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

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، فأ 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 الجيولوجي 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 الهيدروجيولوجية الناتجة من هذا العمل مع الخارطة الجيولوجية التقليدية . مثال ذلك ، لأجل بعض الأغراض الهيدروجيولوجية، تصنف

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

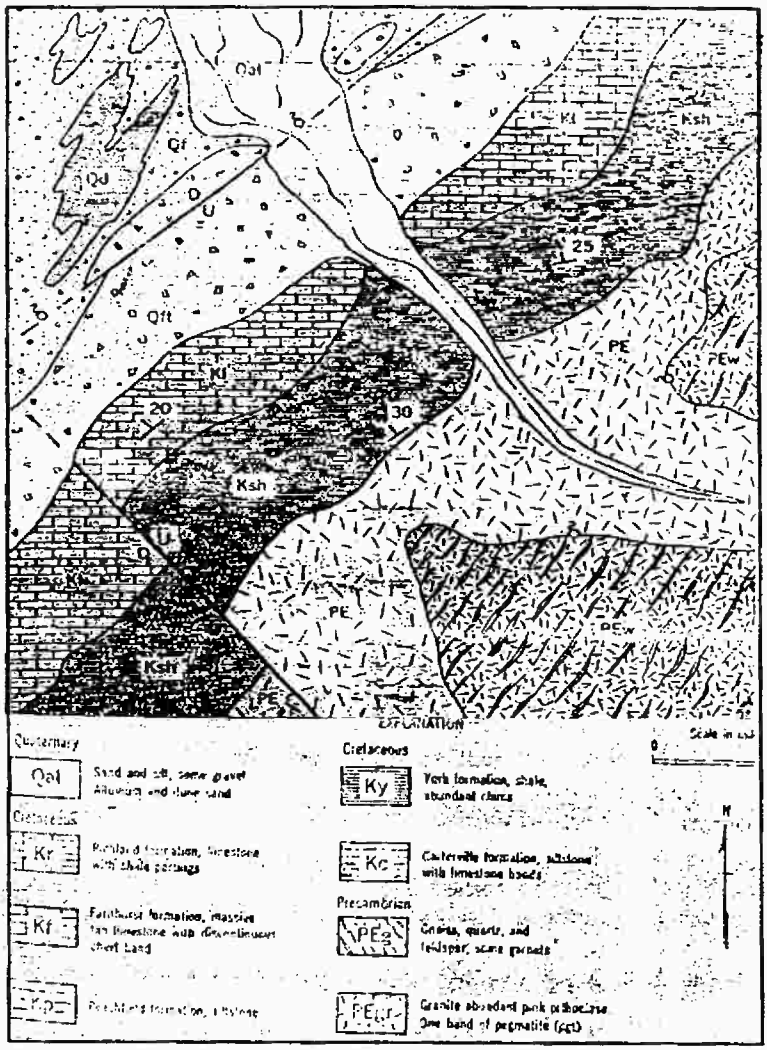
من ناحية أخري تميز الرسوبيات عن بعضها في الخرائط الهيدروجيولوجية مثل الطين ، الحصى ، والرمل والتي من الاعتيادي تصنيفها كوحدة واحدة . والشكل (2-1) يبين بعض الاختلافات في التفاصيل بين الخرائط الجيولوجية التقليدية والخرائط الهيدروجيولوجية .

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 .

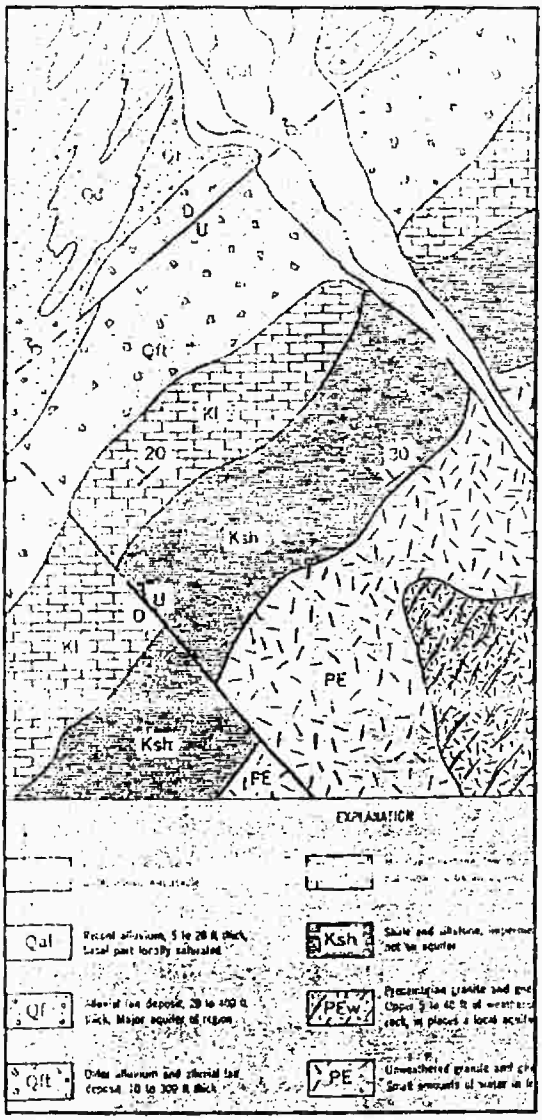
أما علم الجيولوجيا البنائية فأنه يستعمل بالاشتراك مع علم الطبقات لتحديد الطبقات الحاملة للمياه التي أزيحت نتيجة حركات الأرض . وتستعمل الدراسات الجيولوجية البنائية أيضًا في تعيين مواقع المساحات الجزئية المتواجدة ضمن صخور عالية الكثافة لكنها هشة . في الرسوبيات غير المتصلبة، يمكن أن تشكل الصدوع والشقوق 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.

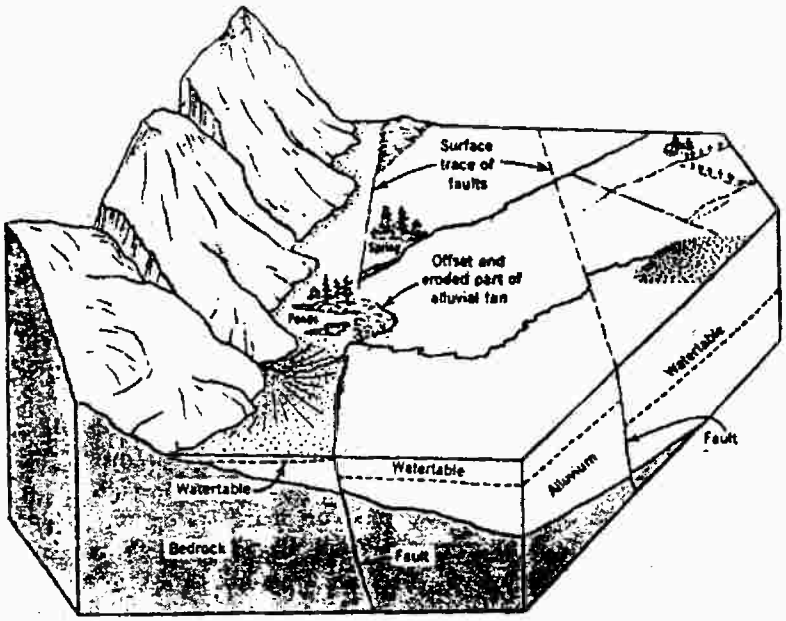


الشكل (2 – 1 – أ) خريطة هيدروجيولوچية لنفس المنطقة في الشكل (ب)



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 للمياد 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 المياد الأرضية فى المناطق الصحراوية مما فى المناطق المطيرة التى تمتلك نفس البيئة الجيولوچية .

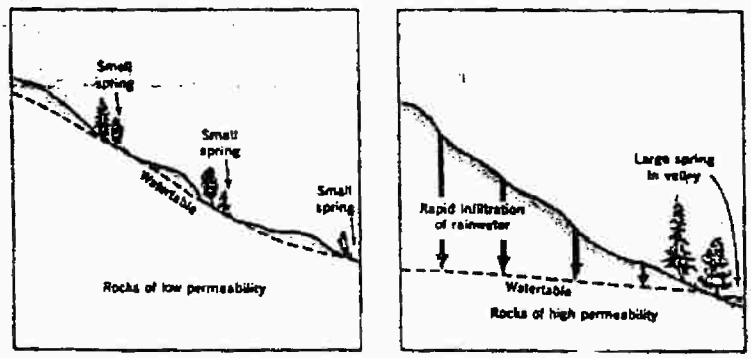
تعتبر سهولة التغذية عامل هيدرولوچي آخر ذو أهمية في عملية الكشف عن المياه الأرضية . إن السطوح الصماء كالطفل (حجر السجيل) ، الطين ، والكوارتزايت Quartzite تعمل على إيجاد جريان سطحي سريع وتمنع التغذية الكافية للمياه الجوفية . ويمكن إيجاد التغذية أو سعة التسرب لأى سطح عن طريق أنواع مختلفة من الأجهزة والمعدات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

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 .

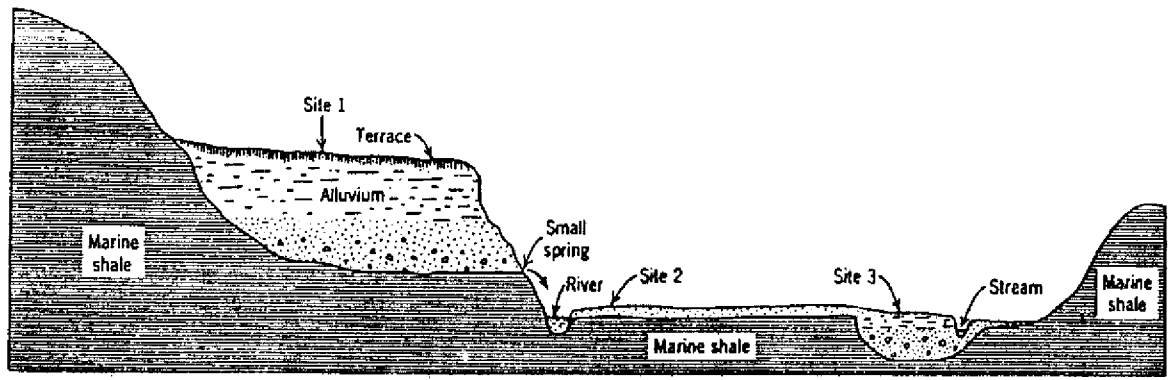
لابد من تحديد كمية المياه الأرضية المستنفذة من قبل الينابيع وعمليات التبخر والنتح في المنطقة أثناء إجراء برامج التحري والكشف عن المياه الجوفية. ويتم تحديد هذه الكمية المستنفذة من خلال قياسها تجريبيًا في الحقل أو حسابها بالطرق الرياضية المناسبة والمعروفة . إذ إن التصريف الطبيعي للمياه الأرضية يشير بوضوح 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 تنبع 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 بئراً 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 الهيدرولوجية والمعلومات الجيولوجية 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 الهيدرولوجية والجيولوجية . 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 فان 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 بنفاذيات 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

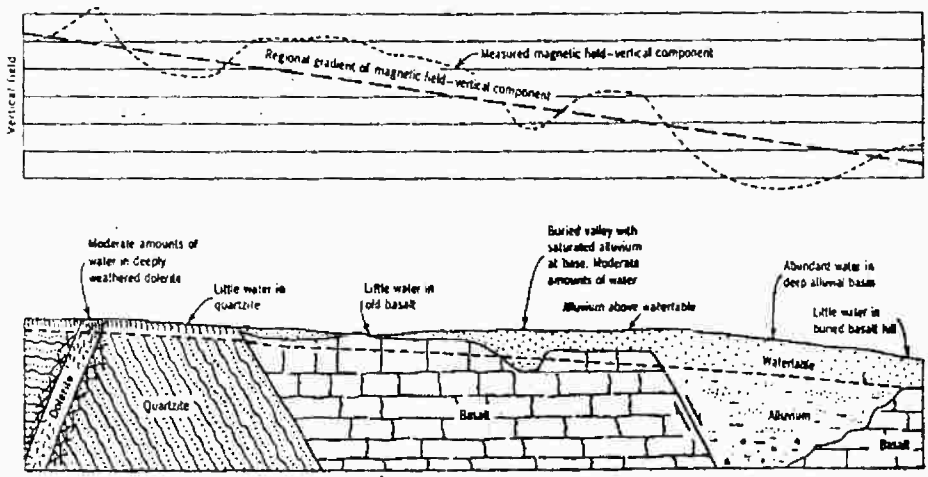
رئيسيه : البندول Pendulum ، الكرافيميتر Gravimeter ، والميزان الالتوائي Torsion balance

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 .

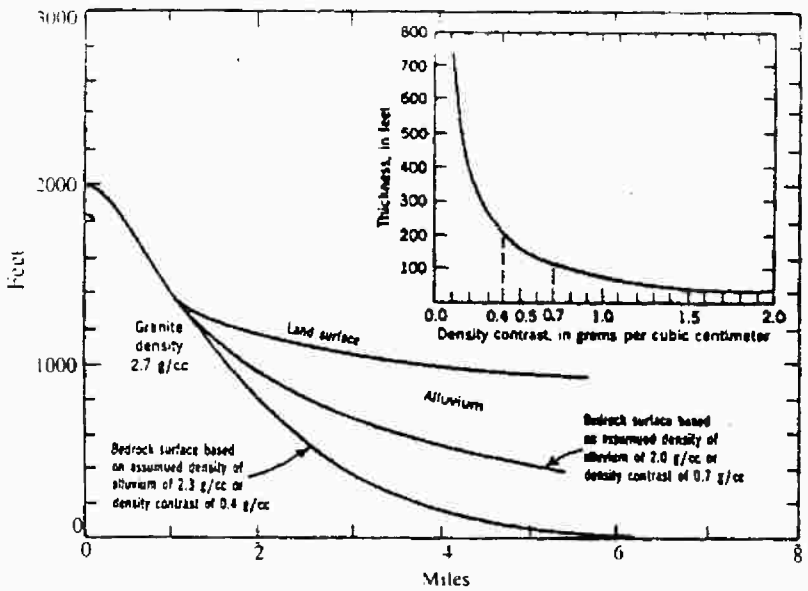
يعتمد التفسير الأفضل لتغيرات الجاذبية على عدد من التصحيحات في الارتفاع ، خطوط العرض ، الطوبوغرافية ، والجيولوجيا المحلية وعلى الافتراضات الجيولوجية المعقولة المتعلقة بانحرافات الجاذبية الباقية بعد التصحيح . من الناحية النظرية ، يوجد عدد من التفسيرات المحددة الممكنة . إذا وضعت الافتراضات اعتماداً على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

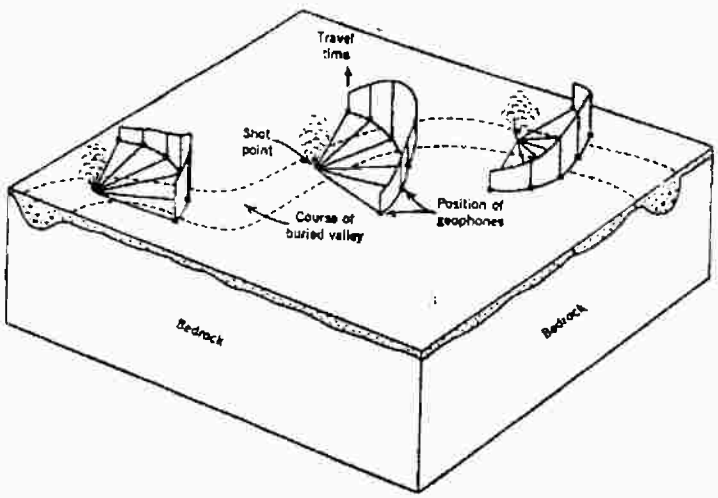
(1 ملي كال هو تعجيل مقداره 10^{-3} سم / ثا^2 أو بصورة تقريبية واحد بالمليون من التعجيل الناتج عن الجاذبية الأرضية)

2 - 4 - 3 : الطرق الزلزالية Seismic Methods :

إن أكثر الطرق دقة وفائدة هي الطرق الزلزالية ، وعلى عكس الطرق المغناطيسية وطرق الجاذبية ، لا تقيس الطرق الزلزالية مجال قوة طبيعية بل تقيس رد فعل الأجسام الجيولوجية إتجاه اهتزازات مستحثة إصطناعياً . 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 نقطة التفجير (الاحظ الشكل 2 - 8) . حيث تتقدم الموجات المشعة من نقطة التفجير بجبهات كروية إذا كانت المادة التي تمر خلالها هذه الموجات متجانسة وموحدة 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

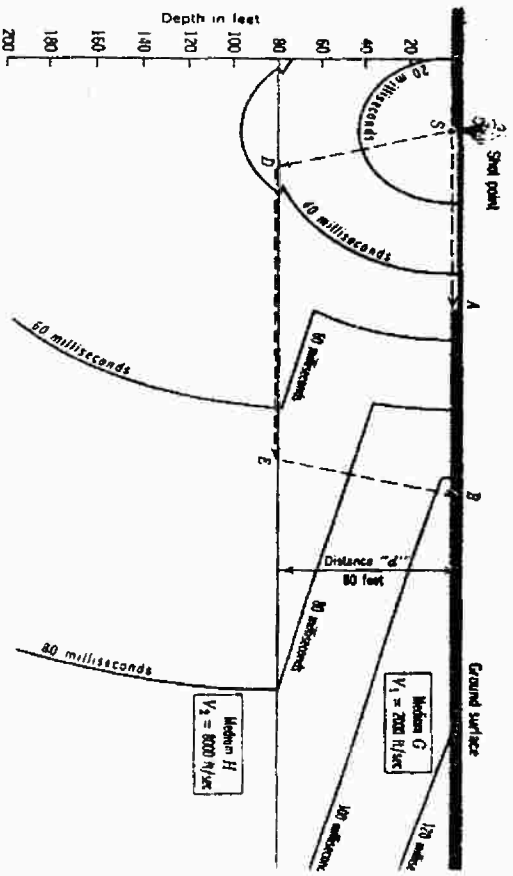
r = زاوية الانكسار

v_1 = السرعة في الوسط الأول

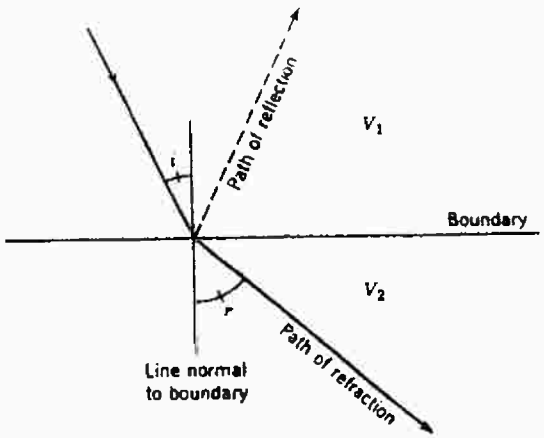
v_2 = السرعة في الوسط الثاني (لاحظ الشكل 2 - 9)

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 الخيالية 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 :

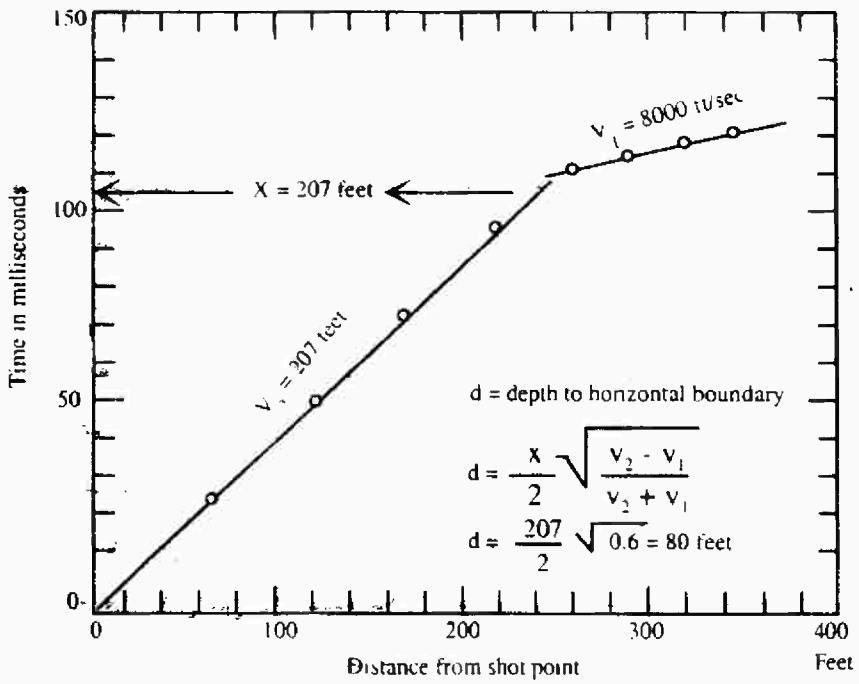
$$DE = X - 2d \tan i$$

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.



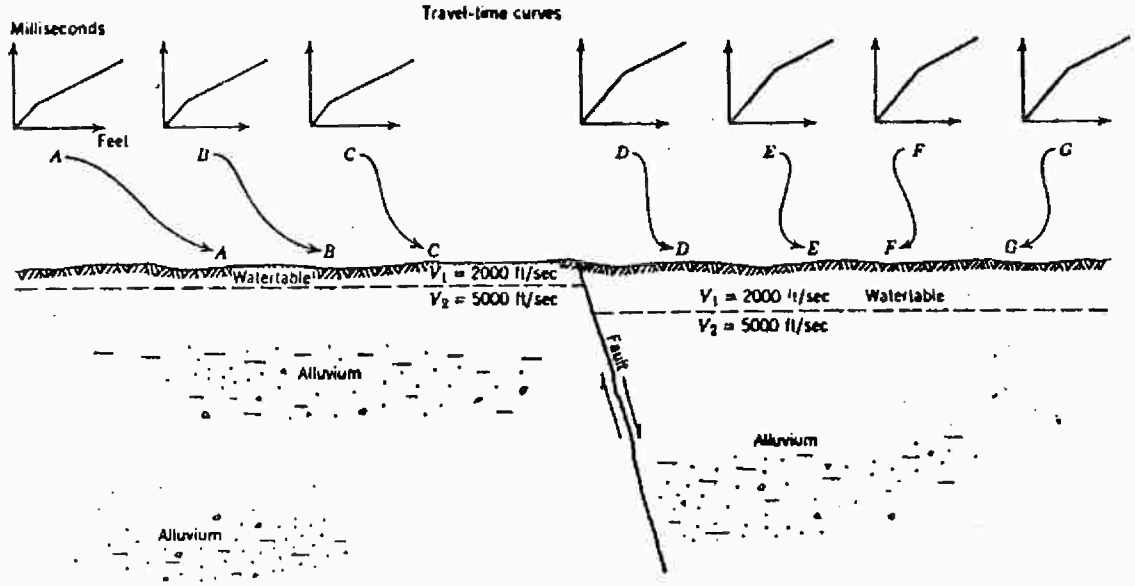
الشكل (2 - 10) منحنى الزمن الحركة Travel-Time curve للمثال المذكور في الشكل (2-8) المعادلة المستخدمة لحساب العمق إلى السطح الفاصل بين الطبقتين (وسطى الانتشار) تعتبر مفيدة فقط في حالة كون سطح الأرض والسطح الفاصل التحتي متوازيين. الدوائر الموجودة على المنحنى تمثل البيانات المسجلة بواسطة الكاشفات.

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

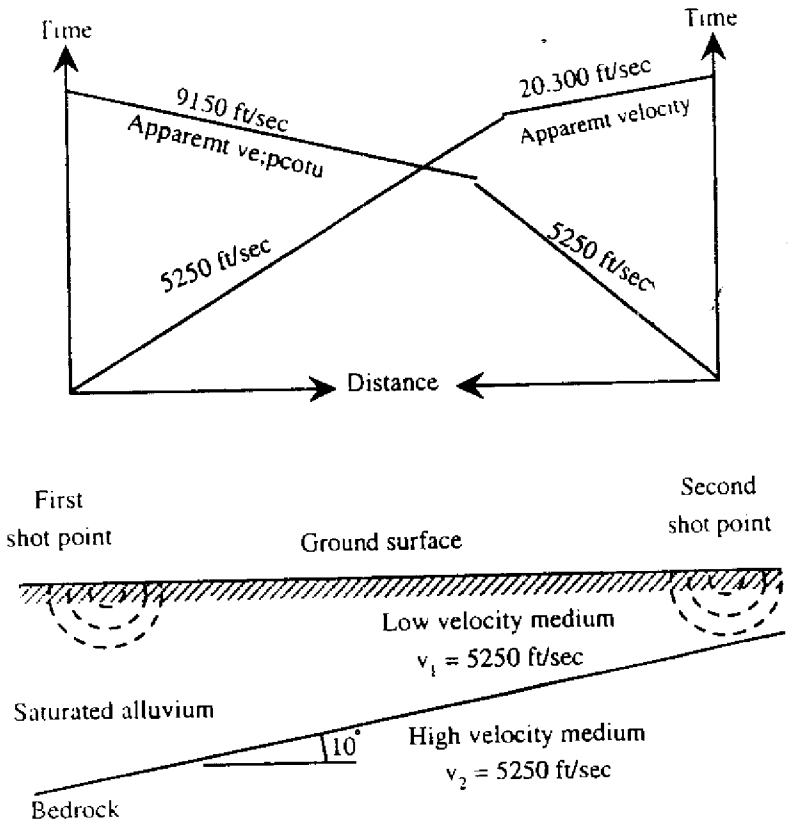
basalt أو الحجر الجيري الصلد سوف تسبب إنحراف الموجات كما مبين في الشكل (2-14) . ولا يوجد هناك تسجيل مباشر للطبقات التي تقع تحتها يمكن الحصول عليه . أما النقطة السلبية الثانية والمهمة فهي الكلفة العالية لعمل المسوحات الزلزالية . إذ إنها تحتاج إلى كمية عالية من المعدات المتخصصة والفنيين المتخصصين مما يجعل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

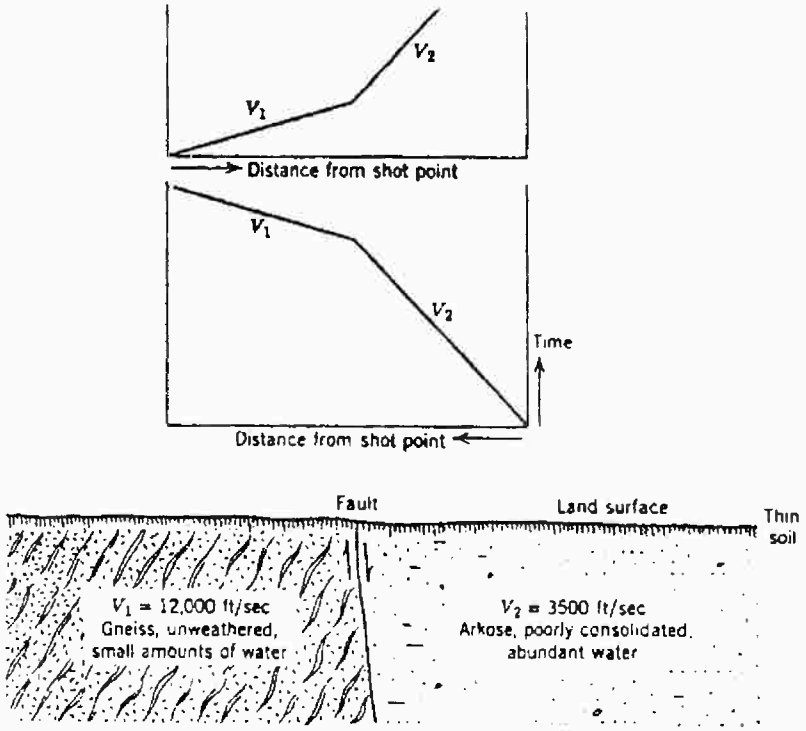
تشير الدراسات النظرية والعملية بأن الفروقات في المسامية وحجم حبيبات تكوين الحشارج الرسوبية يمكن تمثيلها والتعرف عليها من خلال دراسة خواص الامتصاص للطاقة المنكسرة عند ترددات مختلفة . لقد وجد إن خصائص الامتصاص تتعرض إلى تغيرات كبيرة ، في حين أن السرع بين السطوح الفاصلة تتغير بفروقات بسيطة يصعب تمييزها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



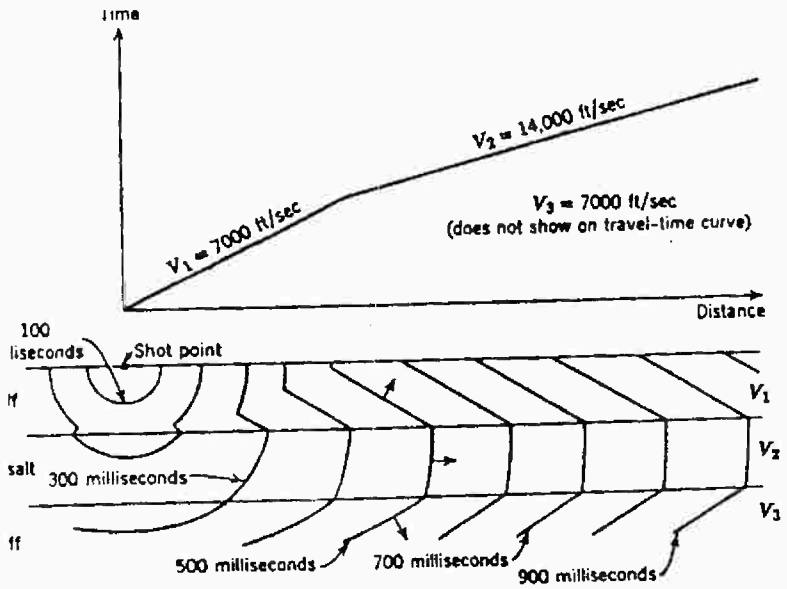
الشكل (2 -11) استعمال الطرق الزلزالية الانكسارية لتحديد منسوب المياه الأرضية على امتداد الصدع حيث ينخفض المنسوب بعد الصدع تبعًا لانخفاض الطبقة الرسوبية الغرينية Alluvium الحاملة للمياه يجب ملاحظة أن مقياس الرسم الأفقي في منحنيات الزمن - الحركة يختلف عن مقياس الرسم الأفقي للطبقات الأرضية .



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 إنجاء هذه الجبهة نحو الأعلى تاركة الطبقة الصلبة (البازلت) .

• • •

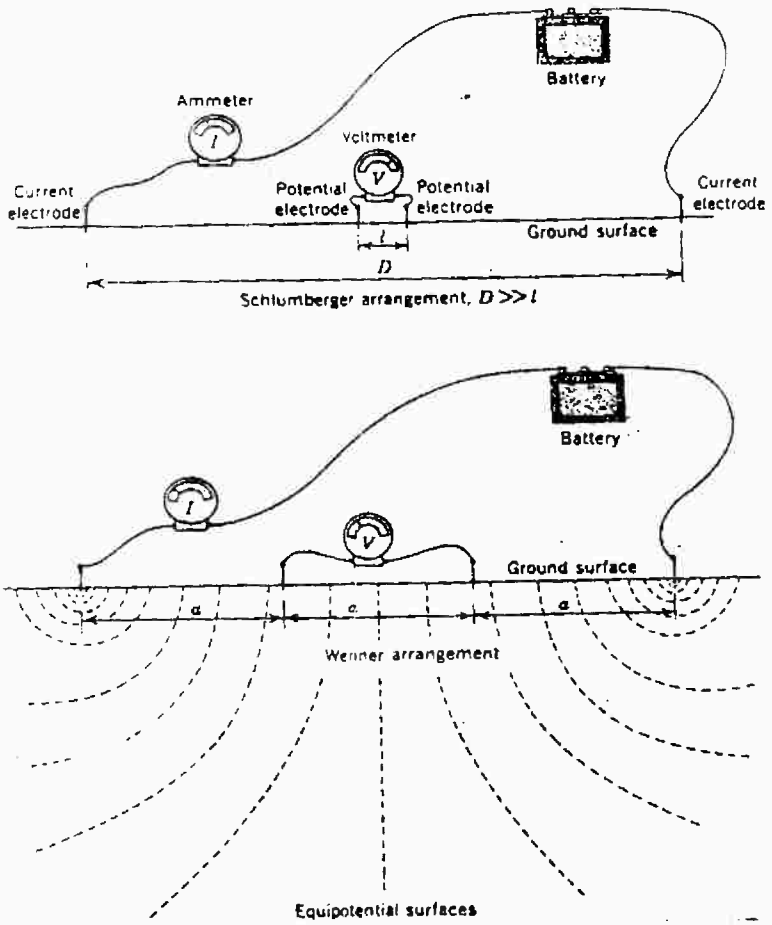
2 - 4 - 4 : الطرق الكهربائية Electrical Methods :

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 أيدي 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 جيولوجيا 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 جيولوجيا 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}

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

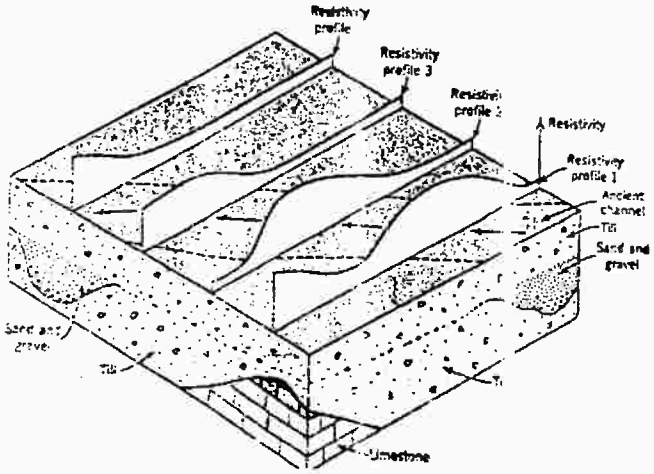
v = فرق الجهد (الفولتية)

I = التيار المسلط

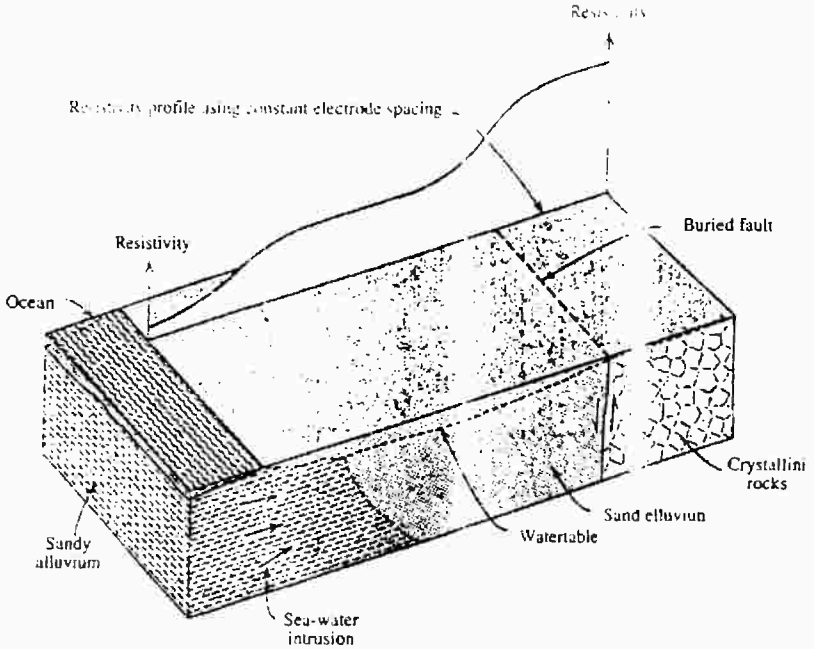
رغم بساطة هذه المعادلة فأنه لا يمكن إعطاء قاعدة عامة صحيحة عن العلاقة بين المسافة بين الأقطاب (a) وبين العمق الفعال لتغلغل التيار .

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 .

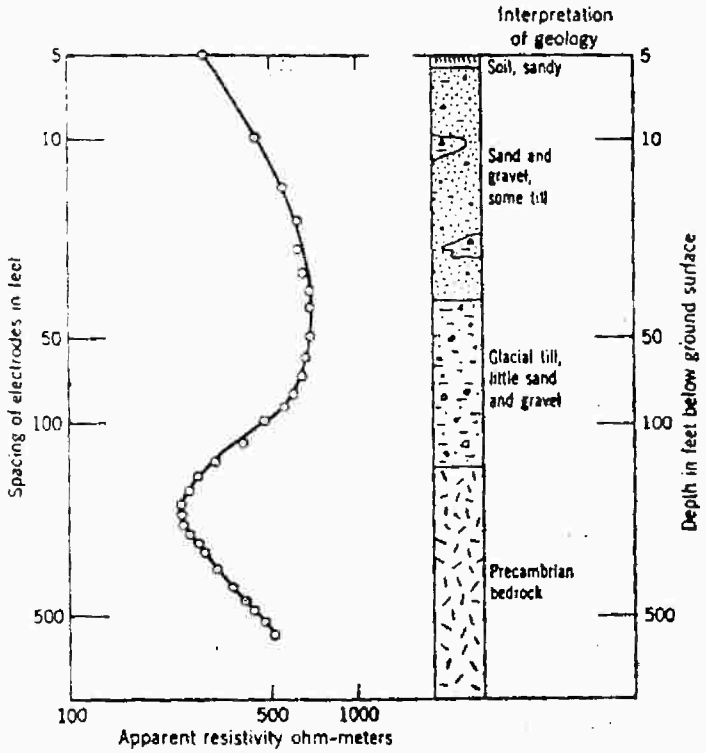
هناك ثلاث نقاط سلبية أساسية تواجه طريقة المقاومة الكهربائية :

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 الكفوة 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 الجيولوجية من خلال العمل على سطح الأرض ، فلا بد للهيدروجيولوجي 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 (الغرض 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 الهيدروجيولوجي 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 في إسناد جوانب الحفر فتعتمد على كلفتها والأنواع المتوفرة منها . والأنواع الشائعة هي 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 في 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 :

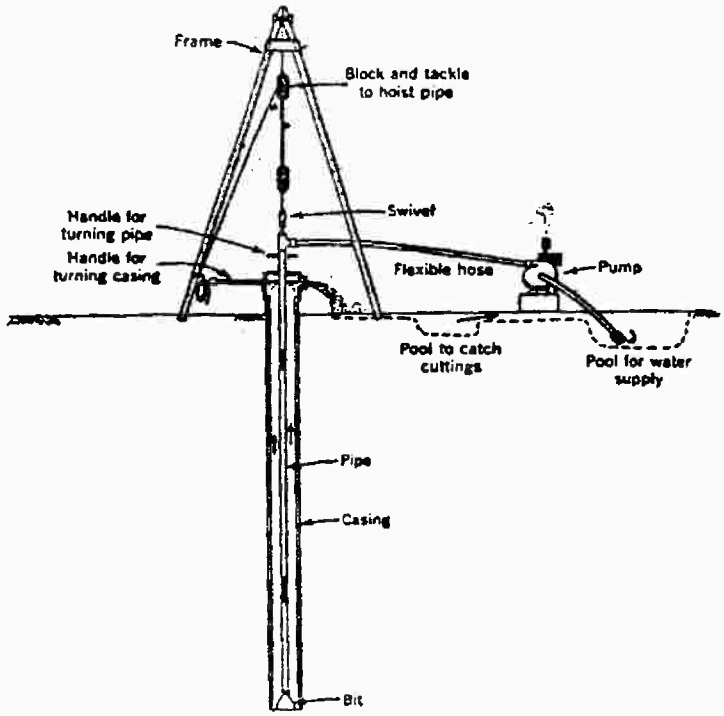
إن أسرع طريقة لحفر الآبار هي الطريقة النفاثة أو النافورية البسيطة والتي يترك فيها أنبوب النفث ليقوم مقام البئر (لاحظ الشكل 2-19). تتمثل طريقة النفث بصورة أساسية بتيار من الماء يدفع بقوة من خارج نهاية أنبوب ضيق

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

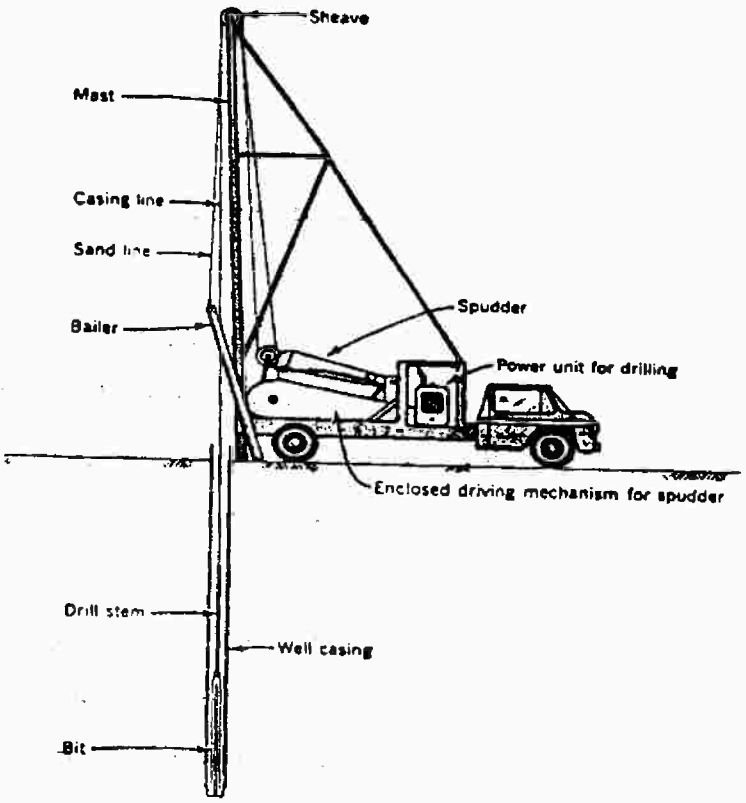
الصخر والتربة العليا إلى الداخل . تتغير معدلات تقدم الحفر مع نوع التكوينات التي يتم فيها الحفر ، وعمق البئر ، وقطره ، ونوع المعدات ، وخبرة العاملين . يمكن أن يصل تباطؤ سرعة العمل إلى 5 - 10 أقدام في اليوم الواحد عند الحفر في الصخور المتبلورة الصلدة . ويمكن أن تصل سرعته إلى 50 - 100 قدم في اليوم الواحد 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) .

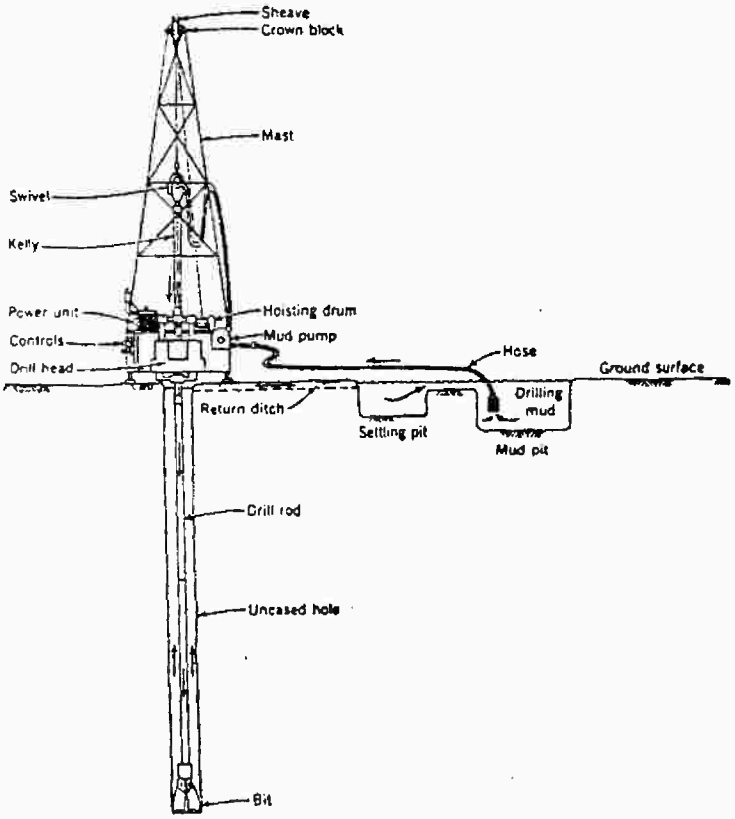
كما في طريقة الدق بالآلة السلكية ، يعتمد معدل تقدم الحفر في الطريقة الدوارة على عدد كبير من العوامل أهمها نوع التكوينات الجيولوجية ومعدات الحفر . يتراوح معدل الحفر في الطبقات الرسوبية غير المتصلبة من 300 إلى 500 قدم في اليوم . أما في الطبقات الصخرية المتصلبة فأن معدل الحفر يتراوح بين 30 إلى 50 قدم باليوم . 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 المياه 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 .

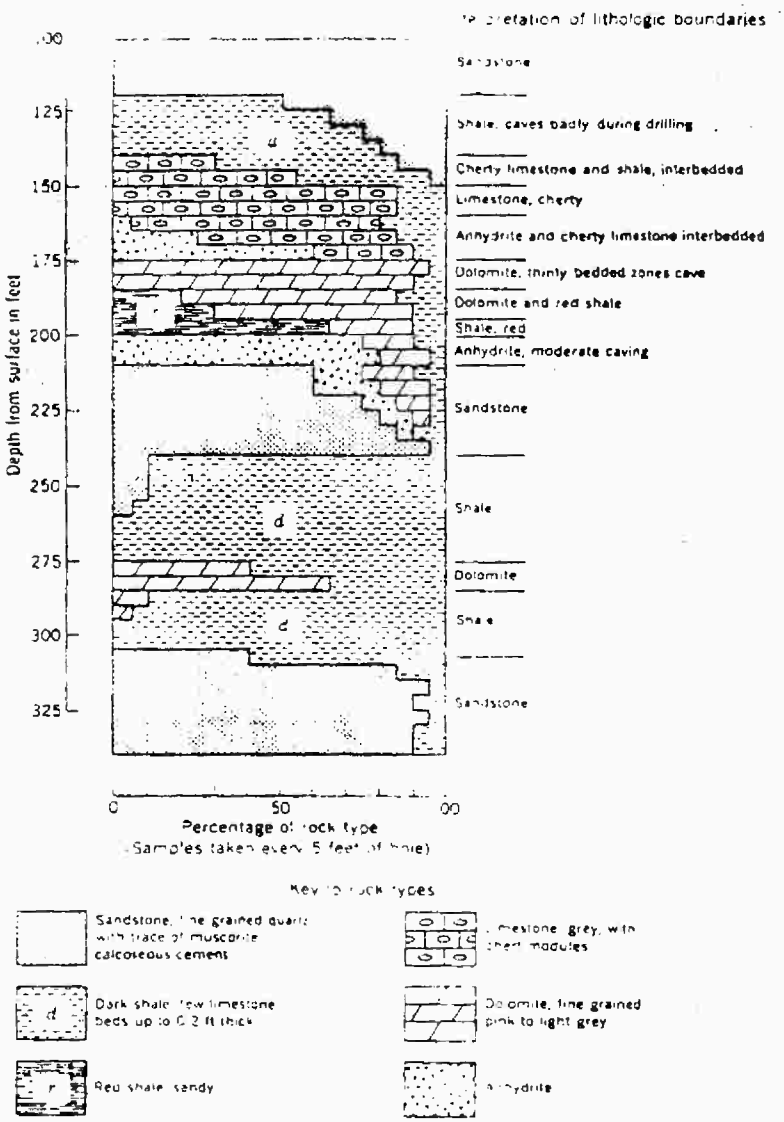
• • •

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 . في 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 في كلا طريقتي 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 سجلي لبئر محفور في صخور رسوبية

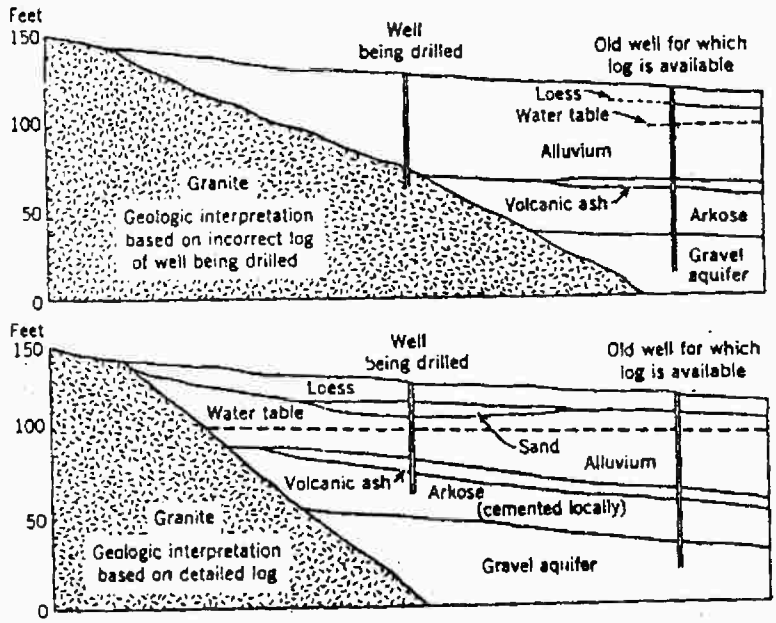
يجب أن يتم التسجيل الجيولوجي دائمًا وعن قرب بالتعاون مع الشخص القائم بعملية الحفر . تنعكس التغيرات في خواص الصخور عادة على التغيرات في معدل تقدم الحفر ورد فعل اللقمة خلال الارتداد في حفر الآلة السلكية أو خلال الاهتزاز في الحفر الدوار . يمكن التعرف على هذه التغيرات أو إكتشافها من قبل عمال حفر الآبار ذوي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

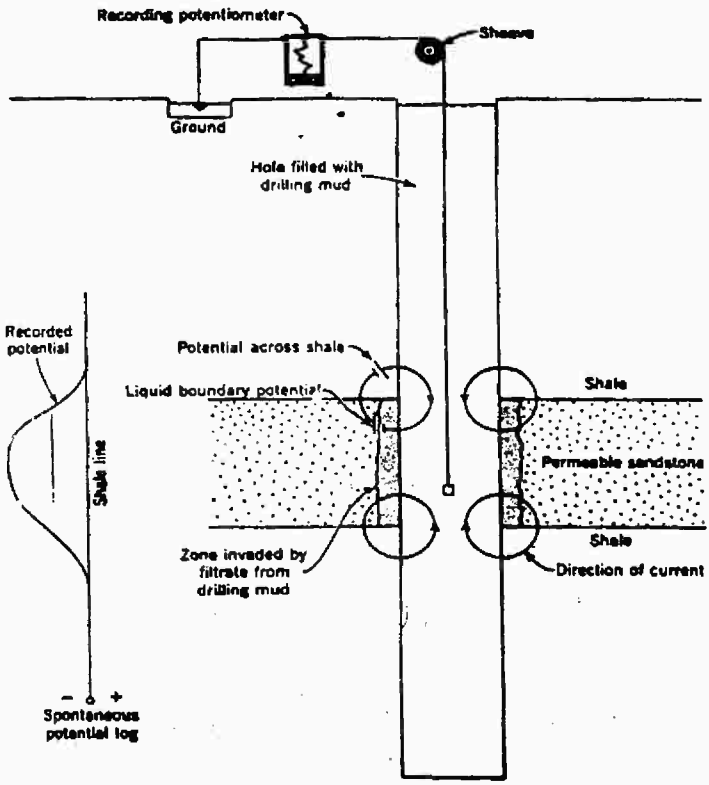
يتم قياس الجهد الذاتي في بئر ما بإنزال قطب منفرد داخل البئر غير المبطن وغمس القطب الآخر في حفرة صغيرة عند سطح الأرض مملوءة بطين الحفر . يفترض إن الجهد المسجل مساويًا صفر مقابل الطبقات السمكية من الصلصال غير النفاذ أو الطين . يمكن رسم خط بين كل النقاط ذات الجهد المساوي صفر وعادة ما يسمى هذا الخط بـ « 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 :

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

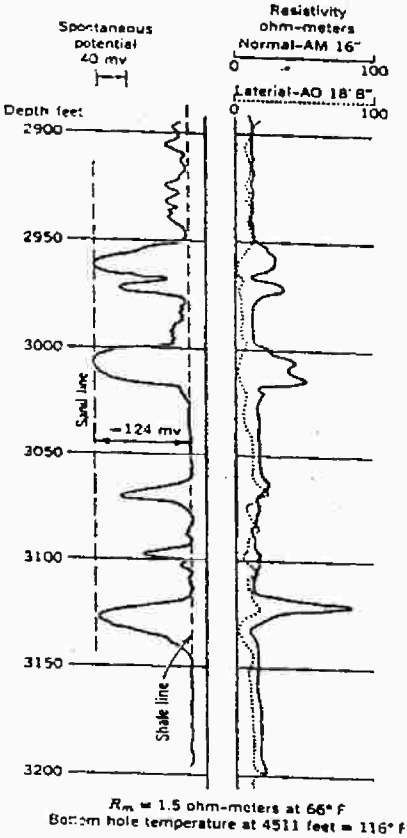
إن العديد من الآبار ضحلة جداً بحيث لا تسمح برسم خطوط الرمل ، لذلك تعامل الحشارج بصورة إنفرادية وإذا كانت ضحلة (قليلة السمك) يجب تطبيق عامل تصحيح الشكل الهندسي على قيمة الجهد لغرض إيجاد قيمة الجهد الحقيقي المتولد في البئر .

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 الجيولوجي المحلي لإيجاد درجة الحرارة عند العمق المطلوب .

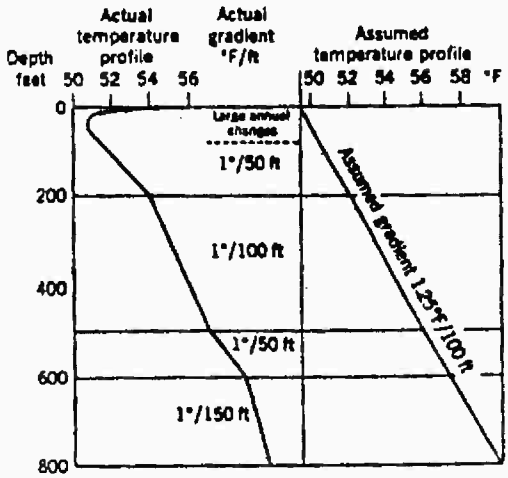
الخطوة الثالثة هي إختيار القيمة الأفضل لـ K باستعمال درجة الحرارة المستخرجة للتكوين . إذا كان البئر ضحلاً وفي منطقة ذات مناخ معتدل فأنه يمكن إستعمال القيمة (70 mv -) بدون الحاجة إلى تصحيح درجة حرارة التكوين . تعتبر القيمة (65 mv -) للماء القريب من الانجماد أفضل . وللماء عند درجة حرارة حوالي 150 F̊ تزداد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



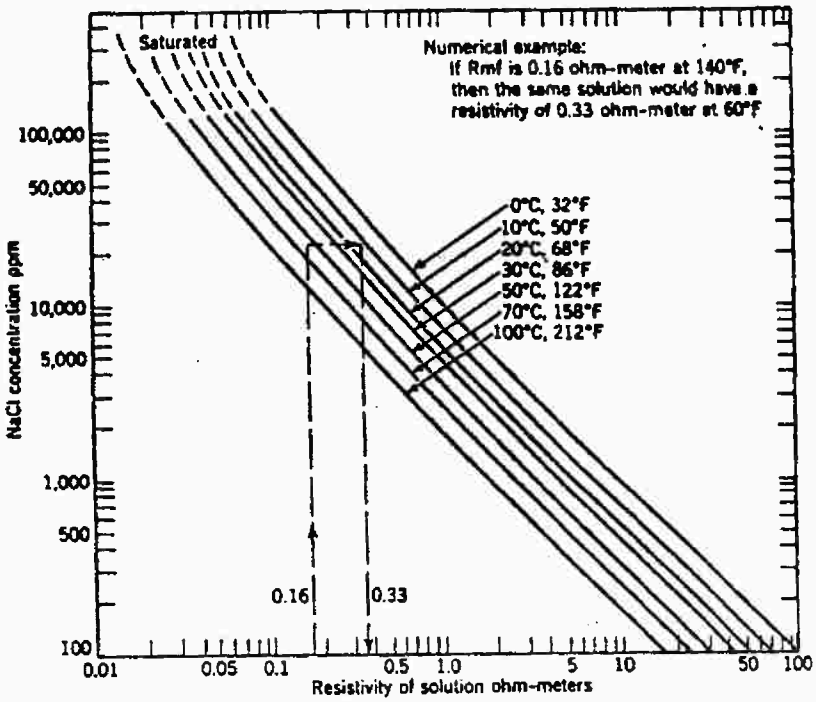
الشكل (2 - 25) مسجل كهربائي لبئر نفطي يخترق صلصال وحجر رملي مشبع بالماء المالح . من الناحية المثالية ، يجب أن تمتد خطوط الرمل إلى أكثر من الثلاث طبقات من الحجر الرملي المبينة في هذا المثال .



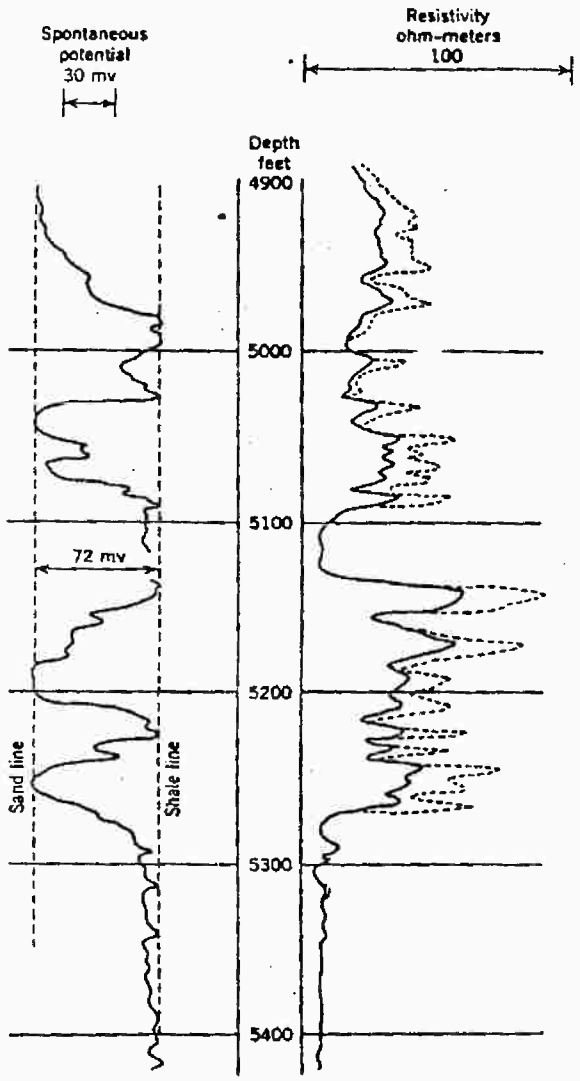
الشكل (2 - 26) مثال عن السجل الجيوحراري geothermic log يوضح تأثيرات الايصاليات الحرارية على الميل الحراري عند أعماق مختلفة . يصعب الحصول على رسوم بيانية مفصلة عن درجة الحرارة . لذلك من المعتاد عمليًا استعمال ميل حراري مفترض يعتمد على درجات حرارة قعر البئر ومعدل تقريبي للدرجات الحرارية السطحية .

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



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 .

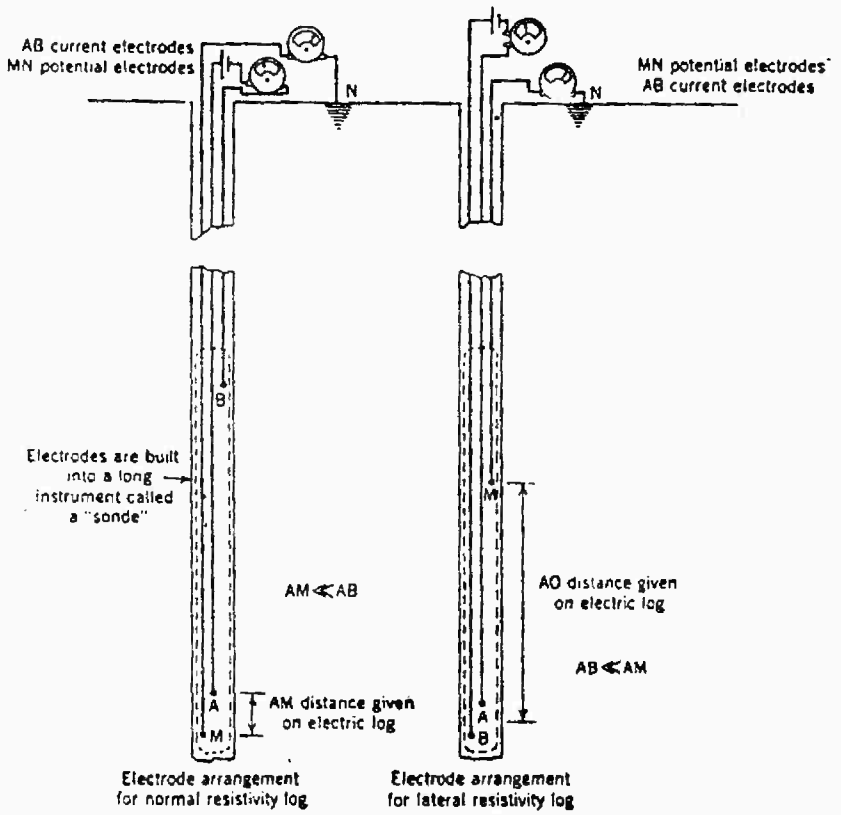
كما في تقارير الجهد الكهربائي الذاتي ، توجد في تقارير المقاومة أشكال وترتيبات متميزة للطبقات أو القطاعات المعينة .

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 .

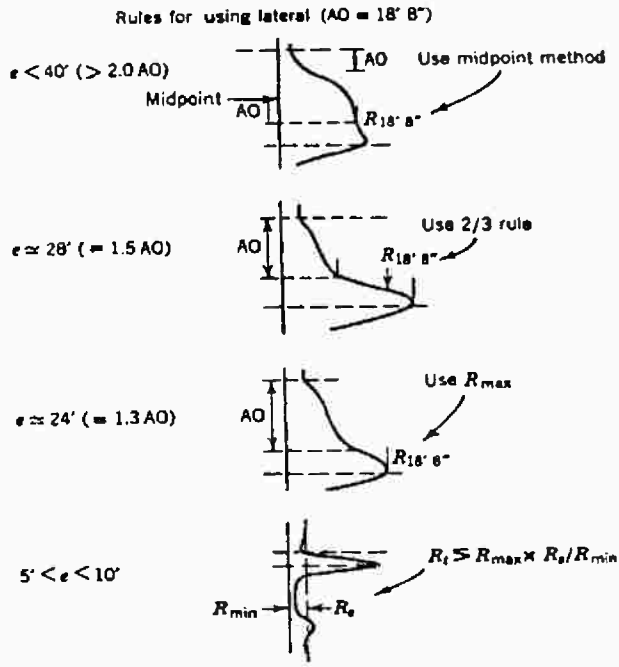
في حساب مقاومة المياه R_W ، من الضروري أن نتذكر بأن R_W هي مقاومة المياه عند درجة حرارة الحشرج الحامل لها . لذلك فأن التركيز المكافئ (ppm Nacl) من الشكل (2 - 27) يتم الحصول عليه من المنحني الذي يمثل درجة حرارة التكوين .

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 ، تخلغل 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 .