تقنية آبار المياه (ض جم ٤١١)

Water Well Technology (EHG 411)

المراجع

1-Groundwater and Wells, 1987 .F. G. Driscoll–2nded, Johnson Division

2- Groundwater Hydrology, D.K. Todd- 2nd ed, John Wiley and Sons.

١- آبار المياه، د. إبراهيم صقر - مكتبة الفلاح .

٢- المياه الجوفية والآبار – محمد ممدوح حبيب ، عبد الله الحمين ١٩٩٢م.

٣- المياه الجوفية- د/ عبدالعزيز البسام

توزيع الدرجات

امتحانات دروية	٤٠ درجة
الواجبات والأبحاث	٢٠ درجة
الامتحان النهائي(عملي –نظري)	٤٠ درجة

محتويات المنهج

١- تطوير مصادر المياه الجوفية

٢- الطرق الجيولوجية والهيدرولوجية والجيوفيزيائية لتحديد مواقع الآبار.

٣- طرق حفر الآبار .

٤- تصميم الآبار.

٥- مراحل ما بعد الحفر (إنهاء البئر).

٦- أنواع المضخات .

٧- تطوير الآبار.

٨- كفاءة الآبار واختبار الضخ المتدرج.

٩- الكميات المثلى

١٠- التآكل والتقشر

تطوير مصادر المياه الجوفية
Groundwater Resources Development

يمكن النظر إلى فكرة تطوير مصادر المياه كعملية ذات ثلاثة مراحل تتضمن:

١- الاستكشافات Exploration

٢- التقييم Evaluation

٣- الاستعمال Exploitation

١- مرحلة الاستكشاف هي المرحلة الأولى التى تستعمل فيها الطرق الجيولوجية السطحية وتحت السطحية كما تستعمل فيها أيضاً الطرق الجيوفيزيائية السطحية ونحت السطحية وفي هذه المرحلة تحدد المناطق والصخور التي تحمل المياه الجوفية .

٢- مرحلة التقييم تتضمن قياس الخصائص الهيدروجولوجية، تصميم وتحليل الآبار وتقدير عطاء المكونات المائية.

٣-مرحلة الاستخدام (الاستعمال) وتسمى أيضاً مرحلة الإدارة وهي التي تعني بالاستعمال الأمثل للمياه الجوفية وبتقدير التفاعل بين استعمال المياه الجوفية والنظام الهيدرولوجي الإقليمي.

كما هو معروف فان معظم الطبقات والصخور الحاملة للماء في العالم قد تم التعرف عليها أي أن المرحلة الأولى تقريباً شبه مفروغ منها خاصة في العالم المتحضر، الآن نحن معنيون أكثر بطرق تقييم وإدارة موارد المياه وهناك عدد من الأسئلة ينبغي الاجابة عليها في هذه المرحلة.

١- أين يجب حفر الآبار؟ كم بئرتحتاج ؟ كم معدل التصريف الذي يمكن سحبه؟

٢- ماذا سيكون تأثير الضخ على وضع النظام الهيدرولوجي ومستويات الماء في المنطقة؟

٣- ما هي إمكانات التكوينات المائية على المدى الطويل؟

٤- هل ستكون هناك نتائج جانبية مترتبة على استخدام المياه الجوفية مثل هبوط الأرض ودخول المياه المالحة مما يحد من كمية السحب.

الطرق الجيولوجية والهيدرولوجية والجيوفيزيائية للكشف عن المياه الجوفية
Geological, Hydrological and Geophysical Methods for Groundwater Exploration

لتحديد الموقع الانسب لحفر أي بئر يجب أن تؤخذ عدة أمور في الحسبان أهمها جيولوجية المنطقة، الجيومورفولوجيا إضافة إلى طبيعتها الهيدرولوجيه.

وسوف يتم مناقشة كل خاصية على حدة فيما يلي:

١ - الطرق الهيدرولوجية Hydrological Methods

تتضمن طرق الكشف الهيدرولوجية للكشف عن المياه دراسة كميات المياه المتاحة والتغذية Recharge ، سهول التغذية ، ومكان وكمية المياه الجوفية على السطح ، الكمية الكلية من الماء المتاحة لتغذية الخزان الجوفي وتشمل كلاً من الأمطار من المياه السطحية الدائمة كالأنهار والبحيرات.

غالباً ما يرتبط تواجد الماء الجوفي بتوفر التغذية من المياه، ولذلك فإنه في المناطق الصحراوية تكون عملية الكشف عن المياه الجوفية أصعب منها في المناطق الرطبة والتي لها نفس الظروف الجيولوجية.

سهولة التغذية هو عامل آخر مهم، فوجود صخور غير منفذة على السطح مثل الطين والطفل والكوارتزيت يسهل عملية الجويان السطحي ويقلل من فرص التغذية للمكونات التحت سطحية، ويمكن تحديد كميات الترشيح أو التغذية باستعمال أجهزة قياس الترشيح Infiltrometers المختلفة والتي تحدد سعة الترشيح Infiltration capacityوالتي إما أن تتكون من حلقة او حلقتين وتعطي تقديرات تقريبية لمعادلات الترشيح.

يعتبر مكان وكمية تصريف العيون مؤشر جيد للظروف الهيدرولوجية في المناطق الرطبة وشبه الرطبة، توفر العيون الصغيرة على جوانب الأودية والمنحدرات عادة ما يدل على وجود مستوى ماء باطني ضحل مع وجود حركة ضحلة للمياه الجوفية في صخور قليلة النفاذية على النقيض من ذلك فإن العيون الكبيرة المرتبطة بقيعان الأودية تدل على وجود نفاذية كبيرة وأعماق كبيرة للمياه الجوفية، كما أن وجود العيون قد يدل على موقع مستوى الماء الجوفي وبالتالي يعطي مؤشر إلى العمق المطلوب لحفر الآبار.

تتدفق المياه على السطح بواسطة النباتات، لو كانت النباتات من النوع المائي phreatophytes فان عمق الماء الجوفي يمكن تحديده من نوع النباتات تقريباً إلا أن وجود هذه النباتات لا يدل على وجود مياه جوفية قابلة للسحب recoverable water لأن النباتات بإمكانها سحب المياه من الطين المشبع الذي لا يمكن أن يغذي الآبار بالمياه.

في برنامج الكشف (التنقيب) عن الماء الجوفي يتوجب قياس كميات المياه المنصرفة بواسطة العيون والنتح Evapotranspiration، حيث أن التصريف الطبيعي قد يعطي فكرة عن الكمية القصوى من المياه التي يمكن الحصول عليها من الطبقة.

يجب أن يتزامن كلا من الكشف الجيولوجي والهيدرولوجي عن المياه الجوفية للحصول على أفضل النتائج.

٢ - الطريقة الجيولوجية Geological Methods

تبدأ المرحلة الأولى من برنامج البحث عن المياه الجوفية مكتبيا بدراسة صور الاقمار الصناعية والخرائط الجيولوجية والهيدروجيولوجية والطبوغرافية اضافة الى التقارير المنشورة والدراسات السابقة لمنطقة البحث. ولاتكتمل الدراسة الا بواسطة الاستطلاع الحقلي الجيولوجي الذي يتم على ضوئه تقييم ظروف المياه الجوفية بشكل مؤقت لاختيار الطرق المناسبة للاستكشاف في المراحل اللاحقة. يتبع ذلك مسح جيولوجي دقيق ومنظم لمنطقة الدراسة. يحتاج الجيولوجي في تنقيبة عن المياه الجوفية لاستخدام علوم جيولوجية مختلفة تشمل علم الصخور Petrography وعلم الطبقات Stratigraphy والجيولوجيا التركيبية Structural geology وعلم شكل الأرض Geomorphology وأفرع أخرى بدرجة أقل أهمية.

أ- يعتبر علم وصف الصخور أكثرها أهمية فكل صخر يتميز بخصائص فيزيائية معينة من حيث المسامة والنفاذية وهي التي تحدد إمكانية تخزين وسهولة حركة المياه داخل ذلك الصخر . وتكمن أولى مهام الهيدروجيولوجي (جيولوجي المياه) في رسم حدود الوحدات الصخرية السطحية المختلفة مع الأخذ في الاعتبار الخواض المتعلقة بتخزين الماء. الخريطة الجيولوجية الناتجة من المسح الهيدروجيولوجي قد لا توافق الخرائط الجيولوجية العادية وذلك لتركيزها على

الخواص الهيدروجيولوجية، فمثلاً الصخور النارية والمتحولة قد ترسم كوحدة صخرية واحدة في بعض الأحيان، بينما الرسوبيات المكونة من الطين والرمال والحصى والتي قد ترسم كوحدة صخرية واحدة في الخرائط الجيولوجية العادية يجرى فصلها كوحدات مختلفة في الخرائط الهيدؤوجيولوجية.

ب- يعد علم الطبقات Stratigraphy ذو أهمية بالغة عند التنقيب عن المياه في البيئات الرسوبية والصخور البركانية وذلك لتحديد موقع وسمك الطبقات الحاملة للمياه والطبقات الحابسة، وقد يكون عمل هذا الفرع مختص بتتبع طبقة واحدة فقط بينما قد يزداد تعقيداً عند محاولة المضاها بين طبقات عديدة ومتتابعة في أماكن مختلفة مما يؤدي إلى الحاجة إلى استخدام علم الأحافير وقياس القطاعات الجيولوجية .

ج- يستخدم علم الجيولوجيا التركيبية Structural Geology في الغالب مع علم الطبقات وعلم الصخور لتحديد النطاقات الحاملة للماء والتي تأثرت بالحركات الأرضية. ويساعد هذا العلم على تحديد المناطق ذات التصدع والتشقق والتي تعمل على سرعة حركة المياه خاصة داخل الصخور الصلبة. في حالة الرواسب المفككة فإن الصدوع تعمل كحواجز هيدرولوجية، ومن ثم فإن تحديد مواقعها يعتبر ذو أهمية عظمى لدراسة حركة المياه الجوفية. يعتبر وجود الفواصل والصدوع والشقوق المتصلة مفيد جداً لحركة الماء والآبار المحفورة في صخور تحوي هذه التراكيب تعطي كميات جيدة من الماء بينما في حالة التكوينات المطوية والتي تشكل طبقات مقعرة ومحدبة فإن الطبقات المقعرة تعتبر اكثر ملاءمة لتجميع المياه الجوفية حيث يتواجد الماء تحت ظروف أرتوازية. لذا ينصح بحفر الآبار مباشرة فوق الطبقات المقعرة، بعطس قمم الطبقات المجدبة التي تشكل حد فاصل divide line.

د- يبرز دور علم شكل الأرض Geomorphology كعلم مهم عند استكشاف المياه الجوفية في رواسب عصر البلاستوسين Pleistocene والعصر الحديث . فالرواسب المدفونة المنفذة مثل الكثبان الرملية الثابتة Stabilized Sand dunes ورواسب المصاطب Terrace deposits ورواسب الحواجز الشاطئية القديمة Ancient beach ridges تكون لها انعكاسات واضحة على شكل سطح الأرض

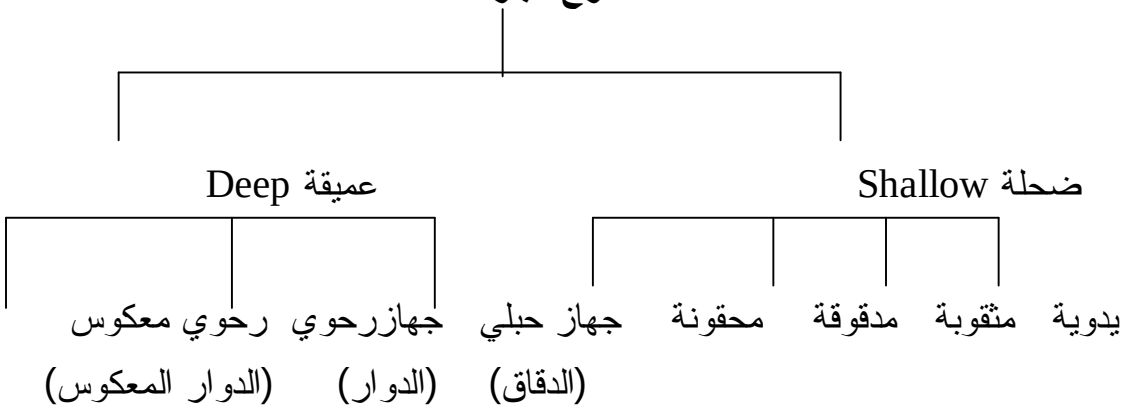
Landforms . كذلك فان دراسة شكل سطح الأرض يعطي معلومات صخرية وطباقية وتركيبية ذات أهمية بالغة، كما أن دراسة الصور الجوية وصور الأقمارالصناعية يساعد كثيراً في إعطاء بعض المعلومات القيمة ذات العلاقة بعلم جيولوجيا المياه.

٣- الطرق الجيوفيزيائية Geophysical Methods

تستعمل الطرق الجيوفيزيائية للحصول على معلومات أكثر دقة عن الظروف تحت السطحية مثل نوع الرواسب وعمقها وكونها متماسكة أو غير متماسكة وعن عمق التجوية ووضع النطاق المجوى والمتشقق وعمقع وعمق الصخور الصلبة اضافة الى عمق المياه الجوفية.

أكثر الطرق الجيوفيزيائية استعمالا في البحث عن المياه الجوفية هي طريقة المقاومة الكهربائية Electrical resistivity method والطريقة السيزمية Seismic method.

طرق حفر الآبار Well Drilling Methods

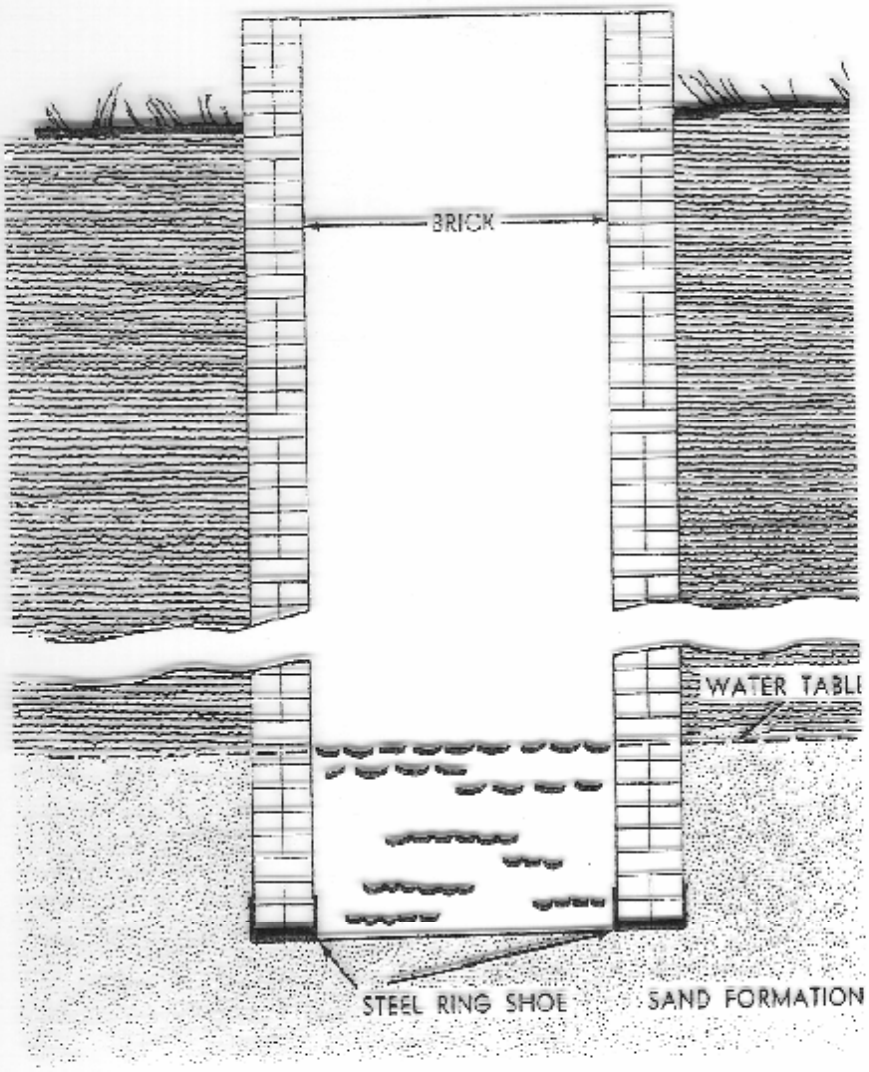


أولاً: طرق حفر الآبار الضحلة Methods of Drilling Shallow Wells

في الغالب يكون عمق الآبار الضحلة ٢٠م وقد يزيد ليبلغ ٤٠ أو ٥٠م. تحفر الآبار الضحلة إما يدوياً أو بالثقب أو الدق أوالحفن، وتحفر هذه الآبار في مناطق ذات مستويات مياه ضحلة مثل أودية المنطقة الغربية في المملكة العربية السعودية .

١- الآبار اليدوية Hand-Dug Wells

يتراوح عمقها من بضعة أمتار إلى حوالي ٥٠ م وتستعمل عادة في المناطق ذات الصخور الغير متماسكة والرواسب المفتتة مثل رسوبيات الأودية وهي ذات أقطار كبيرة تتراوح بين ١ – ١٠م. وتكون في المناطق ذات المستويات الماء القريبة من السطح وتحفر إلى أعماق تتجاوز مستوى الماء ببضعة أمتار، وتحفر بواسطة إليد باستخدام الفؤوس والكريكات، وترفع الأتربة لاعلى بسحبها بالحبال. وتغلف غالباً حتى يمنع إنهيار التربة داخل البئر والتغليف أما بالخرسانة أو بالحجارة ويغطى جدار البئر من فوق مستوى الماء إلى قاع البئر. ويفضل عمل ثقوب داخل الصبات الخرسانية لتسهيل مرور الماء عبرها. ويتم صب الخرسانة بحيث تكون حادة من الناحية السفلى ثم يحفر تحت الصبة حتى تسقط داخل البئر وبعد ذلك توضع صبة أخرى فوقها وتكون الصبات غالباً دائرية الشكل كما يوجد آبار مضلعة إلا أن الدائرية أفضل لأنها لا تتحمل ضغوط أكثر. وشكل الحفرة غالباً ما يكون غير منتظم ويختلف قطرها من مكان لآخر على طول البئر.



شكل يوضح بئر يدوي قطره كبير

تحفر الآبار اليدوية في المناطق ذات النفاذية المنخفضة وتفيد في تخزين كميات كبيرة من الماء بداخلها. يفضل وضع طبقة من الحصى أسفل البئر وحول الغلاف حتى تمنع دخول الحبيبات الدقيقة التي تعيق مرور الماء وتقلل من نفاذية المنطقة المحيطة بالبئر.

الآبار اليدوية معرضة للتلوث لأنها مكشوفة وقطرها كبير مما يؤدي إلى سقوط مواد من السطح داخلها، وأحياناً ونتيجة لاستنزاف الماء تتكون فراغات في الطبقة حول البئر مما يؤدي إلى هبوط الأرض نتيجة الضغط الواقع عليها.

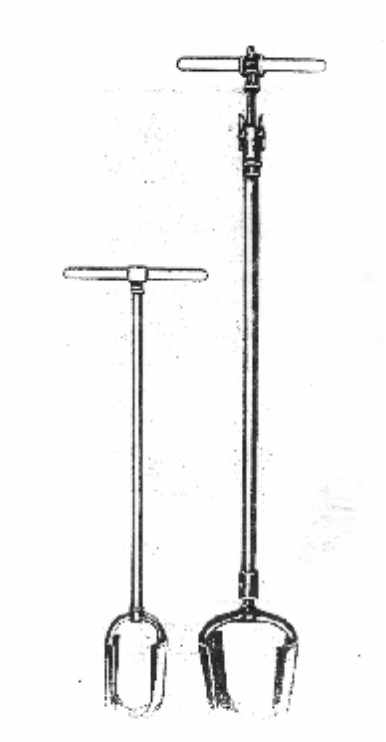
٢- الآبار المثقوبة Bored Wells

عندما تكون المياه الجوفية ضحلة ومتواجدة في صخور مفتتة غير متماسكة فان الحفر بالثقب يمكن أن يعطي كميات جيدة من المياه بتكلفة بسيطة. هناك نوعان من الأجهزة التي تستعمل لحفر الآبار المثقوبة وهي:

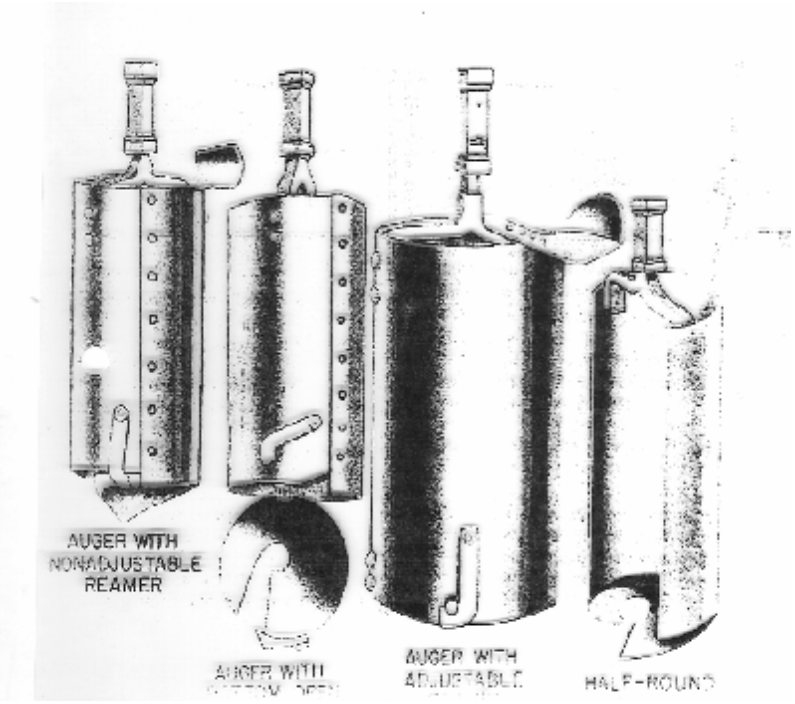
أ- حفار الدلو Bucket Auger

يتركب جهاز الحفر من دلو قطره كبير مركب في أسفله قرص حادة كالسكين يتصل الدلو من اعلى بانبوب عمود حركة مضلع يسمى Kelly، تمر من خلال اسطوانة دائرية كبيرة الحجم يمكنها ادارة الانبوب داخل الحفرة. عند الحفر تقوم السكين بتكسير التربة التي تتجمع داخل الدلو ومن ثم يتم رفعها وتفريغها بواسطة مفتاح. كلما زاد عمق الحفرة يجري زيادة عدد الانابيب المضلعة والتي يتم ادخالها في بعضها مثل التلسكوب لتخفيف الاحتكاك داخل الحفرة. قطر السكين دائما ما يكون أكبر من قطر الدلو.

يمكن بهذه الطريقة حفر آبار ذات أقطار تتراوح من ٤٥سم – ١٢٠سم وأعماق تتراوح من ١٥ – ٤٥م أو أكثر من ذلك. يفضل أن يستخدم هذا الجهاز في الطبقات الطينية المتماسكة ويمكن ادخال أنابيب في البئر للتغليف لمنع الانهيار، في حالة الطبقات الرملية التي توجد تحت مستوى الماء فإن الحفر يكون صعباً إلى حد كبير. وجود حصى كبير يصعب كثيرا من استخدام هذه الطريقة حيث أنه يتوجب إخراجها من قاع الحفرة. يمكن باستخدام هذه الطريقة الحصول على عينات جيدة وممثلة من أي عمق.



بعض الأشكال الشائعة للحفار اليدوي

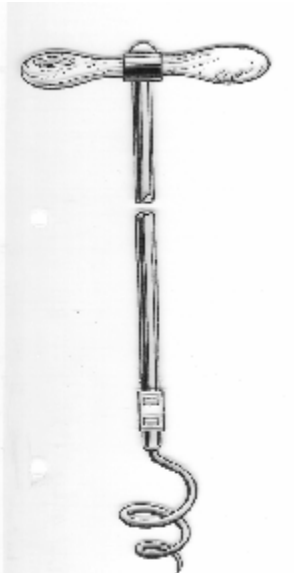


بعض الأشكال الشائعة للحفار المزود بموتور وسطل اسطواني الشكل

٢- جهاز الحلزون أو اللولب Spiral Flight Auger

هذا النوع من الحفارات مزود بجزء حلزوني في اسفله يتم رفع التربة خلال الدوائر الحلزونية إلى الأعلى ويمكن أطالة الحفار كلما زاد العمق. عادة يوضع على لوري كبير ويشغل بواسطة شخص واحد . ويعمل إلى أعماق تصل إلى حوالي ٥٠ م في الصخور الغير متماسكة والتي لا تحوي حصى. قطر الحفر يتراوح من ١٥ – ٣٥ سم.

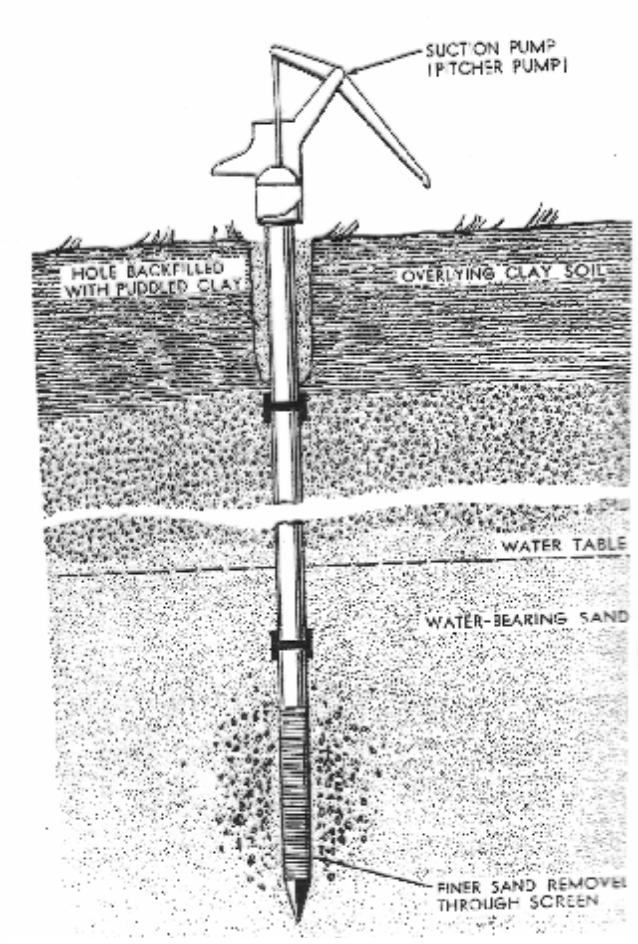
يفضل استخدام هذه الأجهزة في الصخور الغير قابلة للانهيار. وعندما توجد تربة مفككة يفضل استخدام أنابيب أو صبة خرسانية للتغليف. ويوضع خلف التغليف حزام من الحصى.



حفار حلزوني يستخدم لازالة الصخور المفتتة من الحفرة

٣- الآبار المدقوقة Driven Wells

تستخدم هذه الطريقة في حالة التكوينات المفككة التي لا يوجد بها صخور أو حصى يمكن حفر آبار تصل إلى عمق حوالي ١٥م، عمق الماء الجوفي يجب أن يكون في حدود ٥م. يتم الحفر بواسطة رأس آلة حفر مدببة Drive point تميل جوانبه بزاوية ٤٥°. يرتبط رأس الحفرة بمصفاة من أعلى والتي بدورها ترتبط بمواسير بواسطة تعشيقات Coupling. تغرز آلة الحفر المدية في حفرة قطرها أكبر من رأس آلة الحفر والتي سبق حفرها بواسطة حفارة Auger. ترتبط الأنابيب من أعلى بغطاء معشق Drive Coupling بحيث يتم طرقها بمطرقة لاتمام عملية الحفر. الحفار يمكن تعليقه من برج حفر أو Tripod.



شكل توضيحي لبئر مدقوق

رأس الحفر يجب أن يكون له قطر أكبر من الأنابيب ليمنع الاحتكاك ويسهل عملية الحفر، كذلك تستعمل انابيب تغليف اثناء الحفر لايقاف الانهيارات. عند إنتهاء الحفر تفك الأنابيب وتبقى رأس آلة الحفر ثابتة في مكانها.

لا يمكن الحصول على عينات صخرية بواسطة هذه الطريقة ولكن ميزة هذه الطريقة أنها سريعة ولا تكلف كثيراً ويمكن أن يعمل بها شخص واحد فقط.

قطر الآبار المحفورة بهذا الجهاز يتراوح بين ٣-١٠سم.

مميزات هذه الطريقة:

١- السرعة

٢- قلة التكاليف

٣- تحتاج لشخص واحد للحفر

العيوب:

١- لايمكن الحصول على عينات ضخرية

٢- لا يمكن استخراج رأس آلة الخفر

٤- الآبار المحقونة Injected (Jetted) wells

يتم الحفر باستخدام ماء يضخ بشدة على التربة بواسطة أنبوب ونتيجة للسرعة الشديدة للماء المندفع تتباعد التربة وتتكون الحفرة.

يتكون جهاز الحفر من رأس آلة الحفر والتي تشبه في شكلها الأزميل حيث توجد في اعلاه فتحة لمرور الماء من خلالها. يتصل رأس آلة الحفر بسلسلة من الأنابيب التي يتم ضخ الماء خلالها تحت ضغط عالي أو متوسط . نظراً لضغط الماء الشديد فان الأنابيب ورأس آلة الحفر ترتفع وتنخفض بطريقة تؤدي إلى تفتيت الصخور إضافة إلى تأثيرعامل ضخ الماء. الماء الذي يضخ داخل الحفرة يرتفع مرة أخرى الى السطح في المنطقة المحيطة بأنابيب الحفر حاملا معه فتات الصخور حيث يجمع في حفرة أو أكثر ويضخ بواسطة مضخة ماصة مرة أخرى داخل الحفرة. مع استمرار الحفر يتم إنزال أنابيب تغليف داخل البئر لمنع الماء من التسرب داخل الأرض ويوقف انهيار التربة. كلما زاد عمق الحفرة كلما قلت قوة دفع الماء إلى الخارج نتيجة الضغط الواقع عليها. والمتمثل في تأثير الجاذبية. أثناء الحفر يجرى إدارة الموسير يدوياً للتحقق من حفر بئر دائري وفي وضع رأسي. لاتمام عملية الحفر يجرى إنزال أنابيب البئر التي يتصل بها مصفاة من الاسفل ومن ثم يجرى سحب أنابيب التغليف وتعبأ الحفرة حول أنابيب البئر بالحصى.

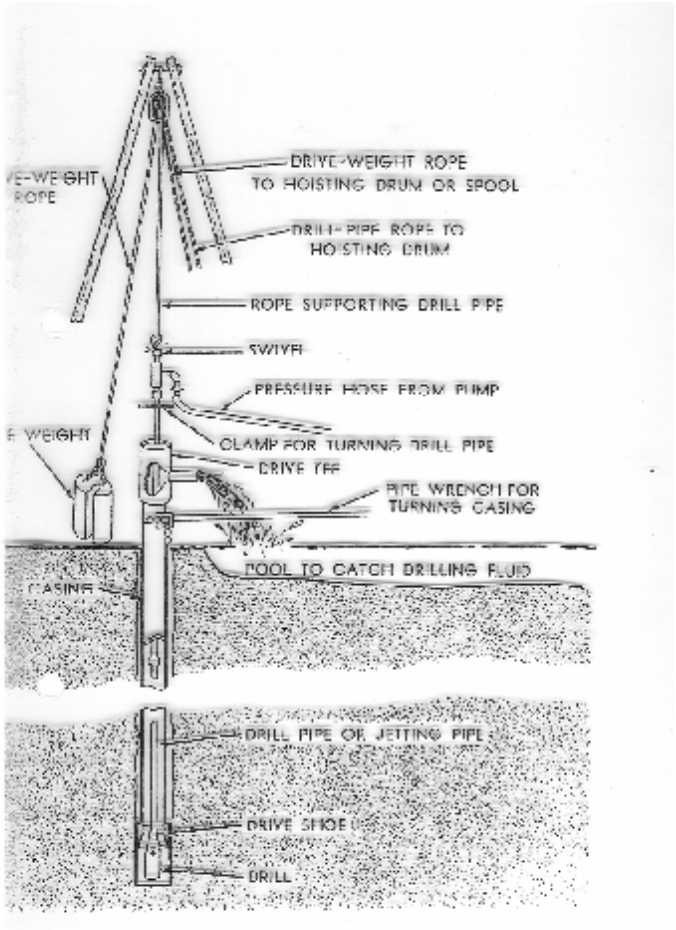
يمكن بواسطة هذه الطريقة حفر نوعين من الآبار:

١- آبار قطرها صغير: ٣ – ١٠ سم

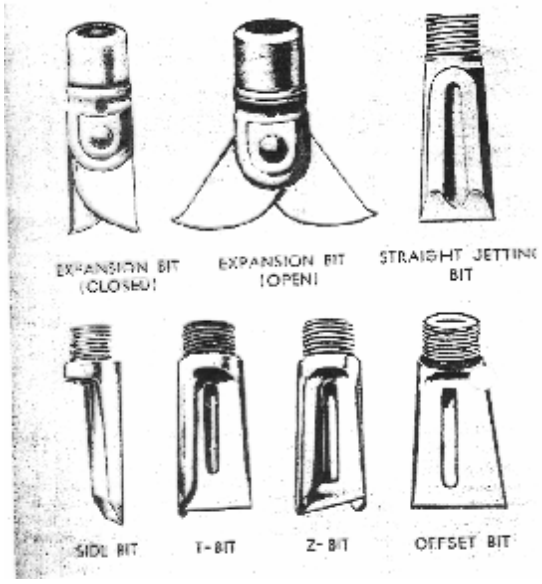
٢- آبارقطرها كبير: ٣٠ سم

يمكن حفر آبار ذات أعماق كبيرة تزيد عن ٥٠م، الا ان هذه الطريقة غالبا ما تستخدم لحفر آبار استكشاف اختبارية أو آبار ملاحظة. لاستخدام هذه الطريقة يتحتم

استخدام كميات كبيرة من الماء لاستعمالها في الحفر ومن ثم فهي غير مناسبة للمنـــاطق الجافة.



شكل توضيحي لبئر محقون



اشكال مختلفة لرؤوس حفر تستخدم في الآبار المحقونة

ثانياً : طرق حفر الآبار العميقة
Methods for Drilling Deep wells

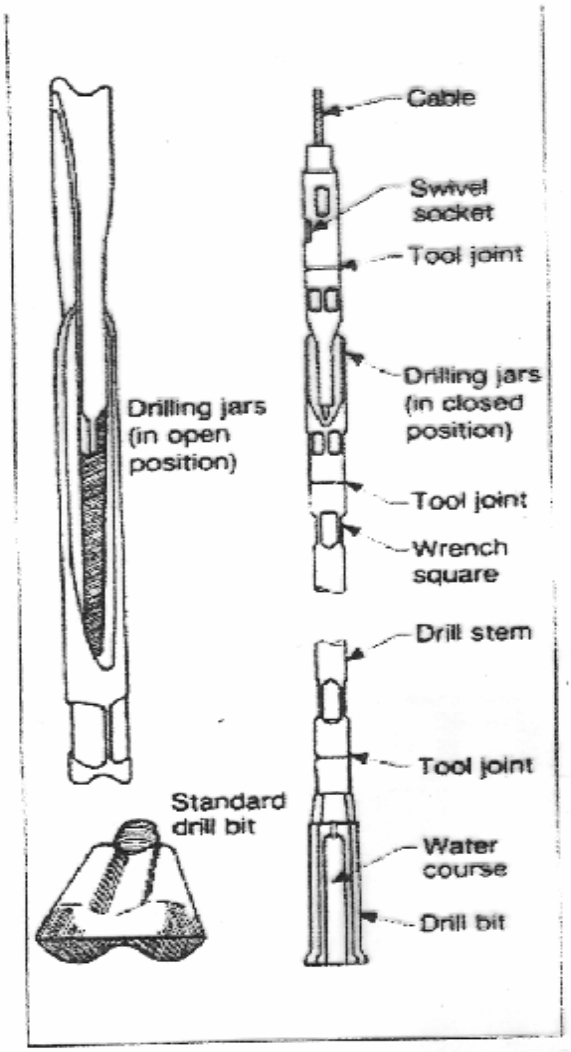
يتم حفر الآبار العميقة باستخدام عدد من الأجهزة منها الجهـــاز الحبلـــي Cable tool method و الأجهزة الرحوية Rotary methods والتي يوجد أنواع عديدة منها. كل طريقة لها مزاياها الخاصة ويعتمد اختيار أي طريقة بناء على الظـــروف الطبيعيـــة لمنطقة الحفر.

١- الجهاز الحبلي (الدقاق) Cable tool method (Percussion method)

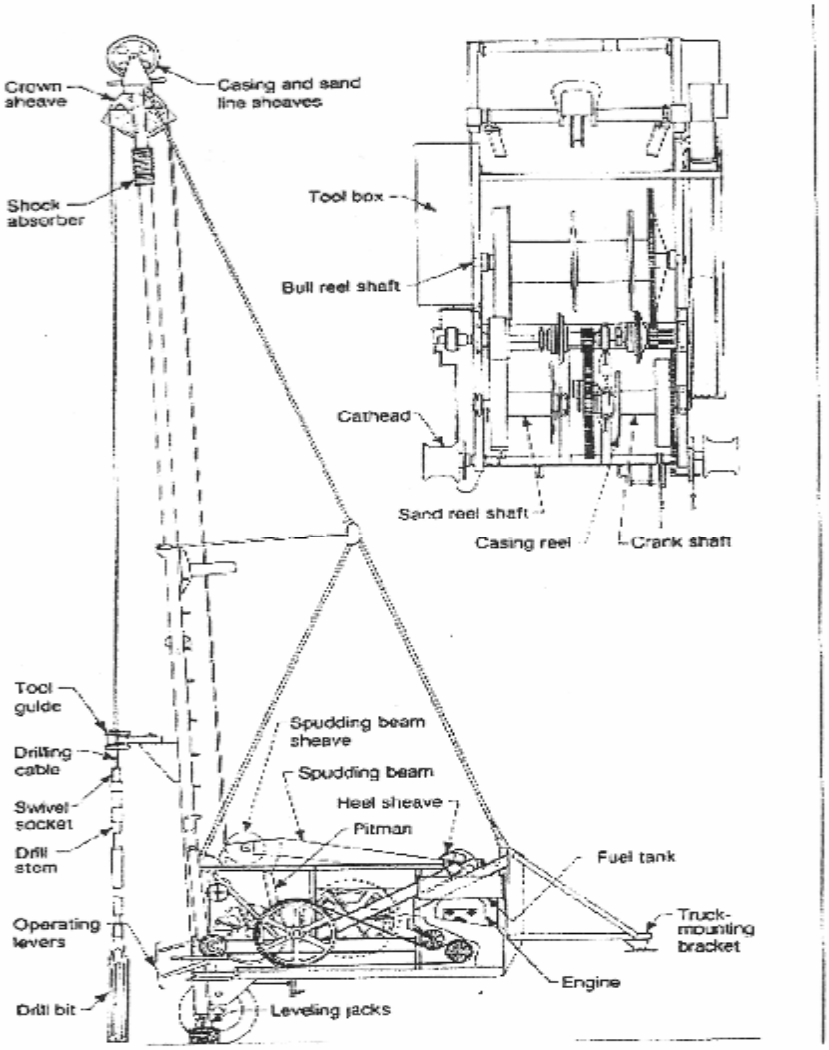
يمكن بواسطتها حفر آبار أقطارها تتراوح بين ٨- ٦٠سم في صخور صلبة وإلى أعماق تتجاوز الألف متر ويقل استخدامها في الصخور المفتتة مثل الرمـــال والحـــصى والتي تنهار أثناء الحفر.

يتم الحفر باستخدام أجهزة مرتبطة مع بعضها وهي من أسفل لأعلى.

١-رأس الحفر Drilling bit ٢- ساق الحفر Drill stem ٣- رجاج الحفـــر Jar ٤- علاق دوار Swivel Socket.



اجزاء جهاز الحفر الحبلي



شكل توضيحي لمنصة الحفر للجهاز الحبلي

يبلغ مجموع أوزان هذه الأجزاء آلاف الكيلومترات وهي مصنوعة من الصلب ومعشقة في بعضها البعض . أهم جزء فيها هو الرأس حيث يبلغ طوله ١– ٣ م ويزن حوالي ١٥٠٠ كجم وهو ذو أشكال مختلفة. ساق آلة الحفر عبارة عن أنبوب طويل من الصلب (طوله ٣- ٨م) وهو يضيف وزناً للجهاز إضافة إلى أنه يساعد على بقاء الحفرة في وضع رأسي. مجموعة من رجاجات الحفر تتصل عادة بالجهاز والغرض الأساسي منها هو خلخلة وتخليص رأس آلة الحفر في حالة مسكها بواسطة الصخور ويتم عملها بأن يرخى الحبل المعلق فيه الجهاز فتتمدد الرجاجات إلى أقصى مدى لها حيث ينزل الجزء العلوي من الزجاج إلى أسفل حتى يلامس رأس الجزء السفلي وعند الرفع تحدث ردة فعل عكسية حيث يضرب الجزء السفلي من الرجاج رأس الجزء العلوي منه فيدفعه الأعلى فيتخلص الرأس. مهمة المعلاق هو توصيل الأجهزة بالحبل.

يتم رفع التربة المتركمة في أسفل الحفرة بواسطة دلو bailer مصمم بطريقة خاصة حيث أنه عبارة عن أسطوانة طويلة لها خطاف من أعلى ومن أسفل مركب لها صمام valve يفتح عند ملامسة الدلو لقاع الحفرة ويبقى مغلقاً عند رفع الدلو. عند إمتلاء الدلو يسحب لأعلى حيث يفرغ ومن ثم يستكمل الحفر. توجد أحجام مختلفة للدلو وأطواله تتراوح بين ٣ – ٨م.

تتكون منصة الحفر Drilling rig من صاري mast، رافعة متعددة الحبال multiline hoist، وذراع متحرك walking beam ومكينة engine. يضرب الحفار ضربات متعددة بمعدل ٢- - ٤٠ ضربة في الدقيقة وبطول ٤٠–١٠٠سم وأثناء الضرب يتم إدارة رأس آلة الحفر حتى تتكون حفرة دائرية .

يفضل إضافة الماء أثناء الحفر لتكوين عجينة paste مع الفتات مما يقلل من احتكاك الرأس الهابط . بعد أن يتعمق الحفر ١ – ٢ م ترفع أجهزة الحفر وينزل الدلو لإفراغ الحفرة من الماء والفتات.

عند الحفر في صخور متفتة يفضل استخدام أنابيب تغليف Casing ويتم عمل ذلك بتثبيتها بواسطة خطافات في ساق الحفر ثم دقها في الحفرة. مع زيادة الحفر يفضل استخدام أنابيب أصغر قطراً لتقليل الاحتكاك.

عيوب هذه الطريقة تتلخص في:

١- البطء في الحفر.

٢- ضرورة استخدام أنابيب تغليف أثناء الحفر خاصة في الصخور المفتتة .

٣- صعوبة استخراج سلسلة أنابيب التغليف خاصة في بعض الظروف الجيولوجية.

مميزاتها:

١- بساطة ورخص منصات الحفر.

٢- يمكن الحصول على عينات من أعماق مختلفة.

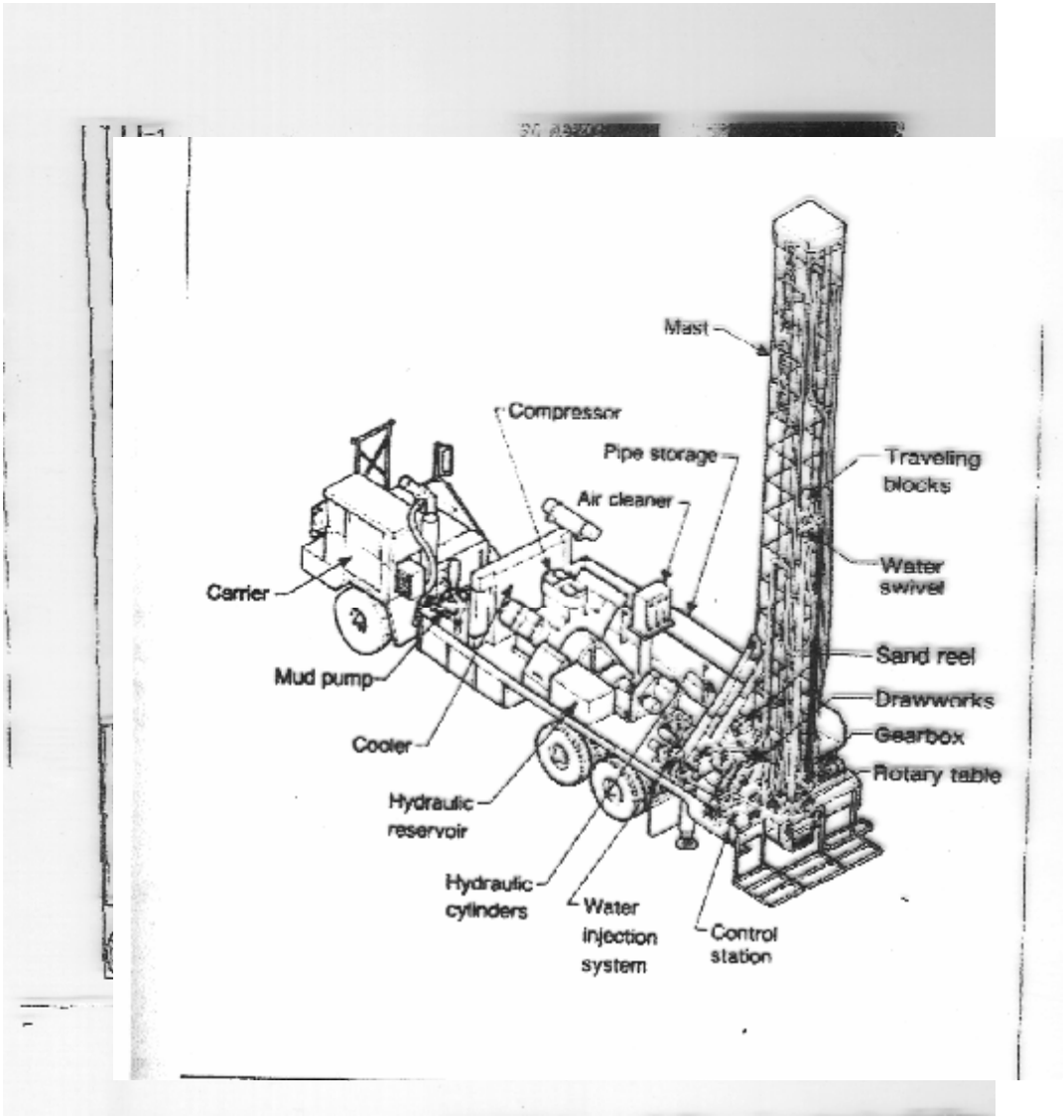
٣- شخص واحد يمكنه استعمال آله الحفر.

٢- الجهاز الرحوي Rotary Method

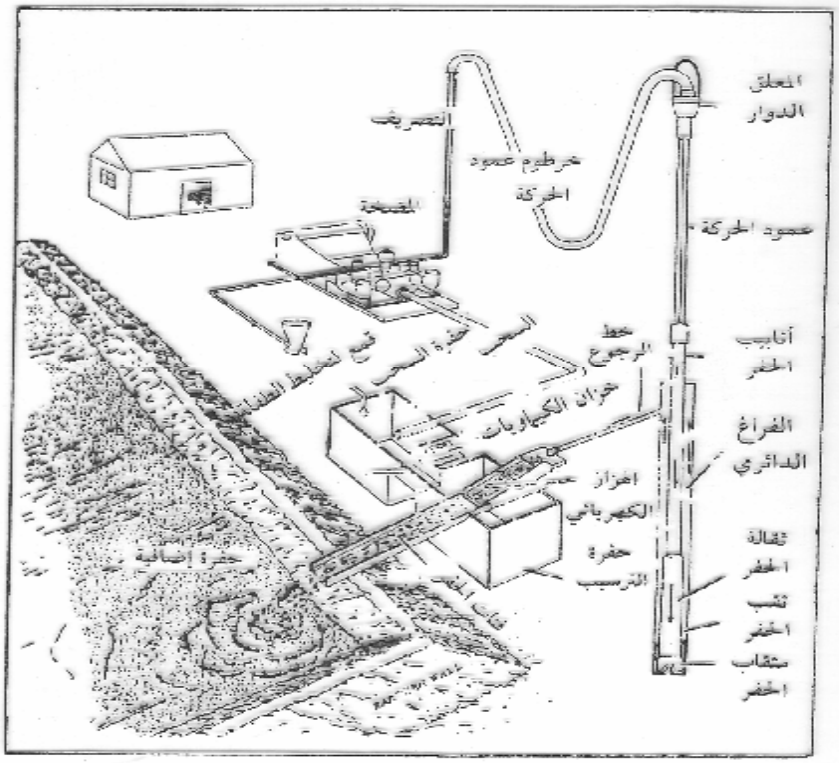
طريقة مناسبة وسريعة للحفر في الصخور المفككة. يمكن بواسطتها حفر آبار عميقة ذات أقطار تبلغ ٤٥ سم أو أكثر.

وصف الجهاز: يتم الحفر بواسطة رأس حفر مجوف دوار يمكن أن يمر من خلاله خليط الماء والطين أو ما يسمى طين الحفر drilling mud. المواد التي يتم تفتيتها بواسطة رأس آله الحفر تحمل لأعلى الحفرة بواسطة الطين الصاعد. البئر لا تحتاج إلى تغليف لأن الطين يشكل غلاف على جدار الحفرة (كعكة الطينmud cake) مما يؤدي الى منع الانهيارات وفقدان طين الحفر ودخول الماء الجوفي. توجد أشكال مختلفة لرأس آله الحفر والمكونة من أشكال مختلفة من التروس ذات الأسنان العميقة والتي تعمل على طحن وتكسير الصخور.

يتكون الجهاز من رأس آلة الحفر drill bit، طوق الحفر drill collar والتي تضيف وزن إلى الرأس. ويتصل الطوق بأنبوب الحفر الممتد للسطح. يتصل أنبوب الحفر بعامود الحركة والذي يسمى الكيلي kelly، يتم إدارة الحفار بواسطة طاولة دوارة rotating table والتي ترتبط بشدة حول الكيلي وتسمح له بالأنزلاق لأسفل كلما زاد العمق. تتكون منصة الحفر في الجهاز الرحوي من برج Rig وطاولة دوارة Rotating table ومضخة لطين الحفرPump ومكينة Engine.



تتكون طينة الحفر من عالق من الماء والبنتونيت bentonite والطين وبعض المواد العضوية. المواد العضوية تساعد على تفتيت طين الحفر بعد أيام من استعمالها، يعمل طين الحفر على تبريد آلة الحفر وتشحيمها حيث يختلط بالفتات، كما أنه عند صعودة من المنطقة المحيطة بأنبوب الحفر يعمل على رفع الفتات إلى السطح حيث يترسب في حفر ومن ثم يتم شفط الماء بواسطة مضخة ليعاد استعماله.



الشكل رقم (٣٧) رسم تخطيطي لدورة سائل الحفر

مميزات الطريقة:

١- تتميز هذه الطريقة بسرعتها

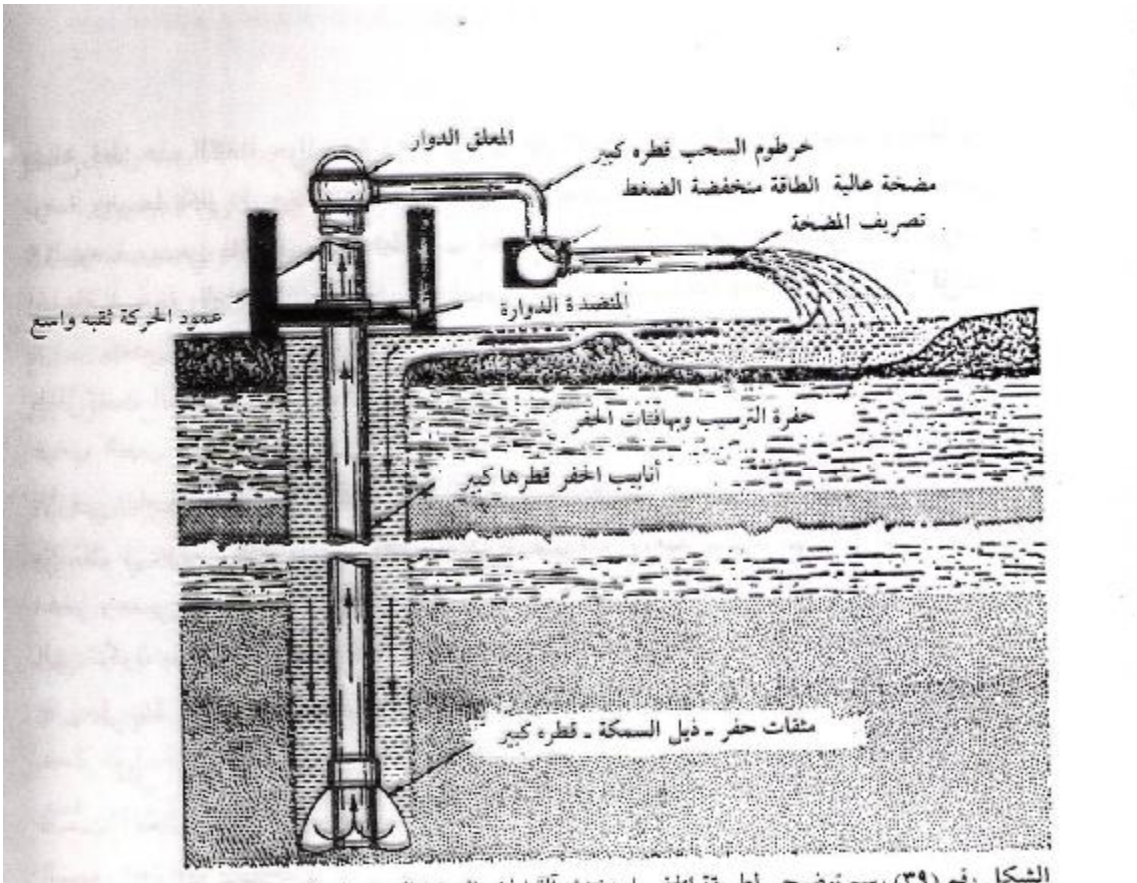
٢- عدم الحاجة للتغليف بواسطة أنابيب

٣- إمكانية عمل سبر كهربائي electric logging.

عيوب الطريقة تتمثل في تكلفتها العالية وفقد سائل الحفر داخل الشقوق وصـــعوبة التخلص من كعكة الطين في بعض الأحيان.

٣ - الجهاز الرحوي المعكوس Reverse-Circulation Rotary Method

أصبحت هذه الطريقة أكثر شعبية عند حفر الآبار ذات الأقطار الكبيرة في الصخور المفتتة حيث يضخ الماء في داخل الحفرة حول أنابيب الحفر ومن ثم يصعد من خلال رأس آلة الحفر وأنبوب الحفر الأعلى بواسطة مضخة طرد مركزي عالية السعة. يتم ضخ الماء الخارج من البئر إلى حفر في السطح حيث يترسب الفتات ويعاد استخدام الماء بحيث يكون باستمرار عمق الماء في البئر قريب من سطح الأرض. لمنع إنهيار التربية من جدار البئر يجب التحكم في سرعة الماء الهابط كما يجب ألا يقل قطر البئر عن ٤٠سم. يختلف قطر رأس آلة الحفر من ٠,٤ –١,٨م. سرعة الماء الصاعد داخل الأنابيب تزيد عن ٢م/ ثانية. ويجب أن تدار الطاولة بسرعة ١ - ٤٠ دورة /دقيقة. هذه الطريقة تعتبر من أسرع الطرق لحفر الآبار العميقة في الصخور المفتتة ولكنها تستهلك كمية كبيرة من الماء، كما يفضل إنهاء الحفر باستخدام غلاف حصوي.



الشكل رقم (٣٩) رسم توضيحي لطريقة الحفر باستخدام آلة الحفر الدوارة التي تعمل بالدورة العكسية

إنهاء البئر Well Completion

١ - التغليف Placement of Casing

٢ - لحم (تثبيت) التغليف Cementing of Casing

٣ - تركيب المصافي Placement of well screen

٤ - وضع الحزام الحصوي Gravel packing

في الصخور الصلبة يمكن ترك البئر كحفرة فقط دون إجراء هذه العمليات إذا لم يتطلب الأمر عملها.

١ - تغليف البئر Well Casing

يستعمل لبقاء البئر مفتوحاً دائماً ، يمنع الانهيارات إلى داخل البئر سواء من الخارج أو من جدران البئر ، يمنع دخول المياه غير المرغوب فيها سواء كانت سطحية أوجوفية.

تستخدم في التغليف أنابيب من الحديد الصافي أو المخلوط. الوصلات على شكل أسنان تعشق في بعضها أو تلحم الانابيب لمنع أي تسرب.

في حالة الحفر بطريقة الجهاز الحبلي يتم دق انابيب التغليف داخل البئر بينما في حالة الحفر بطريقة الجهاز الرخوي يتم انزال الانابيب لأنها أصغر قطراً من الحفرة .

٢ - تثبيت الغلاف Cementing of Casing

المنطقة المحيطة بأنابيب التغليف تعبأ بالأسمنت لحمايتها من الصدأ ومنع دخول المياه رديئة النوعية إلى البئر ولحماية الأنابيب من الصخور المنهارة. ويتم تسميت (تعبئة الفراغ حول الأنابيب بالاسمنت) الأنابيب بعدة طرق احداها عنر طريق احلال الخلطة الاسمنتية من خلال خط أنبوبي صغير يسمى (Tremie pipes) يتم وضعه في ثقب الحفرة خارج انابيب التغليف.

ويوجد أنواع من الأسمنت تستخدم لهذا الغرض قسمت إلى عدة رتب بناء على مواصفات معهد البترول الأمريكي، وأهمها الاسمنت البورتلاندي رتبة أ، ب، ج. وتحتاج عملية الحجب إلى عناية فائقة لأنها يجب أن تتم على دفعة واحدة لكامل طول أنابيب التغليف حيث لا يمكن عمليا دفع خلطة أخرى في حالة كونها غير كافية. ولتقدير حجم الخلطة

الإسمنتية باللتر لتعبئة متر طولي من الفراغ يجب معرفة كل من قطر أنابيب التغليف وقطر ثقب الحفرة.

٣ - تركيب المصافي Placement of well screen

في المناطق ذات الصخور الصلبة تدخل المياه مباشرة إلى البئر دون الحاجة إلى تركيب مصافي ولكن في حالة المتكونات المفككة يتوجب إنزال مصافي إلى داخل البئر. المصافي تعمل على:

١- تثبيت جوانب البئر ٢- منع دخول الرمال إلى البئر ٣- يسمح بدخول كمية من المياه إلى البئر تحت ظروف مقاومة هيدرولكية قليلة.

عند استخدام الجهاز الحبلي يتم انزال المصافي بواسطة طريقة Pull back method حيث تسحب أنابيب التغليف لأعلى عند إنزال المصافي حتى تصل إلى أعلى المصافي وتثبت. تتكون المصافي من أنابيب مخرمة لها فتحات قطرها من ١ – ٦ ملم ويفضل أن تشكل المساحة النسبية للأجزاء المخرمة(open area) ١٥% على الأقل من المساحة الكلية للمصافي.

توجد عدة أشكال لفتجات المصافي وتختلف اقطارها اختلافاتً كبيرةً. لتقليل فقد البئر وقفل الفتحات بواسطة الرمال Screen clogging يجب التحكم في سرعة دخول الماء إلى البئر.

تصنع الصافي من مواد مختلفة مثل السبائك المعدنية ، البلاستيك ، الخرسانة، الزجاج الصناعيFiber glass والاسبستوس والخشب.

٤ - الحزام الحصوي Gravel Packing

الحزام الحصوي هو عبارة عن غلاف من الحصى الصناعي يوضع في المنطقة المحيطة بالمصفاة ، وهو يفيد فيما يلي:

١- يثبت الطبقة الحاملة للماء.

٢- يقلل من شفط الرمال.

٣- يسمح باستعمال مصافي ذات ثقوب كبيرة ومساحة مفتوحة عظمى .

٤ - يوفر منطقة دائرية ذات نفاذية عالية تزيد من القطر الفعال وعطاء البئر.

أكبر حجم حصوي يستخدم هو ١سم واكبر سمك ٨ بوصات توجد معادلات كثيرة تـــربط بين التدرج في حجم الحصى وحجم حبيبات الطبقة الحاملة للماء. يجب غـــسل الحـــصى وغربلته قبل وضعه حول البئر، كما يجب أن يكون الحصى دائري ومقاوم للتآكل. كمـــا ينبغي أن يعبئ تماماً المنطقة المحيطة بالبئر ليقلل التسرب من خلاله.

الطريقة المتبعة لوضع الحصى هي من خلال انزال أنبوبين Termie Pipesيصلان إلى قاع البئر وعلى الجانبين (حول الغلاف) ومن ثم يتم سكب أو غسل أو ضخ الحصى من خلالها وبعد ذلك يسحب هذان الأنبوبان.

تصميم آبار المياه Water Well Design

تشمل عملية تصميم آبار المياه اختيار أبعاد البئر المناسبة وكذلك اختيار المواد الداخلة في أنشائه، ويهدف التصميم الأمثل إلى :

١- الحصول على عطاء عالي مع أقل انخفاض متناسب مع قدرة الطبقة المنتجة .

٢- نوعية مياه جيدة مع حماية من التلوث.

٣- مياه خالية من الرمال.

٤- آبار ذات أعمار طويلة (٢٥ سنة أو أكثر).

٥- تكاليف معقولة .

هناك معلومات هامة عند البئر يفضل الحصول عليها لتصميم بئر ذي كفاءة عالية وتشمل:

١- معلومات عن الصخور المكونة للطبقة المنتجة للماء وما يعلوها من طبقات.

٢- قيم معاملات النقولية والتخزين للطبقة المنتجة للمياه

٣- الميزان المائي الحالي وطويل المدى للطبقة المنتجة للماء.

٤- تحليل حجمي للحبيبات المفككة للطبقة المائية والتعرف على نوع الصخور والمعادن.

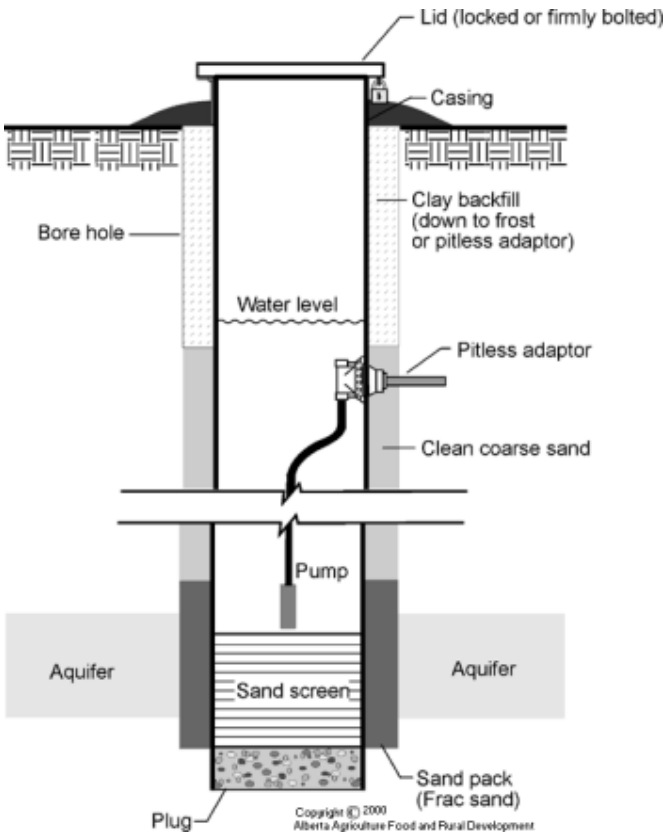
٥- نوعية المياه.

يتكون البئر من جزئين أساسيين هما:

١- الطبقات التي تعلو الطبقة المنتجة للماء: وتستخدم كبيت للمضخة وأجزائهاً، هذا النطاق عادة ما يتم عزله لسبب من الأسباب ومنها التأثير السلبي على كمية أو نوعية الإنتاج من الطبقة الحاملة للمياه بسبب دخول مياه غير جسدة من طبقات أخرى، أو لضمان عدم انهيار التربة خاصة في حالة الرواسب المفككة. وعادة مايحاط بأنابيب تغليف Casing ولتحقيق ذلك ينبغي تحديد أطوال وأقطار ونوعية الأنابيب المستعملة في التغليف، وكذلك نوعية الأسمنت المستعمل في حجبه. ويخدم هذا الجزء كمعبر رأسي للماء باتجاه السطح من الطبقة المنتجة.

٢- الطبقة المنتجة للماء Intake Area: يعتمد طول الجزء المنتج من البئر على كمية العطاء المطلوب وسمك التكوين المائي وخصائصه الهيدروليكية ووجود نطاقات مشبعة

ذات نفاذية منخفضة أو مياه رديئة. في هذه النطاق تركب المصافي التي تسمح بمـــرور الماء من خلالها كما يوضع حولها الغلاف الحصوي المناسب. يتم اختيار مواصفات كل من المصافي والغلاف الحصوي بناء على الخصائص الجيولوجية والهندســية للتكــوين المائي ونوعية الماء الجوفي.



أولا: الطبقة التي تعلو الطبقة المنتجة للماء

أ- طول وقطر انابيب التغليف

لتقدير عمق وسمك الطبقة المنتجة في البئر وبالتالي عمق البئر وطول أنابيب التغليف يتم دائما عن طريق إجراء دراسات تحت سطحية تشمل حفر آبار اختباريه وإجراء مسوحات جيوفيزيائية. وتشمل المسوحات الجيوفيزيائية تطبيق عدد من الطــرق ومنهــا طريقــة المقاومة الكهربية والطريقة الكهرومغناطيسية والطريقة الزلزالية.

يجب حفر البئر بحيث يصل عمقه إلى قاع الطبقة الحاملة للماء وذلك بهدف:

١- استغلال أكبر جزء من التكوين المائي ليشكل مصدراً لتغذية البئر وبالتالي تزداد السعة النوعية للبئر High specific capacity .

٢- توفير عمق أكبر للانخفاض مما يسمح بزيادة عطاء البئر حتى في حالة الجفاف والضخ العالي Overpumping.

هناك حالات خاصة يمكن فيها حفر آبار ذات اختزاق جزئي وذلك في حالة الطبقات المائية السميكة جداً حيث يصبح الاختزاق الكلي غير اقتصادي وكذلك عند وجود مياه رديئة النوعية في أي جزء من الطبقة المنتجة للماء فإنه يفضل أنهاء البئر عند عمق يمنع دخول الماء الردئ.

حيث أن هذا النطاق من البئر يحوي الجزء الذي توضع فيه المضخة فيجب مراعاة العمق الذي يصل إليه طول المراوح والتي يجب أن يزيد عن أقصى هبوط متوقع لمستوى الماء الجوفي خلال عمر البئر.

اختيار قطر أنابيب التغليف له أهمية بالغة وذلك بحكم تأثيره على تكاليف الحفر. قد يكون البئر ذو قطر ثابت من أعلى لأسفل بينما قد يقل القطر مع العمق.

قطر التغليف يمكن اختياره لتحقيق غرضين أساسيين هما:

١- يجب أن يكون قطر أنبوب التغليف كبير إلى الحد الذي يسمح معه باحتواء المضخة مع اعطاء مساحة كافية لتركيب المضخة وقيامها بعملها بفعالية تامة.

٢- ينبغي أن يكون قطر التغليف كافي ليسمح بسرعة مرور لأعلى تساوي ٣ قدم/ثانية (١م/ثانية) أو أقل.

اختيار قطر أنبوب التغليف مرتبط مباشرة بحجم المضخة حيث يفضل أن يكون قطر التغليف أكبر من ضعف قطر المضخة. وفي كل الحالات ينبغي أن يكون قطر التغليف أكبر من أوعية المضخة pump bowls وذلك ليسمح بمرور الماء إلى أسفل بحد أدنى من فقد الرأس head loss ليدخل في منطقة تغذية المضخة Pump intake.

كذلك فإن قطر التغليف له علاقة وثيقة بمعدل التعريف وسرعة التدفق حيث :

$$r = \sqrt{\frac{0.32Q}{\Pi v}}$$

حيث r = قطر أنابيب التغليف بالبوصة، Q = معدل التدفق بالجالون/ دقيقة، v = سرعة صعود الماء ويفضل أن تكون في حدود ٣ قدم/ ثانية لتجنب السريان العشوائي وزيادة فقد البئر.

ثانياً: الطبقة المنتجة للماء Intake Area

أ- تصميم مصافي الآبار:

يعتمد إختيار الطول المناسب للمصفاة على:

١- سمك التكوين المائي.

٢- الانخفاض في مستوى سطح الماء في البئر.

٣- مدى تطبق التكون المائي.

إذا كانت المكونات الصخرية للتكوين المائي متماسكة فانه يمكن ترك ثقب الحفرة مفتوحا دون الحاجة إلى وضع غلاف مثقب، بعكس التكاوين المفككة حيث توضع تلك الأغلفة لحجز المواد المفككة ومنع خروجها مع الماء.

يوجد نوعان أساسيان من الأغلفة المثقبة التي تستخدم في آبار المياه وهي:

١- أنابيب التغليف المثقبة آليا والتي تتكون من أنابيب تغليف عادية تعمل فيها شقوق طولية بأقطار وأطوال مختلفة.

٢- مصافي الآبار ولها عدة أشكال وتتكون أما من أسلاك ملفوفة على أسياخ رأسية أو سفلي من أسلاك ملفوفة على قاعدة أنبوبية مثقبة.

عادة يفضل النوع الثاني لإمكانية التحكم في حجم فتحاتها وخاصة الصغيرة جدا إضافة إلى قدرتها الكبيرة على مقاومة التآكل وكبر مساحتها المفتوحة.

اختيار طول المصافي يتم بناء على الأسس التالية:

١- في التكاوين المائية المحصورة المتجانسة ينبغي أن تغطي المصافي ٨٠-٩٠% من السمك المشبع.

٢- في التكاوين المائية المحصورة غير المتجانسة ينبغي أن تغطي المصافي ٨٠-٩٠% من الطبقات ذات النفاذية العالية.

٣- في التكاوين المائية غير المحصورة المتجانسة توضع المصافي مقابل الثلث أو النصف السفلي من الطبقة حيث إن الجزء العلوي قد يجفف أثناء الضخ.

٤- في التكاوين المائية غير المحصورة غير المتجانسة توضع المصافي مقابل الثلث أو النصف السفلي من الطبقة الأكثر نفاذية.

لتحديد فتحات المصافي تؤخذ عينات من المواد المكونة للطبقة المشبعة ويعمل لها تحليل ميكانيكي في المعمل ثم توقع نتائج التحليل على ورق بياني. يختار حجم فتحات المصافي على أساس الحجم الحبيبي على المحور الأفقي المقابل لنسبة الوزن المتبقي التي تتراوح بين ٤٠-٥٠% على المحور الرأسي وذلك في حالة التكاوين الناعمة المتجانسة أما بالنسبة للتكاوين الخشنة فيختار الحجم المقابل لنسبة تتراوح بين ٣٠-٥٠%.

يحدد اختيار قطر المصافي على أساس الحصول على مساحة كلية مفتوحة للمصافي بحيث تكون كافية لمرور كمية الماء الجوفي المتوقع إنتاجها وبسرعة لا تزيد عن ٠,١ قدم / ثانية. ويتحكم في المساحة الكلية المفتوحة للمصافي طولها وقطرها وحجم فتحاتها.

والمساحة الكلية المفتوحة تعتمد على طول المصفاة (يحدده سمك التكوين) وحجم فتحات المصافي (يحدده تدرج احجام حبيبات التكوين المائي) إضافة إلى قطر المصفاة والذي يجب عند اختياره الالتزام بالقاعدة المذكورة سابقاً وذلك للاسباب التالية:

أ- ليكون فاقد الاحتكاك في فتحات المصافي أقل ما يمكن.

ب- ليكون معدل تكون القشرة على جسم المصفاة أقل من يمكن.

ج- ليكون معدل تآكل المصافي أقل ما يمكن.

ويمكن حساب المساحة الكلية للمصافي المفتوحة باستخدام العلاقة التالية:

$$A = Q / v$$

حيث أن: A المساحة الكلية المفتوحة (قدم^{٢}) و Q الإنتاج المتوقع (قدم^{٣}/ثانية) و v سرعة دخول الماء إلى المصافي(قدم/ثانية).

يتم تحديد حجم فتحات المصفاة من دراسة التحليل الميكانيكي Sieve analysis للعينات الممثلة للطبقة المنتجة للمياه ويتم رسم منحنى التحليل لكل عينة وعليه فإنه يمكن تحديد حجم فتحات المصافي على أساس العوامل التالية:

أ- الطبقة المكونة من رمال ناعمة متجانسة يتم اختيار فتحات المصافي على أساس الحجم الجيبي المقابل لنسبة ٤٠ - ٥٠ % على المحور الرأسي.

ب- في الطبقات المكونة من رمال خشنة وحصى تختار فتحات المصافي التي تحتفظ بنسبة من الرمال والطمي تتراوح بين ٣٠ – ٥٠%.

ج- في الطبقات الغير متجانسة يتم اختيار فتحات القطاعات المختلفة من المصافي بناءاً على تدرج المواد في الطبقات المختلفة وتعامل كل طبقة على حدة كما سبق في الفقرتين أ و ب مع مراعاة القاعديين التاليتين:

١. إذا كانت المواد الناعمة تعلو المواد الخشنة فيجب أن تمتد المصافي المصممة للمواد الناعمة لمسافة لا تقل عن متر داخل الطبقة التي أسفلها.

٢. في مثل الحالة (١) يجب ألا يزيد حجم فتحات المصافي القابلة للمواد الخشنة عن ضعف حجم فتحتات المصافي المقابلة للمواد الناعمة التي تعلوها.

اختيار نوعية المصافي يتحكم فيها نوعية الماء الجوفية ووجود البكتيريا ومتطلبات المتانة. وتوجد أنواع عديدة من المصافي منها المعدني وغير المعدني. ومن أشهر أنواع المصافي المعدنية تلك المصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ ومن السبائك النحاسية، بينما تتكون المصافي غير المعدنية من اللدائن الصناعية والألياف الزجاجية وغيرها.

ب - تصميم الغلاف الحصوي Gravel Pack Design

يفضل عادة وضع غلاف حصوي في الفراغ الحلقي المحيط بالمصافي وذلك بإزالة المواد المكونة للطبقة المنتجة واستبدالها بمواد أخشن متدرجة في الحجم وذلك بهدف زيادة نفاذية هذه المنطقة وزيادة القطر الفعال لبئر. ولتحديد الحجم الحبيبي المناسب للحزام الحصوي يجري رسم منحنى خاص بنتائج التحاليل الميكانيكية لعينات تربة ممثلة للطبقة المنتجة ثم يعين عليها الحجم الحبيبي المقابل لنسبة ٧٠% من وزن العينة الإجمالي. يضرب هذا الحجم في معامل ثابت تتراوح قيمته بين ٤-٦ وتعتبر قيمة حاصل الضرب نقطة البداية لرسم المنحنى الدال على التدرج في حجم الغلاف الحصوي حيث توقع مقابل نسبة ٧٠% من التدرج. من خلال هذه النقطة يرسم منحى معامل تجانسه ينبغي إلا يزيد عن ٢,٥. ويعرف معامل التجانس على أنه:

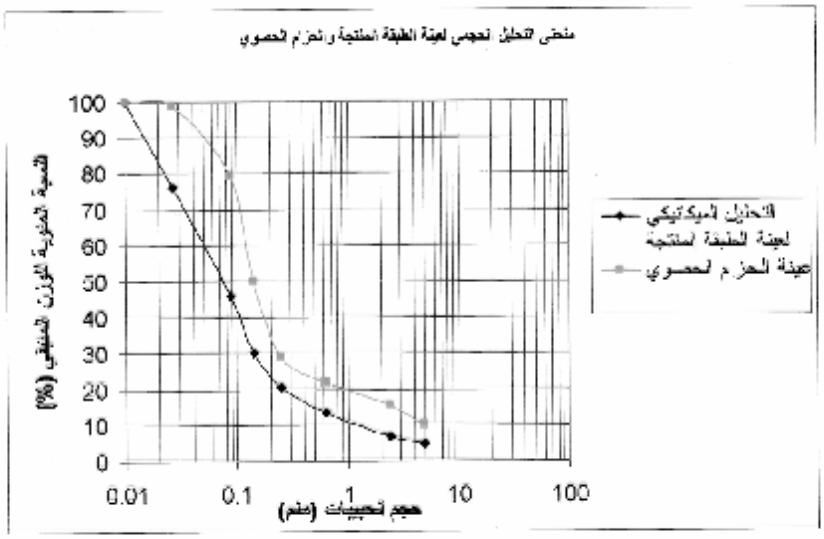
معامل التجانس= الحجم الحبيبي المقابل لنسبة ٤٠%

الحجم الحبيبي المقابل لنسبة ٩٠%

ويتم إعداد مواصفات الغلاف الحصوي باختيار أربعة أو خمسة من أحجام الحبيبات بحيث تغطي طول المنحنى ومن ثم استقراء النسب المئوية المقابلة لهذه الأحجام.

وتعتبر نوعية مواد الغلاف الحصوي من الأمور المهمة عند تصميم البئر المثالي وتتميز بمواصفات عديدة منها أن تكون المواد المستخدمة نظيفة ويقصد بها خلوها من مواد دقيقة وان تكون متجانسة و مستديرة وذات أسطح ملساء وذلك للإقلال والحد من عملية الانسدادت بواسطة المواد الدقيقة، أضف إلى ذلك أن تتكون من الصخور والمعادن السيليكاتية حيث أن استخدام مواد كربونية قد يتسبب في حدوث مشاكل مستقبلية وخاصة عند صيانة الآبار عند استخدام الأحماض للتنظيف حيث يمكن أن تحدث تفاعلات كيميائية تؤدي إلى انسدادات في مواد الغلاف والتي بدورها تؤدي إلى انخفاض النفاذية للغلاف الحصوي.

من ناحية أخرى ينبغي ألا يقل سمك الغلاف الحصوي عن ٣ بوصات لضمان تكوين غلاف حصوي كامل كما ينبغي ألا يزيد السمك على ٨ بوصات حتى تستطيع الطاقة المبذولة أثناء عملية التطوير أن تخترق الغلاف إلى جدار البئر لإصلاح أي عطب حاصل نتيجة الحفر والتخلص من بقايا سائل الحفر وإزالة المواد الناعمة من حول البئر. ارتفاع الغلاف يجب أن يكون أعلى من مستوى المصفاة ليمكن معادلة النقص في ذلك الارتفاع المصاحب لعمليات تنمية الآبار.



شكل ٦-٥: منحنى التحليل الميكانيكي لعينة تمثل الطبقة المنتجة والمنحنى المقابل لتصميم الحزام الحصوي.

جدول ٦-٢: التدرج الحبيبي للغلاف الحصوي حسب تصميم آبار الضاية.

الحجم الحبيبي (ملم)	النسبة المئوية المقابلة للحجم الحبيبي (%)	الحد المسموح به للنسبة المئوية المقابلة للحجم الحبيبي (%)
صفر	٤	صفر-٨
١,٢	١٨	١٠-٢٦
٠,١٥	٤٥	٣٧-٥٣
٠,٠٩	٨٠	٧٢-٨٨
٠,٠٦	٩٠	٩٠-١٠٠

طرق تطوير الآبار Methods of Well Development

يتم تطوير الآبار الجديدة لزيادة سعتها النوعية ومنع انسدادها بالرمال والحصول على آبار أكثر اقتصادية وأطول أعماراً. هذه النتائج يمكن الحصول عليها عن طريق إزالة المواد الدقيقة الحجم من المتكونات المحيطة بالمصفاة. وعندما يوضع الحزام الحصوي فإن جزءاً كبيراً من هذه المشكلة يكون قد تم حله، إلا أن تطوير البئر يظل ذو فائدة كبيرة.

يتم التطوير بطرق مختلفة تشمل:

١- الحقن الميكانيكي	Mechanical Surging
٢- الحقن باستخدام الهواء	Surging with Air
٣- الضخ الشديد	Overpumping
٤- الغسيل العكسي	Backwashing
٥- النفث الهيدروليكي	Hydraulic Jetting
٦- التهشيم الهيدروليكي	Hydraulic Fracturing
٧- استعمال المواد الكيميائية	Use of Chemicals
٨- استعمال المتفجرات	Use of Explosives

١- الضخ الشديد Overpumping

يتضمن هذا الاسلوب ضخ الماء من البئر على مراحل مختلفة بمعدلات تصريف متصاعدة تبدأ من ضعيفة وتنتهي إلى عالية تفوق السعة المطلوبة .

لزيادة الفعالة يجب أن يكون النشاط ممتداً إلى أقرب منتصف المصفاة .

تبدأ المرحلة الأولى بضخ لفترة معينة حتى يصفى الماء ثم توقف المضخة لفترة ويعود الماء الموجود في الأنابيب إلى البئر ثم تبدأ مرحلة أخرى بزيادة في معدل التصريف حتى الوصول إلى المرحلة النهائية حيث تكون أكبر سعة للمضخة. بهذه الطريقة يتم تهييج الحبيبات الدقيقة قرب البئر ومن ثم يتم حملها وضخها خارج البئر.

٢ - الكبس الميكانيكي Mechanical Surging

في هذه الطريقة يستعمل مكبس Surge block يتحرك لأعلى وأسفل ويركب في أسفل ساق الحفر كالتي تستخدم في طريقة الجهاز الحبلي .عند استعمال هذه الطريقة يفضل إفراغ البئر جزئياً من الماء ثم إنزال المكبس تدريجياً إلى مستوى اخفض من مستوى الماء بحوالي ٥ – ١٠ م ولكن فوق مستوى المصفاة مع مراعاة الإنزال بسرعة بسيطة خاصة في التكونات الرسوبية الدقيقة. بهذه الطريقة يبدأ الضغط على الماء والذي بدوره ينتقل الضغط إلى المنطقة المحيطة بالبئر وبعد ذلك يبدأ رفع المكبس لأعلى ببطء ثم إنزاله مرة أخرى وهكذا لعدة مرات مع زيادة السرعة والقوة في كل مرة وخفضه لمستويات أعمق. عند الضغط لأسفل فإن الماء الهابط سوف يساعد على دفع الرسوبيات للداخل بعيداً عن المصفاة بينما عند اخفاض الضغط فإن المواد الدقيقة سوف تسحب بواسطة الماء وتتعلق فيه أثناء دخوله إلى داخل البئر حيث تترسب ويتم سحبها أخيراً بواسطة مضخة رمال sand pump.

٣ - الكبس بالهواء Air Surging (Jetting)

يستعمل في هذه الطريقة مكبس هواء متصل بأنبوب هواء يوضع داخل البئر يثبت حول أنبوب الهواء أنبوب تصريف. ينزل الأنبوبان في البداية إلى قرب قاع المصفاة، وللحصول على نتائج جيدة يجب أن يكون مستوى الماء في أنبوب التصريف مغطياً لحوالي ثلثي طول الأنبوب. يقفل أنبوب الهواء ويبدأ في ضغط الهواء داخل البئر إلى درجة كبيرة بطريقة تدريجية ثم يخفض الضغط بطريقة فجائية بواسطة صمام. بهذه الطريقة يتم خلخلة الحبيبات الدقيقة حول البئر والمصفاة حيث تتفتت وتتعلق في الماء وتدخل معه إلى داخل البئر. يتم تكرار هذه الطريقة لعدة مرات حتى يتم التخلص من الرمال المتراكمة حول البئر.

٤ - طريقة الغسل العكسي Backwashing

تسمى هذه الطريقة الجلد بالسياط Raw hiding وتتضمن رفع الماء من البئر إلى السطح بالضخ ثم تركه ليعود ثانية إلى البئر هذه الطريقة. يبدأ الضخ بمعدل تصريف

بسيط ويزداد تدريجياً إلى أقصى طاقة لتقليل خطر انسداد المضخة بالرمال. بعد أن تشغل المضخة ويصل الماء إلى السطح تقفل المضخة فيسقط عمود الماء داخل البئر. ويستمر تشغيل المضخة وإيقافها بسرعة بقدر ما تسمح به القوة المحركة وجهاز التشغيل، ومن وقت لآخر يتم ضخ الماء إلى الخارج لإزالة الرمال التي تتجمع في البئر. بهذه الطريقة يتم خلخلة الحبيبات الدقيقة المتركمة حول المصفاة حيث أن الحركة العكسية للماء تكسر التجميع Bridging الناشئ حول المصافي. بعض الآبار تستجيب للتطور بهذه الطريقة بدرجة كافية ولكن في كثير من الحالات فأن تأثير الضخ العكسي لا يكون قوياً بدرجة كافية للحصول على نتائج جيدة.

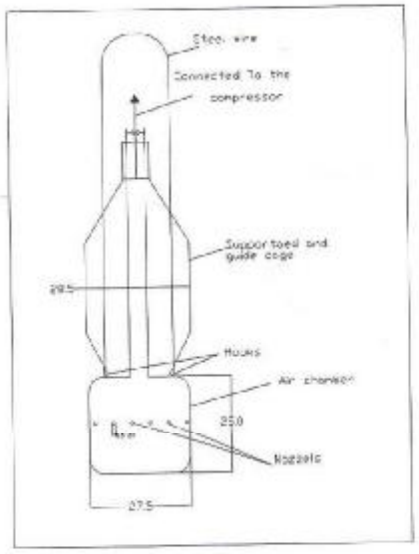
٥ - النفث (الحقن) الهيدروليكي Hydraulic Jetting

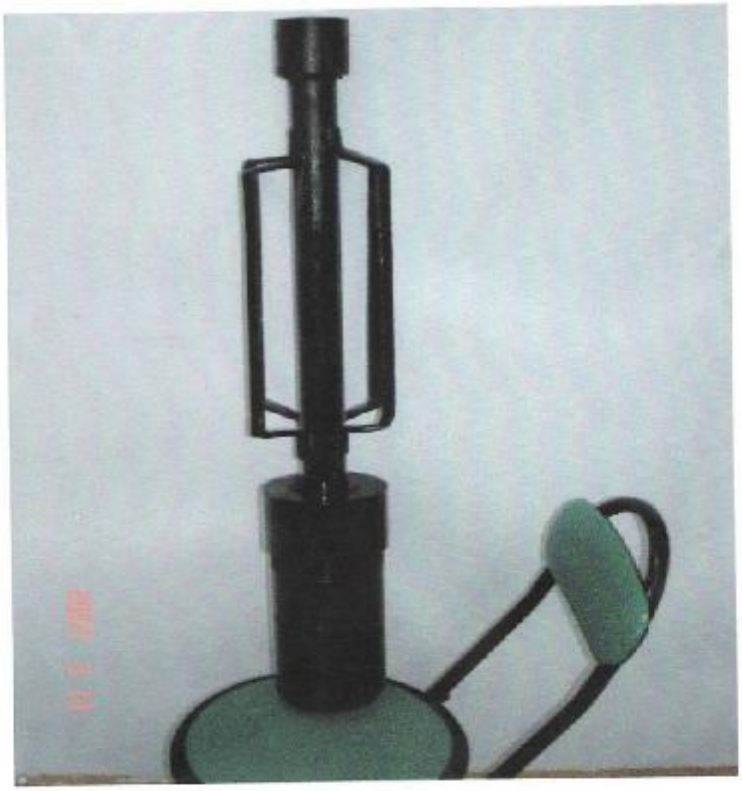
الحقن بالماء بسرعات كبيرة يعتبر طريقة تطوير مؤثرة جداً في الآبار المفتوحة Open rock holes وفي الآبار ذات المصافي التي بها فتحات كثيرة. توضح فتحة النفث Jet nozzle في وضح أفقي وتركب في نهاية سلسة أنابيب متصلة بدوار ولي مركب في مضخة عالية الطاقة. يضخ الماء عبر الانابيب ويدار ببطء داخل البئر حيث تتخلخل الحبيبات الدقيقة في الصخور المفتتة ومن ثم تحمل بواسطة السريان المضطرب إلى داخل البئر. تفيد هذه الطريقة ايضا في تفكيك كعكة الطين من جدار البئر. هذه الطريقة صالحة كذلك للآبار ذات الحزام الحصوي.

٦ - إستعمال مواد كيميائية Use of Chemicals

الآبار المفتوحة في الطبقات الجيرية مثل الحجر الجيري والدلوميت يمكن تطويرها بإضافة حمض الهيدروكلوريد إلى الماء في البئر حيث يعمل على إذابة الصخور وتوسيع الشقوق فيها. هذه الطريقة عادة تستعمل بعدها احدى طرق التطوير السابقة.

يمكن ايضا استخدام حمض الهيدروفلوريد لتطوير الآبار في الصخور التي تحوي السيليكا، وتستعمل مركبات الفوسفات المضافة إلى الماء لتفكيك كعكة الطين وازالة الرمال الدقيقة.





جهاز الحقن بالهواء

٧- التهشيم الهيدروليكي Hydraulic Fracturing

التهشيم الهيدروليكي يستخدم لتحسين الآبار المفتوحة ويستعمل كثيراً في آبار البترول. في هذه الطريقة تستخدم محابس قابلة للانفتاح Inflatable packers في داخل البئر بحيث تحجز جزء منه. تركب المحابس في أنابيب ممدودة من السطح. بعد ملء الانابيب بالماء يتم ضغطها بواسطة الهواء حتى تقوم بتهشيم الصخور المحيطة. أحياناً يتم ضخ الرمال إلى داخل الجزء المحصور من البئر حتى تندفع الرمال إلى داخل الشقوق في الصخور وتبقيها مفتوحة.

٨- استعمال المتفجرات Use of Explosives

يستخدم الديناميت لتوسيع الشقوق وزيادة نفاذية الصخور الصلبة، حيث يوضع داخل فتحات في جدار الآبار ومن يثم يفجر بطريقة مدروسة لتهشيم الصخور المحيطة بالبئر.

مضخات آبار المياه Water Well Pumps

أنواع المضخات الرئيسية هي:

١- المضخات الطاردة المركزية Centrifugal pumps

أ- المضخات الماصة Suction pumps

ب- المضخات التوربينية للآبار العميقة Deep-well turbine

ج- المضخات التوربينية المغمورة Submersible turbine

٢-المضخات النفاثة Jet pumps

٣-المضخات الهوائية Air-lift pumps

أولاً: المضخات الطاردة المركزية Centrifugal Pumps

يوجد العديد من أنواع المضخات الطاردة المركزي والتي تقدم فكرتها على مبدأ مرجحة (هز) سطل ماء في نهاية طرف حبل في شكل دائري حيث يعمل الطرد المركزي على ضغط الماء على قاع السطل بدلاً من الخروج من الجانب المفتوح. لو فتحت فتحة في قاع السطل فإن الماء سيندفع منها بسرعة متناسبة مع قوة الطرد ولو أحكم إغلاق فتحة السطل بواسطة غطاء محكم فإنه سيتكون فراغ جزئي داخل السطل أثناء تصريف الماء. هذا الفراغ يستطيع سحب كميات أكبر من الماء إلى داخل السطل من خلال أنبوب موصل بفتحة في الغطاء إذا لم يكن الرفع عالياً جداً. هذه الفكرة تمثل المضخة حيث يمثل السطل والغطاء غلاف المضخة، فتحة التصريف وأنبوب التغذية تمثل أنابيب التغذية والضخ، الذراع الدوار والحبل يماثلان عمل مصدر الطاقة ومراوح المضخة pump impeller.

أ- المضخات الماصة Suction pumps

تعمل بواسطة تخفيض الضغط عند فتحة الشفط pump intake وبالتالي فإن الضغط الجوي على سطح الماء سيجبر الماء إلى الإرتفاع إلى المنطقة التي حدث فيها

إنقاص الضغط. أكبر رفع للماء يعتمد على عوامل منها الضغط الجوي، ضغط بخار الماء، فقد الضغط head losses نتيجة الاجتكاك. يمكن رفع الماء إلى إرتفاع ٧م.

ب- المضخات التوربينية Deep-well turbine pumps

وتعتبر من أكثر المضخات استعمالاً لسعتها العالية وامكانية استخدامها في الآبار ذات الأقطار الكبيرة ويوجد منها عدة أنواع مثل المضخات التوربنية الرأسية Vertical turbine pumps. هذه المضخات تتكون من مروحة أو أكثر مركبة داخل وعاء تجميع أو أكثر Assembly bowls. عدد أوعية التجميع يتحكم فيها مدى الجهد المطلوب لرفع الماء فكلما زادت هذه الأوعية أمكن رفع الماء لمستويات أعلى. تركب المراوح في ذراع رأسي داخل اسطوانة المضخة والتي تصل بين الماء والسطح. الموتور موجود على السطح.

فقد الراس داخل أسطوانة المضخة يجب أن لا يزيد عن ١,٦م/٣٠,٥م من طول الاسطوانة.

ج- المضخات التوربينية المغمورة Submersible pumps

لها نفس أوعية التجميع كما في المضخات الرأسية لكن الموتور مغمور تحت الماء وموجود تحت أوعية التجميع. الماء يدخل من خلال نقطة الشفط الواقعة بين الموتور وأوعية التجميع ثم ترفع من خلال الأنابيب لأعلى. يمكن استخدام هذه المضخات لأعماق تصل إلى أكثر من ٦٠٠م.

ثانياً: المضخات النفاثة Jet Pumps

تستخدم هذه المضخات في كثير من الأغراض المنزلية وتتكون من تجمع مضخة طاردة مركزية ومنفث وأنبوب فينتوري Nuzzle-Venturi Arrangement. يسري الماء من خلال المنفث في داخل أنبوب تحت ضغط. صمم المنفث بطريقة معينة

بحيث تقل مساحة منطقة سريان الماء بطريقة فجائية مما يزيد من سرعة الماء، وطبقا لقانون Bernoulli law فإن ضغط الماء في الأنبوب يقل بطريقة متناسبة مع زيادة السرعة والعكس بالعكس، بمعنى أنه إذا زادت السرعة عند أي نقطة بسبب نقص المساحة كما يحدث عند النقطة A بالقرب من المنفث فإن الضغط يقل بنفس المعدل عند تلك النقطة. لو كانت السرعة عند هذه النقطة كبيرة جداً فإن الضغط سيقل كذلك بدرجة كبيرة تسمح بسحب المياه إلى أنبوب فيتورى متغيرالفطر Venturi assembly من خلال فتحة قرب هذه النقطة وهذه المياه تضاف إلى الحجم الكلي من المياه التي تجري بعد النقطة A. التغير في قطر الأنبوب بالزيادة يقلل السرعة الى درجة كبيرة مما يقلل الاضطراب الى أدنى حد مما يؤدي إلى استعادة الضغط لحالته الأولى عن النقطة B.

المحرك الرئيسي للمضخة النفاثة هو المضخة الطاردة المركزية التي تولد حركة الماء خلال المنفث وبالتالي تؤدي الى مرور مرافق للماء من خلال فتحة السحب Intake point قبل النقطة A.

هذا السريان المترافق يتكون من الماء الساري خلال الأنبوب والماء المأخوذ من البئر عبر النقطة A. الماء الإضافي المأخوذ من البئر يخرج من الفتحة C بينما الحجم الآخر من الماء المطلوب لاستمرار السريان داخل الأنابيب يمر من خلال أنبوبة الضغط.

ثالثاً: المضخات الهوائية Air-Lift pumps

ينزل أنبوبان داخل البئر أحدهما يضخ من خلاله هواء مضغوط وهو الأنبوب الداخلي، يحيط بهذا الأنبوب أنبوب آخر لضخ الماء. عندما يضخ الهواء في داخل الماء فإن فقاعات الهواء تختلط بالماء مما يقلل من وزنها النوعي فيرتفع عمود من الماء داخل الأنبوب إلى السطح. هذه الطريقة غير جيدة مقارنة بطرق الضخ الأخرى مما يجعلها قليلة الاستخدام بطريقة دائمة، ولكنها تستخدم في بعض الأحيان

للتخلص من الغازات السامة في الآبار وتستخدم أيضاً في بعض التجارب الأخـــرى البسيطة وفي تطوير الآبار.

Figure 17.15. Vertical turbines can be driven by a diesel, gasoline, or natural-gas engine connected to a right-angle gear drive. (Test Drilling Services)

اختبار الانخفاض المتدرج Step-Drawdown Tests

النظريات المتعلقة بهيدروليكيا المياه الجوفية تعتمد أساساً على كونه حركة الماء الجوفي خطيه عند ضخ الآبار وبالتالي فان الانخفاض في مستوى الماء يتناسب طردياً مع معدل التصريف

$$S_w = BQ \qquad (1)$$

عند ضخ بئر ما بمعدل تصريف عالي فان حركة الماء الجوفي تصبح عشوائية Turbulent flow وبالتالي تصبح العلاقة بين معدل التصريف والانخفاض غير خطية. عادة ما تتدهور السعة النوعية Specific Capacity (Q/s_w) في حالة السريان العشوائي وذلك عند زيادة معدل الضخ.

تعرف السعة النوعية بانها معدل تصريف البئر لكل وحدة انخفاض في مستوى الماء ووحدتها لتر/ثانية/متر.

طريقة أجراء اختبار الانخفاض المتدرج (Jacob 1946)

استحدثت عملية اختبار الانخفاض المتدرج لاختيار أداء البئر في حالة وجود السريان العشوائي. لاجراء الاختبار يضخ البئر لفترة ما بمعدل تصريف معين (Q_1) وبعد فترة من الزمن تؤخذ قيمة الانخفاض في بئر الضخ s_{w1} وتسجل، وبعد فترة أخرى يؤخذ قياس آخر وفي حالة ثبات قيمة s_{w1}، يتم زيادة معدل التصريف إلى Q_2 ويقاس الانخفاض الجديد s_{W2} بعد فترة من زمن التصريف الثاني، بعد ذلك يتم زيادة التصريف إلى Q_3 ويتم قياس أعلى انخفاض s_{w3}، وهكذا يتم تكرار الزيادة في معدلات التصريف ثلاثة أو خمسة مرات، ويقاس الانخفاض الناشئ عن تلك الزيادات.

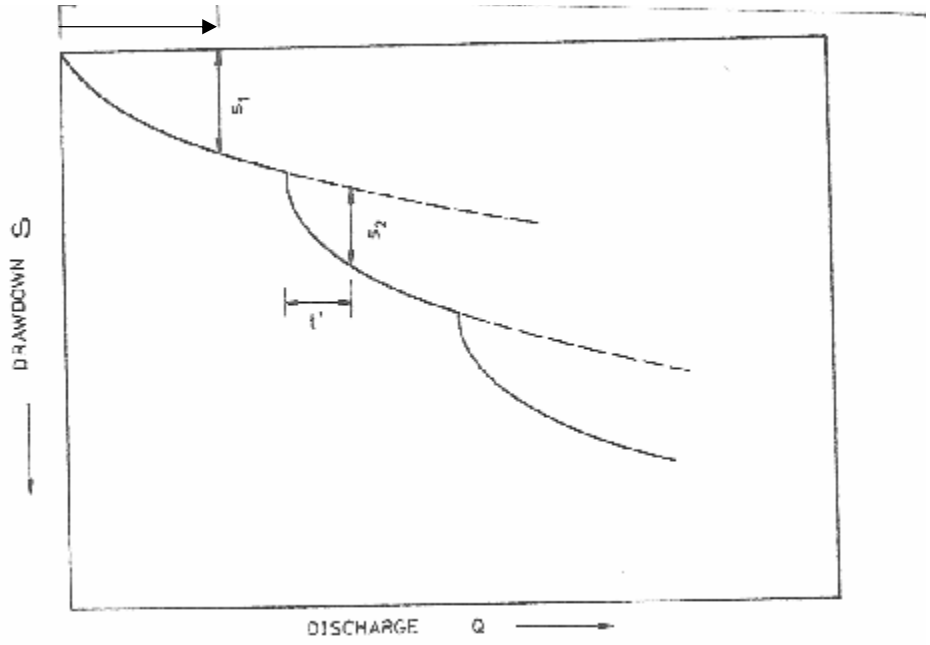


Figure 6 Step drawdown procedure.

ترسم العلاقة بين معدل التصريف Q والهبوط في مستوى المـــاء s_w علـــى ورقـــة عادية فيلاحظ أن العلاقة على شكل منحنى، حيث ان:

$$W_{(u)} = \frac{4\Pi T\, s_w}{Q}$$

فان

$$s_w = \frac{W_{(u)}\, Q}{4\Pi T}$$

اذا فرضنا أن

$$B = \frac{W_{(u)}}{4\Pi T} = \text{ثابت}$$

فان $s_w = BQ$

حيث أن B ثابت ويسمى فقد الطبقة، وهذه العلاقة خطية وتكون فقـــط فـــي حالـــة السريان الخطي.

وفي حالة السريان العشوائي تصبح العلاقة كما يلي:

$$s_w=BQ+CQ^2 \quad (2)$$

حيث C هو فقد البئر(Well loss) ويكون BQ يمثل السريان الخطي، CQ^2 هو فقد الطبقة (Aquifer loss) يمثل السريان العشوائي وهو الفقد في الطاقة Head loss الناتج عند عدم كفاءة البئر.

لتحديد قيمة C, B نقسم المعادلة 2 على Q فتصبح

$$\frac{S_W}{Q} = B+CQ \qquad (3)$$

حيث S_W/Q هو معامل الانخفاض النوعي specific drawdown وهذه العلاقة خطية لعدم وجود الأس. لو وقعنا قيمة S_W/Q مقابل Q على ورقة عادية نحصل على خط مستقيم، وتكون:

B = التقاطع مع محور s_w/Q

و C = ميل الخط المستقيم.

تجربة الانخفاض المتدرج يمكن منها التعرف على النسبة المئوية للفقد الناتج عن السريان الخطي L_P بالنسبة للفقد الكلي كما يلي

$$L_p = \frac{BQ \ X100}{BQ+CQ^2}$$

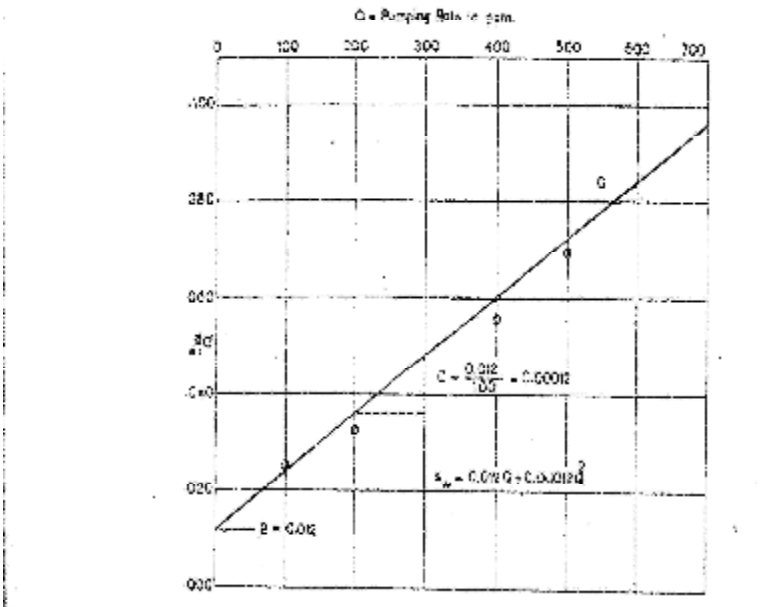


Figure 7 Specific drawdown graph.

السعة النوعية تنقص مع زيادة التدفق والزمن، النقص الشديد في السعة النوعية يمكن أن يعزى إلى النقص في قيم معامل الانتقالية نطراً لانخفاض مستوى الماء في المتكونات الغير محصورة أو نظراً للزيادة في فقد البئر والناشيء من انسداد أو تشوه مصافي الآبار.

السعة النوعية تعني كم التصريف لكل وحدة اخفاض.

يمكن استنتاج قيم T تقريباً عند معرفة السعة النوعية حيث

$Q/s=1.22T$ للطبقات المحصورة

$Q/s=1.4T$ للطبقات غير المحصورة

كفاءة البئر Well Efficiency

يمكن ايجاد قيمة كفاءة البئر باستخدام طريقة جاكوب الثانية والتي تعطي العلاقة بين المسافة والانخفاض عند توقيعها على ورقة شبه لوغارتمية حيث يتكون خط مستقيم (كما في حالة إيجاد قيم فقد البئر). توقع النقاط الخاصة باعلى انخفاض في كل بئر مراقبة مقابل المسافة التي يبعدها بئر المراقبة عند بئر الضح، ويرسم خط مستقيم ثم يمد حتى يصل الى المسافة التي تمثل نصف قطر بئر الضخ. تقاطع الخط المستقيم يعطي قيمة الانخفاض النظرية لبئر كفاءته ١٠٠%، والتي تكون عادة أقل من القيم الحقيقية للانخفاض في بئر الضخ (Sa).

لحساب قيم كفاءة البئر We نطبق العلاقة:

$$We=(s_a / s_t) X100$$

وهذا القيمة تعتبر عن مدى كفاءة وصلاحية البئر ومدى الفقد الحاصل به. هناك أمور أخرى تؤدي الى زيادة الانخفاض في البئر (نقص في كفاءة الآبار) وهي نوعان:

١ - أسباب تعزى إلى التصميم Design factors

أ- اختيار مصافي ذات مساحه مفتوحة غير كافية تودي إلى زيادة السرعة وبالتالي زيادة فقد البئر.

ب- سوء توزيع الفتحات في المصفاة مما يؤدي الى تزاحم الماء في فتحات وحيدة متباعدة .

ج- نقص في طول المصفاة مما يؤدي إلى اختراق جزئي.

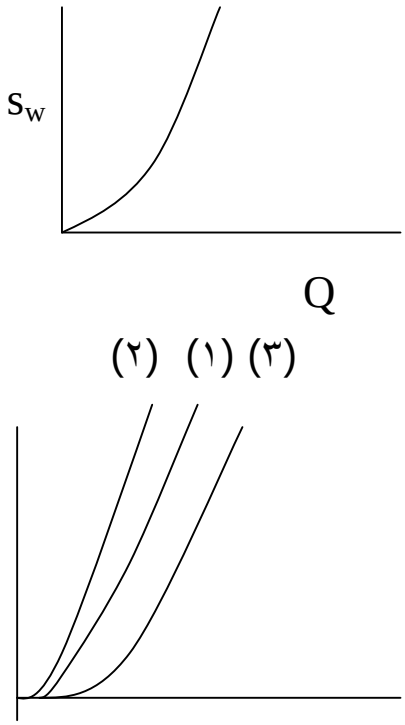
د- سوء توزيع الحزام الحصوي سواءً من ناحية الشكل والحجم والتوزيع مما قد يؤثرعلى التفاذية الخاصة بالحزام.

٢ - أسباب تعزى إلى إنشاء البئر Construction factors

أ- عدم تطوير البئر بطريقة كافية مما قد يؤدي إلى بقاء اجزاء من طين الحفر حول جدار البئر مما يقلل النفاذية.

ب- عدم وضع مصافي البئر في العمق المناسب والذي يجب أن يتفق مع أفضل طبقة منتجة للماء.

يوجد لكل بئر منحنى خاصة به يمثل العلاقة بين الانخفاض والتدفق ومن ثم يجب قبل استخدام البئر رسم المنحنى الخاص به والذي يعطينا سلوك البئر والتي تعتمد على التوابت B,C.



المنحنى (١) يمثل الوضع الأصلي للبئر. إذا تغير وضع المنحنى بعد فترة من الزمن الى المنحنى(٢) فإنه يعني تدهور حالة الطبقة اماي بسبب نقص النفاذية، أو عدم وجود تغذية كافية، بينما اذا تغير وضع المنحنى الى (٣) فإنه يعني تحسن في حالة البئر.

الكميات الأساسية الآمنة Optimum Basic Quantities

السرعة الآمنة optimum velocity (v_s): وهي السرعة القصوى التي لاتتسبب في حدوث أضرار للبئر وتحسب كالتالي:

$$v_s=\sqrt{k/60}$$

حيث النفاذية محسوبة بالمتر /يوم.

التدفق الآمن optimum discharge (Q_s): وهو الكمية من الماء التي يمكن ضخها من البئر دون حدوث اضرار للبئر أو للطبقة الحاملة للماء، وتحسب بالمعادلة:

$$Qs=v_s.A=\sqrt{k/60}.\ 2\Pi r_w m$$

الانخفاض الآمن Optimum drawdown (S_W): وهو الانخفاض الأقصى الذي يمكن الوصول إليه للحصول على تدفق دون حدوث تداخل بين الآبار ويعتمد على الطبيعة الهيدروليكية للطبقة والطريقة التي حفر وصمم وطور بها البئر، ويحسب من المعادلة التالية:

$$S_w=\frac{[\ r_w\ m\ V_s\ (14+\ \ln\ S_w\ V_s)]}{T}$$

التآكل والتقشر Corrosion and Incrustation

المياه الجوفية إما أن تكون يسره أو عسره، المياه اليسره قابلة لأن تصبح آكله corrosive أي تؤثر في المعادن وتذيبها ببطء، وأما المباه العسره فان تأثيرها على المصافي أقل احتمالاً ولكنها تميل إلى ترسيب جزء من معادنها على المصافي وعلى الرمل المحيط بها على هيئة قشور تتسبب في انسداد فتحات المصافي تدريجياً.

عملية التآكل Corrosion

تؤدي عملية التآكل إلى أصناف متانة المصافي وتوسيع فتحاتها. هناك عدة أنواع من التآكل.

١- التآكل الكيميائي المباشر للمصافي وينتج عن وجود بعض الغازات الذائبة في الماء بنسبة كبيرة مثل:

- غاز الأكسجين بتركيز أكبر من ٢ % جزء في المليون.
- غاز CO_2 بتركيز أكبر من ٥٠% جزء في المليون.
- غاز H_2S بتركيز أكبرمن ١ جزء في المليون.
- وجود الكلوريدات بتركيز أكبرمن ٥٠٠ جزء في المليون.
- انخفاض الأس الهيدروجيني الى أقل من ٧

٢- إذا زاد تركيز الاملاح الصلبة الذائبة TDS عن ١٠٠٠ جزء في المليون مما يزيد من قدرة الماء على التوصيل الكهربي لدرجة تؤدي إلى توليد تآكل كهربائى، لذا ينبغي استعمال مصافي مكونة من معدن واحد مقاوم للتآكل.

٣- التآكل البكتيري وينشأ عن وجود بكتريا مثل تلك المختزلة للكبريتات وبكتريا الحديد.

عملية الترسيب (التقشر) Incrustation

على العكس من عملية التآكل فإن عملية الترسيب تؤدي إلى انسداد فتحات المصافي، ويمكن التعرف على عدة أنواع من الترسيب تبعاً للعوامل المسببة وهي كالتالي:

أ- التقشير الكيميائي في المياه العسرة ويحدث عندما يزيد العسر الكلي عن ٣٠٠ جزء في المليون مما يؤدي الى تكون رواسب قشرية جيرية.

ب- إذا زاد الاسى الهيدروجيني عن ٧,٥ يتوقع أن تكون رواسب قشرية من الماء.

ج- إذا زاد تركيز الحديد في الماء عن جزئين في المليون توقيع تكون قشور ناتجة من الحديد.

د- اذا زاد تركيز المنجنيز عن جزء في المليون ومع زيادة الـpH يحدث تراكم قشور المنجنيز.

ه- التقشير الميكانيكي وينشأ نتيجة انسداد فتحات المصافي بواسطة جزيئات الطين أو حبيبات الرمل.

و- التقشير البكتيري وينشأ نتيجة وجود بكتيريا الحديد والتي تقوم بأكسدة أيونات الحديد الذائبة في الماء إلى أيونات حديديك التي تترسب وتكون قشور.