ما لم تسمح المعالم المتناظرة . بحذف واحد أو اثنين من هذه الأبعاد . ولحسن الحظ ، يكون هذا ممكنًا في معظم حالات جريان الميل الأرضية . مثال ذلك حركة المياه الأرضية إلى بئر محفور ضمن حشرج نفاذ متجانس السمك ومحصور بين طبقتين غير نفاذتين ففي هذه الحالة سيكون الجريان ذو بعدين حيث لم تحصل حركة عمودية (إلى الأعلى أو الأسفل) لوجود طبقتين غير نفاذتين . ففي هذه الحالة حذف البعد الثالث طبيعيًا .

يمكن تحديد جريان المياه الأرضية كميًا من خلال معرفة السرعة ، الضغط ، الكثافة ، درجة الحرارة ، ولزوجة المياه المتسربة خلال التكوين الچيولوچي . إلا أن هذه الخصائص غالبًا ما تكون متغيرات مجهولة ويمكن تتغير في المكان الواحد من نقطة إلى أخرى ضمن التكوين ، وتتغير أيضًا مع الوقت .

ويسمى جريان المياه الأرضية محصوراً Confined عندما تكون حدود أو سطوح الوسط الذي تجري خلاله المياه ثابتة البعد لمختلف حالات الجريان وبتعبير آخر عندما يكون الحشرج الحامل للمياه واقع بين طبقتين غير نفاذتين . ويسمى الجريان غير محصور uncoufind عندما يمتلك سطحًا حراً وهو السطح الذي يتغير موقعه تبعًا لحالة الجريان ويسمى منسوب المياه Water Table .

يسمى الوسط الذي تتحرك فيه المياه متناظراً إذا كانت خواصه في أي نقطة متماثلة في جميع الإتجاهات المنطلقة من تلك النقطة . ويسمى غير متناظر إذا تأثرت بعض صفاته بتغير الإتجاه في أية نقطة . يعتبر الوسط ذو تركيب متغاير (heterogeneous) إذا كانت خواص أو ظروف التناظر أو عدم

التناظر تختلف من نقطة إلى أخرى في الوسط . ويعتبر ذو تركيب متجانس إذا كانت خواص التناظر أو عدم التناظر فيه ثابتة في كل الوسط .

السائل الذي يكون في حالة واحدة يعتبر متجانس فالمزيج من الماء المالح والماء العذب يعامل على إنه متجانس رغم إمكانية اختلاف الكثافة من نقطة إلى أخرى في المزيج . لكن مزيج الماء مع الرايت يعتبر متغاير . ويكون الجريان مثغايراً . وفي هذا الكتاب سيكون مناقشتنا للجريان المتجانس فقط .

■ ■ ■

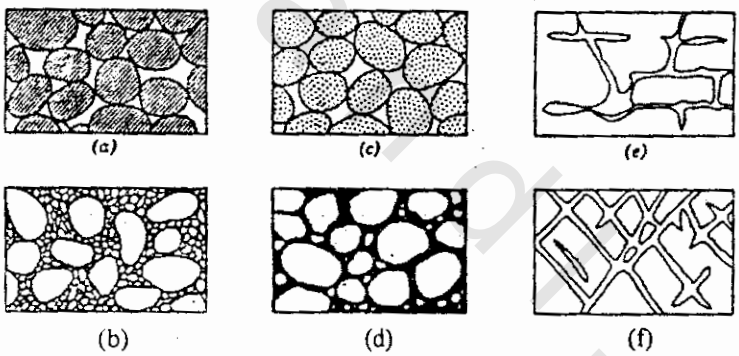
7 - 3 : مساميَة الصخور والتربـَة :

تشكل الصخور التربة الوسط المسامي الذي تتجمع فيه المياه وتجري خلاله تحت تأثيرات قوى مختلفة . هذا الوسط المسامي ذو هيكل صلب مكون من تجمع حبيبات معدنية صلبة مفصولة ومحاطة بفراغات يمكن أن تمتلئ بالماء ، أو الغازات أو المواد العضوية .

تعرف المسامية Porositg على أنها نسبة حجم الفراغات (المسامات) إلى الحجم الكلي الوسط . تعتمد مسامية المواد المتصلبة على درجة الالتحام (السمنتة Cemeutation) وقابلية الصخور للتكسر والذوبان . فيما تعتمد مسامية المواد غير المتصلبة على ترتيب الحبيبات ، وشكلها وتوزيع حجمها . تدخل الحبيبات الصغيرة في الفتحات المتروكة بين الحبيبات الكبيرة وبذلك سيكون الوسط ذو الحبيبات غير المتجانسة الحجم أقل مسامية من الوسط ذو الفرز الحبيبي الجيد (درجة الفرز Sorting) مفهوم علمي في علم الصخور يعني درجة تفاوت أحجام الحبيبات المكونة للوسط . فإذا كان الفرز جيداً تكون الحبيبات متقاربة في أحجامها ، أما إذا كان الفرز رديئًا فتكون الحبيبات متفاوتة في أحجامها .

الشكل (7 - 1) يبين أنواع مختلفة من الفواصل والمسامات الصخرية

والعلاقة بين نسجة الصخور والمسامية . تعتبر المسامية مقياس لسعة حمل المياه من قبل الوسط وتلعب دوراً مهمًا في قابلية الوسط لنقل المياه أيضًا . وتسمى قابلية الوسط لنقل المياه بالايصالية الهيدروليكية hydroulic conductisity . إن العلاقة بين المسامية والإيصالية الهيدروليكية ليست بسيطة ، كما تؤثر عوامل أخرى على الإيصالية الهيدروليكية . إن حجم انفراغ أكثر أهمية من المسامية بالنسبة لقابلية نقل المياه من قبل الوسط . فالرمال ذات الحبيبات المدورة أو الزاوية الكبيرة الحجم نسبيًا تكون أقل مسامية من الطين الذي يتركب من حبيبت صفائحية صغيرة ذات سطوح كبيرة تسبب قوى جزيئية عالية بين دقائق الطين ودقائق المياه . ورغم مساميتها الأقل ، تعتبر المواد الرملية حشارج جيدة نفاذة .



(الشكل 7 - 1) مقاطع صخرية تبين العلاقة بين نسجة الصخور المسامية (a) صخور رسوبية مفرزة جيداً ذات مسامية عالية (b) رسوبيات ذات فرز رديء ذات مسامية منخفضة (c) رسوبيات مفرزة جيداً تتكون من حبيبات هي ذاتها مسامية ، لذلك فإن الرسوبيات ككل تعتبر ذات مسامية عالية جداً (d) رسوبيات مفرزة جيداً لكن مساميتها قليلة جداً بسبب ترسب مواد معدنية في الفواصل بين الحبيبات (e) صخور أصبحت مسامية نتيجة الذوبان (f) صخور أصبحت مسامية بسبب التكسر .

7 - 4 : حساب كمية وسرعة جريان المياه الأرضية :

إن باوند واحد من المياه يجري بسرعة V قدم / ث يمتلك طاقة حركية مقدارها $\frac{V_2}{2g}$ قدر پا/پا حيث g و التعجيل الأرضي .

أما الطاقة الكامنة لباوند من المياه فإنها نتيجة الفرق الموجود في الضغط أو الفرق في الارتفاع . ويمكن تمثيل الطاقة الكامنة الناتجة عن فرق الضغط بالنسبة $\frac{P}{W}$ حيث P هي مقدار الضغط على وحدة المساحة ، w هي وزن وحدة الحجم . ويمكن تمثيل الطاقة الكامنة الناتجة عن فرق الارتفاع بالارتفاع y الذي يمثل مقدار الارتفاع فوق منسوب قياسه .

في الحقيقة يمكن أن يمتلك پاوند من المياه طاقة حركية وطاقة كامنة معًا عندما تكون الطاقة الكامنة مؤلفة من فرق الضغط والارتفاع معًا ، ويمكن تمثيل الطاقة المشتركة بالصيغة التالية لمعادلة برنولي التي تعطي الطاقة لكل وحدة وزن (ft - 16/16) :

$$H = \frac{V_2}{2g} + \frac{P}{W} + y$$

عند تطبيق هذه المعادلة على حركة المياه الأرضية في التربة فإنه يمكن إجراء تبسيط عليها ؛ لأن سرعة المياه الأرضية في الحشارج بطيئة جداً ولذلك سيكون المقدار $\frac{V_2}{2g}$ والذي يمثل الطاقة الحركية صغير جداً بحيث يمكن إهماله . لذلك ستكون معادلة برنولي التي تطبق على جريان المياه الأرضية كما يلي :

$$h = \frac{P}{W} + y$$

وتستعمل في هذه الحالة كمنسوب بيزومتري Piezometric head (ارتفاع

عمود الماء في آبار الفحص) ، الشكل (7 - 2) يبين جريان المياه في ثلاثة اتجاهات واستعمال البيزو - مترات لقياس إتجاه الجريان وكمية الطاقة . لاحظ أن المياه تجري دائمًا اتجاه تناقص المنسوب البيزومتري .

عندما يكون الجريان مماثل لما هو في الشكل (7 - 2) فإنه يمكن كتابة قانون دارسي بالشكل الآتي :

$$V = K \frac{hl}{L}$$

بقدر ما يكون الجريان غير مضطربًا (not turbulent) فإن السرعة V والجريان خلال الحشارج المشبعة يتناسبان مع نفاذية الحشرج K والميل الهيدروليكي $\frac{hl}{L}$ (ميل مناسيب لمياه في البيزومترات) . وحدات النفاذية هي وحدة طول لكل وحدة زمن (L/t) وتعتمد على التأثير المشترك لخصائص التربة والسائل المتحرك فيها . وخواص السائل المؤثرة على النفاذية هي وزنه النوعي W ولزوجته M حيث تتناسب النفاذية طرديًا مع الوزن النوعي وعكسيًا مع اللزوجة . أي أنه بالإمكان كتابة قانون دارسي بالشكل الآتي :

$$V = \left(\frac{W}{M} K1\right) \frac{hl}{L}$$

فالنفاذية K^1 في هذه الحالة تأخذ وحدات المساحة (L^2) وتتأثر فقط بخصائص التربة وهي حجم وشكل دقائق التربة والمسامات (النسجة والبناء) ولا تعتمد على خواص السائل . في معظم الدراسات التي أجريت على حركة المياه الأرضية وجد أن تأثير الوزن النوعي واللزوجة صغير نسبيًا . لذلك فأن المقدار $\frac{W}{M}$ غير ضروري في معظم الدراسات العامة والعملية للمياه الأرضية.

وبما أن Q = AV فإنه يمكن أن تكون كمية الجريان Q كما يأتي :

$$Q = AK \frac{hl}{L}$$

حيث A = المساحة الكلية العمودية على إتجاه الجريان . إن الضغط عند أية نقطة في الحشرج يساوي P = wh ومنه فإن ارتفاع الضغط h سيكون $h = \frac{P}{W}$ فإذا كان الارتفاع الهيدروليكي عند نقطة 1 يساوي h1 وعند نقطة 2 يساوي h_2 فإن :

$$h_1 = \frac{P_1}{W} + y_1 \quad \text{و} \quad h_2 = \frac{P_2}{W} + y_2$$

افرض أن h_1 أعلى من h_2 وأن المسافة بين النقطتين تساوي L . فأن الميل الهيدروليكي سيكون :

$$\frac{H_L}{L} = \frac{h_1 - h_2}{L} = \frac{(p_1 / w + y_1) - (p_2/w + y_2)}{L}$$

حيث W = الوزن النوعي للماء ، $\frac{P_1}{W}$ و $\frac{P_2}{W}$ هما ارتفاعات الضغط في النقطتين 1 و 2 ، y_1 و y_2 هما ارتفاع النقطتين 1 و 2 عن مستوى قياسي معين.

وهذه المعادلات تمثل جريان المياه الأرضية في الحشارج المشبعة ونبين استعمالها في مثالين الأول : لجريان غير محصور (Unconfind) أي جريان مياه جوفية حرة في حشرج رملي تحت هيدروليكي صغير (الشكل 7 - 3) . والمثال الثاني لجريان نحو الأعلى خلال طبقة طينية سمكها 40 قدم تحتها حشرج ارتوازي مكون من الحصى تكون فيه المياه تحت ضغط (أي أنها مياه محصورة) (الشكل 7 - 4) .

الشكل (7 - 3) يبين جريان مياه أرضية غير محصورة خلال تربة رملية واقعة فوق طبقة طينية مضغوطة . البيزوميتر في النقطة A يبين ارتفاع مياه

بيزومتري مقداره : $+y = 50ft$ وفي نقطة $h_1 = \frac{P_1}{W}$ $h_2 = 40ftB$. وعليه بما أن المسافة بين النقطتين هي 100 قدم فإن الميل الهيدروليكي سيكون مساويًا إلى:

$$\frac{H_L}{L} = \frac{h_1 - h_2}{L} = \frac{50 - 40}{100} = \frac{1}{10}$$

وأن السرعة :

$$V = K \frac{H_L}{L} = \frac{1}{10} K$$

فإذا افترضنا أن معدل النفاذية :

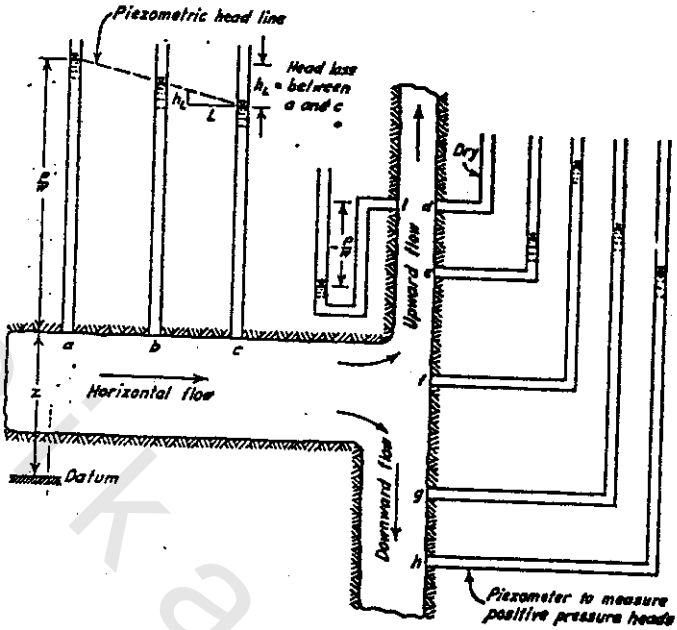
$$3.8 \times 10^{-5} \text{ ft/sec} = 1200 \text{ ft/year}$$

فإن سرعة الجريان خلال الرمل ستكون $V = 120$ ft/year

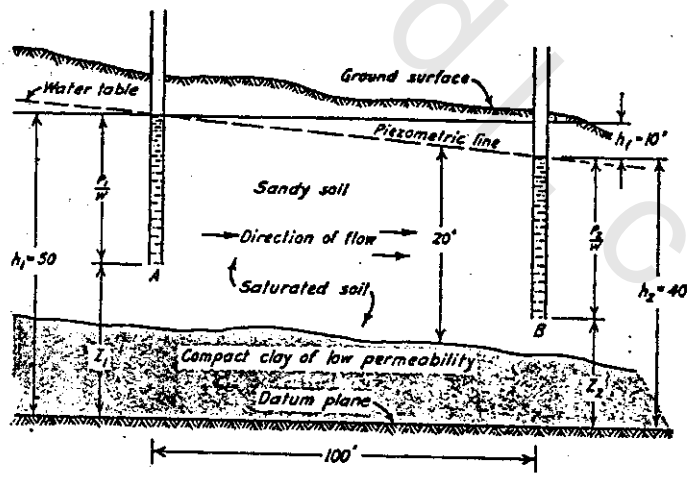
وأن كمية الجريان في مقطع طوله 1000 قدم وعمقه 20 قدم سيكون :

$$Q = AK \frac{h_L}{L} = (1000 \times 20) \times \frac{3.8}{100000} \times \frac{10}{100} = 0.076 \text{ efs} = 34 \text{ jpm}$$

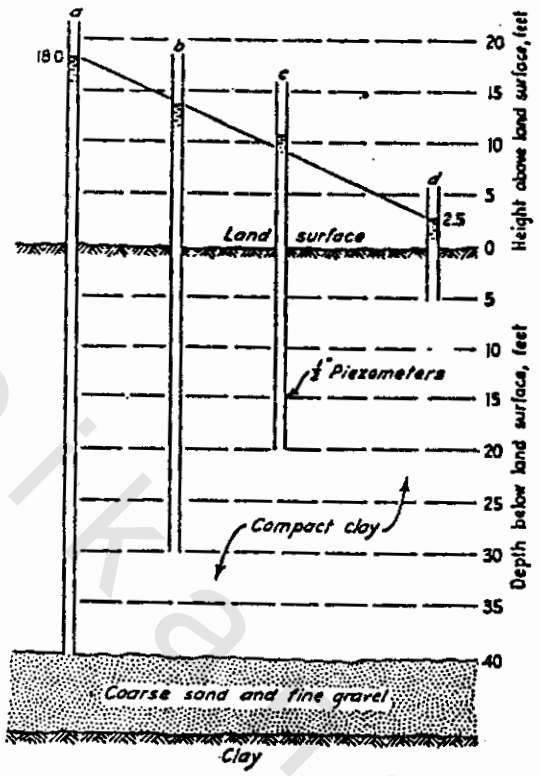
في المثال الثاني ، نتائج القياسات البيزومترية عند ارتفاعات مختلفة في طبقة طينية واقعة فوق طبقة حصوية نفاذة ارتوازية (مياه محصورة) مسجلة ومبينة في الشكل (7 - 4) .



(الشكل 7-2) يوضح جريان أفقي ، نحو الأعلى ، ونحو الأسفل في طبقة من التربة مع استعمال البيزومترات لمعرفة اتجاه الجريان ومقدار الميل البيزومتري (الهيدروليكي) .



(الشكل 7-3) جريان مياه أرضية حرة (غير محصورة) في طبقة رملية مشبعة واقعة فوق طبقة طينية مضغوطة .



(**الشكل 7-4**) معدل ارتفاع المياه (P/W) في طبقة طينية تقع فوق حشرج ارتوازي (من الحصى الناعم والرمل) .

تم قياس نفاذية الطين ووجد بأنها كمعدل 5 قدم/ سنة ، ولإيجاد معدل سرعة الجريان من مستوى العمق 40 قدم إلى مستوى العمق 5 قدم (أي مسافة 35 قدم نحو الأعلى) مقاسة بالقدم / سنة ، تستعمل المعادلة التالية :

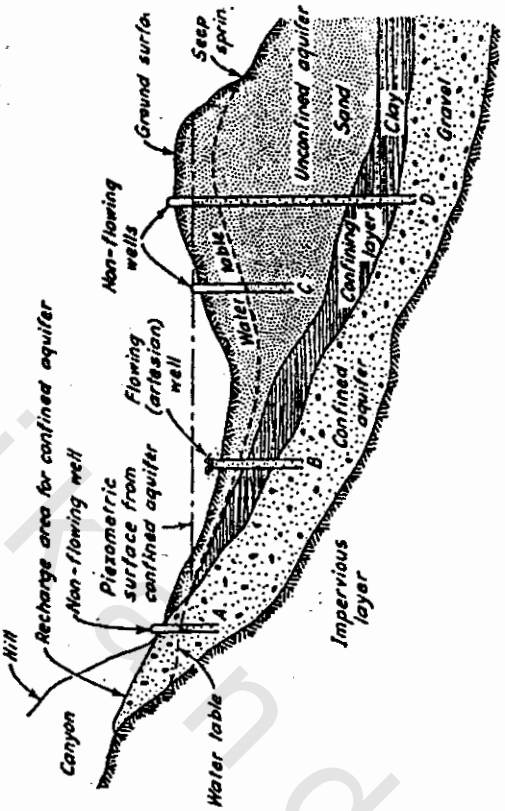
الميل الهيدروليكي :
$$\frac{H_L}{L} = \frac{h_1 - h_2}{L} = \frac{18 - 2.5}{35} = 0.44$$

$$V = K \frac{H_L}{L} = 2.5 \quad 0.44 = 2.2 \text{ ft / year}$$

7 - 5 : إنتاجية الآبار :

إن السلوك العام للبئر والصيغ الهيدروليكية المطبقة عليه تعتمد على التكوين (الحشرج) الذي حفر فيه البئر . الشكل (7 - 5) يبين أربعة آبار من ينبوع واحد في وادي نموذجي . تتغذى المياه الأرضية من المنطقة المكشوفة (المتعرية) العالية من المنطقة الحصوية في أسفل منحدرات التلال (على يسار الشكل) حيث يحصل تسرب كبير من المياه المنحدرة متغلغلاً داخل هذه الطبقة ذات النفاذية العالية . البئر A محفور في هذا الجزء العالي ولا يجري منه الماء الذي يصل مستواه فيه إلى مستوى المياه الأرضية . في حين تجري المياه من البئر B بسبب إن قمة البئر تقع تحت السطح البيزومتري للحشرج المحصور . البئر C مماثل للبئر A وكلاهما يعتبر بئر غير محصور . أما البئر D فهو مماثل للبئر B ما عدا أن D تجري منه المياه بدون ضخ ذلك لأن قمة البئر تقع فوق السطح البيزومتري للحشرج المحصور . وتسمى الآبار B و D آبار محصورة أو آبار أرتوازية .

إن كمية المياه التي يمكن الحصول عليها من بئر ما بواسطة الضخ تتحدد بأحد أو كلا عاملين رئيسيين هما : 1 - سعة المضخة والقوة الحصانية للمحرك أو الماكنة التي تدير المضخة . 2 - سعة البئر التي تعتمد على مقدار الهبوط في مستوى المياه الأرضية أو الضغط ، وعمق البئر ، والقطر الفعال للبئر ، ونفاذية الطبقة الحاملة للمياه . إن سعة المضخات ومتطلبات الطاقة لرفع كميات معينة من المياه إلى الإرتفاعات المطلوبة هي في الغالب معروفة ومفهومة جيداً ويمكن تحديدها من خلال حسابات بسيطة . إلا أنه من الصعب تحديد متطلبات الطاقة اللازمة لتحريك كميات معينة من المياه خلال الطبقات الرملية والحصوية الحاملة لها نحو البئر وذلك بسبب النفاذية غير المحدودة للرمل أو الحصو الذي تتحرك خلاله المياه .



(الشكل 7 - 5) آبار في وادي نموذجي .

7 - 5 - 1 : الآبار المحصورة Confined Wells :

الشكل (7 - 6) يمثل جريان شعاعي أفقي في طبقة محصورة حاملة للمياه سمكها (t) إلى بئر يتغلغل في كامل سمك الطبقة . يمكن التعبير عن التصريف الداخل إلى البئر بالمعادلة $Q = AV$. حيث أن المساحة الجانبية (A) لأسطوانة قطرها يساوي (r) والارتفاع (t) (وهي تمثل الجزء الفعال من البئر الذي تترشح المياه من خلال المساحة الجانبية) ، $\therefore A = 2\pi rt$. أما السرعة (V) خلال الأسطوانة فتستخرج بقانون دارسي $V = K\frac{dh}{dv}$ حيث K = نفاذية

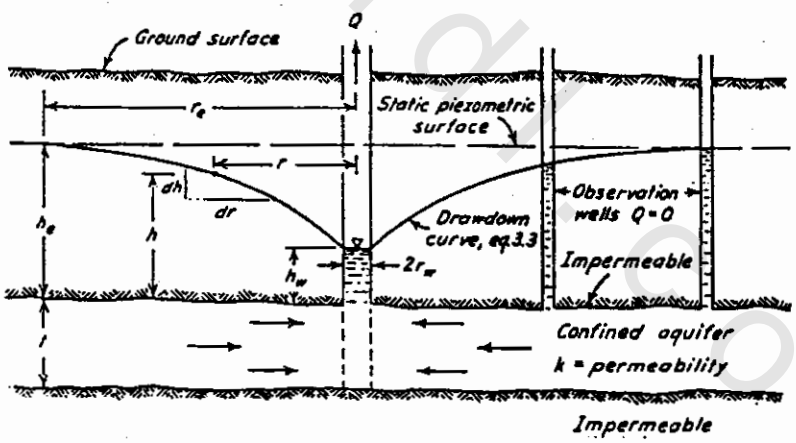
الطبقة الحاملة للمياه $\frac{dh}{dv}$ = ميل منحنى الهبوط في منسوب المياه حول البئر عند قطر r . وعليه فإن كمية الجريان الشعاعي نحو البئر ستكون :

$$Q = AV = 2\pi rtk \frac{dh}{dv}$$

ومن فصل المتغيرات والتكامل لهذه المعادلة بين الحدود he و hw بالمستوى العمودي وبين الحدود re و rw بالمستوى الأفقي ستكون النتيجة :

$$Q = \frac{2\pi kt (he - hw)}{2.310910 (re / rw)}$$

إن مقدار الهبوط (he - hw) يتناسب طرديًا مع التصريف ، في حين يتغير التصريف مع لوغاريتم قطر البئر ، لذلك عند مضاعفة قطر البئر فإن التصريف يزداد 10% فقط وزيادة قطر البئر أربع مرات سيزيد التصريف حوالي 20% فقط .



(الشكل 7 - 6) جريان شعاعي في حشرج محصور إلى بئر متغلغل تمامًا في الحشرج .

7 - 5 - 2 : الآبار غير المحصورة unconfined Wells :

يصبح البئر المحصور غير محصوراً عندما لا يتحدد الجريان بطبقة علوية غير نفاذة (الشكل 7 - 7) . في الآبار غير المحصورة يكون سطح الجريان هو منسوب المياه (السطح الأعلى) الأرضية حول البئر (وهو مستوى الضغط الجوي الذي تكون تحته المسامات مملوءة ومشبعة بالمياه في الطبقة الحاملة لها).

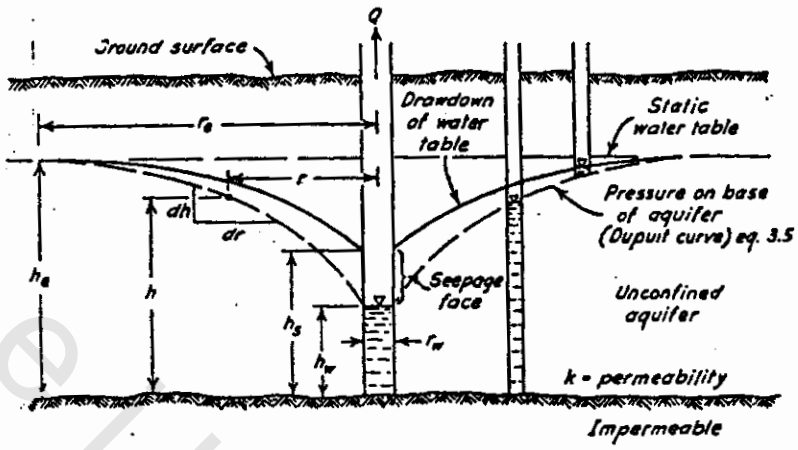
يمكن إيجاد هيدروليكية البئر غير المحصور بنفس الطريقة التي استعملت في البئر المحصور باستثناء استبدال السمك الثابت (t) للحشرج بسمك متغير مقداره (h) وعليه ستكون المعادلة كما يلي :

$$Q = AV = 2\pi rhk \frac{dh}{dv}$$

وبالتكامل للمعادلة أعلاه يبين نفس الحدود نحصل على :

$$Q = \frac{\pi k (he_2 - hw_2)}{2 - 310910 (re / rw)}$$

في هذه الحالة يتغير التصريف Q مع الفرق بين مربعي he و hw ، بينما في الآبار المحصورة يتغير التصريف Q مباشرة مع h (علاقة خط مستقيم) ، ويشترط في كلتا الحالتين عدم وجود تداخل مع آبار أخرى مجاورة (أي لا توجد آثار جانبية لجريان آبار مجاورة) . ونفس العلاقة موجودة بين التصريف Q وقطر البئر rw في كلتا الحالتين الآبار المحصورة وغير المحصورة .



(**الشكل 7-7**) جريان شعاعي في حشرج غير محصور إلى بئر متغلغل في الحشرج كليًا .

7 - 5 - 3 : الفرضيات المستعملة في اشتقاق معادلات التصريف :

يتم اشتقاق كلا معادلتي التصريف في الآبار المحصورة وغير المحصورة على افتراض جريان أفقي شعاعي خلال مواد متجانسة عموديًا علي سطوح أسطوانية شاقولية (عمودية) . كذلك تم افتراض جريان ثابت (لا يتغير مع الوقت) Steady Flow . وباستعمال معادلة دارسي $V = k\left(\frac{dh}{dv}\right)$. افترض على أن الجريان انسيابي (غير مضطرب) ، وفي حالة الجريان المحصور ثم افتراض أن سمك الطبقة الحاملة للمياه (t) ثابت .

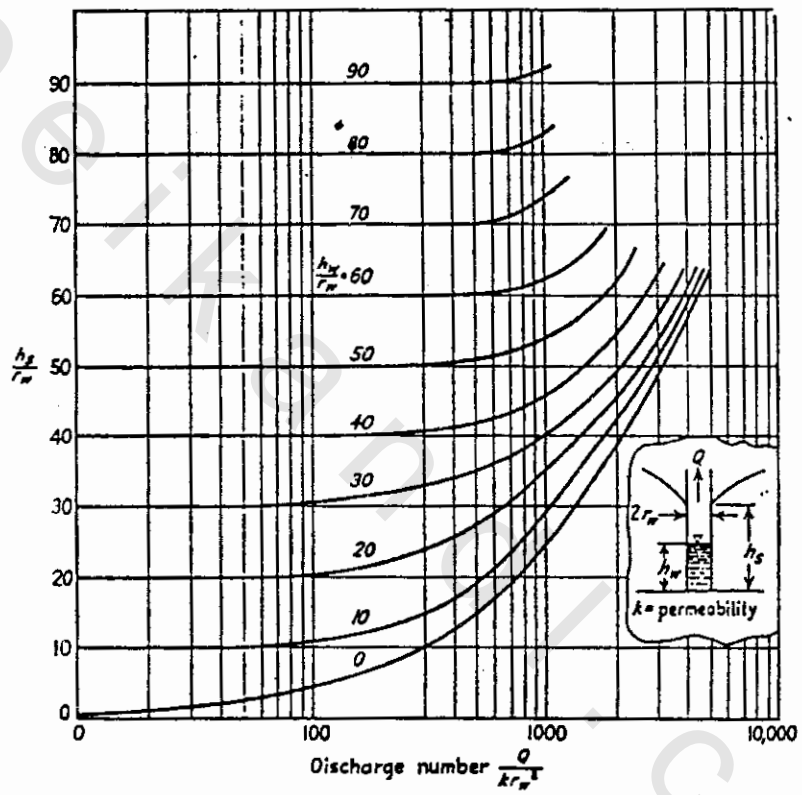
نادراً (إن لم يكن مستحيلاً) ما توجد ظروف حقلية تحقق جميع هذه الافتراضات ، إلا أنها على أية حال قريبة من الواقع في معظم الحالات . عند الأخذ بنظر الاعتبار هذه الافتراضات مع ما تتضمنه من نسبة خطأ في النتائج فإنه يمكن تقريبها بالشكل الذي يجعل هذه النتائج المستخرجة من المعادلات النظرية قريبة جداً من القيم الحقيقية للتصريف .

إن جريان المياه غير المحصورة في المنطقة القريبة المحيطة بالبئر ليس أفقيًا كما افترض . وعليه فإنه كلما اقتربنا من البئر كلما ازدادت نسبة الخطأ المتوقعة . وتبين معادلة التصريف الخاصة بالآبار غير المحصورة إن عمق المياه خارج البئر he يقترب من عمق المياه داخل البئر hw كلما اقترب نصف قطر أسطوانة الجريان re من نصف قطر البئر rw حتى يتساوى العمقان عندما يتساوى نصفا القطر (hw = he عندما rw = re) . أي أن ذلك لا يحدث في واقع الحال ويبقى منسوب المياه خارج البئر (عند سطح أسطوانة البئر تمامًا) أعلى من منسوب المياه داخل البئر ، أي أن الرشح نحو البئر سيكون خلال سطح أسطواني ارتفاعه hs في الآبار غير المحصورة (المياه الأرضية مرة غير محصورة من الأعلى) . لاحظ الشكل (7 - 7) . وستكون معادلة التصريف الصحيحة كالآتي :

$$Q = \frac{\pi k (he^2 - hs^2)}{2 - 310910 (re / rw)}$$

في كل معادلة التصريف Q في الآبار المحصورة وغير المحصورة يمكن التعويض عن he و re بمقدار h و r لأي نقطة وسطية أخرى (أي نقطة أخرى تقع بين نقطة قياس re وبين البئر) . ونظراً لكون hs مجهول بصورة عامة ولا توجد معادلة رياضية تربط بينه وبين hw الذي يمكن قياسه حقليًا بصورة مباشرة لذلك تم رسم العلاقة بين ما يسمى برقم التصريف ($\frac{Q}{Kr^2w}$) وبين النسبة $\frac{hs}{rw}$ كما مبين في الشكل (7 - 8). حيث أن رقم التصريف $\frac{Q}{Kr^2w}$ يمثل خاصية الهبوط في منسوب المياه الأرضية حول البئر (كلما زاد رقم التصريف كلما ازداد الهبوط) . في بعض الآبار غير المحصورة عند ضخ المياه منها ربما يكون منسوب المياه الأرضية المحاذي للبئر أعلى بكثير من سطح

المياه داخل البئر . إن ارتفاع سطح الرشح hs هذا يكون مهم جداً عندما تكون الآبار محفورة لغرض تخفيض منسوب المياه الأرضية (لأغراض البزل في الأراضي الزراعية أو في المناطق السكنية مثلاً) .



(**الشكل 7-8**) منحنيات تمثل العلاقة بين سطح الرشح Seepage face وعمق المياه في البئر وبين رقم التصريف $\frac{Q}{kr^2w}$ لبئر شعاعي غير محصور .

7 - 6 : الجريان غير الثابت من الآبار Unsteady flow from wells :

إن ظروف الجريان في البئر نادراً ما تكون ثابتة . فالتصريف أو عمق المياه كلاهما يتغير عادة مع الوقت . ومع ذلك يمكن تطبيق معادلات التصريف المذكورة في الفقرة 6 - 4 على الجريان غير الثابت unsteady flow لأن سرعة الجريان خلال الحشرج باتجاه البئر قليلة جداً بحيث يمكن إهمال الطاقة الحركية الناتجة عن هذه السرعة قليلاً .

عادة ما تواجه صعوبة في اختيار القيمة المناسبة لنصف القطر المؤثر re (وهو المسافة من مركز البئر إلى النقطة التي يبدأ عندها هبوط مستوى المياه الأرضية عند سحب المياه من البئر (لاحظ الشكل 7 - 7) وتنجم هذه الصعوبة من حقيقة كون منحنى هبوط مستوى المياه يقترب من المنسوب الاعتيادي للمياه الأرضية كلما ابتعدنا عن البئر وبصورة قليلة يصعب معها التمييز بين مستوى الهبوط ومستوى المياه الأصلي . ومع ذلك فإن الخطأ الكبير في القيمة الحقيقية لـ re لا يؤثر كثيراً على التصريف أو على منحنى الهبوط وذلك لاستخدام لوغاريتم نصف القطر في معادلة التصريف ، فمثلاً ينتج فرق (خطأ) أقل من 10% عند استخدام re = 500 قدم بدلاً من re = 1000 قدم وإن 2000 قدم تسبب فرق 10% أخرى من قيمة Q أو h . إن القيمة المعقولة لـre لفترة قصيرة من الضخ أو لحشرج صلد نوعًا ما هي حوالي 500 قدم . أما في فترات ضخ المياه الطويلة أو في الحشارج عالية النفاذية فإنه يمكن استخدام قيمة re مقدارها 2000 قدم .

عند استخدام معادلات التصريف ، فإن التصريف الرياضي الصحيح لنصف القطر المؤثر re هو المسافة بين مركز البئر ونقطة تقاطع منحنى مستوى الهبوط draw-down curue مع مستوى المياه الأرضية غير المتأثر (المنسوب الأصلي للمياه الأرضية) . في البئر المحصور Confind well ارسم قيم h مقابل قيم

لوغاريتم r ، ثم مد الخط المستقيم الناتج فوق الجزء الأكبر من نصف القطر (خط الهبوط) إلى الخط المستقيم الذي يمثل منسوب المياه الأصلي وعند تقاطع المستقيمين تحصل على re . أما في البئر غير المحصور ، ارسم قيمة h^2 مقابل لوغاريتم r ، وبنفس الطريقة مد الخط المستقيم الناتج (الذي يمثل خط الهبوط) حتى يتقاطع مع الخط المستقيم الذي يمثل منسوب المياه الأصلي . حيث أن المسافة بين نقطة التقاطع إلى البئر تمثل نصف قطر التأثير re .

7 - 7 : تحسين إنتاجية الآبار :

لا تقل عملية تحسين إنتاجية الآبار في أهميتها عن عملية حفر الآبار ذاتها. حيث أن الغرض الأساسي لإجراء عملية التحسين هو لزيادة كمية المياه المنتجة من البئر . وتتحقق هذه الزيادة من خلال تحسين وزيادة نفاذية التكوين الحامل للمياه والذي تجري خلاله المياه نحو البئر . أما الغرض الثانوي من عملية التحسين فهو لتحديد كمية المياه المتيسرة ومواصفات وحدة الضخ والطاقة التي يجب إنشائها على البئر .

وتعتمد الطريقة المستعملة لتحسين إنتاجية الآبار على نوع التكوين الجيولوچي المحفور فيه البئر ونوع المعدات المتوفرة . إذا كانت الطبقة الحاملة للمياه مكونة من الرمل والحصو فإنه يمكن تحقيق زيادة في إنتاجية الآبار بإزالة دقائق الرمل الصغيرة والغرين والطين من التكوين الحامل للمياه في المنطقة المحيطة مباشرة بجزء البئر الفعال (جزء البئر الذي ترشح من المياه) .

أما في حالة التكوينات الرسوبية المتصلبة فإن تحسين آبارها يمكن أن يتم بإذابة جزء من المادة المسمنتة (المواد الناعمة التي تعمل على مسك الدقائق الحبيبية مع بعضها) وذلك للحصول على فراغات أكبر وفتحات أوسع قريبًا من البئر . أما عندما تكون الطبقة الحاملة للمياه التي تغذي البئر صخرية التكوين فإنه من الضروري تكسير الصخور المحيطة بالبئر وعمل فجوات يمكن أن يجري

بها الماء نحو البئر . وفي جميع الحالات ينبغي إزالة المواد التي تحركت وترسبت في قاع البئر أثناء عمليات التحسين . ويتم ذلك عادة باستخدام مضخات الرمل (مضخات تستطيع سحب الرمل من الماء إلى خارج البئر) أو باستعمال أنابيب نزح خاصة . وينبغي توخي الحذر عند تنفيذ عمليات تحسين الآبار وذلك بعدم إزالة كميات كبيرة من المواد الناعمة من الطبقة المحيطة بالبئر لأن ذلك قد يؤدي إلى إنهيار الطبقات العليا المستندة على الطبقة التي أزيحت منها تلك المواد وبذلك يمكن أن تودي إلى غلق البئر نهائيًا . وفي حالة عدم انقطاع كميات الرمل أو الدقائق الناعمة التي تدخل إلى البئر فإنه من الضروري تغليف بطانة البئر بغشاء خاص يمنع دخول الدقائق الناعمة ويسمح بمرور المياه إلى داخل البئر .

وتستخدم طرق مختلفة في عمليات تنظيف وتحسين الآبار منها :

١ - طريقة الضخ :

تستخدم لهذا الغرض مضخة متغيرة السرعة وذات سعة عالية ، ويفضل عدم استخدام مضخات جديدة بسبب الدمار والاستهلاك الذي يصيب المضخات المستعملة في التنظيف عادة إضافة إلى إنخفاض كفاءة المضخة بسبب ما يفعله الرمل من تآكل وتعرية لأجزاء المضخة عادة . في بداية العملية يجب أن يبدأ الضخ بسرعة بطيئة . إن السرعة الثابتة للضخ تؤدي إلى إنتظام دقائق الرمل الناعمة وتراصفها في الفراغات بشكل يؤدي إلى تقليل كفاءة البئر ، لذلك يجب أن تزداد السرعة على مراحل وتبقى ثابتة لفترة مناسبة بين مرحلة وأخرى حتى ينقطع تواجد الرمل في مياه الضخ . ويستمر الضخ لحين الحصول على أقصى تصريف وعدم مشاهدة الرمل في مياه الضخ . حينئذ توقف المضخة عن العمل ويسمح لمنسوب المياه بالصعود إلى موقعه الأصلي ، وتعاد العملية إلى حين التأكد من عدم إمكانية سحب رمال أخرى من البئر .

٢ – طريقة الهواء المضغوط Compressed Air Methed :

طريقة الهواء المضغوط مناسبة جداً للآبار الصغيرة . ويجب أن يكون عمق المياه في البئر يساوي على الأقل ثلثي العمق الكلي للبئر . ومن الضروري أن يتراوح ضغط الهواء بين 100 إلى 150 با/نج 2(psi) ويجب أن لا تقل الطاقة المتوفرة لضاغطة الهواء عن الطاقة اللازمة لضخ السعة القصوى من البئر . وطريقة الهواء الأكثر فعالية هي التي تستفيد من الضغط والضخ (السحب) في آن واحد . يتم إدخال أنبوب هواء بقطر 2 إنج في أنبوب السحب للمضخة ذي قطر يتراوح بين 6 - 8 إنج بحيث تصل نهاية الأنبوب الهوائي قرب قعر البئر . حيث يمتد أسفل نهاية أنبوب السحب وتطلق كمية كبيرة من الهواء بصورة فجائية مسببة دفع المياه من البئر نحو الحشرج . ويرفع أنبوب الهواء إلى الأعلى داخل أنبوب السحب سيتولد فعل مص وسحب داخل البئر مما يسبب اندفاع المياه من الحشرج إلى داخل البئر . وبتكرار عملية رفع وإنزال أنبوب الهواء داخل أنبوب السحب تنتج حركة مياه متناوبة الإتجاه (مرة خارج البئر نحو الحشرج المحيطة به وأخرى نحو البئر من الحشرج) وتعمل حركة المياه هذه على رفع دقائق الطين والغرين والرمل الناعم وحملها إلى البئر . وبعد إنقطاع جريان الرمل يرفع أنبوب المضخة إلى الأعلى قليلاً لتنظيف جزء آخر من البئر بتكرار العملية إلى أن يتم تنظيف كافة الجزء المثقب من بطانة البئر . كما يستعمل الهواء المضغوط لإجراء ما يسمى بعملية الغسل التراجعي Baekwashing . في هذه العملية يتم إقحام الهواء المضغوط داخل البئر المغلق (مغلق من الأعلى بغطاء محكم) حتى ينخفض منسوب المياه في البئر إلى قمة التثقيب في البطانة (بداية التثقيب من الأعلى) ومن ثم يمرر الهواء المضغوط داخل البئر بفتح الغطاء بصورة فجائية حيث يتسبب ذلك في جريان معكوس (عند ضغط الهواء يجري الماء من البئر إلى الحشرج وعند تمريره ينعكس الجريان

ليكون من الحشرج إلى البئر) . وتعمل هذه الطريقة على تنظيف المنطقة المحيطة بالبئر من الدقائق الناعمة وبذلك تتحسن إنتاجية البئر .

3 – طريقة المكبس :

وهي واحدة من الطرق الأكثر شيوعًا وأكثرها فعالية في تنظيف الآبار وتحسين نوعيتها وخصوصًا في الحشارج الحصوية والرملية . وفي هذه الطريقة يتحرك مكبس غاطس داخل بطانة البئر صعوداً ونزولاً مسببًا حركة مياه تناوبية مرة إلى خارج البئر وأخرى إلى داخله . تبدأ حركة المكبس الغاطس بسرعة بطيئة بادئ الأمر ثم تزداد سرعة حركة المكبس تدريجيًا مع تقدم عملية التنظيف . عند نزول المكبس إلى الأسفل يندفع المياه بقوة من البئر إلى المنطقة المحيطة به من الحشرج وعند صعوده يتخلخل الضغط كثيراً وينخفض داخل البئر مما يعمل على تدفق المياه بقوة إلى داخل البئر من الحشرج دافعة معها الدقائق الناعمة إلى داخل البئر والتي تترسب في قعره . وهكذا تستمر العملية لحين إكمال التنظيف .

وتستعمل طرق أخرى أقل شيوعًا في تحسين إنتاج الآبار كالمواد الكيميائية والمتفجرات وبدرجات متفاوتة من النجاح . وتتطلب هذه العمليات خبرة ومهارة عالية لدى منفذ بها . حيث يستعمل حامض الهيدروكلوريك (محلول تركيز 15%) لتفكيك حبيبات الرمل المتماسكة مع الحجر الجيري ولتوسيع المسامات والشقوق في الصخور الحاملة للمياه المحيطة بالبئر . وتستعمل مواد كيميائية أخرى كمواد منظفة لإزالة الطين والغرين وكذلك الكلس والحديد وغيرها من المواد اللاصقة . أما المتفجرات فأنها تستعمل لتوليد اهتزازات في الصخور المحيطة بالبئر تعمل على تكسيرها وتفتيتها وزيادة عدد الشقوق والمفاصل فيها مما يزيد من عدد المسالك لمرور المياه من الصخور نحو البئر .

الفصل التاسع

التغذية غير المباشرة للمياه الأرضية في المناطق الجافة وشبه الجافة

9 - 1 تقديم

9 - 2 العمليات الفيزيائية التي تحكم حركة المياه الأرضية

9 -2-1 المياه الداخلة إلى المنطقة

9 -2-2 المياه الخارجة من المنطقة

9 - 3 الموازنة المائية والملحية في السهول الصحراوية

9 - 4 الاستنتاجات

9 - 5 مثال عن أثر التغذية غير المباشرة

obeikandl.com

obeikandl.com

9 - 1 : تقديم :

يشير مصطلح « التسرب المباشر Direct infiltration » إلى العملية التي بواسطتها تدخل المياه الجوية الأرض في موقع اصطدام هذه المياه بسطح الأرض، فيما يعني التسرب غير المباشر Indinect inf العملية التي بواسطتها (خلال الجريان السطحي) لجمع المياه الجوية بمجاري وأنهار أو منخفضات ومن ثم تدخل إلى الأرض . وتكافئ التغذية الإجمالية للمياه الأرضية كمية المياه التي تنصرف إلى الأسفل نحو المياه الأرضية . أما التغذية الصافية Net recharge فهي جزء التغذية الإجمالية الذي يصل منسوب المياه الأرضية ويسبب حركتها، أو بتعبير آخر أن كمية جريان المياه الأرضية تساوي كمية التغذية الصافية . ويمثل الفرق بين التغذية الإجمالية والتغذية الصافية الفقدان في المياه نتيجة عمليتي التبخر والنتح التي تحدث من القطاع غير المشبع بالمياه إضافة إلى ما يفقد بالقطاع المشبع .

وعليه فإن عمليتي التسرب والتغذية كلاهما يمثل حركة المياه عبر سطح يفصل بين وسطين :

* التسرب : من الجو إلى الأرض (الجو والأرض وسطين تتحرك بينهما المياه عبر السطح الفاصل) .

* التغذية : من القطاع غير المشبع إلى القطاع المشبع .

يمكن القول أن الصحاري تكونت نتيجة لاستلامها كميات ضئيلة من الأمطار . ومن الصعب أن نذكر هنا جميع العمليات التي تتضمنها التغذية والتصريف للمياه الأرضية أو كيفية تكوين كتل المياه الأرضية العذبة أو المالحة تحت الظروف الجافة وشبه الجافة . إلا أنه يمكن التركيز على مسألة تبادل المياه بين الغلاف الجوي والتربة والطبقات تحت السطحية ضمن الظروف القاسية

للصحاري . وبهذه الطريقة يمكن استنتاج طرق التنقيب الأكثر ملائمة للكشف عن وتحديد مصادر المياه الأرضية ذات القيمة والنوعية الجيدة .

في الفقرات التالية تبين العمليات الفيزيائية التي تتحكم بحركة المياه الأرضية في الصحاري المنبسطة والأهمية النسبية لهذه العمليات في تأثيرها وتأثرها بالقوى التي تعيق تلك الحركة .

* * *

9 - 2 : العمليات الفيزيائية التي تحكم حَرَكة المياه الأرضية :

تصنف العمليات الفيزيائية التي تؤثر على كمية وطبيعة وحركة المياه الأرضية على أساس كمية المياه إلى مجموعتين :

الأولى : كميات المياه الداخلة Input .

والثانية : كميات المياه الخارجة Out put .

ولكل عملية فيزيائية من هذه العمليات وظيفة معينة وتأثير خاص في الموازنة المائية للمنطقة موضوع البحث .

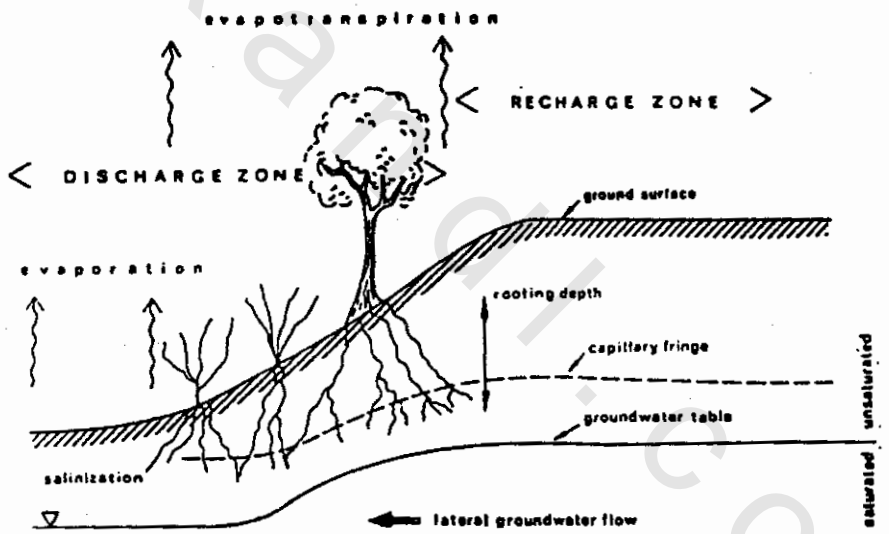
ومن الجدير بالذكر أنه ليست كل مياه داخلة تعتبر مفضلة في تكوين مصادر مياه عذبة قابلة للاستثمار ، ومن ناحية أخرى لا تعتبر كل كمية مياه خارجة ذات تأثير مضر على واقع مصادر المياه الأرضية .

كما نؤكد أن العمليات الفيزيائية التي نوضحها أدناه تعمل في أربعة قطاعات هي : 1 - الغلاف الجوي . 2 - سطح الأرض . 3 - قطاع الطبقات الأرضية غير المشبعة . 4 - القطاع المشبع . (لاحظ الشكل 9 - 1) .

ينبغي أن ندرك بأن أجسام المياه الأرضية تحت أي منطقة صحراوية معينة ليست محدودة من جميع الجوانب بحدود صماء لا تجري خلالها المياه (مع

استثناءات نادرة) . في معظم الحالات تنتهي المياه الأرضية (أدنى مستوى أوحد هيدروليكي لها) في نهر ، شاطيء بحري ، بحيرة ، أو في أرض سبخة بينما تبدأ المياه الأرضية (أعلى مستوى هيدروليكي) من منطقة التغذية التي تقع عادة في منطقة جبلية عالية وبعيدة عن المنطقة المستوية .

.لذلك لا يمكن أن تعتبر المناطق الصحراوية كوحدات هيدروديناميكية منعزلة. إنها تستلم جريان سطحي من المرتفعات الجبلية يدخل السهو بعد تجمعه في المناطق الجبلية ، هذا إضافة إلى الجريان تحت السطحي من المياه الأرضية الموجودة في المناطق المرتفعة المتاخمة لها .



(الشكل 9 - 1) العمليات الهيدرولوجية التي تؤثر بصورة مباشرة أو غير مباشرة على المياه الأرضية.

9 - 2 - 1 : المياه الداخلة إلى المنطقة :

إن الأمطار نادرة إلى نادرة جداً وعادة ما تنحصر في فصول مطيرة محدودة تتناوب مع فصول جفاف طويلة نسبيًا . وفي بعض الأحيان ، تشكل عواصف مطرية قليلة ذات كثافة عالية مجمل المطر السنوي تقريبًا .

إن مياه الأمطار غير نقية من وجهة النظر الكيميائية . إنها تحتوي على أيونات الصوديوم والكلور المشتقة من مصدرها الأصلي ، البحر ، أو من العواصف الترابية وخصوصًا التي تحتوي علي بخار الماء ، كما يمكن أن تحتوي على مواد أخرى سهلة الذوبان .

تساهم الأنهار المتكونة في الجبال والداخلة إلى السهول في الموازنة المائية للمناطق الصحراوية المنبسطة بدرجة كبيرة . حيث تتسرب المياه من مجرى النهر نحو الطبقات الأرضية التحتية أو خلال مواسم الفيضان من السهول المنعمرة نحو المياه الأرضية التي تقع تحتها مسببة تغذيتها .

أما المياه الأرضية الداخلة من خلال الحركة الجانبية (الأفقية) فهي تماثل تقريبًا تلك المياه الخارجة بالحركة الجانبية أيضًا .

* * *

9 - 2 - 2 : المياه الخارجة من المنطقة :

تعتمد عملية التبخر النتح على الطاقة الداخلة إلى المنطقة كأشعاع شمسي ورياح . عادة ما يتجاوز مقدار التبخر النتح كمية التساقط وفي معظم الحالات يتجاوز أيضًا كمية الماء السطحي النافذ إلى الأرض .

يحدث التبخر النتح في الأماكن التالية :

1 - من سطح الأرض ، من الأنهار ، الدرك والمستنقعات ، البحيرات ومن الترب الرطبة ومعظمه يتبخر .

2 – من القطاع غير المشبع وأكثره من خلال عملية النتح بواسطة النباتات.

3 – من النطاق المشبع (تحت مستوى المياه الجوفية) وكذلك بصورة أساسية من خلال عملية النتح .

أما الجريان السطحي من السهول الصحراوية فهو قليل جداً أو غير موجود أصلاً وذلك لعدم وجود تضاريس تؤدي إلى الجريان السطحي . إضافة إلى ذلك تتعرقل عملية الجريان السطحي من قبل الكثبان الرملية والمرتفعات الصغيرة يمكن توضيح الحركة الأفقية للمياه الأرضية بقانون باعتبارها حركة ثابتة حيث يعبر عن كمية الجريان الأفقي (Q) لكل وحدة عرض بالمعادلة التالية :

$$Q = K \times D \times G$$

حيث :

K = النفاذية .

D = سمك الحشرج .

G = الميل الهيدروليكي (الفرق بين الارتفاع الهيدروليكي خلال المسافة التي تقطعها المياه المتحركة) .

تتألف طبقات الأرض تحت السهول الصحراوية من مواد نفاذة تقريبًا . تعتمد نفاذية الوسط المسامي بدرجة رئيسية على حجم حبيبات المادة المكونة لذلك الوسط . تتميز المناطق الصحراوية بترسبات ناعمة الحبيبات كالطين والغرين والرمل الناعم ، ونادراً ما توجد مواد صخرية خشنة .

أما الميل الهيدروليكي فهو قليل جداً في المناطق المنبسطة ويظهر مما تقدم أن الحركة الجانبية أو الأفقية للمياه الأرضية في المناطق الصحراوية المنبسطة هي قليلة نسبيًا ونفس الشيء يقال للحركة الجانبية أو الأفقية للمياه الأرضية الداخلة إلى المنطقة لأنه الكمية الداخلة من المياه الأرضية هي اعتياديًا أكثر بقليل من المياه الأرضية وهذا الفرق البسيط يأتي نتيجة الميل الهيدروليكي

الأعلى عند إقدام الجبال المتاخمة من السهول الصحراوية ووفرة المواد الخشنة في حشارج تلك المناطق المحاذية للجبال .

* * *

9 - 3 : الموازنة المائية والملحية في السهول الصحراوية :

من غير معرفة الكميات العددية المضبوطة للمياه الداخلة والخارجة والتي تؤثر على الموازنة المائية في السهول الصحراوية ، فإنه يمكن استنتاج حقيقة مهمة وهي أن جميع العوامل التي تشجع الحركة الأفقية والجانبية للمياه (سواء كانت فوق أو تحت سطح الأرض) تقل فاعليتها بدرجة رئيسية نتيجة قدرة التضاريس التي تكسب المياه طاقة حركية . وهذا يعني أن الحركة الجانبية للمياه الأرضية لا تؤثر بدرجة كبيرة على الموازنة الكلية لمياه الأرض في حين تصبح الحركة العمودية للمياه هي السائدة التأثير . وهذا ينطبق تقريبًا على جميع المياه التي دخلت السهل الصحراوي حيث تغادره فقط من خلال عملية التبخر النتح تقريبًا . وخلال هذه العملية تترك جميع المواد الذائبة في المياه للتراكم داخل التربة مسببة في إرتفاع نسبة الأملاح المتراكمة . تلاحظ الأملاح المتراكمة بوضوح عند السطح أو قريبًا منه (خصوصًا في الأحواض والمسطحات) أي أنها تخزن في القطاع غير المشبع وقد تصل بصورة عرضية إلى المياه الأرضية حيث لا يمكن إزالة هذه الأملاح من المياه الأرضية إلا من خلال البزل أو الجريان الأفقي الخارج من المنطقة . إن كل من عمليتي التسرب والتبخر النتح تتضمن حركة عمودية للمياه وتلعب الدور الأكثر أهمية في تكوين المياه الأرضية في المناطق الصحراوية وفي تحديد نوعيتها وكلا العمليتين تعاكس إحداهما الأخرى . لغرض توضيح دور كل من العمليتين (التسرب والتبخر النتح) ينبغي أولاً توضيح تلك العوامل التي تقف ضد التغذية الصافية للمياه الأرضية .

إن النفاذية العمودية المنخفضة للتربة ستعرقل بالتأكيد عملية التسرب . تعرف السعة الحقلية على أنها كمية المياه التي تستطيع التربة الجافة تمامًا الاحتفاظ بها ضد القوة الجاذبية الأرضية بحيث لا تصرف هذه المياه في التربة بفعل الجاذبية . ويمكن التعبير عن السعة الحقلية بعمق المياه (إنج أو ملي متر) لكل وحدة عمق للتربة (قدم أو متر) . الجدول (9 - 1) يبين السعة الحقلية للأنواع مختلفة من الترب .

في المناطق الصحراوية الحارة ، يمكن اعتبار المتر الأول (على الأقل) جافًا من الناحية العملية عند نهاية موسم الجفاف . لذلك من الواضح ، إن جزءاً بسيطًا من الأمطار المتساقطة بعد الجفاف يبقى لينزل بفعل الجاذبية نحو الأسفل بعد تشبع التربة إلى حد السعة الحقلية ، أو ربما لا يبقى شيء من الأمطار الساقطة ينبغي عن حاجة التربة (المتر الأول) للوصول إلى السعة الحقلية.

نوع التربة	السعة الحقلية Mches/ foot	(m m / m)
Sond	1.2	100
Five sond	1.5	125
Sandy loam	1.9	158
fine sandy loam	2.5	202
loam	3.2	207
Silty loam	3.5	302
light clayey loam	3.7	315
Clayey loam	3.8	317
Heavy clayey loam	3.8	317
Clay	3.9	325

(**الجدول 9 - 1**) المياه التي تمسكها أنواع مختلفة من الترب (السعة الحقلية) .

إن عملية التبخر - النتح تستنفذ معظم أو جميع المياه من التربة مرة ثانية. وهذا التأثير يلاحظ بقوة في توازن (المياه - التربة) السنوي الكلي عندما تكون الفترات بين العواصف المطرية المتعاقبة طويلة بحيث تسمح لعملية التبخر النتح بإزالة معظم أو كل رطوبة التربة المتجمعة . ومن ثم يتطلب من التربة تجميع رطوبة تكفي للوصول إلى السعة الحقلية مرة أخرى . ولا ينحصر تأثير عملية النتح - النبخر على النطاق غير المشبع فقط . إذ أن كمية معينة من المياه الأرضية تفقد أيضًا إلى عملية التبخر - النتح ، وتعتمد هذه الكمية على منسوب المياه الأرضية وعمق وجذور النباتات النامية في المنطقة .

يجب ملاحظة أن معظم النباتات الصحراوية تمتد جذورها عميقًا لتأمين الكمية الكافية من المياه لنموها . وفي هذه الحالة يعتبر سمك الحافة الشعرية (ارتفاع المياه بالخاصية الشعرية) ، لاحظ الشكل (2 - 1) ذو أهمية خاصة لأن هذه الحافة تقع مباشرة فوق المياه الأرضية وتأخذ مياهها منها لتصل إلى النطاق غير المشبع . وبصورة عامة ، كلما كانت حبيبات التربة ناعمة أكثر كلما ازداد سمك الحافة الشعرية .

* * *

9 - 4 : الاستنتاجات :

يستنتج مما تقدم ما يلي :

1 - يزداد محتوى المياه الأرضية من الأملاح نتيجة ذوبان المواد القابلة للذوبان والموجودة في المواد العالقة والمواد التي تتخللها المياه الأرضية إضافة إلى الأملاح التي تأتي بها مياه الأمطار ومياه الأنهار .

2 - الطريقة الوحيدة التي يمكن بواسطتها إزالة الأملاح المتراكمة في

المنطقة الصحراوية وفي مياهها الأرضية هي الجريان الجانبي أو الأفقي (سواء كان سطحيًا أو ضمن المياه الأرضية) .

3 - ينخفض الجريان الأفقي أو الجانبي إلى أقل قيمة بسبب قلة الميل الهيدروليكي وبسبب النفاذية الواطئة عندما يكون الجريان الجانبي متعلق بالمياه الأرضية .

4 - الحركة العمودية للمياه هي السائدة في المناطق الصحراوية (إلى الأعلى بواسطة عملية التبخر - النتح وإلى الأسفل بواسطة عملية التسرب) .

5 - التسرب إلى المياه الأرضية (التغذية الصافية) يتضائل بسبب السعة الحقلية العالية نسبيًا للرسوبيات في المنطقة وبسبب العمق الكبير الذي يقع تحت تأثير عملية التبخر - النتح .

كما يلاحظ أيضًا أن التبخر - النتح الكامل يتجاوز كثيراً التساقط السنوي ، وأن كمية المياه اللازمة لتحقيق السعة الحقلية هي أعلى من كمية المياه المتجمعة للمعدل الأمطار الساقطة . إن المياه الراشحة خلال العواصف المطرية الشديدة الاستثمارية هي فقط التي ستصل إلى المياه الأرضية . ومثل هذه الحالات ستذوب الأملاح المتراكمة في القطاع غير المشبع ونفس نحو الأسفل إلى المياه الأرضية .

جميع الظروف والحالات التي ذكرت أعلاه تشبع تراكم الأملاح في المناطق الصحراوية وزيادة نسبتها في مصادر المياه الأرضية . وأصبح من الواضح أن تجمع المياه الأرضية العذبة يمكن أن يحدث في الأراضي الصحراوية المستوية تحت ظروف خاصة أهمها :

1 - يجب أن تتوفر الفرصة المناسبة للمياه الجوية لكي تتجمع على سطح

الأرض وتغمر منطقة معينة تترشح من خلالها هذه المياه المتجمعة إلى الأسفل نحو المياه الأرضية .

2 - يشترط أن تكون النفاذية العمودية للطبقات الأرضية تحت المياه الراكدة عالية بما يكفي لتغلغل المياه إلى الأسفل حتى تصل مستوى المياه الأرضية حيث ستكون عدسات ضخمة من الماء العذب فوق المياه الأرضية المالحة .

3 - يجب أن تكون المياه عميقة لمنع عملية التبخر - النتح التي تؤثر على المياه الأرضية العذبة بالشكل الذي يزيد من تركيز الأملاح فيها .

إن الأشكال المورفولوجية التي تسمح بحدوث التغذية الغير مباشرة للمياه الأرضية تتضمن ما يلي :

1 - مجاري الفيضان الومضي .

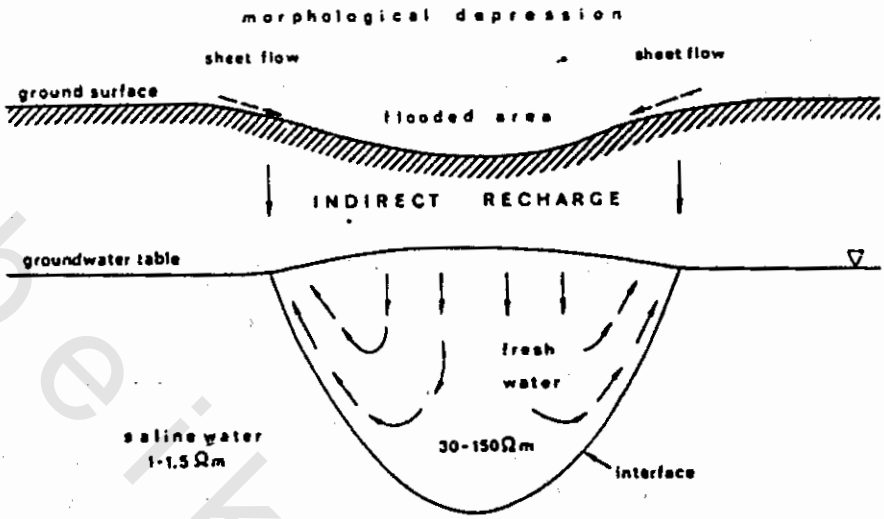
2 - مجاري الأنهار المتروكة .

3 - المنخفضات الضحلة .

4 - الوديان بين الكثبان الرملية .

يمكن أن تتكون مياه عذبة واسعة بحجوم كبيرة تحت السهول في أحواض الأنهار التي تجري نحو الصحراء (وهي حالة خاصة للتغذية غير المباشرة) .

إن عملية تكوين عدسات من المياه العذبة ليست عملية منفردة ومنعزلة . تثبت العدسات بتوازن ديناميكي بواسطة التغذية المستمرة من الأعلى (لاحظ الشكل 9 - 2) وأن شكل العدسات هو انعكاس لهذا التوازن . وإذا لم يثبت التوازن بأمطار متقطعة فإن العدسات سوف تنبسط وسوف تتلوث المياه العذبة بانتشار الأملاح فيها من المناطق المجاورة .



(الشكل 9 - 2) عدسات المياه العذبة تحت منخفض مورفولجي .

9 - 5 : مثال عن أثر التغذية غير المباشرة :

نورد هذه الأمثلة لتوضح طرق الكشف والاستثمار للمياه الأرضية العذبة :
هذا المثال يوضح دراسة المياه الأرضية لسهل بامبا Pampa في الأرجنتين .

معلومات عامة :

معدل التساقط السنوي 800 ملم

موسم الأمطار أيلول إلى آذار

التبخر - النتح الكامن حوالي 1200 ملم / سنة .

الغطاء النباتي حشائش ، مراعي مع بعض المحاصيل الحقلية .

أما الوضع الهيدرُوجيولوجي للمنطقة (لاحظ الشكل 9 - 3) فإن الجزء الأعلى من الطبقات الرسوبية تحت سهل البامبا والتي يتراوح سمكها بين 60-150 متر فهي رسوبيات هوائية Colian (جلبتها الرياح) العواصف الغبارية القادمة

من المناطق المواجهة لجبال الأنديز قد نقلت ولا زالت تنقل كميات هائلة من المواد ذات الحبيبات الناعمة مما أدى إلى تكوين ترب اللويس (Loess ترب نقلتها الرياح) بسمك كبير نسبيًا في سهل البامبا تلي هذا الجزء طبقات من الرمل والغرين غير متماسكة سمكها يتراوح بين 20 - 80 متر ، ويقع تحت هذه الطبقات رسوبيات ذات نفاذية منخفضة جداً ، اعتبرت على أنها الطبقة الصماء التي تحد المياه الأرضية من الأسفل .

إن حركة المياه الأرضية الأفقية الجانبية خلال الجزء الأعلى (60 - 150) متر تحت سهل البامبا بطيئة جداً بحيث يمكن إهمالها في الأجزاء اللويسية النقية ، في حين أن النفاذية في الجزء المتكون من الرمل والغرين (الطبقة ذات السمك 20 - 80 متر) عالية نسبيًا وتسمح بحركة المياه الأرضية إلى خارج المنطقة مما يسهل حركة الأملاح وغسلها إلى خارج المنطقة أرضيًا .

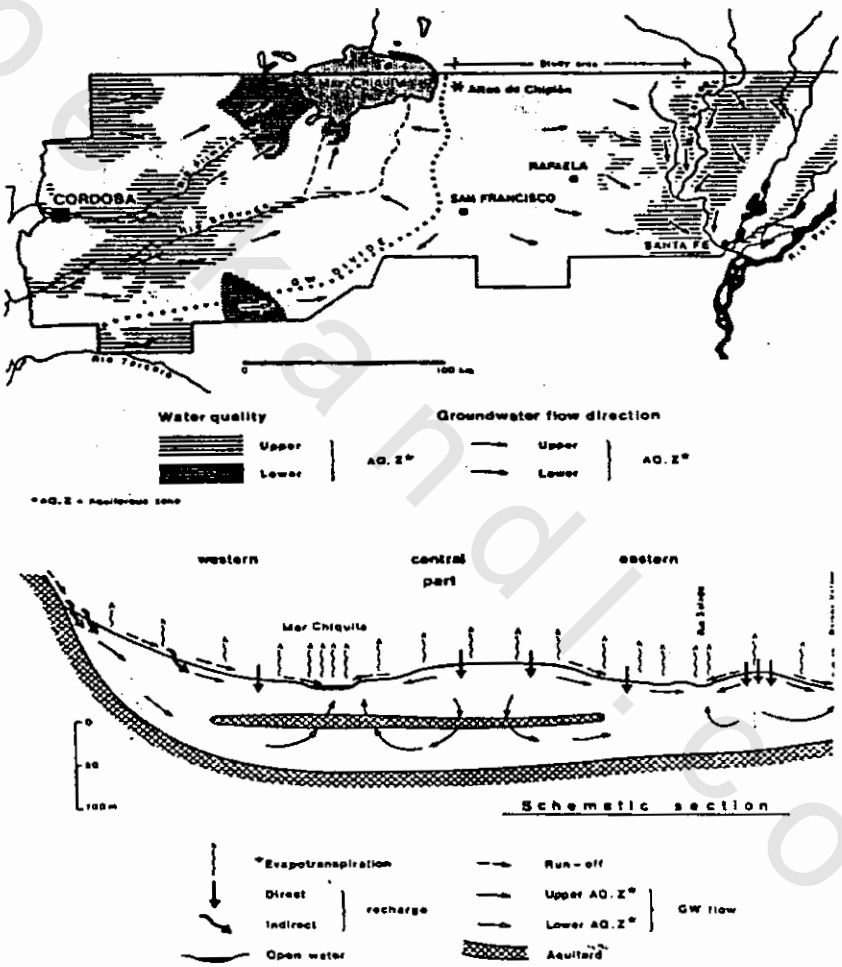
يمكن تقسيم سهل بامبا ضمن منطقة الدراسة إلى أربع وحدات من النواحي المورفولوجية والچيولوچية والهيدرولوچية وكما يلي :

1 - الجزء الغربي المحاذي للمناطق العالية والشديدة الانحدار . وهذا الجزء يتأثر كثيراً بالمواد الرسوبية الخشنة والمياه العذبة من خلال الأنهار التي تدخل السهل من الغرب . لذلك فإن تأثير الأنهار يكون من ناحيتين الأولى ترسيبها مواد أكثر نفاذية ، والثانية تساهم هذه الأنهار في مصدر المياه الأرضية العذبة للسهل .

2 - الجزء الوسطي لسهل البامبا . وهو أكثر أجزاء السهل انبساطًا . تتضمن الرسوبيات الحديثة 60 متر لويس غير متأثرة بالعمليات النهرية بصورة كلية . وتتلقى هذه المنطقة المياه من الأمطار فقط . يمكن أن يحدث الجريان السطحي فقط في الأجزاء الشرقية والغربية حيث يوجد الميل الضروري لهذا الجريان .

3 – نقل الأملاح خارج المنطقة يكون ممكنًا فقط عن طريق الحشارج العميقة.

4 – الجزء الشرقي ويحاذي مباشرة الجزء الوسطي وتظهر عليه بوضوح آثار التعرية التي تسببها روافد نهر بارانا ويوضح هذا الجزء من السهل العلاقة بين العمق إلى المياه الأرضية ودرجة ملوحتها .



(**الشكل 9-3**) هيدروجيولوجية سهل بامبا في الأرجنتين .

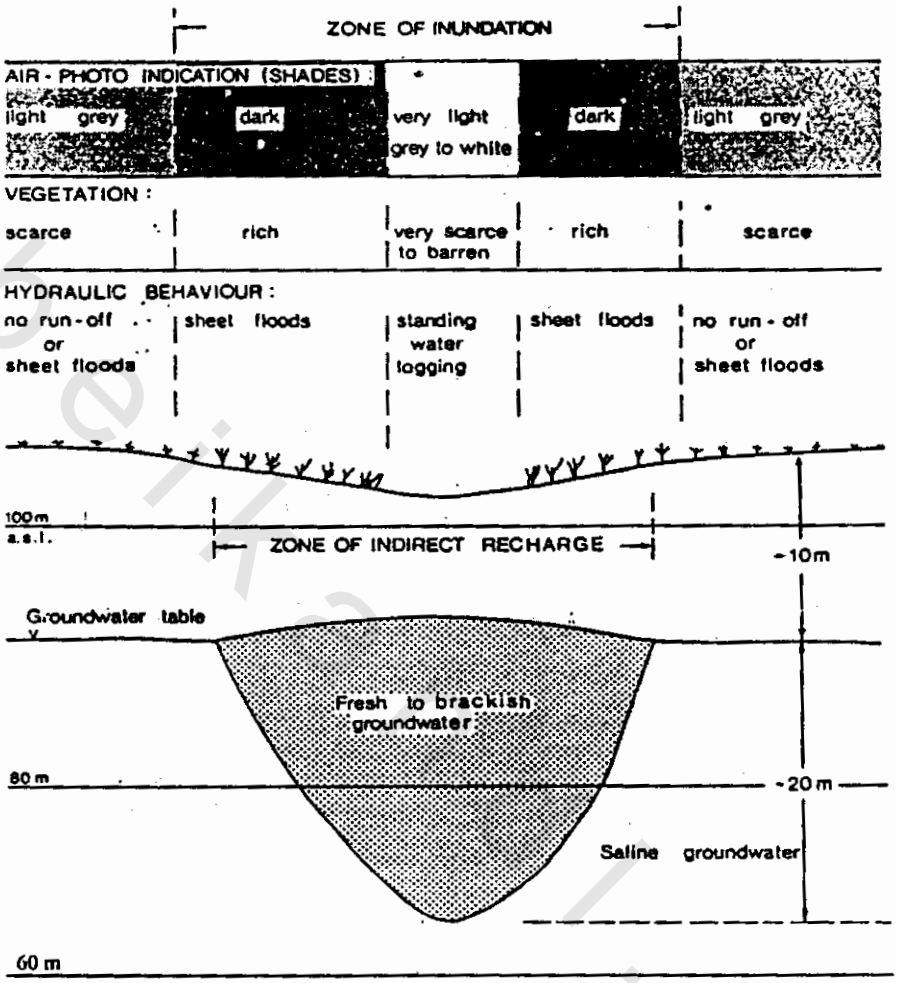
9 - 5 - 1 : الكشف عن المنخفضات المورفولجية ودورها الهيدرولوجي :

من خلال دراسة الصور الجوية اتضح وجود معالم جيومورفولجية لم تكن معروفة للباحثين في المنطقة . ويمكن تفسير الظواهر الجيومورفولجية من حيث شكلها ومظهرها كما يلي :

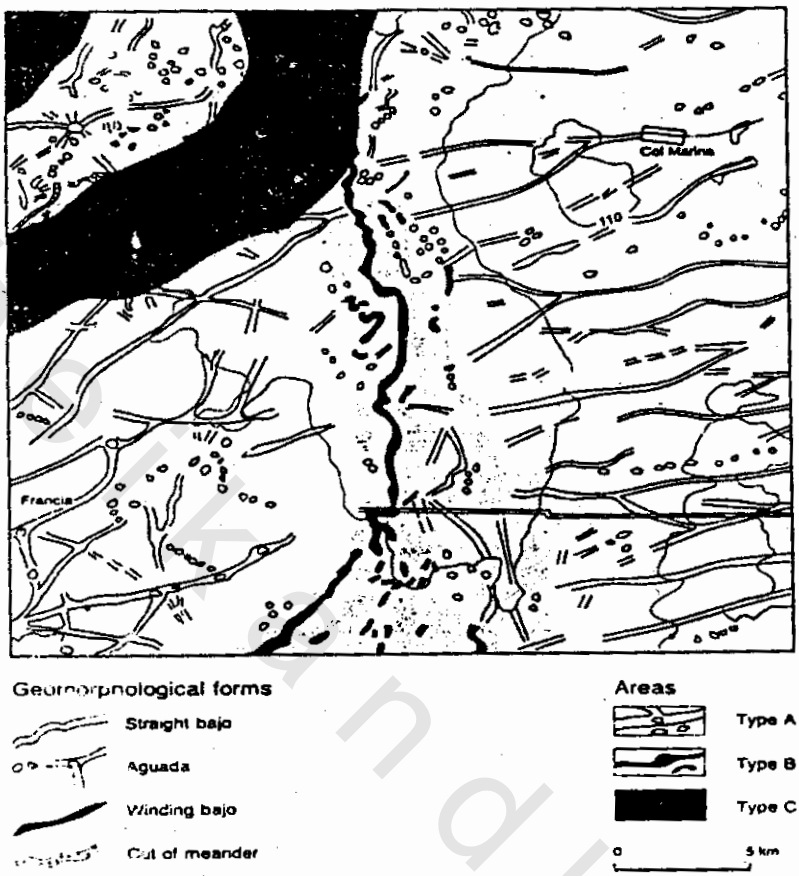
تظهر المنخفضات في الصور الجوية على شكل شرائح طويلة حوالي 4 كيلو متر طول و 200 متر عرض . ومعظمها يسير بصورة متوازية بين شريحة وأخرى حوالي 4 كم . وكل شريحة تتكون من شريحتين سوداء اللون تفصل بينهما شريحة أخف لونًا . والشكل (9 - 4) يوضح هذا التفسير .

إضافة إلى ذلك فإنه خلال المسح الهيدروچيولوچي للمنطقة وجد أن السكان المحليين يعرفون أهمية هذه المعالم المورفولچية ، إنهم لاحظوا بأن المياه تتجمع أحيانًا في هذه المنخفضات الصغيرة في السهل ويطلقون عليها اسم - « باجو bajos » .

بعض السكان المحليون يقدرون قيمة هذه الباجو كمصدر للمياه الأرضية العذبة التي تحيط بها مياه مالحة . وبذلك فهم يحفرون آبارهم في هذه المنخفضات (في محور الشريحة عادة) الشكل (9 - 5) يوضح ثلاثة أنواع من المناطق المختلفة مورفولوچيا والمألوفة في الجزء الوسطى والجزء الغربي من سهل بامبا .



(الشكل 9 - 4) تفسير الصور الجوية لمنخفض فورفولجي « باجو » مع توزيع التغذية غير المباشرة . الشريحتان السوداوات تمثلان مناطق غنية للنباتات مقارنة بالغطاء النباتي في السهل المنبسط. تقع هذه الشرائح عند حافات المنطقة المغمورة بالمياه من المنخفض « الباجو » وهذا الجزء ينغمر بالمياه لفترة قصيرة نسبيًا نتيجة فقدان المياه المتجمعة بالتسرب نحو الأسفل . في الجزء الوسطى من الباجو « المنخفض » من المحتمل أن تبقى المياه لفترة أطول مما يؤدي إلى تغدق التربة الذي يمنع نمو النباتات . لقد أشارت نتائج الدراسات الحقلية الهيدروجيولوجية إلى أن عرض عدسات المياه الأرضية العذبة تحت الباجو تساوي المسافة بين الحافات الخارجية للشريحتين السوداوين .



(الشكل 9-5) المعالم الجيومورفولجية في سهل الياميا كما فسرت من الصور الجوية .

منطقة النوع A : مورفولوجيًا ، أقدم نوع من المنطقة يتكون من ترسبات هوائية (لويس) . والأشكال الجيومورفولجية المميزة الوحيدة هي منخفضات (باجو) طويلة مستقيمة تقريبًا مع قطع وفضلات من المنخفضات الطويلة على شكل دوائر متسلسلة .

منطقة النوع B : هي أحدث من النوع A ومنخفضة طوبوغرافيًا مع مياة أرضية قريبة من السطح . وذات ترسبات هوائية كما في A . وفي هذه المنطقة تسمى المنخفضات المورفولوجية « باجو » أيضًا من قبل الأهالي إلا أنها ذات تأثير هيدروليكي معاكس لمنخفضات النوع A وذلك لأنها تعمل كمبازل لصرف المياه خارج المنطقة عكس منخفضات النوع A التي تغذي المياه الأرضية .

منطقة النوع C : هذا الجزء يقع ضمن المنطقة التي تتعرض للغمر بمياه الفيضان القادمة من الأنهار التي تدخل السهل من الغرب . حيث أن المعالم القديمة الموجودة في نوع A ونوع B غير موجودة في النوع C ، إذا إن المعالم السائدة في هذا النوع أحدث من غيرها .

9 - 5 - 2 : توزيع المياه الأرضية المالحة والعذبة في وحول المنخفضات المورفولوجية :

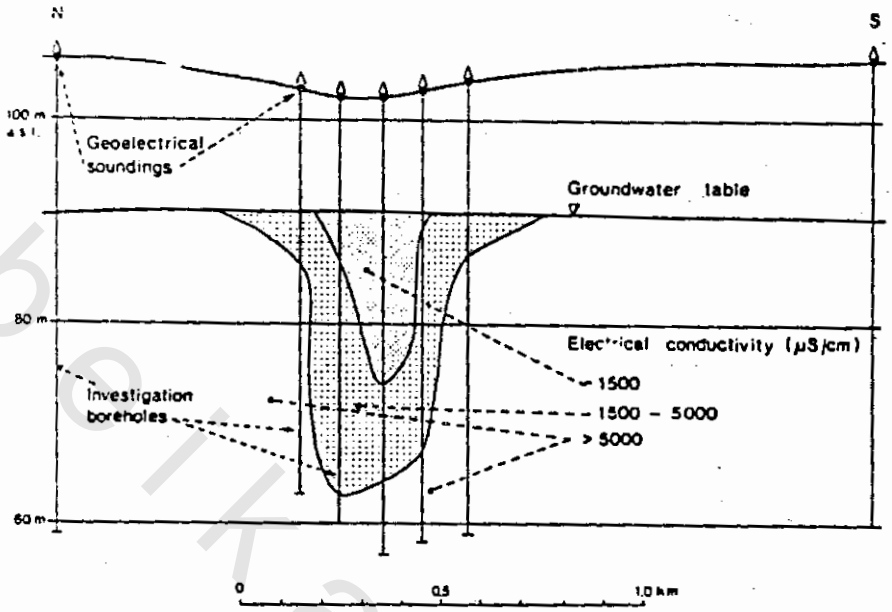
بعد الكشف عن العلاقة بين المنخفضات المورفولوجية وتواجد المياه الأرضية العذبة تم إجراء دراسة هايدرولوجية مفصلة غطت جميع المساحة موضوع البحث في سهل بامبا . ثم أخذ نماذج من المياه الأرضية في الآبار المحفورة في المنطقة لغرض تحليل نوعية تلك المياه وكانت النتائج :

وجد إن المياه الأرضية للآبار الضحلة المحفورة ضمن المنخفضات المورفولوجية تحتوي على ملوحة أقل من الآبار المحفورة في السهل المنبسط حتى وإن كانت قريبة من الباجو .

لأجل إيجاد الشكل الهندسي لعدسات المياه العذبة تحت المنخفضات المورفولوجية وتوزيع الملوحة ضمن هذه العدسات نفسها . ثم إجراء دراسة عن طريق حفر آبار الفحص والطرق الجيوكهربائية وفحوصات الضخ في المنطقة . كما تم الاستفادة من الخرائط والطوبوغرافية (مقياس 50000 : 1 الفرق بين خط كنتوري وآخر 1.25 م) لتحديد المعالم المورفولوجية للمنطقة .

تم حفر 24 بيزومتر بعمق يتراوح من 40 إلى 50 متر وأجريت خلال الحفر قياسات مستمرة للإيصالية الكهربائية . كما تم إجراء فحوصات جيوفيزيائية لبيزومترات منتخبة داخل وقرب المنخفضات (الباجو) .

الشكل (9 - 6) يوضح مقطع عمودي لعدسة مياه عذبة تحت أحد المنخفضات حيث يتضح أن المياه الأرضية ذات النوعية الأفضل توجد تحت محور المنخفض (تحت المركز) . ويلاحظ التداخل بين المياه العذبة والمالحة حيث لا يوجد حد فاصل واضح بينهما ، لذلك يوجد قطاع وسطي ذو مياه متوسطة الملوحة .



(الشكل 9 - 6) مقطع عمودي خلال عدسة مياه أرضية عذبة تحت الباجو (منخفض مورفولوجي) .

المراجع

المراجع الأجنبية References

1. SENGPIEL, K.P. (1986) : Groundwater Prospecting by multifrequency airborne EM techniques - Geological survey of Canada, Paper 86 - 22 "Airborne Resistivity Mapping".

2. SENGPIEL, K.P. (1988) : Approximate inversion of airborne EM data from a multilayered ground. - Geophys. Prosp., 36; 446 - 459.

3. GLOVER, R.E. (1964) : The Pattern of fresh water flow in acoastal aquifer. - Geological survey water - Supply paper, 1613-C: 32-34; washington.

4. SCHMORAK, S. - A. MERCADO (1969): VPconing of freshwater- Sea water interface below pumping wells. - Water Resources Research, 3, 8: 1290 - 1311.

5 - ORSON & HANSEN, UTAH STATEUNIVERSITY, : Irrigation Principles and Practices, Third Edition.

obeikandl.com

المراجع العربية :

1 – الدكتور عدنان النقاش ، الدكتور مهدي محمد علي الصحاف : «الجيومورفولوجي » مطبعة جامعة بغداد 1989 .

2 – الدكتور أحمد سعيد حديد ، الدكتور مهدي محمد علي الصحاف ، الدكتور وفيق حسين الخشاب : « علم الجيومورفولوچيا » (1980) .

3 – الدكتور حسن سيد أحمد أبو العينين : « أصول الجيومورفولوچيا » .

obeikandl.com