مقدمة:

يختص علم هيدرولوجي المياه الجوفية (الهيدرو جيولوجيا) بدراسة المياه تحت سطح الأرض من حيث تواجدها و توزيعها و حركتها و خواصها الفيزيائية و الكيميائية و تصنيفها و طرق استثمارها . يعتمد علم الهيدروجيولوجي على علم الجيولوجي و ميكانيكا الموائع و الأرصاد و علم التربة و الكيمياء و الفيزياء و الرياضيات .

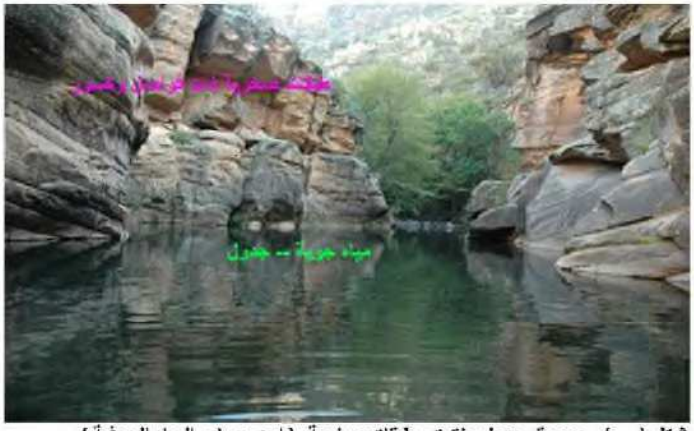
المياه الجوفية : هي المياه الموجودة تحت سطح الأرض ضمن النطاق المشبع تكونت نتيجة تغلغل المياه الموجودة فوق سطح الأرض إلى الأسفل و تتحرك باتجاه مناطق التصريف و قد تتدفق طبيعيا إلى سطح الأرض بشكل ينابيع .ويشترط أن تكون نفاذية الصخور تحت السطحية عالية بما يكفي لنقل هذه المياه وسرعة الترشيح كافية لإشباع سمك معين من الصخور . لقد كانت المياه الجوفية وما زالت مصدرا هاما للمياه على مر العصور ومن المناسب أن نذكر إن المياه الجوفية تشكل قسما مهما من الدورة الهيدرولوجية. باستثناء المياه ذات الأصل البركاني والمياه المحتجزة في تشققات الصخور الرسوبية أثناء ترسبها .

مصادر المياه الجوفية :

توجد ثلاثة مصادر للمياه الجوفية هي:

1- المياه الجوية (meteoric Water)

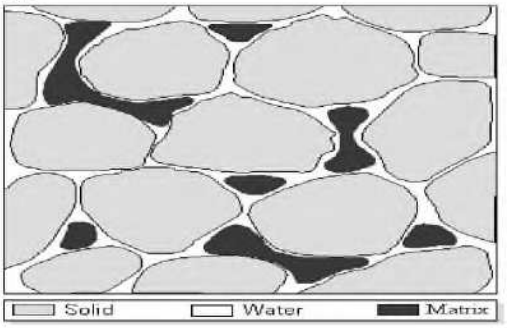
و تشمل المياه الموجودة ضمن الغلاف المائي و الذي يشترك في دورة المياه في الطبيعة (الدورة الهيدرولوجية) , بعد نفاذه إلى باطن الأرض خلال طبقاته الصخرية ,شكل ( ) .



شكل ( ) . صورة جدول يخترق طبقات صخرية (احد مصادر المياه الجوفية)

2- المياه المرافقة للترسبات الجيولوجية (Connate Water) :

و تشمل المياه المصاحبة لترسب الصخور الرسوبية من المياه العذبة أو المالحة حيث تختزن المياه ضمن مسامات الرسوبيات طيلة مراحل نشوء و تكون الصخور الرسوبية و يمكن اعتبار المياه المرافقة للنفط جزء من هذه المياه .



3- المياه الصهيرية (Magmatic Water)

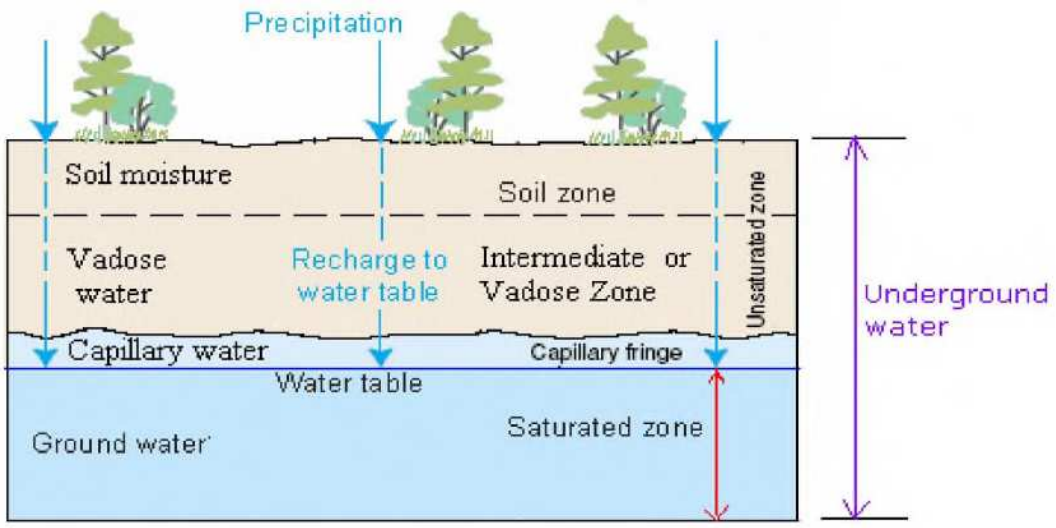
هي المياه المصاحبة للصهير و النشاطات البركانية المنبثقة من باطن الأرض و تشمل المحاليل المائية المتبقية عن تبلور الصهير و في جميع مراحل تكوين الصخور النارية و تتميز هذه المياه بوجود نسب عالية من المعادن و الأملاح الذائبة و بدرجات حرارة عالية , شكل ( ) .

تواجد المياه الجوفية :Ground water Occurrence

يتطلب معرفة تواجد المياه الجوفية معرفة جيدة بالتوزيع العمودي والجانبي للمياه الجوفية في القشرة الأرضية ، ويعتمد هذا التوزيع على مجموعة من العوامل الهيدرولوجية والجيولوجية التركيبية وعلى خصائص الترسبات في مدى إمكانية خزن المياه أو نقلها . ويجب دراسة هذه الخواص ليتسنى معرفة مقدار المياه التي يمكن الحصول عليها من باطن الأرض .

التوزيع العمودي للمياه الجوفية: (Vertical Distribution of Ground water) .

يترشح قسم من مياه الهطول إلى أسفل عبر فراغات وشقوق الصخور بفعل الجاذبية الأرضية ويتجمع على أعماق مختلفة وتدعى المنطقة التي يمتلئ جزء من فراغاتها وفجواتها وشقوقها وكسورها بالماء بالمنطقة المشبعة او بالنطاق المشبع . وتشكل المياه التي تلتصق بحبيبات الترسبات ويتجمع قسم منها في الفراغات ما يسمى بنطاق التهوية ، وتعتمد كمية المياه المتجمعة في هذه المنطقة على حجم الحبيبات وشكلها وتوزيعها ورصها . وسميت بمنطقة التهوية لان جزء منها يشغله الماء والجزء الآخر يشغله الهواء . ويسمى السطح الفاصل بين نطاق التشبع ونطاق التهوية بمستوى المياه الجوفية ، وتسمى المنطقة التي تعلو مستوى المياه الجوفية مباشرة ويستطيع الماء ارتقائها بواسطة الخاصية الشعرية بالمنطقة الشعرية ..



a - النطاق غير المشبع Unsaturated zone او نطاق التهوية Aeration Zone

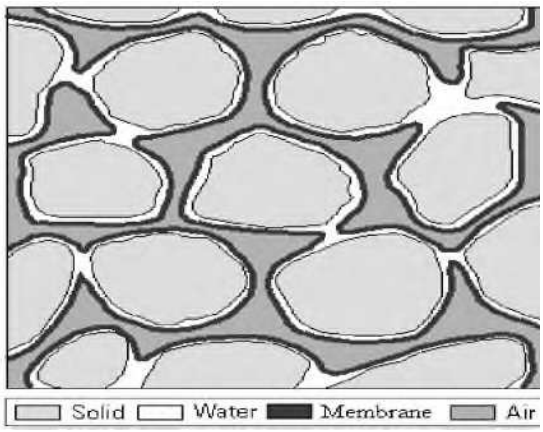
تسمى هذه المنطقة بالنطاق غير المشبع او نطاق المياه المعلقة والمياه الجوفية في هذه المنطقة لها أهمية خاصة عند الجيولوجيين و المهندسين في الأعمال الإنشائية والجيولوجية . يمتد النطاق غير المشبع من اقل نصف متر إلى عشرات الأمتار اعتبارا من سطح الأرض وانتهاء بسطح المياه الجوفية وتكون فراغات هذه المنطقة مملوءة جزئيا بالماء وجزئيا بالهواء ، وتحتوي على بخار الماء والهواء بما في ذلك الأوكسجين وثنائي اوكسيد الكربون وعلى الأحماض العضوية وتكون متصلة بشكل دائم بالهواء الجوي وهذا يسمح بمرور الماء خلالها .

وتنتج الأحماض الموجودة في هذه المنطقة من العمليات الكيمياوية الجارية في نطاق التربة او الترسبات المارة من خلالها . وبما أن الخواص الفيزيائية مختلفة في هذه المنطقة فان الماء يتواجد على أشكال مختلفة ويمكن تقسيم هذه المنطقة إلى :

1 ـ نطاق رطوبة التربة . Soil moisture Zone

يمتد نطاق التربة من سطح الأرض وحتى نهاية المنطقة التي تمتد إليها جذور النباتات ، لذلك فان سمك نطاق التربة يعتمد على نوعية التربة ونوع النباتات . ويوجد الماء في هذه النطاق بأقل من درجة الإشباع ما عدى ما يصل آنيا من المياه الفائضة على سطح الأرض كسقوط الأمطار او في حالات الري والفيضانات ، ومع أن قسما من الهطول يترشح إلى ألاسفل مارا بالتربة السطحية إلا أن الزيادة بكميات الهطول تسبب خروج ماء التربة ثانية إلى السطح مما يؤدي إلى تكون البرك .

تسمى المياه الموجودة في الجزء العلوي من سطح الأرض بمياه التربة (رطوبة التربة) ، وتعتمد كميتها على مسامية التربة ودرجة الرطوبة والحرارة وعلى ضغط الهواء وهي تتواجد في الترب الناعمة والمتوسطة الحبيبات وتحيط بجذور النباتات وتكون معرضة للتبخر- النتح .وتعمل المياه الموجودة في التربة الطينية غشاء مائيا حول حبيبات التربة يمنعها من الحركة . وهذا ناتج عن العوامل الفيزوكيماوية وقوة الالتصاق . شكل ( ) .



ويهتم في هذه المنطقة علماء التربة والزراعيين وذلك لأهميتها في توفير المياه لجذور النباتات ، وحيث إن جميع المياه المترشحة إلى أسفل تقريبا تمر بنطاق التربة وعلى اعتبار إن نطاق التربة هو سطح الأرض الذي تعرض لعوامل التجوية أو التعرية الميكانيكية والكيماوية وللعمليات البيولوجية التي تؤمن نمو النباتات فان لهذا النطاق تأثير على كيمائية المياه التي ترشح من خلاله . يحتوي نطاق التربة على المواد العضوية وعلى جذور النباتات وتليها الاكاسيد مثل اوكسيد الحديد ثم المواد التي تعرضت لعوامل التجوية والأكسدة ، وتجمعات المعادن الثانوية ، ويعتبر وجود غاز الأوكسجين والماء و ثنائي اوكسيد الكربون الذي ينتج من المواد العضوية سببا في حدوث تفاعلات كيمياوية في هذا النطاق ينتج عنها بعض الأحماض التي تسبب تفتيت الصخور .

شكل ( ) التوزيع العمودي لنطاقات المياه الجوفية .

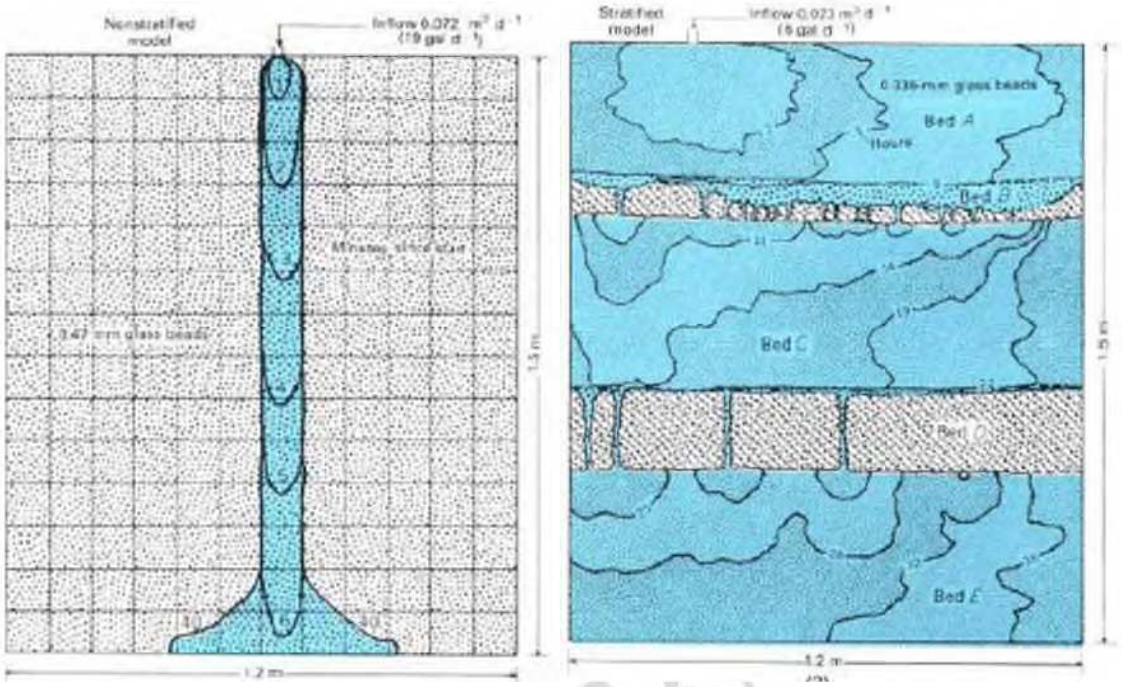
أثبتت التجارب التي قام بها العلماء على عينات من غاز التربة في مواقع متعددة إن الضغط الجزيئي لثنائي اوكسيد الكربون في هواء التربة يكون عادة أعلى من ضغط الهواء الجوي على سطح الأرض ويتراوح بين (0.1-0.001) جو والسبب في اختلاف ضغط ثنائي اوكسيد الكربون هو الاختلاف في درجة الحرارة وظروف الرطوبة والنشاط الميكروبي وقابلية المواد العضوية وتأثير تركيب التربة على انتشار الغازات .

وينتج من تفاعل ثنائي اوكسيد الكربون مع الماء تغير للحموضة ، فمثلا إذا كان الضغط الجزيئي لثنائي اوكسيد الكربون (0.1)جو ودرجة حرارة الماء ما بين(0-2) ْم فان درجة الحموضة تتراوح بين (4.2- 4.5) وهذا اقل من حموضة مياه الأمطار غير الملوثة . ويعتبر تفاعل الأوكسجين الحر مع معادن الحديد مصدرا آخر للحموضة ، مع العلم بان العمليات البيوكيماوية و الهيدرو كيماوية قادرة هي الأخرى على زيادة الحموضة في هذا النطاق ويلعب ايون الهيدروجين الناتج من هذه التفاعلات دورا هاما في تجوية المعادن . أما الأحماض العضوية التي تتكون في هذا النطاق فمنها له دورا هاما في تطوير التربة ومنها ما يساهم في عمليات نقل المكونات غير الذائبة إلى أسفل باتجاه المستوى المائي .

2 ـ النطاق المتوسط : Intermediate Zone

يمتد النطاق المتوسط من الحد السفلي لنطاق رطوبة التربة ولغاية الحد العلوي للنطاق الشعري ، شكل (-) . ويتراوح سماكته من الصفر وحتى بضعة مئات من الأمتار ويتوقف ذلك على سماكة منطقة التهوية وقرب سطح المياه الجوفية من سطح الأرض ويتميز بشكل خاص باحتوائه على المياه الغشائية و يقوم بدور الموصل بين مياه المنطقة القريبة من سطح الأرض ومياه المنطقة القريبة من مستوى الماء وتكون فيه حركة المياه عمودية باتجاه الأسفل ويمر الماء الغشائي من خلاله . ويسمى الماء الفائض الذي يتحرك باتجاه الأسفل تحت تأثير الجاذبية الأرضية بالماء ألجذبي شكل (-) .

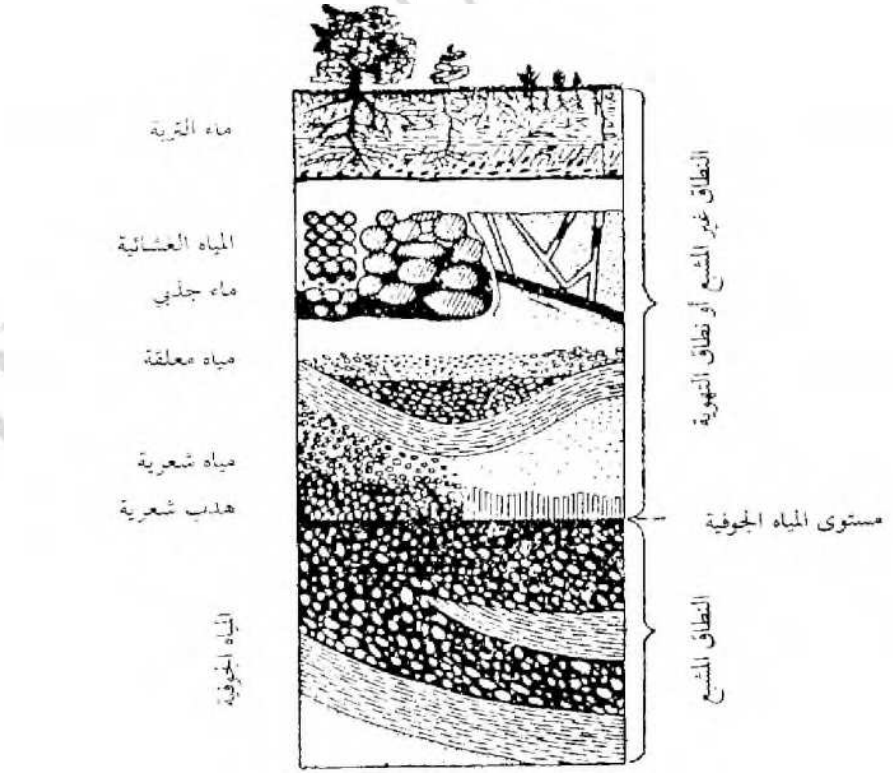
تختلف رسوبيات النطاق غير المشبع من حيث درجة الفرز وحجم الحبيبات و بالتالي تؤدي الى اختلاف في النفاذية و معدل الترشيح بينما تتحرك المياه الى الأسفل بفعل الجاذبية بحرية اكبر في الوسط المتجانس و لا تعيقها الا قوى السحب التي تولدها الخاصية الشعرية ، اما خاصية التطبق في رسوبيات هذا النطاق فإنها تؤثر على حركة المياه العمودية من خلال سماحها بالحركة الجانبية مع مستويات التطبق وبالتالي يكون اتصالها مع الطبقات التي تليها من خلال ممرات ذات نفاذية عالية تحددها سمك تلك الطبقات وعددها ، شكل( ) .



3- المياه المعلقة : Perched water

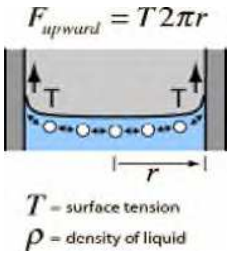
إن المياه المتجمعة فوق الطبقات غير النفاذة التي تعلو مستوى المياه الجوفية والموجودة في نطاق التهوية تسمى بالمياه المعلقة . ويسمى الحد الأعلى للمياه المعلقة بمستوى المياه المعلقة شكل ( ) وعموما فان كميات المياه المعلقة تكون قليلة ، إلا أن لها أهمية خاصة في بعض استعمالات المحلية علما بأنه يجب اخذ الحيطة والحذر عند استغلالها ويجب مراعاة عدم اختلاطها بالمياه النقية . وذلك لأنها تكون ملوثة في كثير من الأحيان . ويرتبط تكوين هذه المياه بوجود طبقات بينية وعدسات صغيرة ذات نفاذية ضعيفة مثل الطين والطمي ، والتي تحجز مياه الهطول المترشحة والمياه الفيضانية وتكون سماكتها عادة صغيرة لا تتجاوز (1-2) م .

.



4 ـ النطاق الشعري: Capillary Zone

تسمى المنطقة الموجودة فوق مستوى سطح الماء الجوفي مباشرة بالنطاق الشعري كما يسمى الماء الذي يتحرك الى الأعلى عبر شقوق ومسامات الصخور و الترسبات بواسطة الخاصية الشعرية بالماء الشعري capillary water. وبناء علية فان المنطقة الشعرية تمتد من سطح المياه الجوفية وحتى الحد الذي تصل إليه المياه المرتفعة بواسطة الخاصية الشعرية .



قوة الشد السطحي = الشد السطحي x محيط الانبوب الشعري

$2 \pi r \times T = F$

قوة الشد السطحي (كغم . م/ ثا^2) = وزن الماء المرفوع

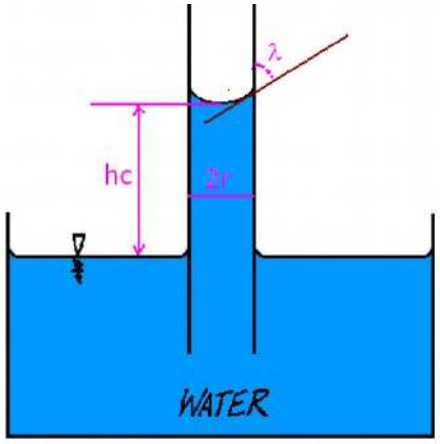
F =الحجم x الكثافة x التعجيل الارضي

$g \times \rho \times \pi r^2 h = F$

عمود الماء(h) الذي ترفعه الخاصية الشعرية

$T2\pi r = \rho g(h \pi r^2)$

$h=2T / \rho g r$



Capillary rise of water in a small tube.

شكل ( ) ارتفاع الماء في الأنبوب الشعري

لقد قام عدد من الباحثين بدراسة توزيع الماء وارتفاعه في المنطقة الشعرية على أساس خواصها المسامية وعلى أساس إن شقوق وفراغات الترسبات الجيولوجية تكون على شكل أنابيب شعرية . وكما هو معروف فان ارتفاع الأنبوب الشعري h_c (شكل -) يمكن اشتقاقه من التوازن بين الشد السطحي للماء ووزن الماء المرتفع . فإذا كان T يرمز للشد السطحي و γ (كاما) للوزن النوعي للمادة و r لنصف قطر الأنبوب و λ (لامدا) لزاوية التماس بين السطح الهلالي للماء وجدار الانبوب فان ارتفاع الأنبوب الشعري يعبر عنه بالمعادلة التالية :

$h_c = 2T / r \gamma (\cos \lambda)$

تختلف زاوية التماس λ حسب تركيب السائل ونظافة الأنبوب وهي تساوي صفرا في حالة الزجاج النظيف والماء النقي ، ويتراوح الارتفاع الشعري في الحصى ما بين (1 - 2) ملم وفي الرمال ما بين(10-12) سم وفي الطفل(الطين) ما بين (50 -60) سم . ومن دراسة بعض العلماء لأربع عينات مختلفة من الرمل ذات درجات مختلفة من التراص (packing) وضعوا المعادلة التقريبية التالية لمعرفة الارتفاع الشعري الأقصى .

$h_{c(max)} = 2.2 / dH ((1-n)^{0.66} / n)$

حيث أن dH هو المعدل ألتجانسي لقطر الحبيبة مقاسه بالمليمتر و n هي المسامية .

يتم احتساب معدل تصريف الجريان العمودي في النطاق غير المشبع من قانون دارسي المعدل و كما في أدناه والشكل ( ).

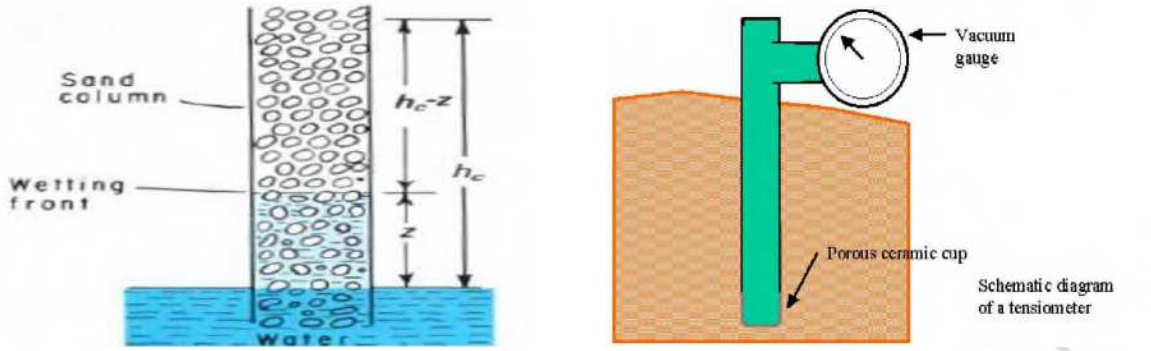
$Q = K .A.[(h-z)/ z] \pm [dh / dl]$

(h-z)/ z : الميل اعتمادا على قوى الخاصية الشعرية والشد السطحي .ويقاس بجهاز Tensio -meter

dh / dl : الميل اعتمادا على قوى الجاذبية . على الأغلب يتم إهماله لان الجريان عمودي وقيمته صغيرة جدا .

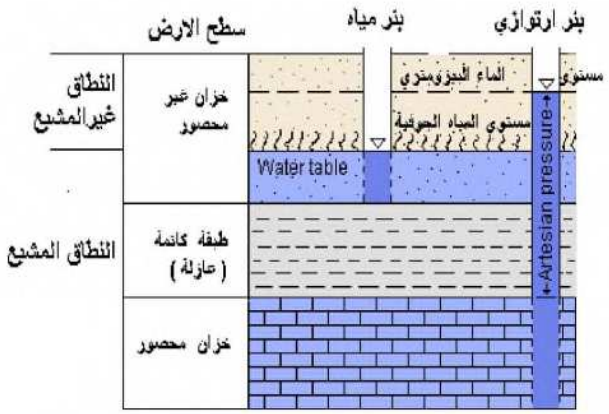
K : النفاذية

A : مساحة المقطع .



b - النطاق المشبع : Saturated Zone

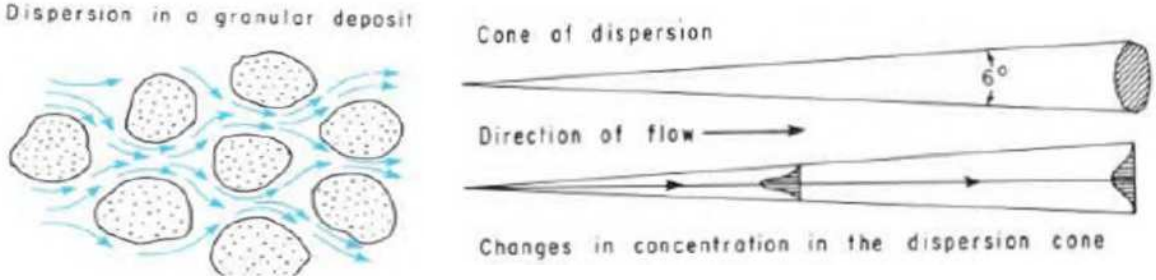
يحد نطاق التشبع من الأعلى سطح غير منتظم يتوافق مع شكل طبوغرافية المنطقة في الخزانات الجوفية المفتوحة (غير المحصورة) Unconfined Aquifer يسمى مستوى المياه الجوفية (Water Table) شكل ( ) ,



شكل ( ). النطاق المشبع ومستوى المياه الجوفية.
pubs.usgs.govof20051428russellindex.html.

أما في الخزانات الجوفية المغلقة (المحصورة) Confined Aquifer فإن الحد العلوي لمنطقة الإشباع يمثله السطح السفلي للمنطقة العازلة (غير نفاذة), و عليه يمكن تعريف النطاق المشبع بأنه نطاق الرسوبيات المشبع بمياه تحت ضغط هيدروستاتيكي تملأ كل الفراغات و الشقوق و فيه تعتبر المسامية القياس الأساسي للماء الذي تحتويه هذه الفراغات في وحدة الحجم في حين يمتد نطاق الإشباع قليلا إلى مستوى فوق مستوى المياه الجوفية بفعل الخاصية الشعرية .

تتحرك المياه في هذا النطاق من خلال المسامات المتصلة استنادا الى الميل الهيدروليكي وتتحرك بهيئة الجريان الصفائحي المتعرج قليلا في الأوساط المسامية بين حبيبات الرسوبيات الفتاتية اما انتشارها فيكون على هيئة مخروط قاعدته باتجاه حركة المياه ، شكل ( ) .



بينما تتحرك بهيئة الجريان المضطرب في الكسور و الكهوف ومجاري الكارست في الوسط الصخري(الطبقات الصخرية) ، إذ عادة ما تكون مسامها بقياس كبير تسمح بحدوث الجريان المضطرب داخلها ، وخصوصا عند ازدياد قيم الميل الهيدروليكي وانتقال المياه من منسوب لآخر اعتمادا على طبيعة الكسور وامتداداتها واتجاهاتها .

العطاء النوعي والاحتجاز النوعي : specific yield and specific retention

لا يمكن إزالة كل المياه الموجودة في هذا النطاق بواسطة التصريف او الضخ من الآبار وذلك بسبب كون القوة الجزيئية (التلاحم والالتصاق) وقوى الشد السطحي أعلى من قوى الجذب الأرضي ويبقى مقدار معين منها بين أطراف الحبيبات والشقوق مهما زادت عمليات التصريف ويسمى هذا الماء بالماء المتبقي (retained water).

أما النسبة المئوية لحجم الماء المحتجز(المتبقي) إلى حجمه الكلي فيسمى الاحتجاز النوعي (specific retention).

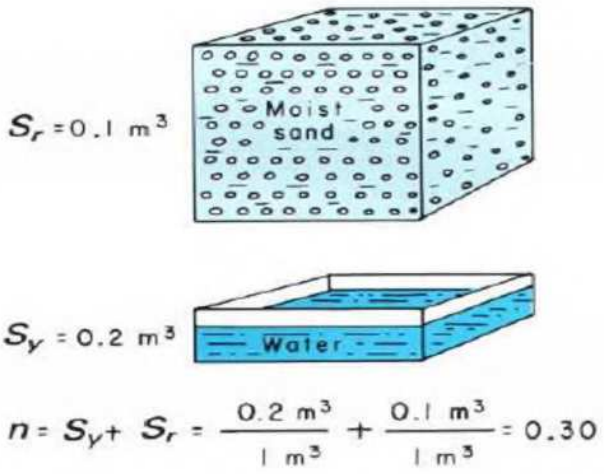
وإذا رمزنا له بالرمز (S_r) ورمزنا لحجم الماء المحتفظ بالرمز(V_r) وللحجم الكلي للصخور أو التربة بالرمز(V) فان :

$$S_r = 100\ V_r / V$$

إن الماء الذي يمكن أخذه من الطبقات المائية بالتصريف او الضخ من الآبار يدعى بالعطاء (الإنتاج) النوعي (specific yield) ويرمز له بالرمز S_Y ويعرف على انه النسبة المئوية لحجم الماء الذي يمكن الحصول عليه من الطبقة المائية إلى الحجم الكلي للصخور علما بان مصطلح المسامية الفعالة Effective Porosity له معنى مرادف للعطاء النوعي .

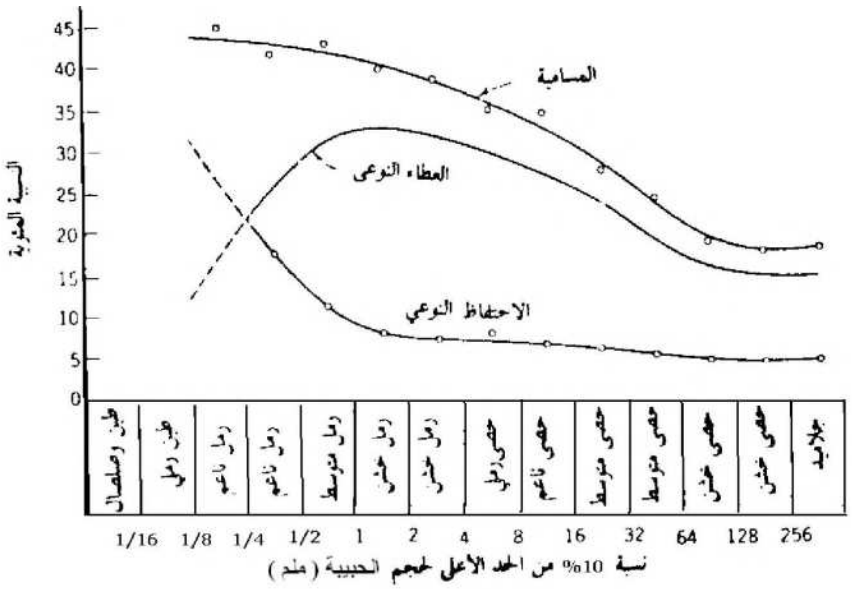
وإذا ما رمزنا لحجم الماء الممكن استخراجه او تصريفه بالرمز V_y فان العطاء النوعي S_Y يكون: $S_y = 100\ V_y / V$

واذا كان (V_T) هو حجم الماء الكلي الذي يساوي $n = V_T = V_r + V_y$ وعليه فان المسامية الحقيقية : $n = S_y + S_r$



يعتمد العطاء النوعي على خواص الطبقة الحاوية على الماء مثل المسامية وحجم الحبيبات وشكلها وتوزيعها وعلى تراص الطبقات (compaction) وتتراوح نسبة العطاء النوعي ما بين 10 - 20 % للطبقات المائية الغرينية بينما تصل في الرمل إلى 30 % .

أوضحت التحريات الهيدروجيولوجية الحقلية من خلال تحديد قيم المسامية والاحتجاز النوعي و العطاء النوعي لنماذج رسوبية متعددة من السطح المكشوف والآبار بان العطاء النوعي لخليط الرمل والحصى و الرمل المتماسك والصخر الرملي والحصى الطيني والصخور ناعمة الحبيبات قد بلغ 25% ، 20% ، 10%، 5% و 3% على التوالي وكما في الشكل ( )



الشكل ( ) تغير المسامية ، العطاء النوعي ، والاحتفاظ النوعي مع حجم الحبيبات .

كما يوضح الجدول أدناه قيم المسامية والعطاء والاحتجاز النوعي لبعض الرسوبيات و الصخور .

SELECTED VALUES OF POROSITY, SPECIFIC YIELD, AND SPECIFIC RETENTION

[Values in percent by volume]

Material	Porosity	Specific yield	Specific retention
Soil	55	40	15
Clay	50	2	48
Sand	25	22	3
Gravel	20	19	1
Limestone	20	18	2
Sandstone (semiconsolidated)	11	6	5
Granite	.1	.09	.01
Basalt (young)	11	8	3

- الأنظمة الهيدروجيولوجية: Hydrogeologic Systems

الحوض المائي (groundwater basin)هو تركيب جيولوجي بشكل طيات مقعرة متناظرة (symmetric syncline) او غير متناظرة يحتوي على أنماط مختلفة من الطبقات الحاملة للماء ، ويضم نطاق التغذية والعبور (الترانزيت) والتصريف . ويعرف أيضا على انه وحدة فيزو غرافية تحتوي على طبقة أو عدة طبقات مائية متصلة مع بعضها ، وفي كثير من الحالات تعتبر حدود أحواض المياه السطحية ، حدودا لأحواض المياه الجوفية إلا أن هذه الحدود قد لا تتطابق . ويمكن تعريف نطاق التغذية على أنها الجزء من سطح الأرض الذي يرشح منه الماء إلى داخل الحوض ، علما بأنه يمكن أن يستلم الحوض مياه على هيئة تغذية جوفية من أحواض مجاورة .

وتسمى الأجزاء التي تظهر فيها المياه الجوفية على سطح الأرض ، نطاق التصريف . وتسمى المنطقة الممتدة بين نطاق التغذية و نطاق التصريف ، نطاق العبور . لقد أصبحت فكرة أحواض المياه الجوفية هامة في السنوات الحالية ، بعد إدراك مفهوم الاستهلاك المفرط للمياه الجوفية في جزء من الحوض الذي يؤثر مباشرة على تجهيز المياه في بقية الحوض .

ويعتمد تحديد مناطق تخزين المياه الجوفية في أي حوض على الخواص الليثولوجية والتكتونية وعلى أعماق التكاوين الجيولوجية والظروف الجيوتركيبية . ويمكن تقسيم المناطق بناء على الظروف السابقة إلى وحدات هيدروجيولوجية . وقامت بعض الدول المتقدمة بتقسيم أراضيها اعتمادا على الظروف الجيوتركيبية ، إلى الأنظمة الهيدروجيولوجية التالية :

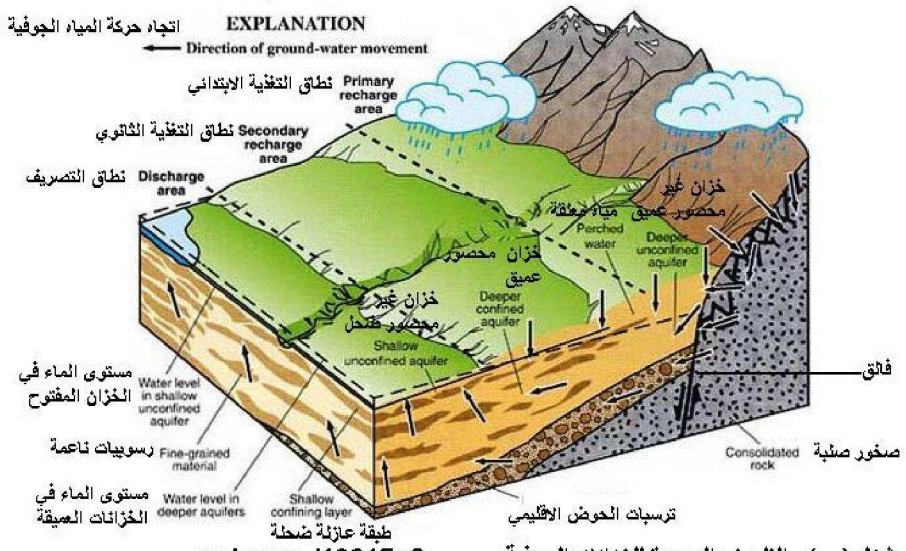
1 ـ نظام الأحواض او الطيات المقعرة المعقدة Basins and Synclinorium System.

2 ـ نظام انطقة الصد وع والنظم الارتوازية . Fault artesian System

3 ـ نظام انطقة الشقوق و الاستطاليات في الصخور المتحولة والمتبلورة . Fractures and Lineaments System

مع العلم بأنه يمكن تقسيم هذه الأنظمة إلى وحدات أخرى (Subsystem) اعتمادا على الظروف الليثولوجية وعلى أعماق التكاوين الجيولوجية ، ويمكن عمل تقسيمات داخلية او محلية لأي نطاق مع مراعاة تلك العوامل .

من أهم العوامل المحددة لخزين المياه الجوفية في الأنظمة الهيدروجيولوجية , شكل ( ) هي:-



شكل ( ) . الظروف المحددة للخزانات الجوفية. eel.com /1961fig3.

- الخصائص الليثولوجية للوحدات الجيولوجية من حيث أن لها أبعاد و أشكال و خواص تستطيع معها الإبقاء على كمية أساسية من المياه في مسامها . و يعتمد تقدير خزين المياه الجوفي على أبعاد الصخور الخازنة و سماكتها و امتدادها الجانبي .
- المحددات التركيبية و تشمل انطقة الفوالق و الصد وع و الطيات و التي لها أهمية كبيرة في خزن المياه الجوفية .
- الخصائص الهيدروجيولوجية للطبقات المائية المتعلقة بجريان المياه الجوفية مثل النفاذية و الناقلية .

- الحدود الهيدرولوجية للخزانات الجوفية و تشمل مصادر المياه السطحية مثل البحار و البحيرات و الأنهار و روافدها و مدى علاقتها الهيدروليكية بالمياه الجوفية من حيث التغذية و التصريف و هي تؤثر بشكل كبير على حركة المياه ضمن الطبقات الحاملة للمياه و اعتمادا على العلاقات المتبادلة بين مستوى المياه الجوفية و مستوى المياه السطحية ,شكل ( ).

صخور الطبقات الحاملة للمياه وتواجدها ضمن الأنظمة الهيدروجيولوجية:

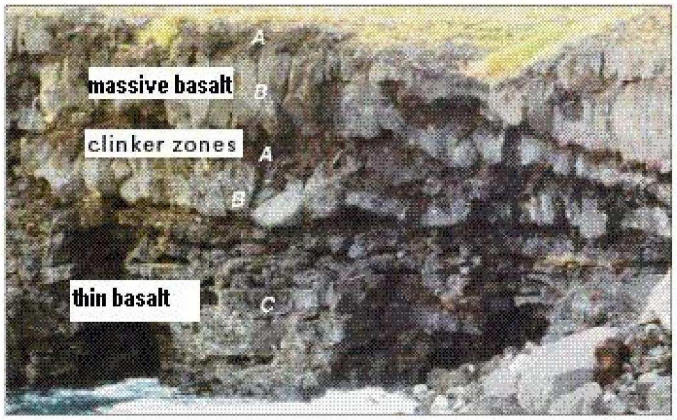
من الناحية الهيدروجيولوجية , يمكن تحديد أفضل مناطق لتواجد الخزانات المائية الجوفية , اعتمادا على الوضع الجيو مورفي و التركيبي و الرسوبي للمنطقة و عوامل المناخ و الذي ينعكس بصورة مباشرة على الوضع الهيدرو جيولوجي من حيث توزيع مناطق التغذية و التصريف و خطوط تقسيم المياه بالإضافة إلى توفير التغذية المستمرة للمياه الجوفية من خلال عملية الترشيح , و عليه فأن المقاطعات التالية توفر أفضل ظروف لتواجد الخزانات المائية .

1- مقاطعات مجارى المياه السطحية
2- مقاطعات الوديان المطمورة و المهجورة
3- مقاطعات الوديان بين الجبال
4- مقاطعات السهول المجاورة للجبال.

90% من مجموع الخزانات المائية المستغلة في العالم تتكون من ترسبات غير متماسكة مثل الحصى والرمال والغرين والمزيج بينها . وعادة تتصف بنفاذيتها العالية نظرا لعدم تماسكها مما يجعلها غنية بالمياه الجوفية . وتتكون مجاري المياه من الطمي والغرين الذي يبطن قنوات المجاري . ويلاحظ إن الآبار التي تحفر في الطبقات المائية ذات النفاذية العالية والمجاورة للجداول تعطي كميات كبيرة من المياه ويرجع ذلك إلى التغذية المستمرة من مياه الجداول التي تترشح إلى المياه الجوفية .

تتباين الصخور الكلسية في قدرتها على حمل الماء وإعطائه ويرجع سبب ذلك إلى اختلافها في الخواص الفيزيائية ، فهي تختلف في الكثافة والمسامية والنفاذية ويعتمد ذلك على ظروف ترسيبها وعلى درجة تماسكها وقد تحتوي الصخور الكلسية الكهفية والمشققة على كميات كبيرة من المياه أكثر مما تحويه الصخور الفتاتية ، علما بان بعض الصخور الكلسية قد تكون ذات نفاذية ضعيفة وتتراوح فراغاتها في الصخور الكلسية من مسامات مجهريه إلى كهوف قد تشكل قنوات كبيرة تحت سطح الأرض بدرجة كافية يستطيع معها حمل تدفق المجرى بأكمله ، يطلق اسم النهر المفقود (lost river) على المجرى الذي يختفي بصورة كاملة تحت سطح الأرض في المناطق الكلسية واغلب الينابيع توجد في المناطق الكلسية . ويسبب ذوبان كربونات الكالسيوم عسرة المياه الجوفية في الخزانات المائية الكلسية ، إلا أن الإذابة المستمرة للصخر الكلسي تعمل على زيادة المسامية وبالتالي زيادة نفاذيتها ، وينتهي الأمر بالأرض الكلسية إلى تكوين منطقة كارستية كهفية(طبوغرافية الكارست) . ومن الجدير بالذكر ان الجريان تحت السطحي للمياه خلال الصخور الكلسية يسبب في تكوين خزانات كبيرة من المياه الجوفية . ويعتبر الجبس على الرغم من عدم شيوعه صخر قابل للذوبان أيضا . ويمكن للصخور البركانية ان تكون هي الأخرى طبقات حاملة للماء والنفاذية ، وخاصة البازلت الذي يعتبر أهم صخر بركاني بالنسبة للهيدروجيولوجيين

تعتبر الطفوح البازلتية (basalt flow) نفاذة جدا إذا ما قورنت بالحجر الكلسي ، حيث توجد المسامات بين طبقات الحمم وأنابيبها وفي الفواصل الناتجة من تقلص حجم الطفح . وتعتبر الصخور البركانية الأخرى مثل الرايولايت والطف والرماد البركاني اقل نفاذية من البازلت .



أما الحجر الرملي و الكونجلومريت فتعتبر عموما طبقات حاملة سيئة للماء ، لكونها عبارة عن إشكال متماسكة للرمل والحصى لذا فقد قلت مساميتها بسبب المادة أللاصقة وتعتبر أفضل أنواع التكوينات الرملية الحاوية على الماء تلك التي تكون متماسكة جزئيا ، او تلك التي تعطي الماء من خلال مفاصلها . ويتميز الكونجلومريت بتوزيع محدود ، لذا فان أهميته واطئة اذا ما قورن مع غيره من الخزانات المائية .

تعتبر الصخور المتحولة والمتبلورة غير نفاذة نسبيا إلا في حالة تشققها ولا يتم استغلالها إلا في حالات خاصة كقربها من السطح وكثرة تشققها ، فيمكن تطوريها إلى آبار صغيرة للأغراض المنزلية .

أما الصخور الغضارية الواسعة الانتشار في الطبيعة كالطفل والمواد الخشنة الممزوجة مع الطفل فهي عموما عالية المسامية ولكنها صخور غير منفذة نسبيا وتعتبر من أكثر الصخور الكتيمة الانتشار في الطبيعة ويمكن حفر الآبار الضحلة فيها لغرض الاستعمال المنزلي .

طبقات الخزانات الجوفية ضمن النظام الهيدروجيولوجي :

تتباين ترسبات صخور الطبقات الخازنة للمياه في قدرتها على حمل المياه و إنتاجها و يرجع سبب تباينه إلى الخواص الفيزيائية مثل المسامية و النفاذية و ظروف ترسبها و درجة تماسكها ، إذ يتراوح حجم فراغات الصخور من مسامات دقيقة إلى شقوق و كسور و كهوف واسعة قد تشكل قنوات كبيرة تحت سطح الأرض بفعل عمليات التجوية , فالإذابة المستمرة لمعادن الصخور أو المادة اللاصقة بين حبيباتها تعمل على زيادة حجم الفراغات في الصخور الرملية و الغرينية و تؤثر في قابليتها على إمرار المياه و قد تؤدي إلى تكوين كهوف و يحدث ذلك في الصخور الكلسية أو الجبسية , كما تتواجد المياه الجوفية ضمن فواصل و كسور الصخور النارية و الرسوبية المتماسكة الناتجة بفعل تركيبي أو تكتوني.

تقسم طبقات الخزانات الجوفية شكل ( ) إلى :

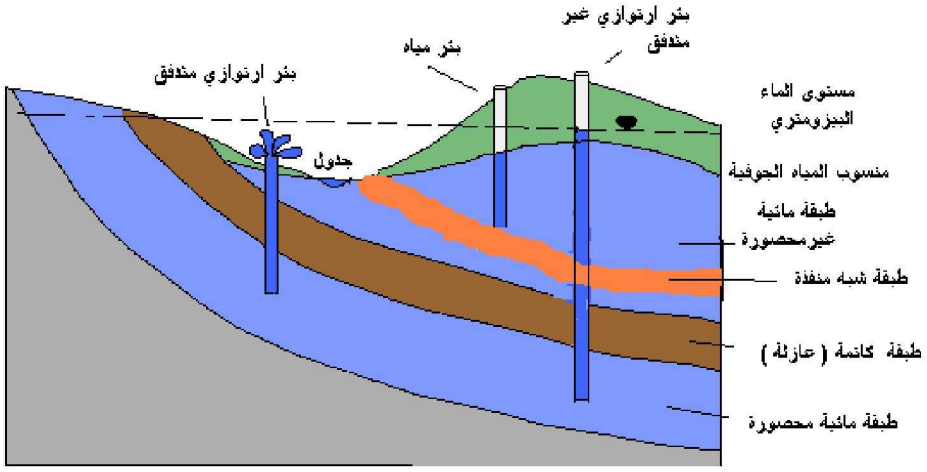
1- الطبقة المائية (Aquifer).

هي طبقة أو طبقات جيولوجية حاملة للمياه ذات مواصفات تسمح للمياه بالحركة و الانتقال ضمنها بسبب نفاذيتها العالية و لها القدرة على استيعاب و خزن المياه و بكميات اقتصادية بسبب مساميتها العالية و لها القابلية على تزويد الآبار أو الينابيع بالمياه و بإنتاج و فير .

2- الطبقة شبه المنفذة (Aquitard) .

هي طبقة أو طبقات جيولوجية مشبعة بالمياه ذات مواصفات تسمح للمياه بالتسرب منها و الحركة و الانتقال ضمنها بشكل محدود و ليس لها القدرة على استيعاب و خزن المياه بكميات وفيرة .

3- الطبقة العازلة (الكاتمة): Aquiclude هي طبقة أو طبقات جيولوجية مشبعة بالمياه ذات مواصفات لا تسمح للمياه بالحركة و الانتقال ضمنها.



شكل ( ). طبقات الخزانات الجوفية

8- أنواع الخزانات المائية الجوفية :

إن معظم الطبقات المائية يمكن تصورها كمستودعات ذات طاقة خزن كبيرة تحت الأرض و يمكن للماء أن يدخل الخزان بفعل الجاذبية و فرق الضغط و يتم استخراج المياه منها بواسطة حفر الآبار و ضخ مياهها .

تقسم الخزانات المائية الجوفية إلى ثلاث أنواع هي:

1- الخزانات الجوفية غير المحصورة Unconfined Aquifer

2- الخزانات الجوفية المحصورة Confined Aquifer

3- الخزانات الجوفية شبه محصورة Semi-confined Aquifer

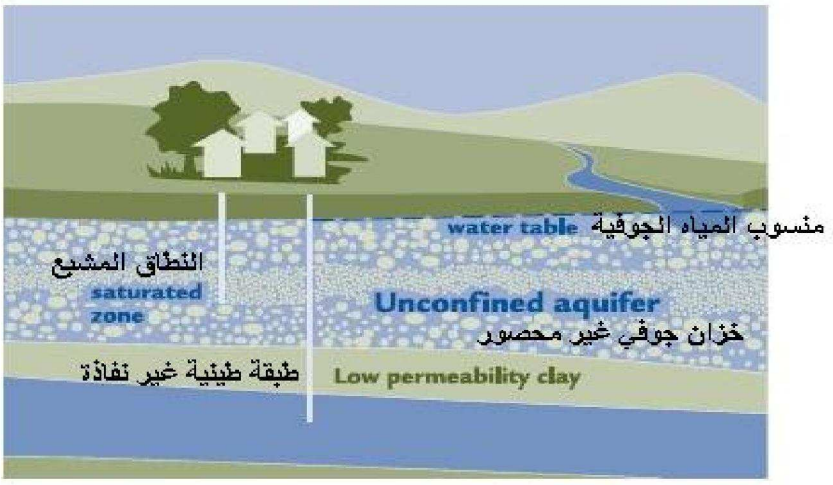
1 ـ الخزانات الجوفية المائية غير المحصورة (Unconfined Aquifer)

يعتبر الخزان المائي غير المحصور من الخزانات التي لها القدرة على حمل المياه وتزويدها للآبار والينابيع والجداول ، ويتصل سطحه العلوي مع الضغط الجوي لذلك يسمى بالخزان المائي الحر (phreatic aquifer) ، ويمكن تعريفه

على انه طبقة أو طبقات حاملة للمياه تحدها من الأسفل طبقة عازلة غير نفاذة أو نصف نفاذة و من الأعلى مستوى المياه الجوفية ألاستقراري المتصل مع الهواء الجوي (شكل -) .

يدعى السطح العلوي للمياه الجوفية في هذه الطبقات بمستوى الماء الاستقراري (static water level) او منسوب الماء (water table) ويتم قياس عمق الماء ألاستقراري من داخل البئر بواسطة المجس الكهربائي (Electric Sounder) . ويستفاد من هذه القياسات في تجارب الضخ ، وفي رسم خرائط حركة المياه الجوفية وتوزيعها . وتعرف المسافة بين سطح الأرض وسطح الطبقة المائية بعمق المستوى المائي الحر ، وهو يعتمد على ظروف التغذية والتصريف . . وعادة لا يكون منسوب المياه الجوفية ألاستقراري في الخزانات غير المحصورة مستويا ، بل يعتمد على الوضع التركيبي و التكتوني و الطبوغرافي للمنطقة . ويعتبر تسرب المياه الجوفية من الخزانات المائية إلى سطح الأرض من أهم ميزات هذا الخزان مكونا المستنقعات وبيئة الأراضي الرطبة ، إذ تتدفق المياه الجوفية من هذه الخزانات بشكل ينابيع أو تسربات بشكل نز عندما يصبح مستوى الماء ألاستقراري أعلى أو يساوي مستوى سطح الأرض .

تعتبر الخزانات المعلقة حالة خاصة من حالات الخزانات الجوفية غير المحصورة تكونت نتيجة وجود طبقة عازلة غير نفاذة قليلة الامتداد أو فوق مستوى المياه الجوفي ألاستقراري , تقوم بحجز المياه المترشحة من سطح الأرض و تمنعها من المرور إلى النطاق المشبع و غالبا ما تكون بشكل عدسات رملية او غرينية تبدو و كأنها معلقة فوق النطاق المشبع ضمن نطاق التهوية ,وتكون حاوية على كميات محدودة من المياه و لها مستوى ماء استقراري مستقل عن مستوى الماء ألاستقراري الإقليمي ، (شكل -) ، تزود الآبار التي تخترقها بكميات صغيرة مؤقتة من المياه .



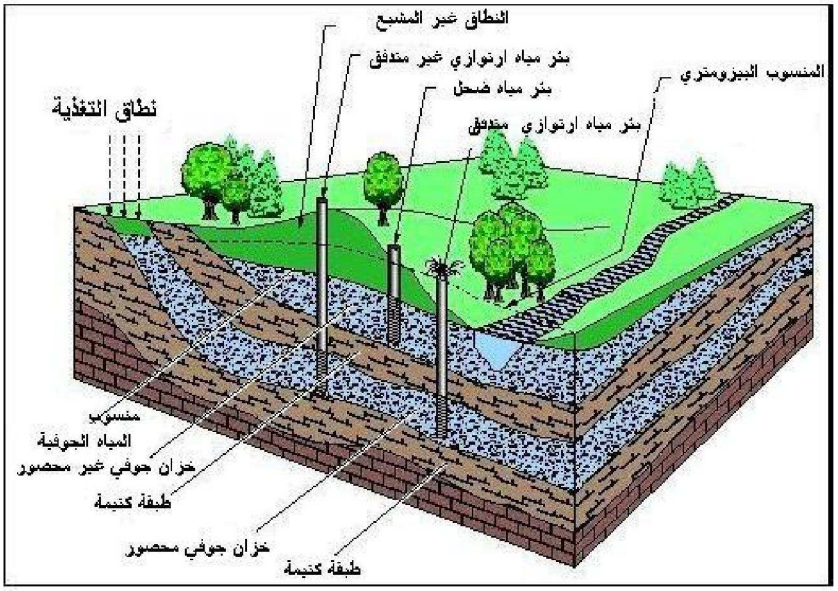
(شكل-) الخزان المائي غير المحصور .

شكل (-) الخزانات الجوفية المائية المعلقة .

2- الخزانات الجوفية المائية المحصورة (Confined aquifer).

وهي طبقة أو طبقات حاملة للمياه محصورة بين طبقتين كتيمتين من الأعلى ومن الأسفل والواقعة تحت تأثير ضغط يفوق الضغط الجوي ،وليس لها سطح حر وعند حفر الآبار في هذه الطبقات يرتفع مستوى الماء في الآبار المحفورة ضمن الخزانات الجوفية المحصورة إلى مستوى يدعى المستوى البيزومتري (الهيدروستاتيكي) . ويسمى الماء في هذه الطبقات بالماء الارتوازي وإذا ما تجاوز السطح البيزومتري سطح الأرض فان المياه الارتوازية تدعى بالمياه الارتوازية التدفقية وتسمى البئر الذي تخرج منه هذه المياه بالبئر التدفقية . أما إذا لم يتجاوز السطح البيزومتري سطح الأرض فتسمى عندها المياه بالمياه الارتوازية غير التدفقية وتسمى البئر في هذه الحالة بالبئر الارتوازية , شكل ( ).

.



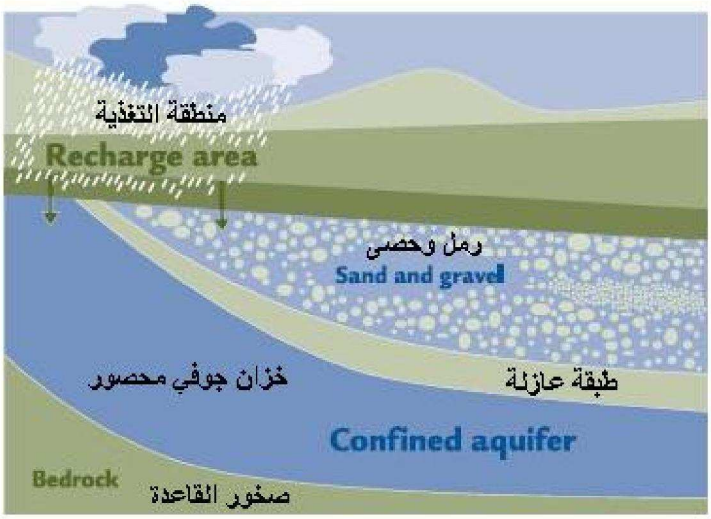
شكل ( ).مقطع يوضح الخزانات الجوفية والطبقات العازلة

wsci_02_img0238.

تدعى المنطقة التي تترشح منها المياه إلى الطبقات الحاملة للمياه المحصورة بمنطقة التغذية و تكون بمستوى منسوب السطح البيزومتري . و أن تذبذب و هبوط السطح البيزومتري يعكس تذبذبات الضغط في الطبقة الجانبية و عند انخفاضه إلى مستوى أدنى من مستوى الطبقة الكتيمة العليا عندئذ تصنف الطبقة المائية ضمن الخزانات الجوفية غير المحصورة. ويمكن تحضير الخرائط الكنتورية والمقاطع الجانبية للسطح البيزومتري من معطيات الآبار .

تتواجد في كثير من الأحيان مجموعة من الطبقات المائية المحصورة فوق بعضها البعض وتدعى في مثل هذه الحالة بالخزانات الجوفية متعددة الطبقات ، ويمكن للخزانات الجوفية المائية غير المحصورة أن تعلو الطبقات المائية المحصورة في بعض المناطق ، ويسمى هذا الوضع بالطبقات المائية المختلطة .(شكل -).

PERSO



شكل ( ). الخزان الجوفي المحصور .

يشترط لوجود الطبقات المائية المحصورة في التكاوين المختلفة وجود مصدر مستمر للتغذية وبكميات كافية من مياه الأمطار ويشترط كذلك وجود طبقتين كتيمتين تحدان الطبقة المحصورة من الأعلى ومن الأسفل ويفترض ملائمة الخواص التركيبية (الميل ، الطي ، الشقوق) لضغط المياه لجوفية .

أما الطبقة التي تكون محصورة بين طبقتين كتيمتين من الأعلى ومن الأسفل والحاملة لمياه خاضعة لضغط يساوي الضغط الجوي فتسمى بطبقة المياه الحبيسة وهذه المياه هي حالة خاصة من المياه الارتوازية حيث إن هبوط السطح البيزومتري إلى ما دون سطح الطبقة الكتيمة يجعل المياه الارتوازية مياه حبيسة لذلك فقد عرف بعض الهيدرولوجيين المياه الحبيسة بالمياه الارتوازية التي فقدت انضغاطتيها وعرفها بعضهم بالمياه غير المحصورة المغطاة بطبقة كتيمة وهذان التعريفان لا يتعارضان في الجوهر .

قد تتواجد للخزانات الجوفية غير المحصورة فوق الخزانات المحصورة و يسمى النظام الهيدرو جيولوجي في مثل هذه الحالة بالنظام المختلط . إن ظروف الخزن المحصورة توفرها الحالات التالية:-

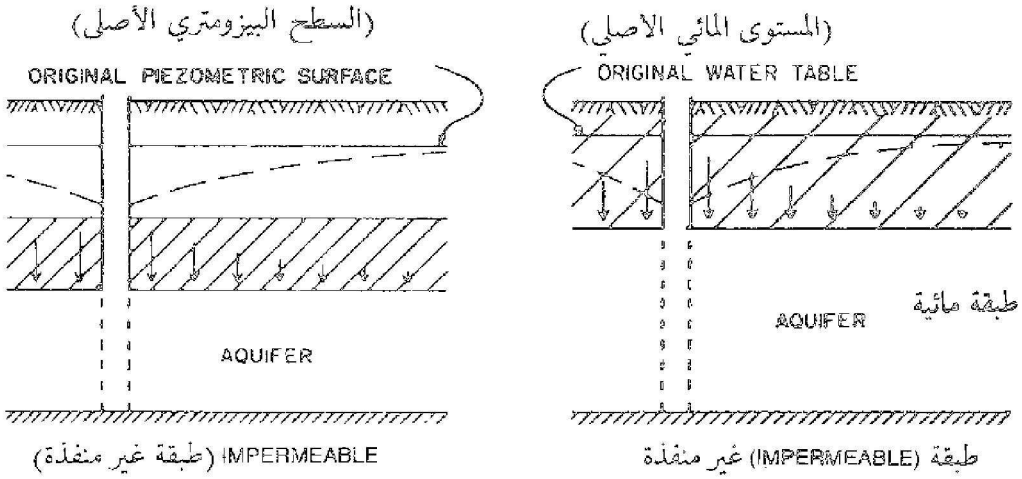
- تواجد الطبقات الحاملة للمياه ضمن الطيات المقعرة Syncline
- تواجد الطبقات الحاملة للمياه ضمن الطيات المحدبة ذات الميل الواحد Monocline
- تغير السحنة الصخرية من ترسبات ذات نفاذية عالية إلى ترسبات قليلة أو عديمة النفاذية و هو ما يدعى بالتغير الجانبي في الصفات الصخرية للطبقات المائية .
- تواجد الطبقات الحاملة للمياه ضمن انطقة تأثير الفوالق أو الصد وع .

3 ـ الخزانات المائية شبه المحصورة (الراشحة) : Semi- confined aquifer

تتميز الطبقات الحاملة للمياه الجوفية شبه المحصورة باحتوائها على طبقات غير منفذة للمياه تحدها من الأسفل مع وجود طبقات أو ترسبات شبه منفذه تحدها من الأعلى حيث تتحرك المياه من خلالها إلى الأعلى أو الأسفل و حسب تباين ضغط المياه في الطبقات الحاملة للمياه , و عليه فإن المستوى البيزومتري للمياه الجوفية في هذه الخزانات يتطابق مع مستوى المياه الجوفية Water table في الطبقات شبه المنفذة .

ويكثر وجود الطبقات الراشحة في الأودية المغطاة برواسب حديثة حيث تكون طبقات الرمال والحصى العميقة مغطاة بالتربة والطين وبالمواد ذات الحبيبات الناعمة وفي هذه الحالة تعتبر طبقات الرمال والحصى هي الطبقة شبه المحصورة بينما تعتبر التربة والطين والمواد ذات الحبيبات الناعمة ممثلة للطبقة شبه المنفذة . وتجدر الإشارة إلى إن الطبقة العليا شبه المنفذة يمن أن يكون لها مستوى مائي خاص بها (شكل - ا) ، ويلاحظ أحيانا وجود خزان مائي غير محصور فوق الطبقة شبه المنفذة يمكن أن تقوم الطبقة شبه المنفذة بوصل الخزان المائي المحصور مع الخزان المائي غير المحصور (شكل - ب) ، وهذه هي حالة أخرى للطبقات المائية الراشحة . إن المستوى المائي يتطابق مع المستوى البيزومتري في الخزانات شبه المحصورة لكلتا الحالتين السابقتين ، وعند ضخ المياه من الآبار المحفورة في هذه الطبقات فان السطح البيزومتري يهبط أسفل المستوى المائي مسببا في تحرك المياه نحو الأسفل عبر الطبقة شبه المنفذة إلى الخزان شبه المحصور .

PERSONAL



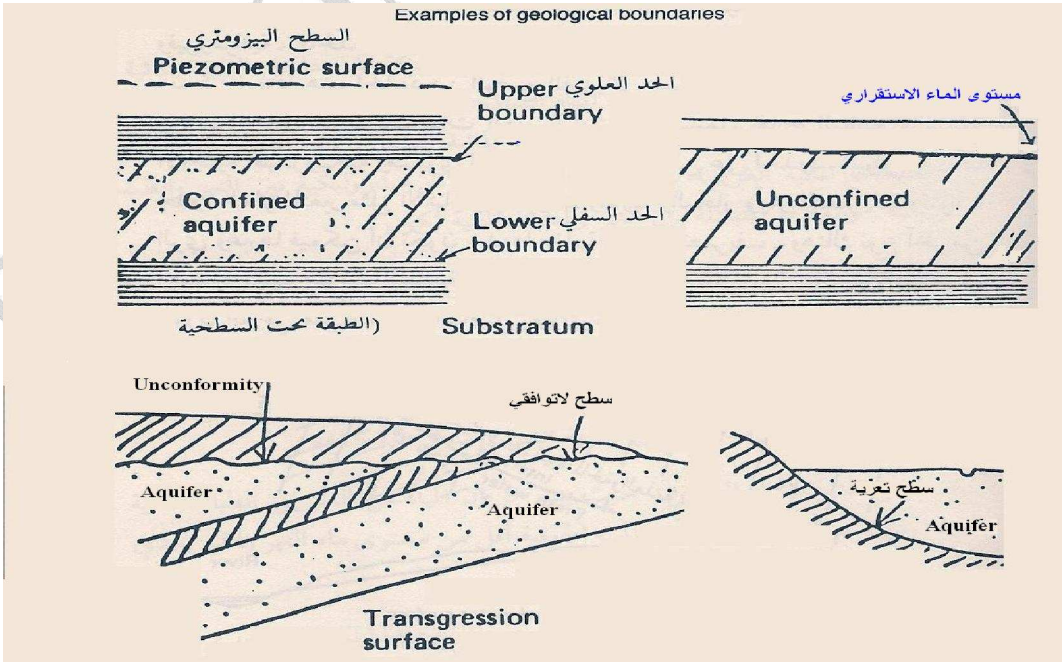
شكل ( ) الخزانات المائية شبه المحصورة .

الظروف المحددة للخزانات الجوفية :

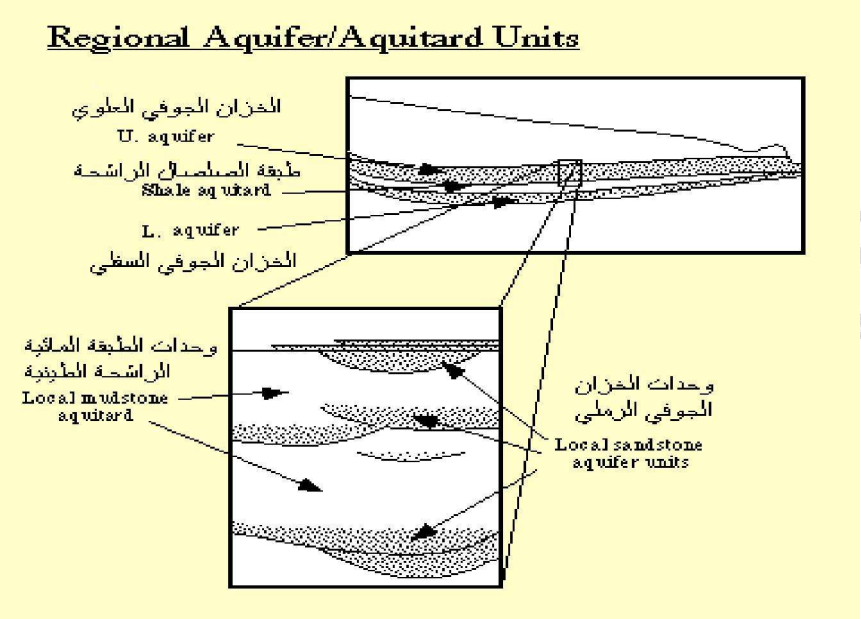
إن حدود الطبقات الحاملة للمياه ليست ذات طبيعة فيزوغرافية او تركيبية او ليثولوجية او هيدروليكية فحسب و إنما هي حصيلة جميع تلك المحددات والتي يطلق عليها الحدود الهيدروجيولوجية ، فالطبقات الحاملة للمياه هي جزء من وحدة جيولوجية او فيزو غرافية لها أبعاد وأشكال وخواص تستطيع معها الإبقاء على كمية أساسية من المياه في مسامها .

الحدود الجيولوجية (الليثولوجية والطبقية) :

يعتمد تقدير التخزين في الطبقة المائية على معرفة أبعاد الصخور الخازنة وسماكتها وامتدادها الجانبي ، علما بان سماكة أية طبقة مائية يمكن معرفتها بواسطة الحدود الجيولوجية والهيدرولوجية ، فمثلا نسمي التغيير في الصفات والخواص الليثولوجية او التركيب الفيزيائي للمواد بالطبقية . والتغير في السحنة الصخرية يمكن أن يكون حدودا سفلية او علوية للطبقات الحاملة للمياه شكل ()،اما في ترسبات الطبقات النهرية تتداخل رسوبيات الحصى والرمال أو تتدرج إلى الغرين والطين ويمكن لعدسة من الرمل أن تتداخل(inter-fingering) ضمن الترسبات الطينية شكل ( ) ويمكن للحجر الرملي أن يصبح غنيا بشكل تدريجي بالعناصر الناعمة التي تملئ الفراغات وتحل محل الحبيبات الكبيرة ، وكذا الحال في صخور الحجر الجيري فقد تحد الصخور الجيرية الكتلية massive الطبقات الحاملة للمياه من الصخور الجيرية المسامية من الأعلى او الأسفل .

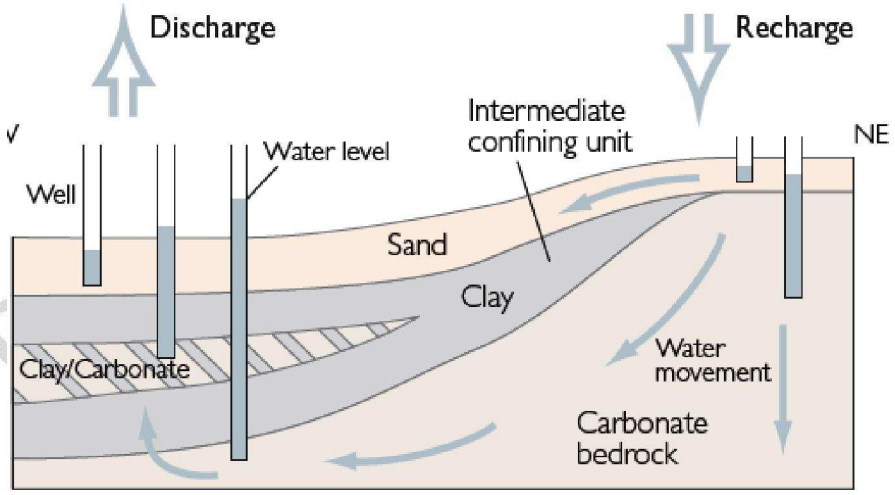


شكل ( ) أمثلة للحدود الجيولوجية ( ) .



شكل( ) : تداخل وحدات الرمال مع الصلصال ضمن الخزان الجوفي .

يعتبر التغير في السحنة الصخرية كافيا لتكوين مياه جوفية انضغاطية ، وتعتبر الأشكال العدسية وحالة التغير التي تحدث في الطبقة المائية المكونة من الحصى والرمل إلى طبقة طينية غرينية غير نفاذة وغير قادرة على إمرار الماء مثالا للتغير الجانبي في الصفات الصخرية للطبقات المائية .

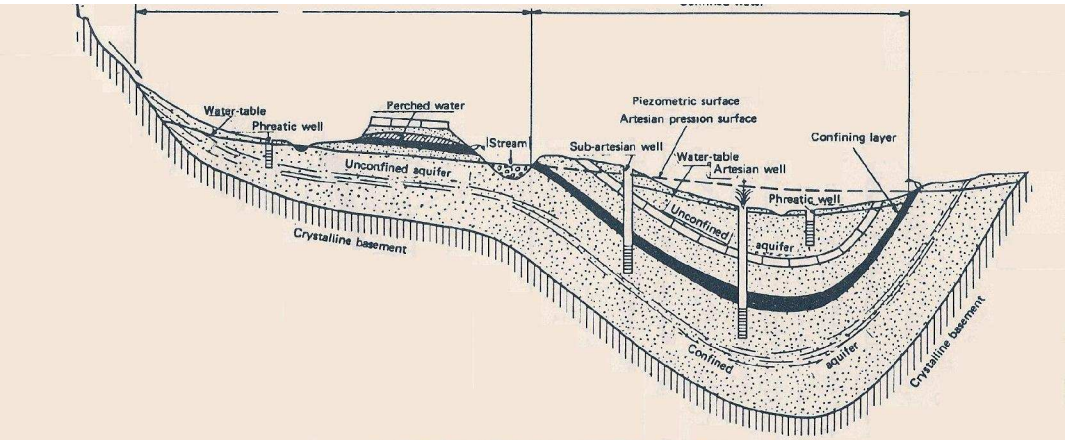


شكل (-) التغير الليثولوجي .

الحدود التركيبية : Structural Boundaries

1 ـ الطيات المقعرة(التراكيب المعقدة : Synclinorium)

ان التركيب المقعر هو انحناء في الطبقات النفاذة ينتج عنه طبقات مقعرة، الشكل( ) . تصبح المياه الموجودة في مثل هذه الطبقات واقعة تحت تأثير ضغط واحد . فإذا كان مستوى المياه في منطقة التغذية أعلى من مستوى الآبار المحفورة فان المياه سترتفع في الآبار وتتدفق على السطح ، وإذا انخفض المستوى فان الماء سيرتفع فقط بما يعادل نسبة الفرق في المستوى ، وهذا هو السبب في تدفق المياه الجوفية في المناطق المنخفضة بنسبة اكبر من المناطق المرتفعة .

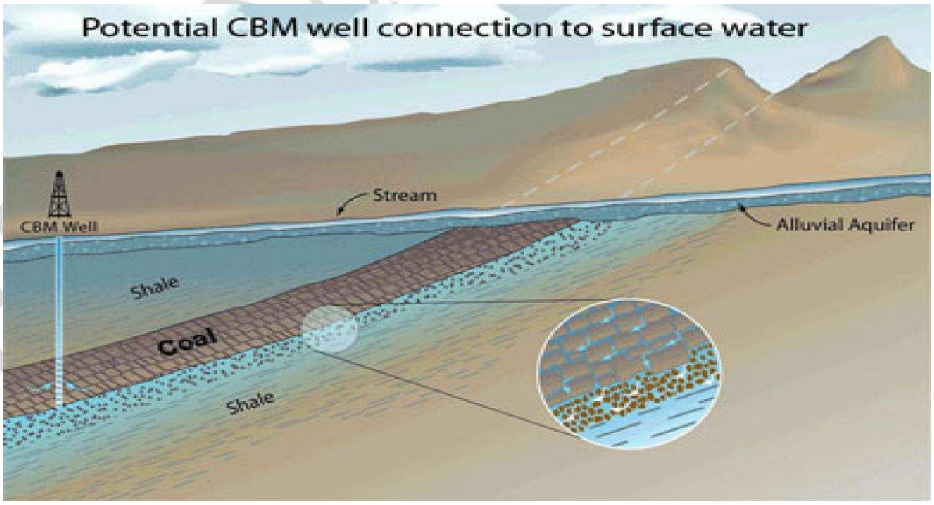


شكل ( ) الطبقات المائية المحصورة والطبقات المائية غير المحصورة

شكل ( ) الخزانات المائية المحصورة وغير المحصورة في التراكيب المقعرة .

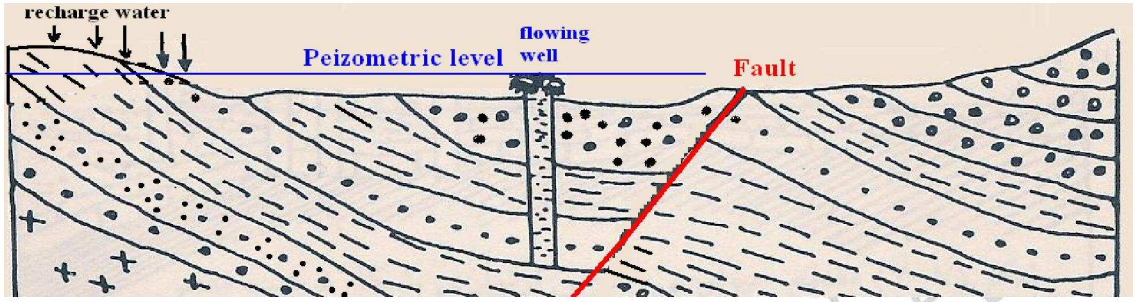
2 ـ الطبقات المائلة . monocline structure

في التراكيب ذات الميل الواحد (monocline) وبسبب ميل الطبقات النفاذة باتجاه معين يرتفع المستوى المائي داخل الآبار بسبب الضغط الهيدروستاتيكي للمياه الجوفية الناجم من عملية التغذية في مناطق تكشف الطبقات. (شكل -)



3- انطقة الفوالق و الكسور :Fault and Fracture zones

تنشأ الخزانات المحصورة نتيجة تأثير الفوالق على الطبقات المائلة ، إذ يتكون حاجز غير نفاذ يعمل على تجميع المياه القادمة من الطبقات المائلة وبالتالي زيادة ضغطها وارتفاع مناسيبها ويعمل كأنه سد تخزين جوفي . وقد يشكل سطح الفالق نقطة ضعف تمر من خلاله المياه (بوابة تصريف) مسببا امتزاج بين مياه الصخور العميقة والضحلة . (شكل -)

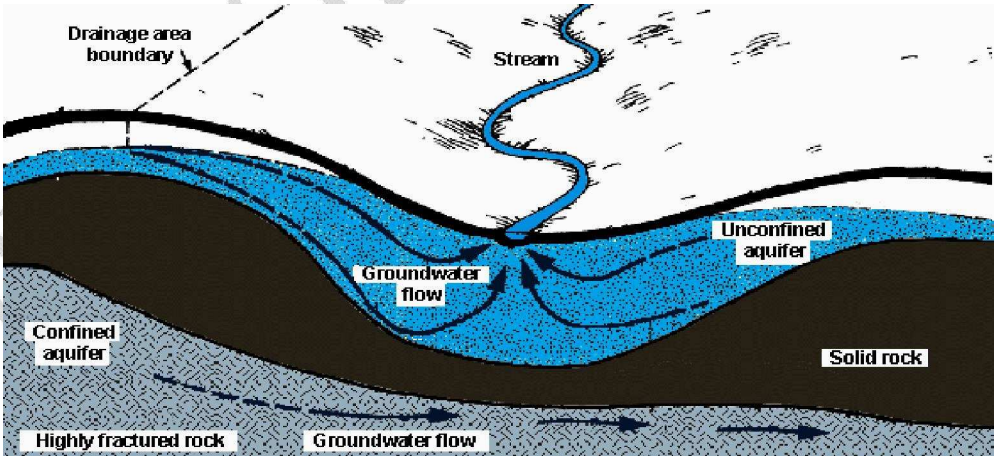


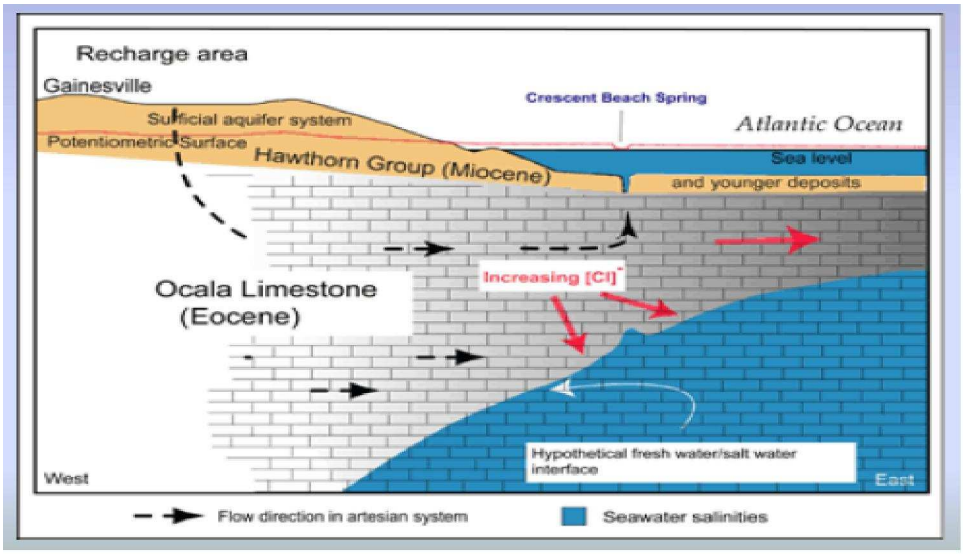
شكل ( ) الخزانات الناتجة عن الفوالق والكسور .

الحدود الهيدرولوجية والهيدروليكية :Hydraulic and hydrologic Boundaries

الحدود الهيدروليكية تعتبر حدودا مانعة او محركة للجريان (شكل -) ، ويمكن معرفة هذه الحدود من الوضع التركيبي ومن ارتفاع الأوساط الحاملة والناقلة للمياه المائية ، وتعتمد حدود التصريف ذات الضغط العمودي الثابت مثل فوهات الينابيع والسدود الأرضية الهيدروليكية ومستوى الجريان تحت السطحي ضمن المحددات الهيدروجيولوجية و أما الحدود ذات الضغط المتغير مثل الأنهار والبحيرات والبرك والبحار وآبار التصريف وقنوات الري وغيرها فيمكن أن تكون حدود تغذية او حدود تصريف .

وهناك نوع أخر من الحدود موجود داخل الطبقة المائية يفصل بين سائلين مختلفين في الوزن النوعي مثل السطح الفاصل بين المياه العذبة والمياه المالحة ونستطيع القول بان حالة الحدود الهيدروليكية يمكن أن تكون ثابتة أو متغيرة وتعتمد حركتها على التغير في قيمة الضغط العمودي، فالتغذية الاصطناعية تزيد من فرق الضغط العمودي (pressure head) وبالتالي تعمل على تغيير حدود الأحواض المائية الجوفية .





شكل ( ) أمثلة على الحدود الهيدروليكية .

الحدود الهيدروليكية تؤثر بشكل كبير على حركة المياه داخل الطبقة المائية فالطبقات المائية التي تتغذى من المياه السطحية غالبا ما تكون ذات تخزين جيد بسبب رشح المياه السطحية إليها ، وفي المناطق التي تغذي فيها الأنهار الطبقات المائية الغرينية بشكل دائم توجد علاقة هيدروليكية بين النهر والطبقة المائية وهذه العلاقة تكون :

1 ـ حرة ودائمة : وذلك عندما تخترق الأنهار الطبقات المائية وتكون الطبقات النفاذة في أسفل النهر .

2 ـ مؤقتة ودائمة : وذلك عندما تقطع الأنهار الطبقة النفاذة على عمق معين ، حيث يرتفع مستوى ماء النهر فوق مستوى الطبقة تحت السطحية في موسم الزيادة المائية .

3 ـ غير موجودة : وذلك عندما يكون منسوب النهر أوطأ من مستوى الطبقة المائية بشكل دائم .

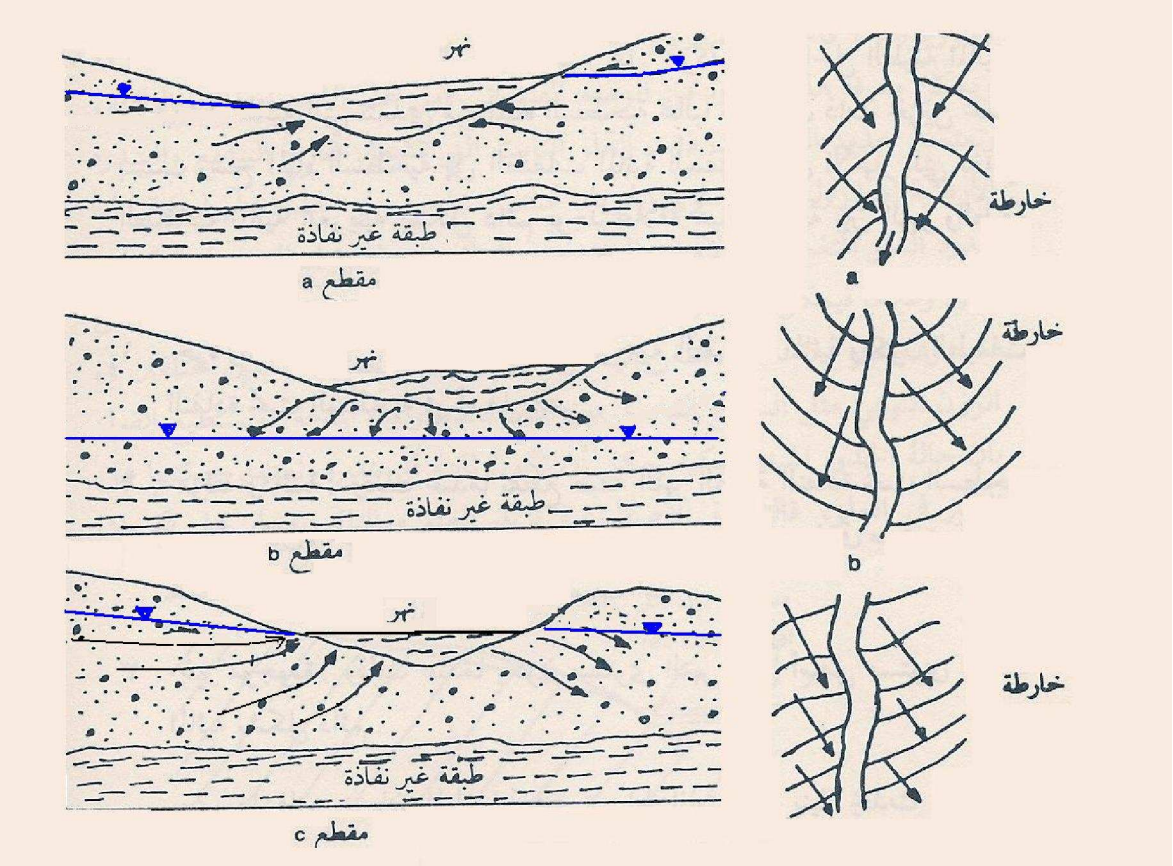
وعموما فان جريان المياه الجوفية في خزانات الترسبات الفيضية والنهرية يحدث في ثلاث اتجاهات :

ـ باتجاه النهر : حيث يتم تصريف مياه الطبقة المائية إلى النهر ، وذلك عندما يكون مستوى المياه الجوفية أعلى من مستوى ماء النهر ونستطيع القول بان الخزان الجوفي يعمل على تغذية النهر (شكل – a) .

ـ من النهر باتجاه الخزان الجوفي : يتم جريان المياه من النهر إلى الطبقة المائية وذلك عندما يكون مستوى المياه الجوفية اقل من مستوى ماء النهر (النهر يغذي الطبقة المائية) (شكل – b) .

ـ جريان التبادل (تغذية متبادلة) : ويتم ذلك عندما يكون منسوب الماء في الطبقة المائية والنهر بنفس المستوى . (شكل – c) .

PERSONAL BAY



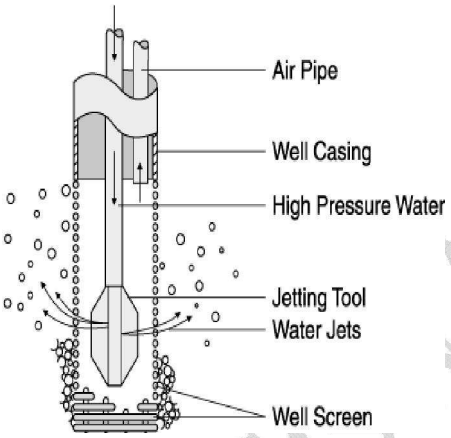
شكل ( ) العلاقات المتبادلة بين مستوى المياه الجوفية ومستوى ماء النهر

PERSONAL

تطوير وصيانة الآبار :

يهدف تطوير الآبار إلى زيادة سعتها النوعية ورفع كفاءتها وإطالة عمرها . وتتم هذه العملية بعد الانتهاء من حفرها وإكمالها ، وتعتبر المرحلة النهائية من مراحل تجهيز الآبار للضخ . وتعني إزالة الرمال والمواد الناعمة من الطبقات المائية المحيطة بالمصافي ومقاطع التغليف المثقبة ، والقضاء على البكتريا والكائنات الحية الدقيقة لخلق نطاق طبيعي ونقي حول المصافي و حشوة الحصى يمنع تسرب جزيئات الطبقة المائية من الدخول إلى البئر ، وتتراوح سماكته من عدة ديسمترات إلى عدة سنتمترات ولان نفاذية هذا النطاق أعلى من نفاذية الطبقة المائية نفسها ، وتوزيع حجم الحبيبات بشكل تدريجي ، أي ان الحبيبات الخشنة تظهر عند المصفاة وتتدرج للخلف حسب الحجم حيث مواد الطبقة المائية ، فان هذا النطاق يعمل على زيادة نصف قطر التاثير ,وتجدر الإشارة إلى ان هذا النطاق يكون غير ثابت في حالة اختيار مصافي غير مناسبة خاصة في الآبار المحفورة في الطبقات المائية ذات النسيج الناعم والمنتظم ، ويمكن ان يستمر خروج الرمال لفترة زمنية طويلة قد تصل إلى عدة سنوات أثناء ضخ المياه من هذه الآبار . ويعتمد مبدأ تطوير الآبار على خلق حركة سريعة متبادلة للمياه من البئر إلى الطبقة المائية ومن الطبقة المائية إلى البئر ، لإزالة الجزيئات الناعمة الموجودة في مسامات المواد وثقوب المصافي ، وتنتقل الجزيئات المنهارة إلى داخل البئر ليتم ضخها إلى الخارج . واهم الطرق المستعملة في تطوير الآبار هي :

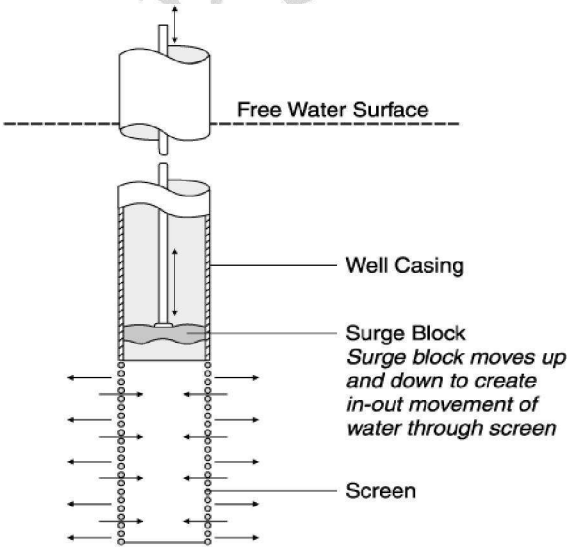
طريقة النفث : - Jetting method



تعتمد هذه الطريقة على خلق تدفق جانبي للمياه من الطبقة المائية إلى البئر ،باستعمال جهاز ينفث الماء او يقذفه إلى البئر من فوهتين متجاورتين او أكثر بسرعة عالية وبشكل عمودي ، مما يسبب تدفق المياه إلى الطبقة المائية ويحدث ضغطا موضعيا خلف ثقوب المصافي وأنابيب التغليف ، وهذا يسبب تدفقا عكسيا للمياه باتجاه البئر حول المنطقة التي تدخل منها وبتحريك جهاز النفث jetting device إلى الأعلى والأسفل وإدارته ، نحصل على تدفق عكسي في أجزاء الطبقة المائية حول البئر وتعتبر هذه العملية فعالة في تحطيم كعكة الطين المتكونة على جدران الآبار المحفورة بطريقة الحفر الدوراني وخاصة اذا أضيف للماء مادة مبعثرة .ويساعد ضخ المياه من البئر أثناء عملية النفث في تحريك المواد الناعمة إلى البئر وقذفها للخارج .

طريقة الدفق : surging method

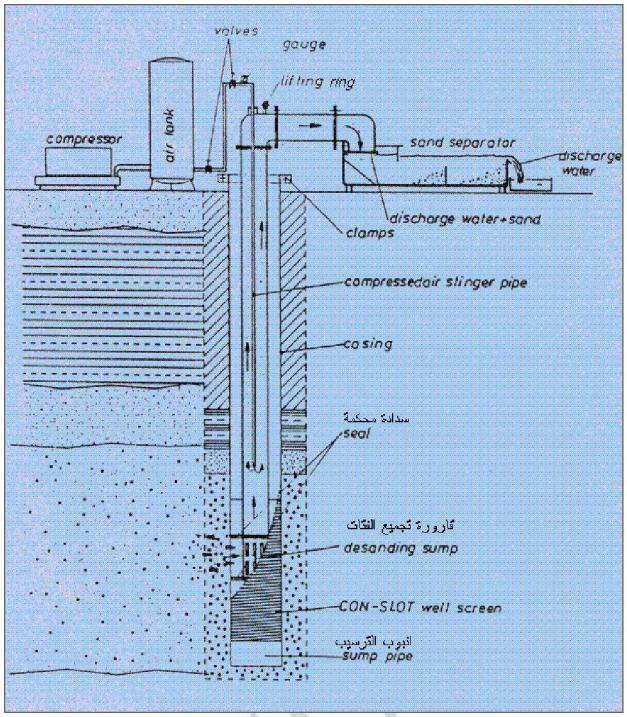
تعتبر هذه الطريقة من أكثر الطرق استعمالا في تطوير الآبار وتعتمد على ضخ المياه خارج البئر بواسطة مجموعة أنابيب متصلة مع جهاز يؤمن حركتها إلى الأعلى والأسفل لخلق تدفق مستمر من والى الطبقة المائية ينتج عنه تجمع الرمال والمواد الناعمة الأخرى أسفل البئر لتتم إزالتها بواسطة الدلو النازح ، ويجب الاستمرار بالنزح حتى لا يبقى أي رمل متجمع في الأسفل كما يجب ان تبدأ عملية السحب بشكل بطيء لتجنب فرق الضغط بين الطبقة المائية والبئر مما قد يؤثر على ثقوب المصافي . ولتجنب الضغوط الإضافية تم تزويد بعض منظومة الدفع بصمام يسمح بمرور الماء من خلالها أثناء دفعها إلى أسفل ويمكن تحقيق طريقة الدفع بضخ المياه من البئر بشكل متقطع باستعمال مضخة تور بينية بدون صمام ، فعندما يبدأ الضخ يهبط مستوى المياه الجوفية في البئر ويقل الضغط في الطبقة المائية حول البئر وعند إيقاف الضخ يرتفع مستوى المياه الجوفية فجأة وتندفع المياه للخلف



عبر المضخة ، وبزيادة الضخ عن الحد الطبيعي وما يتبعه من هبوط كبير في مستوى المياه الجوفية تندفع المياه إلى الطبقة المائية وهذا يعمل على تحريك الحبيبات الناعمة إلى البئر ليتم نزحها إلى الخارج.

طريقة دفع الهواء : air surging

وتعتمد هذه الطريقة على حقن هواء مضغوط إلى داخل البئر بسرعة عالية تقدر بثمانية أضعاف التدفق المتوقع من البئر وضغط عال يقدر بحوالي 10 atom. باستعمال ضاغطة هواء يتصل بها انبوب هواء ينزل إلى البئر ويثبت حول أنبوب التصريف ويجب ان يكون الأنبوبان لهما قابلية على الحركة الرئيسية كما ويجب ان يتعدى عمق الماء في أنبوب التصريف ثلثي طول الأنبوب . ويراعى ان يكون أسفل أنبوب الهواء واقعا فوق أسفل أنبوب التصريف قبل بداية عملية التطوير . وعند ضخ الهواء يندفع مزيج الماء والهواء عبر الفراغ الحلقي بين أنبوب الهواء وأنبوب التصريف حاملا معه الرمال إلى الخارج . وعند توقف خروج الرمال مع المزيج يغلق صمام الهواء في الضاغطة ويسمح بتعاظم ضغط الهواء ثم ينزل أنبوب الهواء إلى حوالي 30 سم أسفل أنبوب التصريف ويفتح صمام الهواء في الضاغطة ويندفع الهواء بقوة كبيرة عبر أنبوب الهواء ضمن البئر مما يولد ضغطا موضعيا إضافيا داخل البئر يسبب حركة مفاجأة للمياه باتجاه الطبقة المائية . وبسحب أنبوب الهواء إلى أعلى يندفع مزيج الماء والهواء والرمال إلى خارج البئر مرة أخرى . ويسبب اندفاع المياه إلى الخارج تراجعا تدريجيا في الضغط مما يجعل حركة المياه من الطبقة المائية باتجاه البئر . ويجب رفع أنبوب الهواء إلى الأعلى وتنزيله إلى الأسفل عدة مرات حتى يتم تطوير وتنظيف الطبقة المائية حول المصافي ومقاطع التغليف المثقبة .



طريقة إعادة الغسل :

يتم تركيب أنابيب التصريف وأنابيب الهواء بطريقة مشابهة للطريقة السابقة ولكن إضافة أنبوب هواء قصير منفصل وصمام ذي ثلاث فتحات وغطاء محكم السد يثبت على فوهة البئر (شكل-) وعند ضخ الهواء عبر أنبوب الهواء الطويل يندفع الماء والهواء عبر أنبوب التصريف إلى الخارج . وعند توقف خروج المياه يغلق الهواء ويسمح لمستوى المياه الجوفية بالعودة إلى منسوبه الأصلي . وبعد ذلك يفتح الصمام ذي الثلاث فتحات ويصعد الهواء إلى قمة البئر عبر أنبوب الهواء القصير مما يتسبب في تصريف المياه بشكل عكسي من البئر عبر أنبوب التصريف ويثير حبيبات الرمال المحيطة بالبئر ويجبر الهواء على دخول البئر لتبدأ عملية الهروب من أنبوب التصريف ثم يقلب الصمام ذي الثلاث فتحات وتعاد العملية مرة أخرى حتى يتم تطوير البئر بشكل كامل .

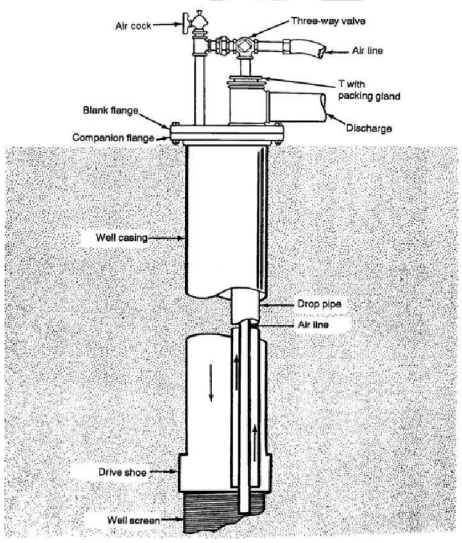
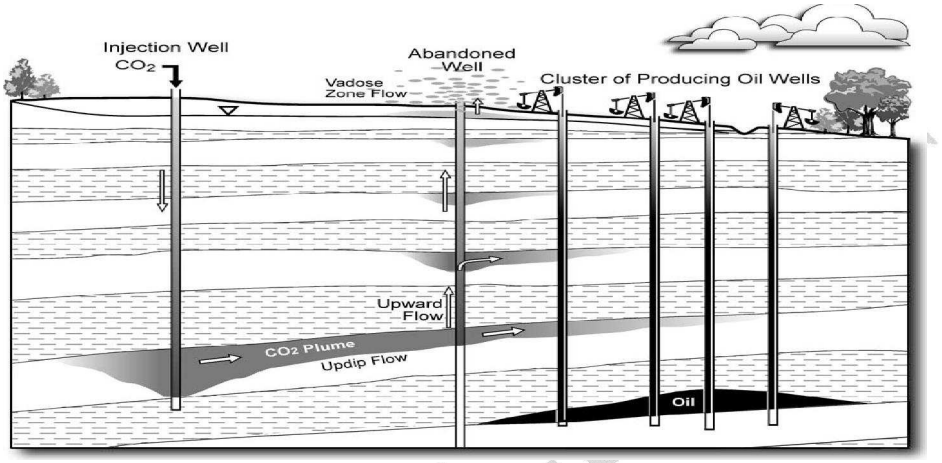


Figure 7-4. Arranging equipment to build up air pressure

شكل (14.4) طريقة الغسل المعاكس .

طريقة التطوير بحقن ثنائي اوكسيد الكربون :

تعتبر هذه الطريقة ابسط واحدث الطرق المستعملة في تطوير الآبار وتعتمد على دفع ثنائي اوكسيد الكربون المجمد الصلب إلى البئر بواسطة الهواء لتخثير المياه وخضها ورفع المواد الناعمة إلى الأعلى ، ويمكن إضافة حامض الهيدروكلوردريك لإزالة آثار الطين وتقليل الجريان من التكوين المائي . ويستعمل الهواء المضغوط لدفع المواد الكيماوية نحو الطبقات المسدودة بإزالة أثار الطين بعد غلق التغليف ليتم إنزال كتل من الجليد الجاف إلى البئر . ويولد غاز ثاني اوكسيد الكربون المتحرر بواسطة التسامي ضغطا يتسبب في انفجار الماء الذي يحمل معه المواد الناعمة المتحررة من البئر . ويمكن متابعة الضخ من البئر لحين توقف خروج الماء الوحل .

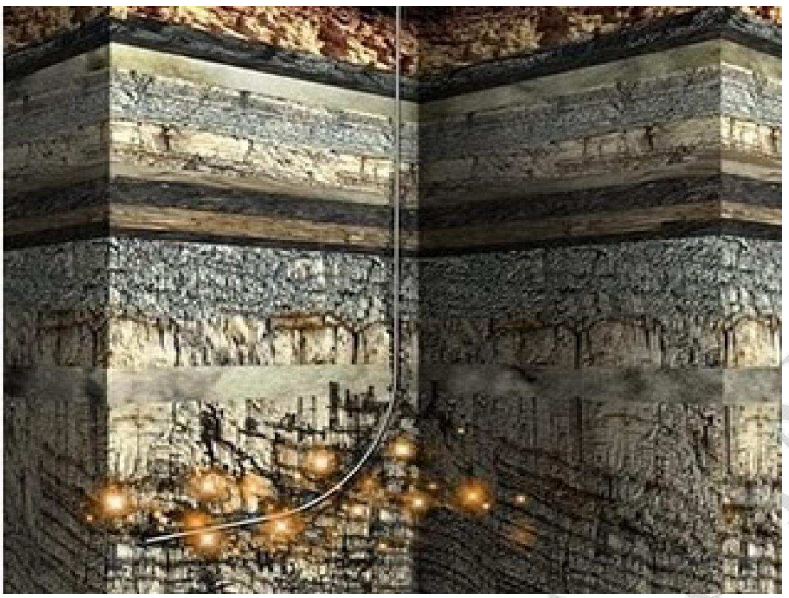


طريقة التطوير بالتصدع الميكانيكي :hydraulic fracturing

تهدف هذه الطريقة إلى زيادة إنتاجية الآبار المحفورة في الطبقات المائية المتماسكة ، وتعتمد على حقن سائل عالي الضغط في البئر الإنتاجية لتشقيق الصخور المتماسكة حول المصافي والمقاطع المثقبة ولتحقيق ذلك ، يفترض ان يكون ضغط السائل على عمق معين مساويا او يزيد عن ضغط التكاوين في ذلك العمق ، والشقوق الأفقية على امتداد مستوى التطبق . وقد أثبتت الدراسات النظرية والعملية حدوث التشقق عندما يصبح ضغط السائل حوالي 60 % من ضغط الطبقة ، ومعظم الشقوق تكون عمودية وتمتد بشكل شعاعي حول البئر . مع العلم بان إنتاجية الآبار تزداد بزيادة الاتصال العمودي بين الطبقات المائية المختلفة وهذا يزيد من التدفق الجانبي في الطبقات الأكثر نفاذية ونظريا يمكن ان تتطور الشقوق الأفقية في الطبقات إذا زاد ضغط السائل عن ضغط التكاوين ، ولكن حدوث التشقق العمودي تحت ضغط اقل يجعل تطور الضغط غير ممكن . ويفضل مزج السائل المستعمل في الحقن بالرمل او بأية مواد مناسبة أخرى لبقاء الشقوق المتكونة حديثا مفتوحة بعد الحصول على ضغط طبيعي في البئر .

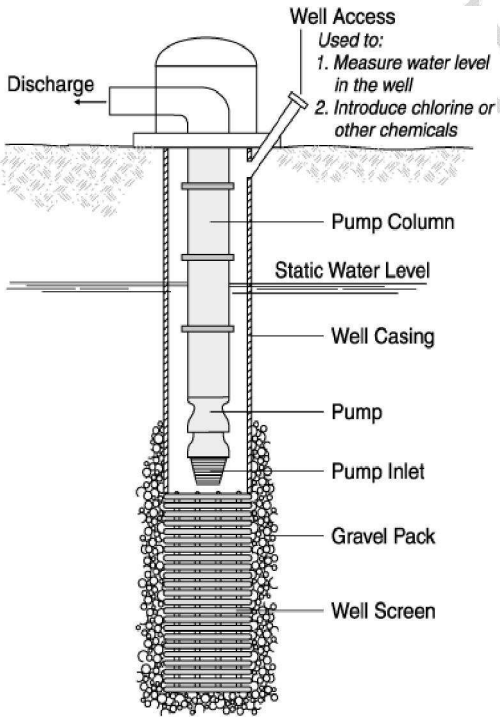
طريقة التطوير بالحوامض :

تستعمل الحوامض لمعالجة الآبار المحفورة في الصخور الكربونية لزيادة مساميتها الثانوية وإذابة الجزيئات التي سدت الفراغات والشقوق والاقنية . يمكن استعمال حامض الهيدروكلوردريك ذو التركيز 15 % لهذا الغرض ، ويضاف الجيلاتين او المثبطات لحماية المصافي ومواسير التغليف من التآكل . وتتراوح المدة اللازمة لبقاء الحامض في حالة تلامس مع التكاوين المراد علاجها ما بين ساعة إلى عدة أيام ، ويجب ضخ المياه من البئر بعد المعالجة لحين تنظيفها من الحامض لمدة نصف يوم على الأقل .



تعقيم الآبار :

يعتبر التعقيم ، المرحلة النهائية في تجهيز الآبار للضخ ويهدف إلى قتل البكتريا والفيروسات التي ربما دخلت إلى البئر أثناء الحفر او التغليف او أثناء وضع المصافي . .الخ . ويمكن دخول الكائنات الحية والمجهرية من سطح الأرض إلى البئر بواسطة اليد البشرية او بواسطة الحيوانات او نتيجة تسرب المياه السطحية الملوثة او بسبب سقوط الأتربة والمواد الأخرى إلى البئر ويفضل تعقيم وتنظيف الحصى المستعملة في رص الآبار . وإضافة الكلور او أي مواد معقمة إلى البئر على فترات متقطعة أثناء الحفر لتطهير البئر أثناء التجهيز . ويستعمل عادة محلول الكلور بتركيز يتراوح ما بين 50 - 200 ملجم /لتر ، يمكن الحصول عليه بإضافة محلول هيبو كلورات الصوديوم او بإذابة هيبو كلوريد الكالسيوم او غاز الكلور في الماء . ويجب إبقاؤه في البئر لمدة أربع ساعات على الأقل حتى يتمكن من القضاء على البكتريا والفايروسات داخل البئر ، ويعتمد تأثير الكلور على إعداد البكتريا في الماء ، ويمكن معرفتها بضخ المياه من البئر لعدة ساعات ، حتى تنتشر البكتريا بشكل واسع في البيئة وفي التربة المحيطة ثم تؤخذ العينات وترسل للمختبر من اجل إجراء التحاليل الكيماوية اللازمة ويجب تنظيف البئر وإزالة المواد الغرينية والعالقة قبل عملية التطهير .



صيانة وترميم الآبار : maintenance

إن آبار المياه الجوفية المنتجة التي يتم تبطينها وتطويرها بناء على أسس علمية صحيحة ، كاختيار المصافي وأنابيب التبطين بناء على نتائج التحليل الميكانيكي لحبيبات مواد الطبقة المائية المنتجة وبناء على نوعية المياه ، ووضعها في المكان المناسب , سيكون عمرها أطول بدون عناية حثيثة ، الا انه يبقى محدودا دون تطويرها ، وقد تفشل بعض الآبار فتعطي كميات ضئيلة من المياه مع مرور الزمن وتقل كفاءتها ، ويمكن لبعضها ان يجف مع استمرارية الضخ ، لذا يصبح من الضروري عمل صيانة دورية لها ، وقد تمت مراقبة الآبار التي قلت إنتاجيتها مع مرور الزمن ولوحظ أنها عادت لسابق عهدها بعد تنظيفها وتطويرها ومعالجتها وعموما فان مشكلة تراجع الإنتاج في الآبار الارتوازية يعزى للأسباب التالية :

1 ـ انخفاض مستوى المياه الجوفية .
2 ـ تأكل وتلف المضخة وانسداد أجزائها .
3 ـ تآكل وتلف المصافي وانسدادها بمخلفات التآكل والكائنات الدقيقة .
4 ـ انسداد المصافي وثقوب أنابيب التبطين بالطين والرمال والمواد الناعمة .

وتجدر الإشارة إلى ان انخفاض إنتاجية الآبار يمكن إصلاحه إذا كان ناتجا عن الأسباب الثلاثة الأخيرة ويعتبر جمع المعلومات المستمر عن المستوى المائي وتذبذباته وعن نوعية المياه في جميع الآبار الإنتاجية أمرا ضروريا ومهما ولا تقل أهميته عن معرفة إنتاجية هذه الآبار ونوعية مياهها بعد حفرها وتجهيزها للمرة الأولى حتى نتمكن من تحديد الأسباب واختيار الطرق الصحيحة في معالجة مشكلة تراجع إنتاجيتها وتغير نوعية مياهها ، وسوف نبحث في هذه ا لفصل مشكلة تراجع إنتاجية الآبار وعلاجها .

تكوين القشرة :incrustation

تتعرض فتحات المصافي والحصى المحيطة بها ومواد الطبقة المائية حولها للسد او التلبس بقشرة بواسطة الرواسب الناتجة عن تفاعلات الكيماوية ونتيجة تراكم حبيبات الأتربة والطين والرمل ومخلفات التآكل المتكونة بفعل البكتريا ومخلفات الكائنات الدقيقة الأخرى غير الذائبة . وغالبا ما تعمل المواد الكربوناتية المترسبة على حبيبات الرمل بعضها مع بعض حول المصافي ، وأكثر المواد الكربوناتية التي تسبب ذلك هي بيكربونات الكالسيوم والصوديوم والمغنيسيوم والحديد ، وأصعب المواد تفتيتا وأزاله هي مركبات الحديد والمنغنيز ، وتعتبر رواسب الكالسيوم والمغنيسيوم من أهم نواتج الترسيب . وناتج الاتحاد الطبيعي لهذه المواد يكون بشكل غير مذاب ويترسب حول الثقوب وشقوق المصافي لان حمضية المياه الجوفية تزداد عند دخول المياه إلى البئر بسبب نقصان ثنائي اوكسيد الكربون غير المذاب في المياه الجوفية الناتج عن نقصان الضغط الراسي عند دخول المياه الجوفية من الطبقة المائية إلى البئر ، حيث يؤثر الضخ العالي من البئر الإنتاجية على المنسوب الاستقراري في المساحة المجاورة للبئر ، ويسبب ضغطا وزيادة في سرعة المياه وبالتالي خروج ثنائي اوكسيد الكربون من المياه الجوفية على شكل غاز ، وهذا يعطي المياه الجوفية قابلية على حمل المواد المعدنية الذائبة في المحلول الا انه يصبح عاجزا عن حمل محلول الأملاح المعدنية غير الذائبة ، لذلك فان بعض المعادن الذائبة تتسرب في المضخة وفي فتحات وشقوق المصافي وعلى جدران البئر ، ويلاحظ ذلك كثيرا في الآبار المحفورة في الطبقات المائية المكونة من الحجر الجيري والدولومايت المشقق وخاصة الآبار الإنتاجية التي يكون فيها مستوى الضخ أسفل السطح العلوي للحجر الجيري و الدولومايت ، ويمكن حدوث ترسيب للمعادن في الجزء العلوي من المصفاة إذا زاد الضخ وانخفض المستوى المائي إلى أسفل قمة المصفاة وتعمل بكتريا الحديد و الكائنات الدقيقة الناتجة عن دورة حياتها على تحويل الحديد إلى أملاح غير ذائبة وتكون قشرة تسد المصافي ومواسير التغليف المثقبة او المرشحة وينتج من تاكسد محاليل الحديد والمغنيسيوم في المياه الجوفية في مستويات تاكسد عالية مخلفات غير ذائبة تتراكم على شكل رواسب بنية اللون (حديد) ورواسب تميل للسواد (مغنيسيوم) على فتحات المصافي والأنابيب وهذا عامل آخر لتكون القشرة .

وتبدأ التفاعلات الكيماوية عندما تدخل المياه الجوفية إلى ابار وتصبح في وضع تلامس مع الاوكسجين الجوي ، وعند تاكسد الحديد بفعل بكتريا الحديد (تاكسد بيوكيماوي) يتحول الحديدوز إلى الحديديك ، وهذا لا يسبب نمو الاكاسيد غير الذائبة فحسب ، بل سيسارع في تآكل أجزاء المعادن في البئر .

التآكل : corrosion

إن التآكل في المصافي والأجزاء السفلية للمضخة داخل الآبار الإنتاجية هو تحطيم تدريجي للمعادن المكونة لها وينتج من التفاعلات الكيماوية والالكتروكيماوية والبيوكيماوية البطيئة الذي تسببه الظروف البيئية المحيطة ويحدث تلفا في المواد . وهناك عدة أشكال للتآكل منها : التآكل الكيماوي المباشر والتحلل الكيماوي البسيط وجنزرة النحاس الأصفر وصدأ الحديد وتأكل الحبيبات البيني والتفاعلات الكيماوية على حدود البلورات المعدنية .

وأكثر أشكال التآكل المعروفة هو الصدأ - الناتج عن تفاعلات الأكسدة بين الحديد و الاوكسجين غير المذاب وينتج عن هذا التفاعل هيدرو كسيد الحديدوز غير المذاب الذي ربما يتراكم في مكان معين ويمتد إلى القشرة وتستمر تفاعلات الأكسدة حتى يتحطم الحديد كليا ، ويعتمد ذلك على حموضة المياه ، حيث يحدث تبادل لايونات الهيدروجين الموجودة في الماء مع ذرات الحديد المكونة للمعدن مسببة ذوبان ذرات الحديد في الماء وتتشكل طبقة هيدروجين على المعدن ، ويمكن ان تعمل على حماية المعدن من التآكل الا أنها تتحرك باستمرار بسبب وجود الاوكسجين غير المذاب في المياه والذي يتحد مع الهيدروجين ليكونا الماء . أما التآكل المعروف بالتآكل المركز للخلية الذي يسببه فرق الجهد الكهربائي المتولد من تلامس محلولين كيماويين غير متشابهين فانه يحدث في مقياس مرئي عندما يتغير التركيز الكيماوي للمياه الجوفية مع العمق ، ويحدث في مقياس غير مرئي في فتحات وشقوق المعدن الصغيرة وفي الأماكن المخفية الأخرى ، وربما ان المياه في هذه الأماكن تحتوي على نسبة منخفضة من الاوكسجين غير المذاب فان اختلاف نسبة الاوكسجين غير المذاب يولد جهدا كهربائيا يعمل على تعجيل عملية التآكل . وينتج من الجهد الكهربائي المتولد في حالة التلامس المباشر بين المعادن غير المتشابهة التي تعمل كأقطاب لإكمال الدورة الكهربائية التي تسبب تفاعلات تحليل كهربائي متراكم للرواسب المعدنية حول الأقطاب وهذا سبب آخر بل شكل آخر للتآكل .

والتآكل بواسطة البكتريا الذي تسببه مخلفات البكتيريا والتي تزيد تفاعلات التآكل هي أيضا احد أشكال التآكل فالبكتيريا الناتجة عن الكبريت (بكتيريا الكبريت) تتنفس الاوكسجين الموجود في اوكسيد الكبريت وتنتج كبريتيد الهيدروجين وهذا يزيد من حموضة المياه الجوفية وبالتالي يزيد سرعة التآكل ، علما بان هنالك أنواعا أخرى من البكتيريا تنتج أحماضا عضوية . يعمل التآكل في البداية على توسيع فتحات المصافي وثقوب الأنابيب ، ويسبب دخول الرمال ومواد الطبقة المائية والأتربة إلى البئر ، وبتراكم مخلفات التآكل تسد او تغلق فتحات المصافي وتتفاقم مشاكل تكون القشرة .

أما مصير المصافي و الأنابيب المثقبة مع الزمن وخاصة تلك التي ليس لها مقاومة للتآكل فهو التلف ، ويمكن ان تسقط تحت تأثير الضغوط الجانبية للطبقات المائية ويكون التآكل أكثر خطورة عندما تكون حمضية المياه اقل من 7 وعندما تحتوي المياه الجوفية على الاوكسجين غير المذاب وعلى الأملاح غير المذابة ، وخاصة عندما تصل نسبة الأملاح غير الذائبة في المياه الجوفية إلى 1000 ملغم لكل لتر ونسبة الكلور وثاني اوكسيد الكربون والكبريتيد الهيدروجين إلى 300 ملغم لكل لتر وبما ان جميع التفاعلات الكيماوية تزداد بارتفاع درجات الحرارة فان التآكل سيزيد بارتفاع درجات الحرارة أيضا . كذلك فان زيادة سرعات المياه الجوفية عبر فتحات المصافي تزيد سرعة التآكل .

.أهم صفات المياه الجوفية المؤكسدة ، انخفاض درجة الحمضية ووجود كبريتيد الهيدروجين وظهور الأوكسجين المذاب ، وزيادة مجموع المواد الصلبة الذائبة عن 1000 جزء بالمليون وزيادة ثاني اوكسيد الكربون عن 500 جزء بالمليون وزيادة نسبة الكلوريدات عن 500 جزء بالمليون . وتمتاز المياه الجوفية المسببة للصدأ بزيادة درجة الحمضية عن 8 وزيادة نسبة الحديد عن 2 جزء بالمليون وزيادة مجموع الصلابة عن 330 جزء بالمليون وزيادة مجموع القاعدية عن 300 جزء بالمليون وتميل المياه الجوفية إلى ترسيب المعادن على أسطح المصافي وعلى الفتحات المسامية لصخور التكوين الجيولوجي وتغلقها . ويمكن إزالة المعادن المترسبة بواسطة الأحماض ، ويتبع عملية التأكسد دخول كمية لا باس بها من الرواسب الناعمة إلى داخل البئر الإنتاجية . وتعتبر بكتيريا الحديد التي تتغذى على تحليل الحديد و المنغنيز وتأكسدهما سببا في إغلاق ثقوب المصافي بالبكتريا والمعادن . وغالبا ما يتم إزالة البكتريا بالكلور يتبع المعالجة بواسطة الأحماض لتقليل الحديد و المنغنيز . وفي هذه الحالة يجب ان تكون المصافي مصنوعة من معدن مقاوم للتآكل ، ويجب ان تكون المصافي طويلة وقادرة على تحمل ثقل الأنابيب لأنها تكون عرضة لاجهادات عالية كالضغط الجانبي لذلك يجب اختيارها من معدن ذي مرونة عالية جدا ويبين الجدول (3.4) نوعية المعادن المستعملة في تصنيع المصافي .

طرق المعالجة وإصلاح الآبار :treatment methods

يتم إصلاح الآبار ومعالجتها بالطريقتين التاليتين :

1- الطريقة الميكانيكية : mechanical method

تعتمد هذه الطريقة على سحب المصافي وأنابيب التبطين من البئر وتنظيفها او استبدالها ثم إعادتها إلى البئر .وتعتبر هذه الطريقة من الناحية الفنية صعبة ومكلفة ، ومع ذلك فان البئر المعالج بهذه الطريقة سوف يتعرض إلى نفس المشاكل السابقة مع مرور الزمن لان هذه الطريقة تعالج المصافي المسدودة والأنابيب السفلية للمضخة ولا تعالج مواد الطبقة المائية الا أنها في بعض الحالات وخاصة في حالة التآكل وتلف المصافي وأنابيب التبطين وأجزاء المضخة فانه لابد من سحبها ميكانيكيا ومحاولة إصلاحها او استبدالها .

2- الطرق الكيميائية : chemical method

وهي عملية معالجة المصافي وأنابيب التغليف وأجزاء المضخة المسدودة باستعمال الحوامض والمواد الكيماوية الأخرى بدون إخراجها من البئر بعد الكشف عنها بصور الكاميرا . ويمكن تلخيص العمليات الكيماوية المستعملة في معالجة الآبار كما يلي :

المعالجة بحامض الهيدروكلوريك :

يمكن إزالة القشرة التي تسبب زيادة في فاقد البئر ونقصا في سعتها النوعية وبالتالي تراجع في إنتاجيتها باستعمال حامض الهيدروكلوردريك المركز (28% تقريبا) ، حيث يعمل هذا الحامض على تحليل الرواسب عند إنزاله إلى البئر ويجب رفع المضخة وعمود التصريف قبل إجراء عملية المعالجة . ويراعى ان تكون كمية الحامض ضعف حجم مقطع المصفاة تقريبا ويجب إضافة المثبطات وهي مواد كيماوية مانعة لتأكل المعادن بالأحماض ، كما يجب ان تكون مدة تلامس الحامض مع المواد الكربونية الموجودة على المصافي والثقوب حوالي ساعة إلى ساعتين يتخللها أثناء العملية إثارة وتحريك وتهيج للحامض ، باستعمال طرق تطوير الآبار مثل النفث - والدفع - ويجب إزالة الحامض بواسطة النازح او الدلو - بعد إتمام المعالجة لتنظيف المياه ، ويراعى إعادة المعالجة عدة مرات.

المعالجة بالبولي فوسفات :

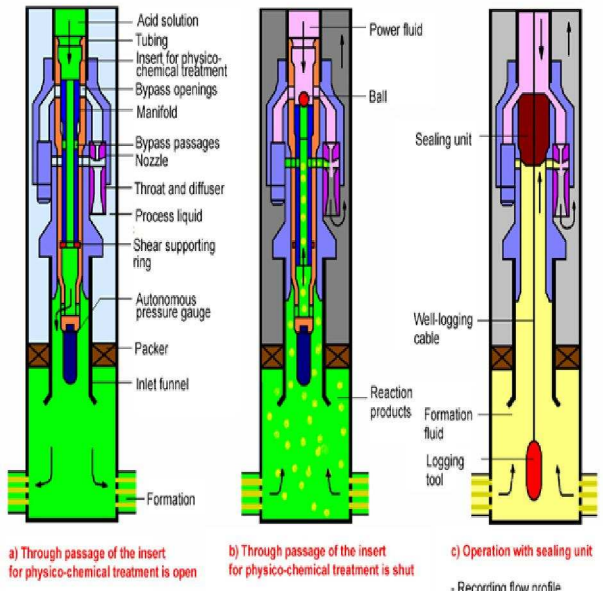
يستعمل البولي فوسفات - ألحامضي او القاعدي المضغوط في معالجة وإصلاح الآبار المحفورة في الطبقات غير المتماسكة ، وقد اظهر نجاحا في تنظيف مصافي الآبار الإنتاجية المسدودة بالرمال الناعمة والأتربة والطين والغرويات ، حيث تعمل هذه المادة بسرعة على تحريك وتفكيك وإزالة تلك الرواسب ، ويمكن استعمالها لمعالجة بعض الرواسب الحديدية الناعمة ويستعمل حوالي 2-4 كلغم من البولي فوسفات لكل 1000 لتر من الماء يتبعه إضافة هيبوكلوريد الصوديوم او أية مواد مطهرة أخرى لإنتاج تركيز من الكلور يعادل 100 -200' ملغم لكل لتر لقتل البكتيريا في البئر وتفكيك أغشيتها ، ويجب إبقاء الفوسفات حوالي يوم كامل مع الاستمرار في عملية التحريك وإثارة الماء باستعمال طرق تطوير الآبار المختلفة ويراعى تكرار المعالجة لعدة مرات ،علما بان المعالجة المزدوجة بالحوامض والفوسفات يمكن أن تكون أكثر فعالية في إزالة القشور .

المعالجة بالكلور:

تتم معالجة الآبار بالكلور عادة بعد المعالجة بالحوامض والفوسفات ، وتعتبر المرحلة النهائية من مراحل المعالجة الكيماوية لوضع البئر الإنتاجي في الخدمة ويمكن استعماله لوحده ، لان الكلور ذو التركيز (50 جزء بالمليون) له فاعلية لا باس بها والكلور ذو التركيز 200 جزء بالمليون - يعمل على تحطيم أنواع معينة من بكتيريا الحديد ، أما الكلور ذو التركيز 500 جزء بالمليون فيستعمل في معالجة الكبريت و البكتيريا . ويجب ان تكون على شكل مضغوط ، لإزالة الرواسب المفككة مثل الأتربة والرمال الناعمة ويمكن استعمال الجليد الجاف لإزالة المواد الناعمة من المناطق المجاورة للمصافي .

المعالجة بحامض المورياتيك :muriatic acid

يستعمل حامض المورياتيك الذي هو درجة تجارية لحامض الهيدروكلوريك الذي يحتوي على نسبة قليلة من مواد غير نقية - impurities في معالجة الآبار ، ويتم ذلك بحقن البئر الإنتاجية بمادة مركزة بنسبة 18 % ، ويضاف إلى الحامض مواد مثبطة ومواد ضد الرغوة - لزيادة فعالية الحامض ومنع تدفق الرغوة الزائد ، وتستعمل المواد المثبطة لمنع الترسيب الثانوي لرواسب الحديد غير الذائبة ، ويجب الانتباه إلى ان حامض المورياتيك لا يستعمل أبدا في الآبار الإنتاجية ذات التغليف والمصافي المعدنية ، ويستعمل في هذه الحالة حامض ألستريك citric acid وفي جميع الحالات يتم دفع الحوامض بواسطة وسائل الضخ ، ويتم حقن كمية كبيرة من محلول الحامض تحت ضغط عال ليتغلغل بشكل شعاعي في جميع الاتجاهات داخل البئر . وقد ثبت نجاح المعالجة بهذه الطريقة ، وخاصة الآبار المحفورة في الطبقات المائية المكونة من الحجر الجيري والدولومايت المشقق الذي يحتوي على فتحات مغلقة جزئيا ، وتعمل الشقوق المتصلة على إيصال الحوامض بشكل شعاعي إلى أكثر مساحة ممكنة داخل الطبقة المائية . وأفضل الوسائل لحماية الآبار ومنع التآكل هو استعمال وتامين مصافي ذات مساحات كافية تقلل سرعة دخول المياه الجوفية إلى البئر ، او استعمال مصافي وأنابيب تغليف مثقبة مصنوعة من معادن مقاومة للتآكل . ولا نستطيع تطبيق الطرق المستعملة في الصناعات البترولية للسيطرة على التآكل ، مثل عملية الحقن المستمر بالمثبطات وغيرها في آبار المياه الجوفية لما لها من تأثيرات عكسية على نوعية المياه وعلى تلوثها وربما يبقى استعمال المعادن المناسبة والأنابيب غير المعدنية مثل انابيب التغليف البلاستيكية المضغوطة والاسبست الأسمنتي هو الذي يطيل عمر الآبار الإنتاجية . واستعمال طريقة الحماية الكاثودية الشائعة في خطوط الأنابيب تحت السطحية يمكن ان تحمي الآبار من التآكل ، وتتلخص هذه العملية بدفن قطب موجب مصنوع من مادة أكثر تآكلا من مادة المصافي او انابيب التغليف على مسافة معينة من البئر . وبالمحافظة على تيار كهربائي مباشر من القطب الموجب إلى البئر يتم التخلص من التيار الضال حول البئر



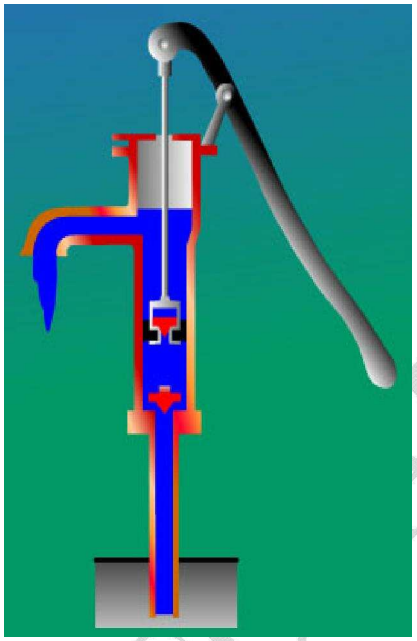
وبذلك يصبح القطب الموجب هو المنطقة او المساحة المعرضة للتآكل بينما يصبح البئر هو المنطقة او المساحة المحمية من التآكل . والحماية الكاثودية تميل إلى حماية السطح الخارجية لذلك فهي شائعة الاستعمال في خطوط الأنابيب تحت السطحية . ان معالجة الآبار المحفورة في الطبقات المتماسكة تعطي نتائج أفضل منها في الطبقات غير المتماسكة وهذا ينطبق على معظم طرق المعالجة وقد أظهرت التجارب ان الطبقات المتماسكة تحسنت بعد معالجتها بنسبة وصلت إلى 141 % بينما تحسنت الطبقات غير المتماسكة بنسبة 45 % وتجدر الإشارة إلى ان تكاليف المعالجة تتراوح ما بين 450 - 2400 دولار . وغالبا ما تتم المعالجة بمجموعة الطرق مجتمعة وهذا يعطي نتائج أفضل ، بل انه لن يزيد في التكلفة كثيرا .

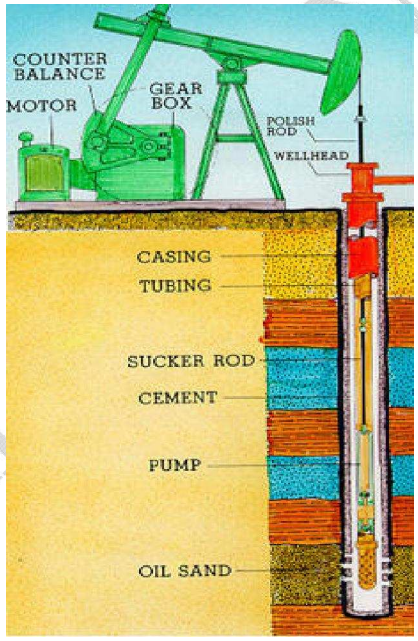
استخراج المياه من الآبار :

يمكن سحب الماء من الآبار بواسطة المضخات التي تقسم إلى نوعين رئيسيين هما : -

الأول :مضخات الإزاحة الثابتة

وتستعمل لرفع المياه ذات التصريف القليل ، وتسحب نفس حجم المياه المصمم لها عند ارتفاع معين .

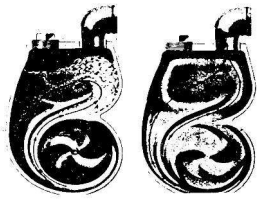




أما النوع الثاني فيسمى مضخات الإزاحة المتغيرة . وهي المضخات التي يتغير فيها التصريف حسب ارتفاع المنسوب وتقسم إلى :

المضخات النابذة أو مضخات الطرد المركزي :centrifugical pump

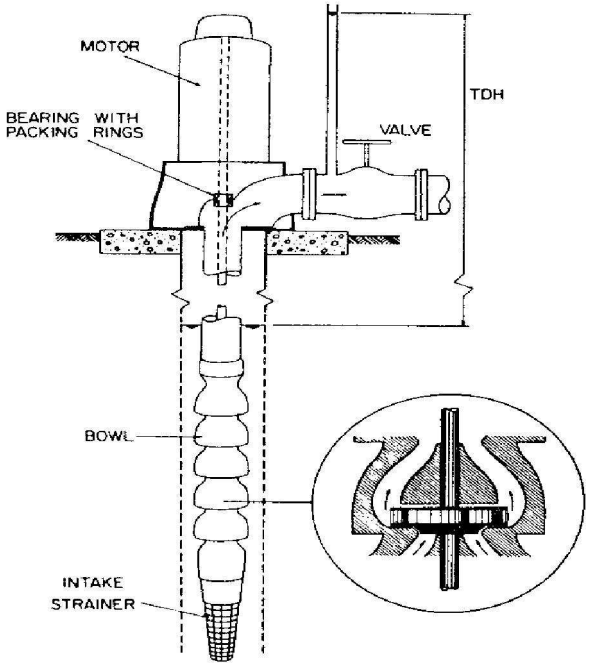
المضخة النابذة هي جهاز يستعمل لرفع الماء من مستوى إلى مستوى أعلى ، بتوليد ضغط كاف بفعل القوة الطاردة المركزية وتحتوي على رفاس او دافع - impeller يدور بسرعة 1750-3500 rpm.ويدخل الماء محوريا عبر مركز ليقذفه بشكل شعاعي من المحيط إلى داخل المضخة مكتسبا سرعة كافية تجعله يجري منها بسرعة مناسبة (شكل-) .



(شكل-) المضخة النابذة

ويمكن إيضاح مبدأ عمل المضخة النابذة بالمثال التالي :
إذا سمحنا لقطرة ماء ساكنة على ارتفاع معين من سطح الأرض h ان تسقط بحرية ، فإنها تصدم سطح الأرض بسرعة $v^2=2gh$ حيث ان v هي السرعة (م/ث) ، g هي التعجيل الأرضي او الجاذبية الأرضية (9.8 م/ثا^2 على سطح البحر) ، h هو ارتفاع السقوط (م) .
فإذا كان ارتفاع السقوط يعادل 20 مترا فان السرعة ستكون 19,64 م/ثانية .
وإذا أعطيت بنفس القطرة سرعة قدرها 19.64 م/ثانية فإنها سترتفع20 م فوق السطح . وهذه هي فكرة المضخة النابذة أي إعطاء الماء سرعة معينة حال خروجه من المضخة ، وعليه فان مضاعفة سرعة المضخة يضاعف سرعة الماء وتصبح 39.6 م/ثانية وبهذه السرعة الجديدة يمكن ضخ الماء إلى ارتفاع 80م .
ويلاحظ مما سبق بأنه في حالة مضاعفة سرعة المضخة يمكن إيصال نفس الكمية في الماء إلى ارتفاع يعادل أربعة أضعاف الارتفاع قبل مضاعفة السرعة ، وفي الحقيقة يكون ارتفاع الأخير اقل نسبيا من أربعة أضعاف بسبب الفاقد خلال المضخة من تأثير الاحتكاك .

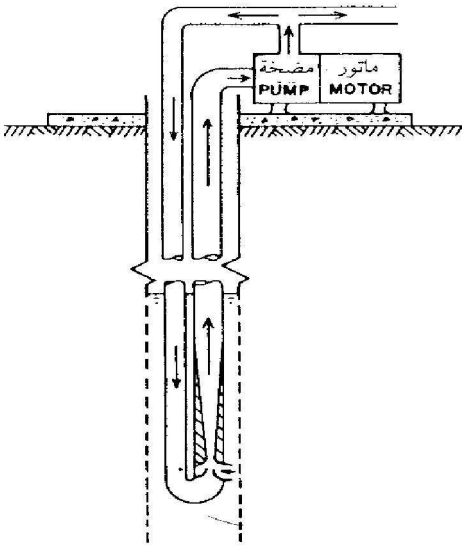
ويجب ان توضع المضخة داخل البئر على عمق كاف (6-8 م) تحت سطح الماء حتى تستطيع ان تعمل بكفاءة ولا يفضل استعمالها في حالة التذبذبات الكبيرة في المستوى المائي ويجب أن لا يزيد الهبوط في المستوى المائي عن 8 . ويجب مراعاة ذلك عند إنزال المضخة إلى البئر وتستعمل المضخات التوربينية العمودية التي هي إحدى المضخات النابذة للارتفاع الذي يزيد عمق الماء فيه عن 6 - 8 م. مع العلم ان المضخات التوربينية الحديثة تستعمل لضخ المياه من الآبار العميقة ومن ميزاتها أنها ذات قطر صغير ويمكن إنزالها داخل أنابيب التبطين . يسمى الرفع الكلي للمياه بالارتفاع الديناميكي الكلي .ويحسب كمجموع الرفع العمودي من مستوى الماء في البئر إلى سطح الأرض شكل ( ) .



ان سرعة الضخ في المضخات النابذة تقل بزيادة المنسوب الديناميكي الكلي وإذا بقيت سرعة المضخة ثابتة فان هذا النوع من المضخات يسمى بالمضخات ذات التصريف المتغير . وغالبا ما يتغير التصريف أثناء الضخ بسرعة ثابتة و يعتمد ذلك على اختيار الرفاس او الدافع ويزداد الارتفاع الديناميكي الكلي بتربيع قطر الدافع او الرفاس .وأخيرا تعتمد خصائص وميزات المضخة على نوعها وتصميمها ،والعلاقة ما بين التصريف والارتفاع الديناميكي الكلي .

شكل (16.4) مخطط توضيحي لمضخة تور بينية عمودية نابذة .

المضخة النفاثة : Jet pump

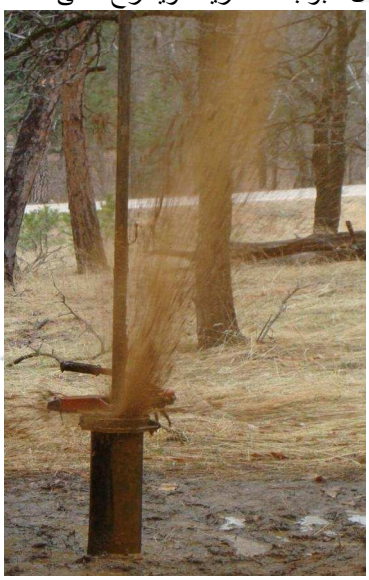


تعتبر هذه المضخة من المضخات الكهربائية ويعتمد مبدأ عملها على قوة الطرد المركزي وتستعمل لضخ المياه من الآبار الصغيرة ، ويتم ذلك بقذف المياه إلى البئر عبر أنبوب جريان ينحني في الأسفل باتجاه الأعلى (شكل -) ويمر الماء من فوهة ضيقة لتزيد سرعته . ونتيجة اختلاف الضغط الراسي بين المياه في الأنبوب وبين مياه البئر تندفع المياه باتجاه الانبوب عبر الفتحات الجانبية فوق الفوهة مباشرة وتنتقل إلى أعلى عبر أنبوب الجريان العلوي بنفس السرعة التي سحبت او اندفعت فيها من أعلى الفوهة . وتعيد باقي المياه دورتها عبر أنبوب الجريان السفلي وهكذا .وتستعمل هذه المضخات للتصريفات الصغيرة التي تصل إلى 200 لتر /دقيقة . ومن أهم ميزاتها أنها تستعمل في الآبار ذات الأقطار الصغيرة وتعتبر بسيطة التركيب وتكاليف وصيانتها قليلة .

(شكل – 17.4) شكل توضيحي للمضخة النفاثة .

مضخات الرفع الهوائية :Air lift system

يعتمد مبدأ عمل هذه المضخات على حقن هواء عالي الضغط بواسطة ضاغطة هواء داخل أنبوب ذي قطر صغير يعرف باسم أنبوب الهواء، يوضع داخل أنبوب ذي قطر كبير يعرف باسم أنبوب التصريف ، وعند ضخ الهواء في الماء تمتزج فقاعات الهواء مع الماء مكونة مزيجا من الماء والهواء كثافته النوعية specific gravity اقل من كثافة الماء ونتيجة لذلك يرتفع الماء داخل أنبوب التصريف ويخرج على السطح (شكل – 18.4) . وتعتبر كفاءة هذه الطريقة قليلة وتستعمل في حالات محدودة مثل تحريك الغازات ومخلفات التآكل أثناء عملية تطوير الآبار .



(شكل - 18.4) منظومة الرفع الهوائية .

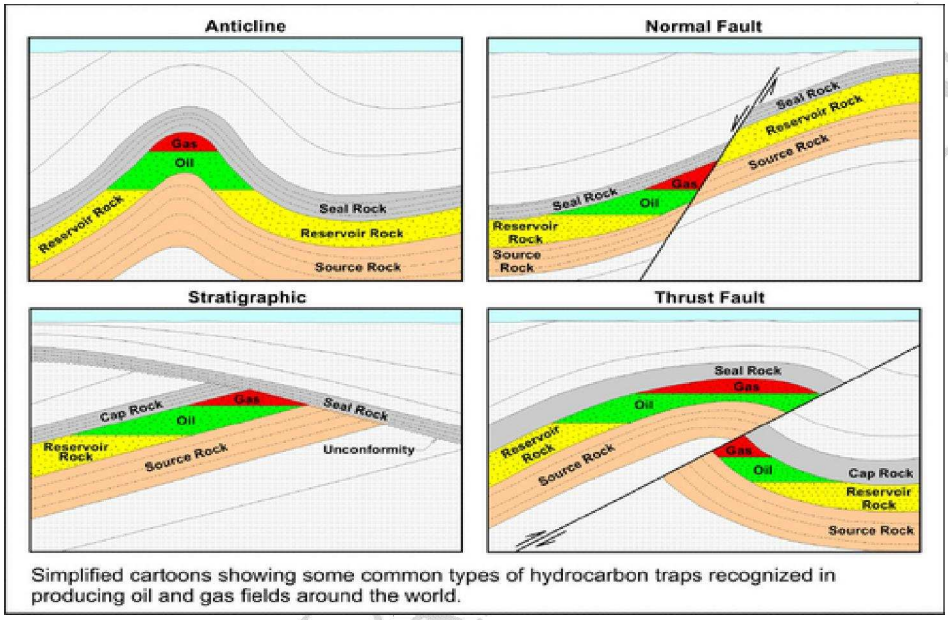
نشاطات المياه الجوفية : Groundwater Activity

يحدد العمل الجيولوجي للمياه الجوفية بمدى نشاطها و تأثيرها الميكانيكي و الكيميائي على الصخور و البيئة .

أ- النشاط الميكانيكي:

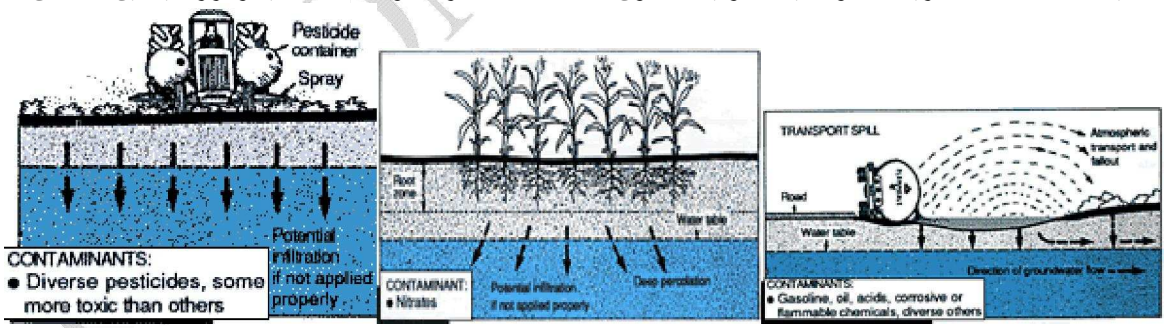
يأتي نشاط المياه الجوفية بالمفهوم الميكانيكي من خلال حركة و سرعة جريان المياه الجوفية و انتشارها ضمن الخزانات الجوفية بين مناطق التغذية و التصريف و من خلال تذبذب مستوياتها و علاقتها بالمسطحات المائية, و عليه فللمياه الجوفية نشاطات فيزيائية يمكن إجمالها بالاتي:-

1- تساعد المياه الجوفية من خلال حركتها على هجرة النفط و الغازات بين نطاقات التكوين و نطاقات الخزن (المصائد و المكامن النفطية), شكل ( ).



Simplified cartoons showing some common types of hydrocarbon traps recognized in producing oil and gas fields around the world.

2- تقوم المياه الجوفية بنقل نتائج العمل الكيميائي للمياه الجوفية على الصخور (نتائج التجوية) بشكل حمولة ذائبة (أملاح و ايونات) بين مناطق التغذية و التصريف , و قد تكون المياه الجوفية مصدرا لتلوث المياه السطحية في حالة كون المسطحات المائية تمثل نطاقات تصريف لها و المياه الجوفية قد تكون سببا مهما بانتشار الملوثات الصناعية والزراعية بين المناطق .



3- تقوم المياه الجوفية القريبة من السطح بنقل الأملاح و ترسيبها في الترب و بفعلها تكون عامل سلبي في التأثير على البيئة الزراعية .

4- تذبذب مستويات المياه الجوفية يخلق مشاكل هندسية لأسس البنايات و المنشآت حيث انخفاض مستوياتها في الترسبات الواقعة تحت البنايات يؤدي إلى انضغاط التربة و حدوث خسف و هبوط Subsidence يؤثر على مدى استقرار المنشآت و البنايات . و إن ارتفاع مناسيبها قد يؤدي إلى ارتفاع نسب الأملاح في الأسس و بالتالي يقلل من قدرة الأسس على مقاومة الاجهادات و الأوزان .

5- وجود المياه الجوفية في الطبقات الجيولوجية المائلة تؤثر بشكل مباشر على عمليات الانزلاقات الأرضية و الطينية ,شكل ( ) .

شكل( ). الانزلاقات الارضية بسبب المياه الجوفية

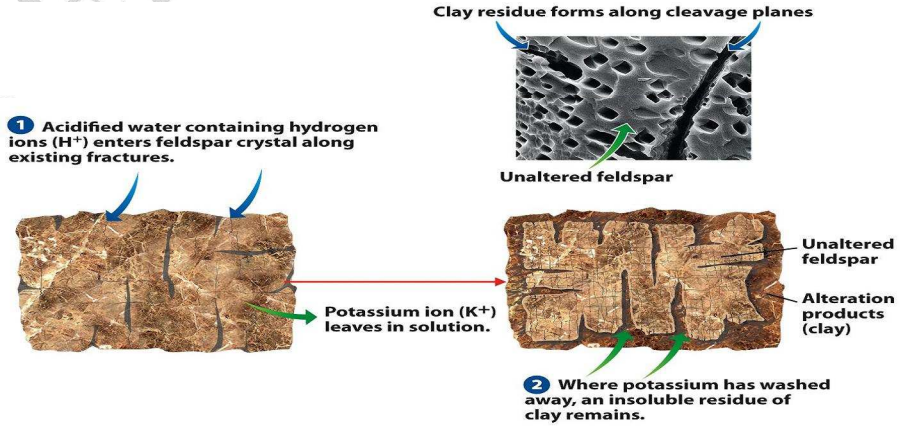
6- انتقال درجة حرارة الجوف الأرضي عبر الينابيع يساعد كثيرا في خلق التوازنات الحرارية للأرض .
7- وجود المياه الجوفية مع الصهير و اللافا دور مهم في تحديد موديل تبلور معادن الصخور النارية .

ب- النشاط الكيميائي :

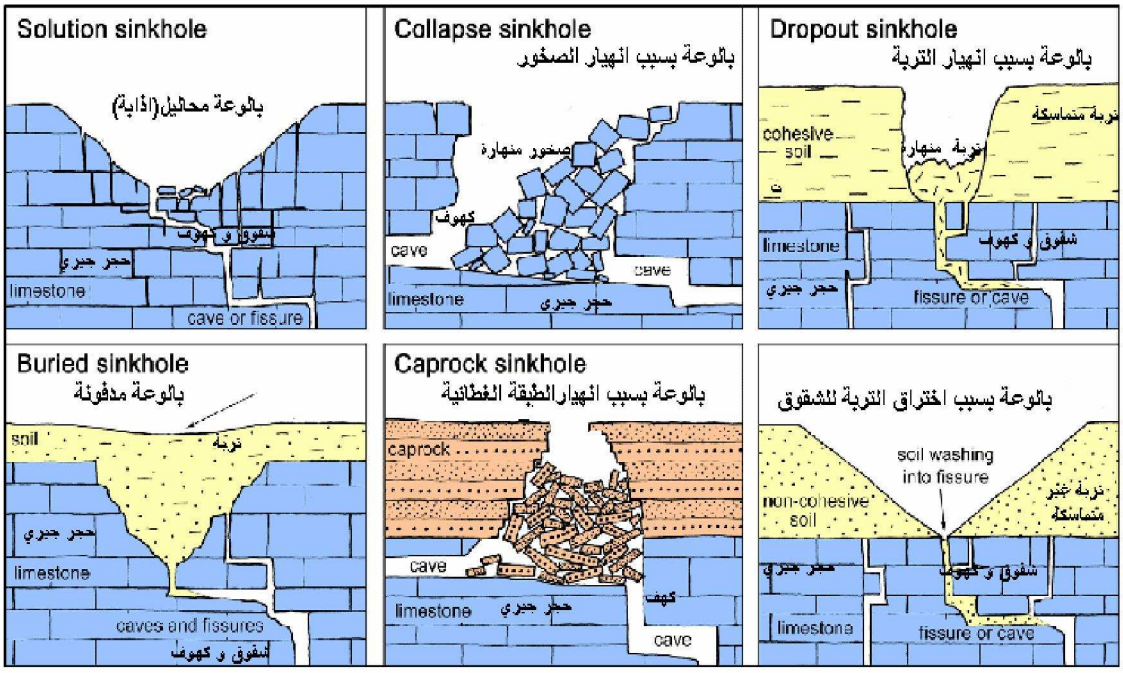
يقسم النشاط الكيميائي إلى ثلاثة أقسام هي الإذابة و الإحلال و الترسيب:

1- الإذابة:

تذيب المياه الجوفية الكثير من معادن الصخور و ذلك يعتمد على مقدار الحامضية أو القاعدية للمياه بالإضافة إلى درجة حرارة المياه حيث تستمد المياه الجوفية حمولتها الذائبة من الترسبات و التربة .



و تتضح أهمية فعل الإذابة في هدم الصخور الجيرية و تكوين طبوغرافية الخسفات (الكارست) و ينتج ذلك من خلال عملية الإذابة التفاضلية على أسطح تطبق الصخور الجيرية حيث تقوم المياه الجوفية بإذابة كربونات الكالسيوم بسرعة اكبر من بقية المواد المصاحبة لها في الصخور الجيرية , و يؤدي ذلك إلى تعرج السطوح الصخرية المعرضة للمياه الجوفية , كما تتم الإذابة في الصخور الجيرية ذات الفواصل و الكسور و تبتدئ أولا عند نقاط التقاء الفواصل و الكسور ثم تتوسع و تأخذ إشكال الأقماع ثم تتحول إلى كهوف و مغارات تحت ألسطح قد تتسع و تنهار سقوفها لتكون البالوعات (Sinkholes) . و قد تتصل هذه ألكهوف مكونة قنوات داخلية تحت سطحية, شكل( ) .



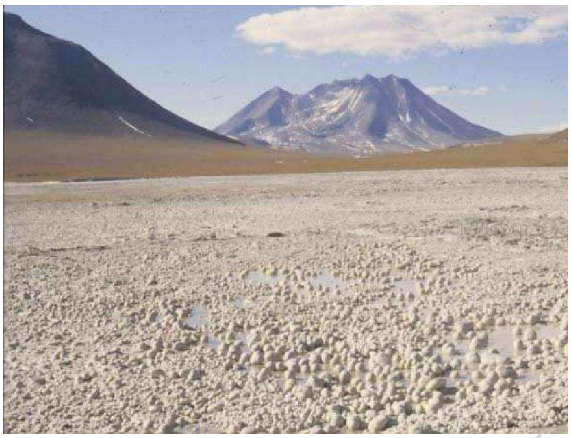
شكل ( ). انواع البالوعات .www.speleogenesis.infoarchivesg7artld3275

2- الإحلال: Replacement

هو عملية ترسيب المعادن التي تحملها المياه الجوفية محل المواد العضوية التي تتكون منها البقايا ألنباتية أو الحيوانية المدفونة في الرسوبيات مثل إحلال معدن السليكا محل أخشاب النباتات لتحولها إلى متحجرات تحتفظ بالتفاصيل العضوية الدقيقة و الأصلية من خلايا أو أنسجة كما يحل اوكسيد الحديد محل أوراق و قواقع الحيوانات أو هياكل البقايا الحيوانية و هذا ما يعرف بعلمية التحجر .

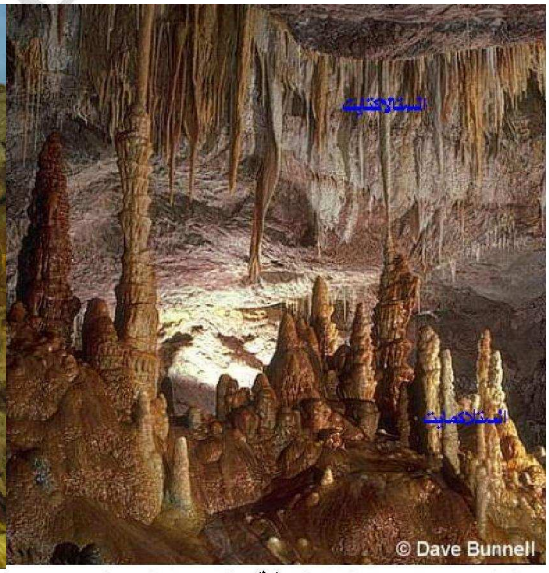
3- الترسيب :Deposition :

يحدث الترسيب من المياه الجوفية عندما يصل تركيز الايونات المحمولة في المياه الجوفية إلى درجة الإشباع و هي أقصى ما يمكن حمله من ايونات ذائبة , فعندما يحدث تغيير في بيئة و ظروف تواجد المياه الجوفية من درجة الحرارة أو الحمضية أو جهد التأكسد و الاختزال عندها تبدأ عملية ترسيب المعادن في مسامات الصخور لتكون المادة اللاحمة Cement, أو في الشقوق و الكسور لتكوين العروق, أو في الكهوف كما في ترسيب الستالاكتايت و الستالاكمايت شكل ( ) , و قد يكون الترسيب حول جدران فجوة و البلورات تنمو باتجاه مركز الفجوة و هذا ما يعرف بالجيود Geode, أو يترسب حول حبيبة تنمو باتجاه الخارج و هذا ما يدعى بالدرنات Concretion , أو قد تترسب المعادن الكلسية و السليكية حول فتحات الينابيع و المراجل Geysers ,شكل ( ).



ترسبات الدياتومايت

شكل .( ). ترسبات الترافرتين حول الينابيع.
www.desktopscenes.comScenes.



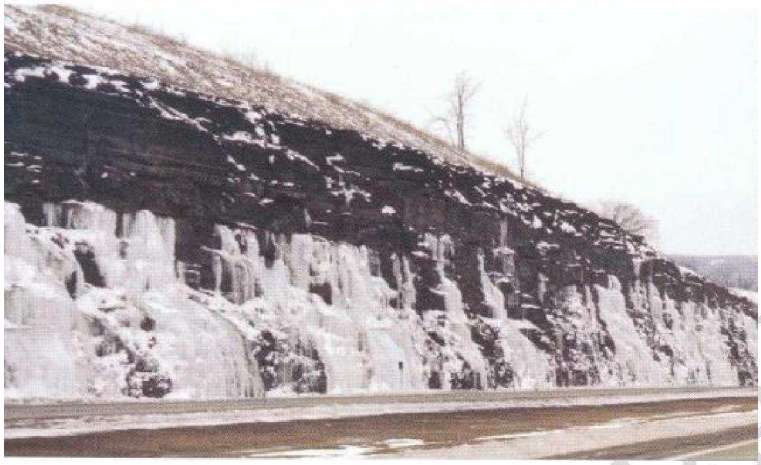
شكل .( ). ترسبات المياه الجوفية (الصواعد و الهوابط).

- الينابيع : Spring

هي مواقع أو نقاط مائية تتدفق منها المياه الجوفية على سطح الأرض بصورة طبيعية ناتجة من تقاطع مستوى الماء الجوفي الاستقراري مع سطح الأرض, شكل ( ) .

و هنالك عدة عوامل تعمل على تدفق المياه الجوفية بشكل ينابيع هي :

1- عمليات التجوية و التعرية التي تعمل على إزالة نطاق التهوية (النطاق غير المشبع) حيث ينكشف النطاق المشبع على السطح و خصوصا عند حافات الوديان و الخوانق النهرية مسببة تكوين ينابيع متدفقة أو نضوحات مائية على جوانب الوديان أو قعرها .



شكل( ). الينابيع كمصدر لتصريف المياه الجوفية

2- ارتفاع نسب معدلات تغذية المياه الجوفية من خلال ارتفاع كمية الأمطار الساقطة المصحوب بازدياد نسب المياه المترشحة و بصورة دائمة .

يمكن تصنيف الينابيع اعتمادا على المحددات الهيدروجيولوجية للخزانات الجوفية إلى :-

1- الينابيع الطبوغرافية :

و تتواجد عادة في نطاقات تصريف المياه الجوفية و التي يكون فيها مستوى سطح الأرض أدنى من منسوب المياه الجوفية و خاصة في مجاري و حافات الوديان, شكل ( ) .

شكل( ). ينابيع متكونة بفعل طبوغرافي .

NAL-BAYAN

2- الينابيع التركيبية :

و تتواجد عادة ضمن نطاقات الفوالق و الصدوع و الكسور الناتجة من الفعاليات التكتونية و التركيبية حيث تعترض أسطح الفوالق اتجاه جريان المياه الجوفية ليكون الممر الأسهل لحركة المياه عموديا خصوصا عندما يحدث تغير كبير وواضح في الصفات الليثولوجية بين جانبي الفالق ,شكل ( ) .

3- الينابيع الطبقية

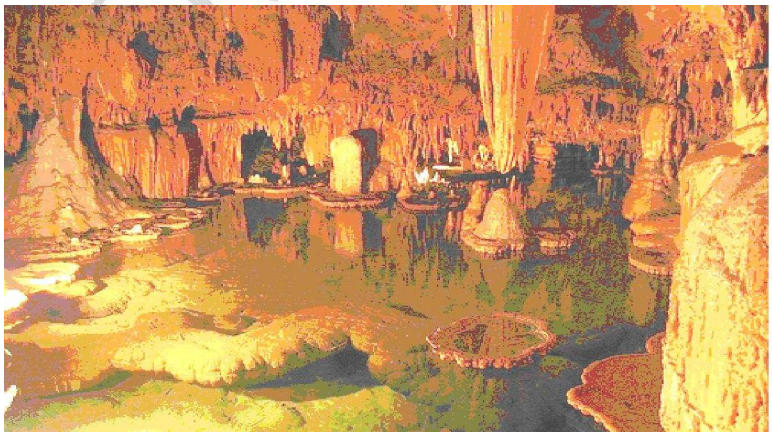
تتدفق مياه الينابيع نتيجة اعتراض طبقة صماء عازلة لحركة المياه الجوفية موجودة على منسوب أعلى من سطح الأرض و منكشفة في منطقة منخفضة مقارنة بالمناطق المجاورة,شكل ( ) .

المياه الكارستية أو الكهفية :

التكهف هي إجمالي العمليات الجيولوجية التي تشمل تصدع و تجوية وذوبان الصخور بتأثير المياه السطحية والمياه الجوفية ويتبعها نقل للمواد الذائبة والعالقة في المحاليل بعيدا عن الهضبة الصخرية ،وكلمة الكارست جاءت من اسم مرتفع جبلي يقع في شبة جزيرة البلقان .

تعطي عملية إذابة الماء للصخور ميزة خاصة للطبقات الحاملة للمياه، من ناحية قدرتها على حمل الماء وطريقة جريانه وانتشاره وتجمعه . تحدث عملية التكهف على الصخور الجيرية ، الدولومايت ، الجبس ، الملح الصخري فالفراغات والشقوق الناتجة عن إذابة الحجر الجيري وبشكل متقطع يمكن أن تمتلئ ببقايا الطين ، وربما تمتلئ بالحصى أو بالرمل أو الغرين المتغلغل من الأعلى ، وقد تكون هذه الفراغات مفتوحة وغير ممتلئة بتلك المواد ، وهذا يسهل جريان الماء خلالها ويلاحظ أحيانا وجود بلورات الكالسايت و الاراجونايت في أطراف الفراغات والشقوق وقد تكون معلقة في السقف وربما تكون بشكل أعمدة في الأسفل ، والمياه الجوفية المتجمعة في هذه الكهوف تولد جداول من المياه الجوفية ويمكن للطبقات المائية أن تتواجد في بعض الأحيان فوق الصخور الكارستية وفي هذه الحالة يمكن ملاحظة تجمع واختلاط مكونات الحصى والرمال داخل الخسفات فيكون نظام الخزان المائي خليطا من نظامي الوسط المسامي (porous media) ووسط الشقوق والكهوف (fracture and karst media) ، جريان المياه الجوفية في الصخور الكارستية (شكل) يكون على هيئة جريان متصل ، وليس على هيئة

شكل( ). ينبوع متكون بفعل طباقي. lostriver01



جداول مائية منفردة وتجري المياه في كل من الاتجاهين الأفقي والرأسي شكل ( ). وقد وجد أن الجريان المائي الكارستي في المناطق الجبلية الواقعة على أعماق كبيرة لا تكون مرتبطة مع بعضها بأية علاقة .

أما ظروف اتصال المياه الجوفية الكارستية مع المياه السطحية فيختلف عن بقية أنواع المياه الجوفية ، حيث نجد إن المخاريط الكارستية والشقوق تقوم بعملية اسر لمياه الجداول المكشوفة ثم تنحدر باتجاه الميل على هيئة ينابيع ضخمة عند شواطئ الأنهار ، ثم تتحول من جديد إلى جداول . وقد يسبب زيادة كمية المياه السطحية المأسورة من قبل الفجوات الكارستية عند الشواطئ ومجاري الأنهار إلى فقدان كميات كبيرة من المياه السطحية ، حيث تتحول إلى مياه جوفية .

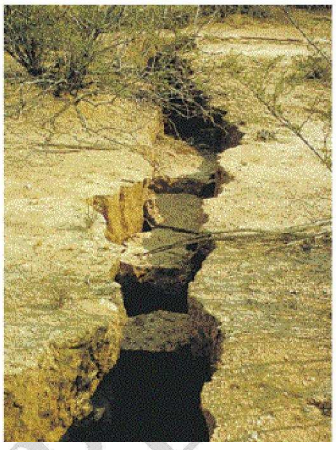
إن شكل مستوى المياه الجوفية في المناطق الكارستية يتغير بصورة كبيرة بسبب التصريف الكبير لمياه الطبقات المائية في الجزء الذي تتركز فيه التجاويف الكارستية وهذا يسبب انخفاضا في المستوى المائي ويمكن أن يتغير اتجاه الجريان واتجاه الجداول بشكل حاد ضمن مسافات قصيرة ، وعموما فان المياه الكارستية تختلف كثيرا في مستوياتها وصرفها ، .

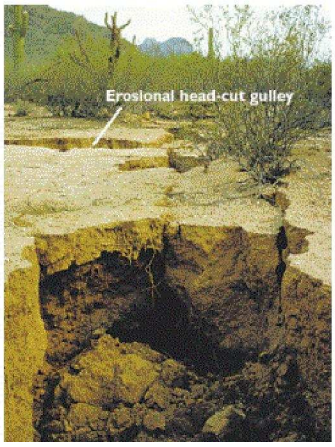
الشكل ( ) يوضح طبقة مائية كارستية متصلة مع شاطئ البحر

أنواع الكارست :

يمكن تقسيم الكارست إلى نوعين : -

- الأول ويسمى بالكارست المكشوف ، يتكون في الصخور الموجودة على سطح الأرض مباشرة .





ـ والنوع الثاني يسمى بالكارست المغطى : وهو الذي يتكون في المناطق التي توجد فيها الصخور الكارستية تحت السطح ومغطاة بطبقات من الصخور غير كارستية . إن المناطق الكارستية المكشوفة يتكون فيها أنواع متميزة من التضاريس مثل :

التجاويف الأخدودية و الخسفات والأغوار ، وفي حالة اتصال عدة مخاريط مع بعضها البعض يتكون ما يسمى بالنتوئات الصخرية ، وتتراوح أقطار المخاريط من عدة أمتار إلى 30 م وحتى 150 مترا ، وقد يصل عمقها 50 مترا . ونجد أحيانا عددا من المخاريط الكارستية في (1كم 2) من الأرض يصل عمقها حوالي (20 -30) م وأكثر .

وقد قسم بعض العلماء الكهوف الكارستية من حيث قياسات أطوالها إلى :

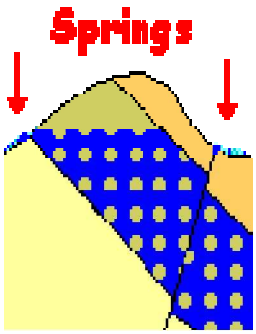
1 ـ الكهوف الهائلة : وتصل إلى 100 كم فأكثر .
2 ـ كهوف كبيرة جدا : وتتراوح بين 25 ـ 100 كم .
3 ـ كهوف كبيرة : وتتراوح بين 1-25 كم
4 ـ كهوف واسعة :تتراوح بين 0.25 إلى 1كم
5 ـ كهوف غير كبيرة : وتتراوح بين 0.01 إلى 0.25 كم .
6 ـ كهوف صغيرة : وهي اقل من 0.01 كم .

PAL-BAYAN

إن الإشكال المختلفة للكارست تعتمد على عوامل داخلية وأخرى خارجية ومن هذه العوامل :

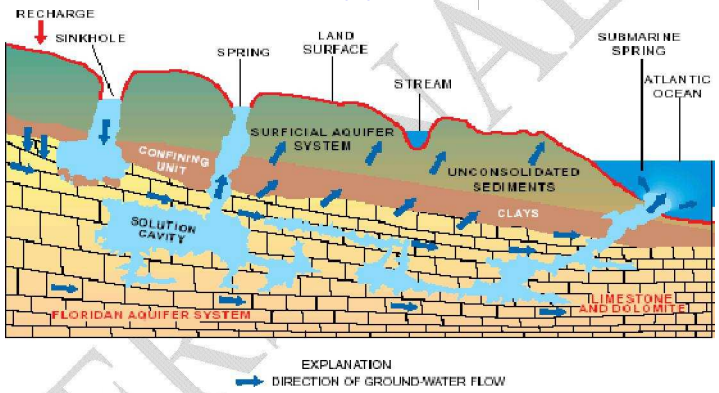
1 ـ التركيب الكيماوي للصخور .
2 ـ درجة الذوبان .
3 ـ الظروف المناخية وكميات المياه الساقطة
4 ـ المسامية
5 ـ النفاذية
6 ـ عدم الاستمرارية
7 ـ درجة الحرارة

يعتمد عمق الكارست على الظروف المناخية وعلى كميات الأمطار الساقطة ودرجة الحرارة وعلى الخواص الليثولوجية للصخور وتتابعها الطبقي وعلى الظروف المناخية المختلفة ، وهو يختلف من مكان إلى آخر ويتراوح بين 1 ـ 2 م وقد يصل ما بين (1000 ـ 2000) م في العمق ، ويعتبر كهف الماموث اكبر كهف كارستي في العالم وهو موجود في ولاية كنتوكي في الولايات المتحدة الأمريكية ، ويبلغ طول مداخله ودهاليزه العميقة حوالي 160 كم ، أما الكهف البوتاسي الموجود في ولاية إنديانا فيعتبر الكهف الكارستي الثاني من حيث الحجم ، إذ يبلغ طول اكبر مغارة فيه (107)م وارتفاعه 75 م ، ويستخرج البوتاسيوم منه لصناعة البارود .



يساعد وجود الصخور المشققة في تكوين الكهوف الكارستية كما يسهل وجود التصدعات التكتونية شكل ( ) في الصخور الكلسية و الدولومايت وفي الصخور الجبسية والملح الصخري في عملية التكهف . تعتبر أماكن اتصال الصخور الكلسية مع الصخور غير الكلسية اشد أماكن تطور الكهوف والتجاويف ، حيث تتكون شبكة معقدة من الفجوات والقنوات والكهوف داخل الهضاب الصخرية . وتسمى المياه الجوفية التي تجري داخل الفجوات بالمياه الكارستية .

شكل ( ) الصخور المشققة والتصدعات التكتونية.



يزداد صرف الجداول المائية الواقعة في المناطق الكارستية عند هطول الأمطار الغزيرة وفي مواسم الفيضانات وذلك لان الصخور الكارستية تمتاز بنفاذيتها العالية وبأشكالها المتعددة على سطح الأرض وهذا يساعد على استيعاب مياه الهطول بشكل سريع .

ونلاحظ أن تصريف الينابيع التي تتغذى من المياه الكارستية تعتمد على شدة المطر ويتغير تصريفها من عدة لترات إلى عدة أمتار مكعبة في الثانية الواحدة وتستخدم بعض الدول الينابيع الكارستية لأغراض توليد الطاقة وأصبح لها دور كبير في دعم الاقتصاد الوطني لتلك البلدان ، إضافة إلى استخدامها لتزويد المناطق السكنية والأراضي الزراعية والمصانع بالمياه وقد تطور علم خاص لدراسة المياه الكارستية يسمى هيدرولوجية الكارست وذلك لأهمية ومزايا هذه المياه من جهة ولاختلاف إشكال تواجدها من جهة ثانية .

المياه المعدنية والينابيع الحارة :

الينابيع المعدنية هي مكان أو مواقع تدفق المياه الجوفية على سطح الأرض ، والمياه الخارجة من هذه الينابيع تتميز بتركيب كيماوي وحرارة تختلف حسب عمق هذه المياه ومصدرها .

المياه الجوفية المتدفقة من باطن الأرض تكون مرتفعة الحرارة ونجد بعضها ذات حرارة عالية وتحتوي على نسبة كبيرة من المعادن والمواد الذائبة . وتدعى المياه ذات الحرارة المرتفعة والتي تحتوي على أكثر من 1000 ملغم / لتر من مواد ذائبة ولها ميزة علاجية بالمياه المعدنية الحارة . إذ تسمى المياه بالحارة إذا زادت درجة حرارتها بحوالي (4- 5)˚م عن معدل درجة حرارة الهواء المحيط بمنطقة تدفقها .

تستعمل المياه المعدنية والحارة لغرض الاستحمام والعلاج والشرب وغيرها ، وتأتي قدرة هذه المياه على العلاج لارتفاع درجة حرارتها واحتوائها على المواد الذائبة والغازات وبعض العناصر المشعة . تصعد المياه المعدنية ومياه الينابيع الحارة من أعماق الأرض وتظهر على السطح ، وبناء على القياسات العلمية فقد تبين أن درجة الحرارة تحت الأرض تزداد حسب

العمق بمعدل درجة مئوية واحدة كل 25- 42 م ويعتمد ذلك على نوعية الصخور ودرجة توصيلها للحرارة وقد ارجع بعض العلماء أصل المياه المعدنية إلى رشح المياه السطحية إلى أسفل بواسطة الجاذبية الأرضية من خلال مسامات الطبقات الصخرية وشقوقها ومع مرور الزمن ترتفع درجة حرارتها وربما تخرج مرة أخرى إلى سطح الأرض محملة بالمواد الذائبة والمعادن بينما رأى البعض إن هذه المياه تتكون في أعماق القشرة الأرضية ومصدرها الماغما (magma) وعموما يمكن تقسيم مصادر المياه المعدنية والمياه الحارة إلى :

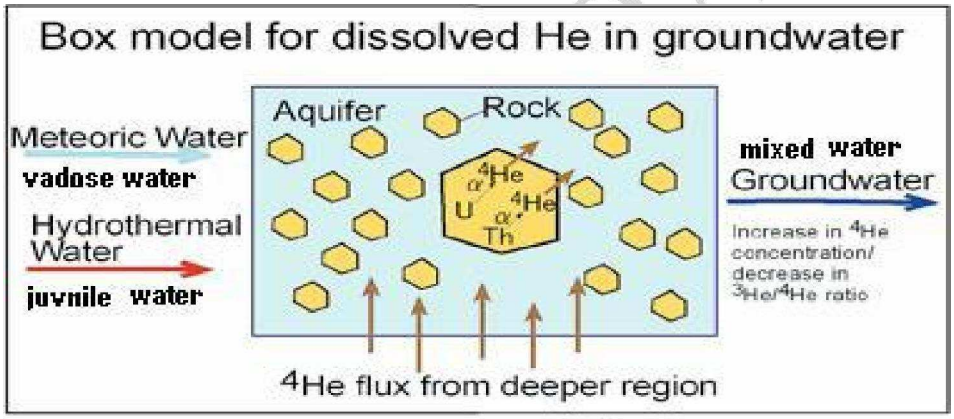
1 ـ المياه اليافعة أو مياه الأعماق (Juvenile)

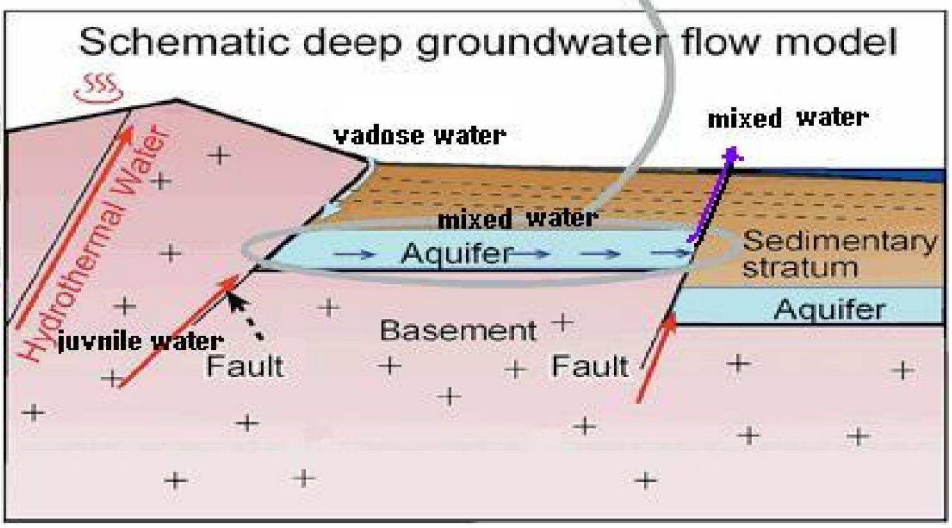
تدعى المياه القادمة مباشرة ولأول مرة من أعماق القشرة الأرضية إلى سطح الأرض بالمياه اليافعة أو مياه الأعماق وتكمن أهمية هذه المياه في خروجها لأول مرة إلى السطح وغالبا ما تكون مياها حارة ومرورها من خلال تكوينات مختلفة ، يسبب في حدوث تفاعلات كيماوية تؤدي إلى إذابة مكوناتها ويعزى وجود المكونات الكيمياوية بمقادير مختلفة في هذه المياه إلى هذه التفاعلات بينما يعزى ارتفاع درجة حرارة المياه لكونها آتية من الأعماق .

2 ـ مياه الفادوز (Vadose)

إن المياه الموجودة على سطح الأرض ترشح إلى أسفل بواسطة الجاذبية الأرضية من خلال الفراغات والشقوق والكسور والصدوع وغيرها ، وترتفع درجة حرارتها هناك ، ومع مرور الزمن يمكن أن تخرج مرة أخرى إلى سطح الأرض لتكون المياه الحارة أو مياه الفادوز (شكل)

3 ـ المياه المختلطة تصعد المياه اليافعة من أعماق الأرض إلى أعلى وتختلط في بعض المناطق مع مياه الفادوز الراشحة من السطح ويكونان نوعا ثالثا من المياه المعدنية الحارة تسمى بالمياه المختلطة (شكل) وحسب المشاهدات التي جرت في أماكن متعددة من العالم لوحظ أن المياه اليافعة توجد بشكل اكبر في المناطق البركانية ، بينما توجد مياه الفادوز في مناطق التحركات الأرضية ومناطق الثني و الفوالق والشقوق والفراغات ، ولوحظ أن هنالك علاقة واضحة بين البراكين والمياه المعدنية اثر صعود الغازات والمياه الحارة المصاحبة لانفجار البراكين .





أنواع الينابيع الحارة :

يمكن تقسيم المياه المعدنية الحارة حسب مناطق خروجها من سطح الأرض إلى :

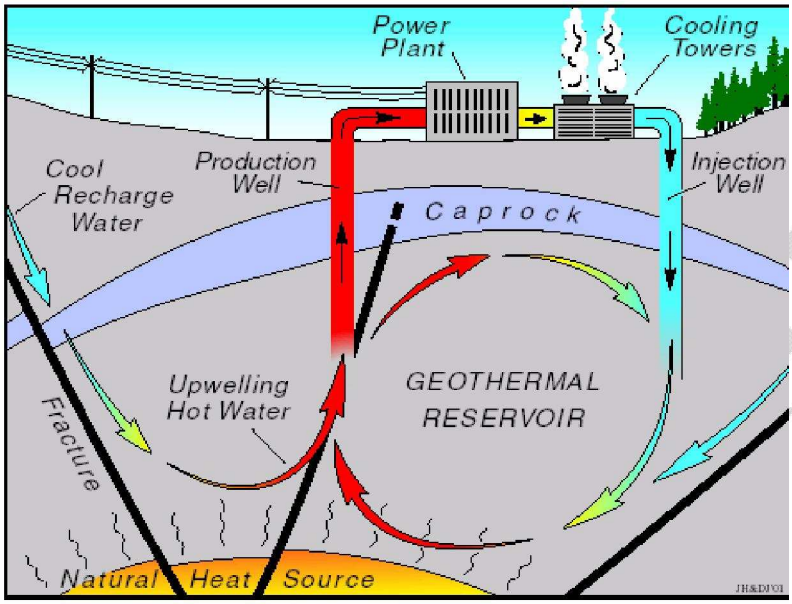
1 ـ مياه الشقوق الحارة : وهي المياه التي تخرج من شقوق وفراغات الصخور.

2 ـ مياه الصد وع أو الفوالق الحارة : وهي المياه التي تخرج على امتداد الصد وع .

3 ـ مياه مناطق التماس الحارة : وهي المياه التي تخرج من مناطق تماس الصخور والطبقات التي تختلف خواصها الليثولوجية

4 ـ مياه الطي أو الثني الحارة : وهي المياه المارة من الطبقات النفاذة التي تعرضت لعوامل الطي .

5 ـ مياه الأطيان الحارة : وهي المياه الحارة المرافقة لتدفقات الأطيان والقادمة من الأسفل أو من الجوانب .



تمتاز المياه المعدنية الحارة بارتفاع درجة حرارتها لذا تستخدم في توليد الطاقة الكهربائية شكل ( ) .وان احتوائها على المواد الذائبة وغير الذائبة وعلى الغازات والأبخرة والعناصر المشعة ، وبمجرد خروج هذه المياه إلى سطح الأرض تبدأ الغازات بالتطاير وتنخفض درجة حرارتها ويقل ضغطها ، وعندما تكون نسبة المواد الذائبة في هذه المياه مرتفعة تبدأ بالترسب حول الينابيع الحارة ، ومن الأمثلة على ذلك رواسب الترافرتين ورواسب السليكا و الاكاسيد وغيرها . وتختلف العناصر الموجودة في المياه المعدنية الحارة في تركيبها ومقاديرها تبعا لاختلاف مصادرها .

LECTURE-4

CONFIDENTIAL-BAYAN

خصائص الطبقات الحاملة للمياه

BAYAN
1433/10/12

خصائص الطبقات الحاملة للمياه :

لغرض التعرف على ميكانيكية حركة و انتقال المياه و خزنها، لابد من التعريف ببعض الخصائص الفيزيائية للطبقات الجيولوجية الحاملة للمياه منها المسامية و النفاذية و الترشيح و الجريان .

المسامية (n): Porosity

تعتبر المسامية من العناصر الهيدروليكية الأساسية للطبقات المائية وهي مقياس لحجم الفراغات في الرسوبيات والصخور وكافة الأوساط المسامية ويمكن تعريف المسامية لصخر ما على أنها النسبة بين حجم الفراغات البينية والفجوات الموجودة في الصخر إلى الحجم الكلي للصخر ، ويعبر عنها بكسر عشري أو بنسبة مئوية فإذا رمزنا للحجم الكلي للصخر بالرمز V_T ولحجم الفراغات الموجودة فيه بالرمز V_P ولحجم الجزء الصلب أو لحجم الحبيبات المكونة له بالرمز V_S فان المسامية يمكن التعبير عنها حسب المعادلة التالية :

$$n = (V_P/V_T) .100 \quad = [(V_T-V_S)/ V_T].100$$

بمعنى آخر فالمسامية تمثل نسبة حجم الفراغات الموجودة في الكتلة الصخرية إلى الحجم الكلي لهذه الكتلة . و يمكن تمثيلها بالمعادلة التالية :

$$\text{المسامية \%} = \frac{\text{حجم فراغات الكتلة الصخرية}}{\text{الحجم الكلي للكتلة الصخرية}} \times 100$$

كما يمكن التعبير عن خاصية المسامية بما يدعى نسبة الفراغات (Void Ratio) و التي يعبر عنها بالنسبة المئوية لحجم المسامات إلى الحجم الصلب من الكتلة الصخرية .

$$\text{نسبة الفراغ} = \frac{\text{حجم فراغات الكتلة الصخرية}}{\text{حجم الصلب من الكتلة الصخرية}} \times 100$$

يستعمل هذا المصطلح بشكل اعم في ميكانيكيا التربة ليبين حجم فراغات التربة ، ويعرف على انه النسبة بين حجم الفراغات Vp وحجم المواد الصلبة Vs ويرمز له بالرمز e أي ان : $e\ \% = 100 . Vp / Vs$

تتراوح قيمة e عموما بين (0-3) وهي تتغير من 0.7 للرمل والحصى إلى 1.3 للطين غير المتماسك

وهناك علاقة بين نسبة الفراغات e وبين المسامية n يمكن توضيحها بالمعادلة التالية : $e = n / (n-1)$

أو : $n = e / (1+e)$

تعتمد المسامية على طبيعة الصخور منذ ترسيبها وعلى المعادن الذائبة في المياه وعلى تصدع الصخور وما ينتج عنها من فواصل وشقوق مختلفة ويجب التمييز بين المسامية الأولية Primary porosity التي ترتبط بمنشأ الصخر أو التربة وبين المسامية الثانوية Secondary porosity التي تنشا في مراحل متأخرة بعد تكوين الصخر الأصلي وتعرضه للعوامل الخارجية المختلفة ومثال ذلك الشقوق والفواصل التي تتكون في الصخور وعملية الدلمتة و التي تزيد من نسبة الفجوات نتيجة ذوبان أجزاء من الصخر الأصلي مما يساعد على تكوين الكثير من الفراغات والمسامات الثانوية .

يمكن تقسيم المسامية اعتمادا على مدى اتصال الفراغات والفجوات الموجودة في الصخر الأصلي إلى :

1- المسامية الكلية التي تشمل جميع الفراغات والفجوات الموجودة في الصخر الأصلي المتصلة بعضها ببعض وغير المتصلة .

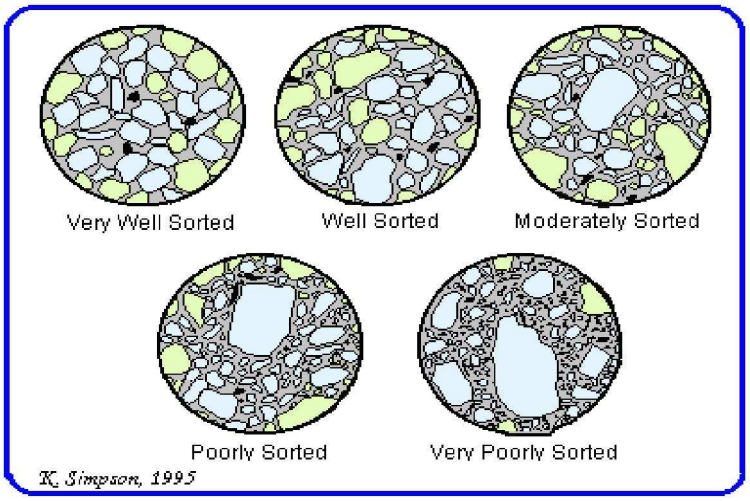
2- المسامية الفعالة (effective porosity) التي تعبر عن النسبة المئوية لحجم الفراغات المتصلة ببعضها البعض فقط والتي لها تأثير على تحرك ومرور السوائل والغازات .

و على هذا الأساس فأن المسامية صفة من الصفات المميزة للصخور إذ نجد إن مسامية الصخور الرسوبية الفتاتية عالية نسبيا ، بعكس مسامية الصخور الرسوبية غير الفتاتية و تعتمد مسامية الصخور الفتاتية على خواص الحبيبات الفتاتية المكونة للصخور منها :

CONFIDENTIAL DAYAN

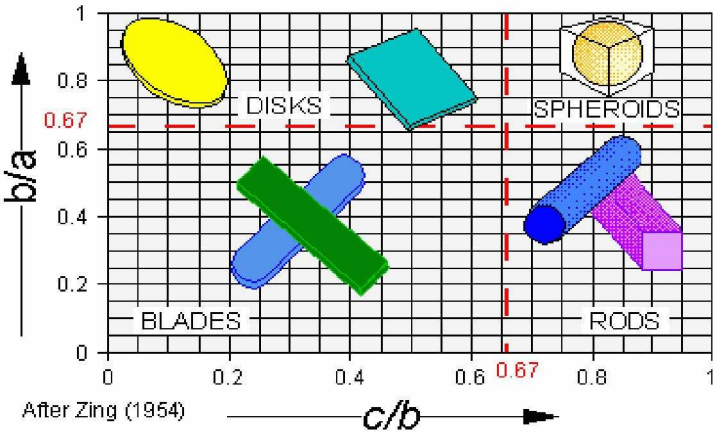
1- الفرز: Sorting

و يعني درجة تفاوت أحجام الحبيبات المكونة للصخور، فإذا كانت درجة الفرز جيدة كانت الحبيبات المكونة للصخور متقاربة في أحجامها تعكس مسامية أعلى، و إذا كانت درجة الفرز سيئة كانت الحبيبات المكونة غير متقاربة في احجامها تعكس مسامية واطئة، شكل ( ) .



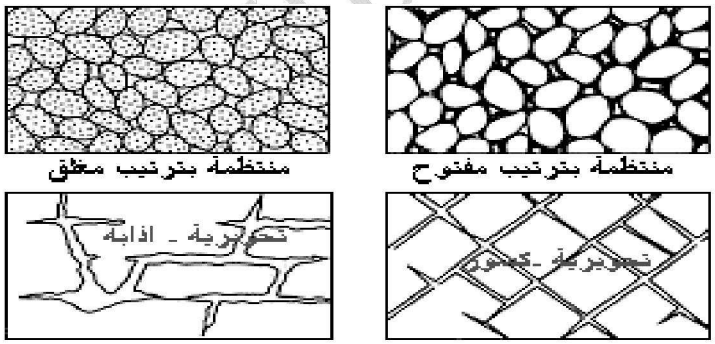
2- الاستدارة و شكل الحبيبات : Roundness and Shape

هنالك حبيبات مستديرة و أخرى ذات زوايا كما يمكن التمييز من حيث الشكل بين حبيبات متساوية الأبعاد spheroids (equant,) و الحبيبات النضدية disk و الحبيبات النصلية ، bladedالخ ، حيث نجد الرسوبيات المتكونة من حبيبات مستديرة ذات أشكال متساوية الإبعاد أكثر مسامية من الرسوبيات المتكونة من الحبيبات النضدية أو النصلية ذات الزوايا.



3- ترتيب حبيبات الصخور: (الرص و الدمج Packing)

يوجد نوعان من ترتيب الحبيبات هما الترتيب المفتوح و الترتيب المغلق فالرسوبيات الحاوية على حبيبات منتظمة بترتيب مفتوح تكون أكثر مسامية من الرسوبيات المنتظمة بترتيب مغلق، شكل ( ). و هنالك عوامل عديدة تحدث بعد العمليات الترسيبية تعرف بالعمليات التحويرية و إعادة التبلور تؤثر في زيادة أو نقصان حجم الفراغات أو المسامات للصخور الحاملة للمياه بالإضافة إلى الدور الهام الذي تلعبه الفعاليات و النشاطات التركيبية في تكوين الكسور و التشققات في الصخور لتزيد من مساميتها ،شكل ( ) .

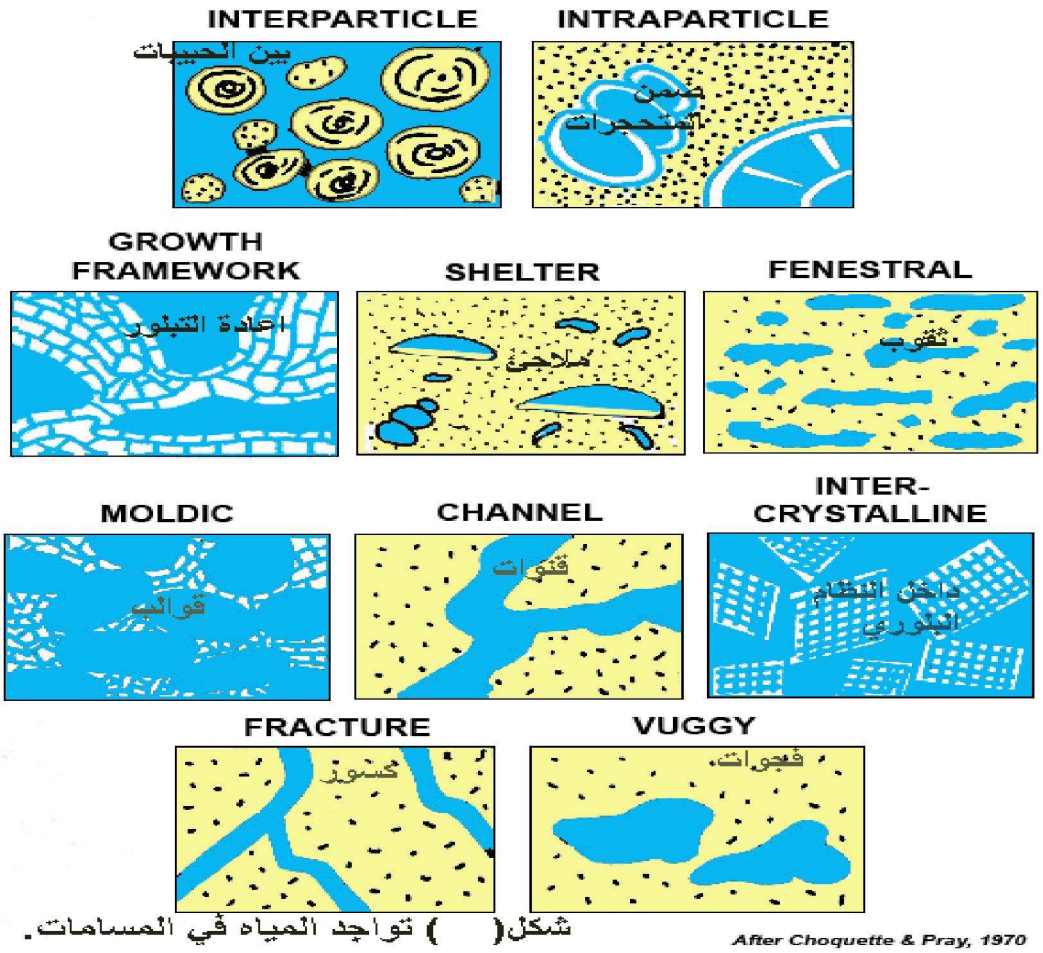


). المسامية صفة من الصفات المميزة للصخور

أو ضحت الدراسات كما في الجدول ( ) أن الصخور الرسوبية الفتاتية دقيقة الحبيبات لها مسامية اكبر من مسامية الصخور الرسوبية خشنة الحبيبات ، إما الصخور الرسوبية غير الفتاتية فأنها شديدة التأثر بالعمليات التحويرية بعد الترسيب ، لذلك تتباين كثيرا من حيث المسامية إذ تتواجد المياه فيها بعدة هيئات ،شكل ( ) .

جدول ( ) درجة المسامية في بعض الصخور و الرسوبيات .

الرسوبيات/ الصخور	المسامية%
التربة	50
الطين	50
الرمل الناعم	49 -44
الرمل متوسط الحبيبات	48 -41
الرمل خشن الحبيبات و الحصباء	41 -39
الصخور الرملية	15 -5
الصخور الجيرية	20 -5
الدولومايت	5



شكل( ) تواجد المياه في المسامات.

يمكن إيجاد مسامية التربة والمواد المفككة الأخرى بطرق مختلفة، وتستعمل العينات الاسطوانية المأخوذة بواسطة الحفر لإيجاد مسامية المواد المتماسكة، حيث يحسب الحجم الكلي للعينة المتماسكة ثم تجفف بالفرن على درجة حرارة 105 مْ لمدة 14 ساعة على الأقل. وبحساب الوزن الجاف W_d وقسمته على كثافة الصخر أو التربة نحصل على حجم المادة الصلبة للعينة V_S وبتطبيق المعادلات السابقة يمكن الحصول على المسامية . تعتمد كثافة المادة الصلبة للصخر أو التربة على محتواهما المعدني ، فإذا كان المعدن السائد في الرسوبيات هو الكوارتز فتستعمل عادة الكثافة 2.56 غم / سم ^{3} للمادة الصلبة ، وتؤخذ عادة كثافة الحجر الجيري والجرانيت بمعدل 2.7 -2.8غرام / سم^3 أما كثافة البازلت فهي حوالي 3 غرام / سم ^{3}.

ويمكن إيجاد المسامية في المختبر بإشباع العينة بالماء وقياس حجمها الكلي ووزنها ثم يتم تجفيفها في فرن درجة حرارته 105 مْ لمدة كافية. وبتحويل وزن الماء المتبخر إلى حجمه ، وبمعرفة كثافته يمكن حساب الحجم الذي هو حجم الفراغات المسامية Vp وبتطبيق المعادلات السابقة يمكن إيجاد المسامية ولما كان من الصعب عمليا إشباع العينة تماما فانه يمكن إيجاد المسامية من المعادلة التالية : $N=1-(\rho_b / \rho_s)$

حيث أن ρ_b تعبر عن bulk density وهي حاصل قسمة الكتلة الجافة في الفرن على الحجم الحقلي و ρ_s تعبر عن كثافة الجزء الصلب وهي حاصل قسمة الكتلة الجافة في الفرن عل حجم الجزء الصلب والتي يمكن إيجادها من فحص إزاحة الماء . وفي الحالات التي لا تتطلب نتائج دقيقة وصحيحة فيمكن افتراض $\rho_s=2.65\ g/cm^3$ لمعظم أنواع الترسبات المعدنية .

المحتوي المائي:

يعبر عن المحتوي المائي للتربة أو للمادة المسامية أما بوزن الوحدة الجافة أو بحجم الوحدة الجافة للمادة ، وحيث ان مجموع وحدة الحجم V_T للتربة أو للصخر يتكون من حجم الجزء الصلب Vs وحجم الماء V_w وحجم الهواء V_a فان المحتوي المائي ألحجمي يمكن تعريفه بنسبة حجم الماء إلى الحجم الكلي ويرمز له بالرمز $\theta=Vw / V_T$.

وهو يعتبر من العناصر الهامة في هيدرولوجية المياه الجوفية ، ويعبر عنه بكسر عشري أو بنسبة مئوية . ومن اجل الحصول على المحتوي المائي ألوزني لوحدة من المادة يتم وزن العينة وهي رطبة وليكن وزنها W_w ثم توزن بعد تجفيفها في فرن وليكن وزنها W_d ويحسب المحتوي المائي ألوزني من المعادلة : $(W_w - W_d) / Wd \ .100$

نسبة الإشباع: saturation percentage

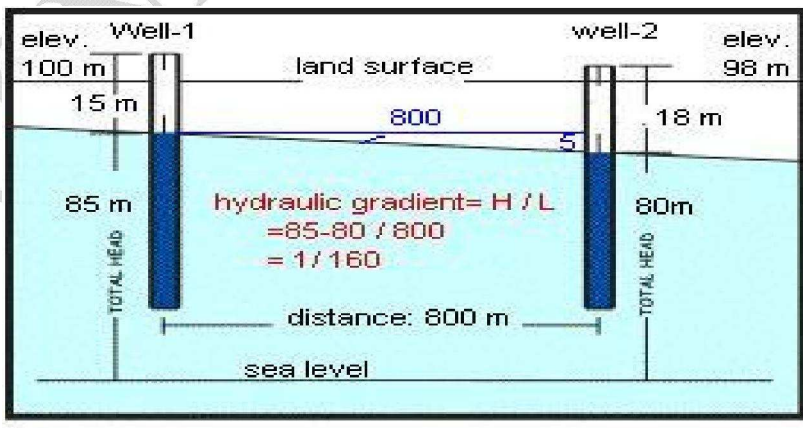
ان نسبة الإشباع هي نسبة الفراغات المملوءة بالماء . ونسبة الإشباع للتربة المشبعة بالماء تساوي 100 % ويتم الحصول عليها من حاصل قسمة المحتوي المائي(θ) على المسامية (n) ويعبر عنها بالنسبة المئوية ($\theta / n \ .100$) .

النفاذية: Permeability

نفاذية الصخور هي قابلية الصخور لإمرار الماء بين حبيباتها و يمكن التعبير عن نفاذيتها بمعادلة دارسي $K=Q/Al$ و التي تمثل تصريف المياه المارة من وحدة مساحة المقطع العمودي على اتجاه حركة المياه مضروبا بقيمة الميل الهيدروليكي ، حيث : K = النفاذية . م / يوم Q. =التصريف (م3/يوم) ، A = مساحة المقطع (م^2) ، I = الميل الهيدروليكي (بدون وحدات).

يعتبر الميل الهيدروليكي لجريان الماء في القنوات والشقوق والمسامات من أهم العوامل المؤثرة في حركة المياه الجوفية .

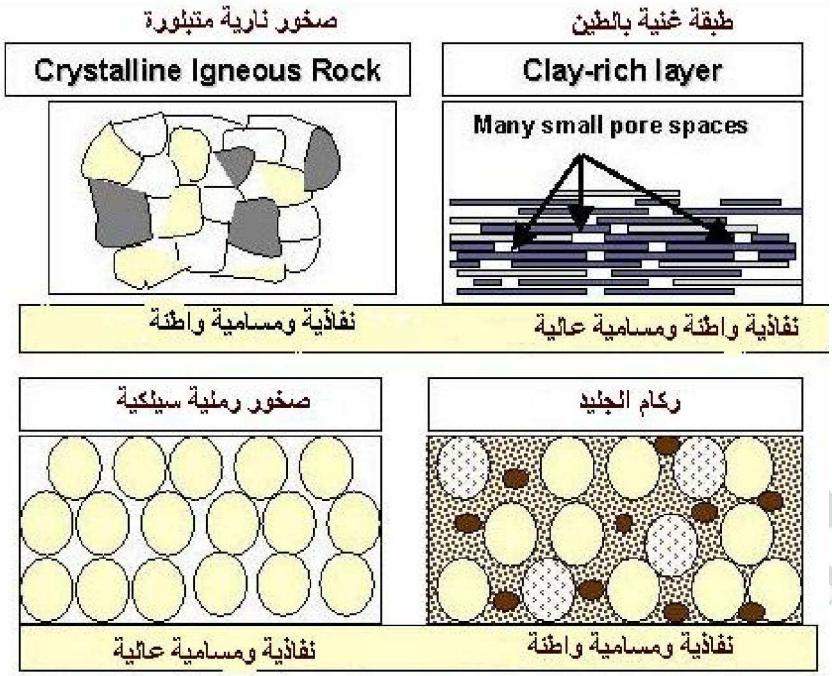
و يمثل (فرق الضغط العمودي بين موقع دخول و خروج المياه / المسافة الأفقية بين موقعي دخول و خروج المياه) ويعبر عنه بالرمز I (شكل 4.3) وحسب المعادلة التالية : $I= dh / dl = \tan \alpha$



(شكل -) الميل الهيدروليكي .

CONFIDENTIAL DATA

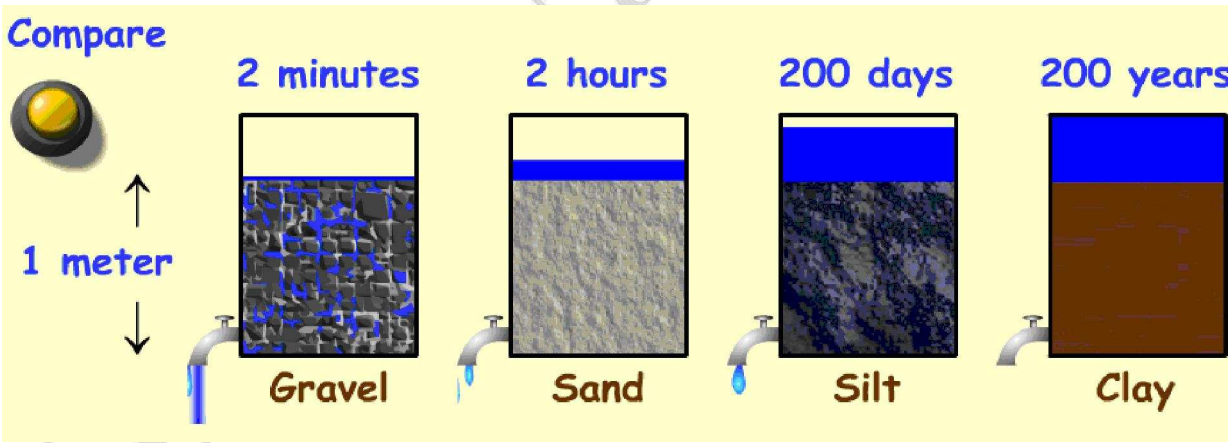
يطلق على الصخور التي تسمح للماء بالنفاذ خلال مسامها بالصخور المنفذة (Permeable or Previous) و تلك التي لا تسمح للماء بالنفاذ من خلال مسامها بالصخور غير المنفذة(Impermeable or Impervious) و عليه يلاحظ أن كل صخر منفذ للمياه يكون مساميا و ليس بالضرورة أن يكون الصخر المسامي منفذا للمياه ، شكل ( ).



شكل ( ). علاقة النفاذية بالمسامية.

يتحكم حجم الحبيبات بعملية مرور السوائل من خلال مسامها، إذ إن الحبيبات الناعمة تعطي مسامية عالية يقابلها زيادة في المساحة السطحية للحبيبات و التي تجعل من قوى الشد السطحي أن تكون بأعلى طاقة ممكنة بحيث لا تسمح للسوائل بالمرور من خلالها.

والشكل () يوضح مقاربة مختبرية لنوع الرسوبيات و مدى قابليتها على إمرار الماء أو حجزها .



كما تتحكم بنسبة الفجوات المتصلة ببعضها إلى الفجوات المستقلة في تحديد نفاذية الصخور ، فإذا كانت الفجوات غير متصلة ، لا يمكن أن تمر السوائل من خلال الصخرة و بذلك تكون الصخرة غير نفاذة .

و بناءا على ذلك فأن للنفاذية دور مهم في تكوين الطبقات الحاملة للمياه حيث تتم عملية تغذية الخزانات الجوفية من خلال الصخور ذات النفاذية العالية حتى يتم تجميع و خزن المياه فوق الطبقات التي يتوقف عندها مرور المياه بفعل تناقص نفاذيتها و عندها تتكون الخزانات المائية الجوفية .

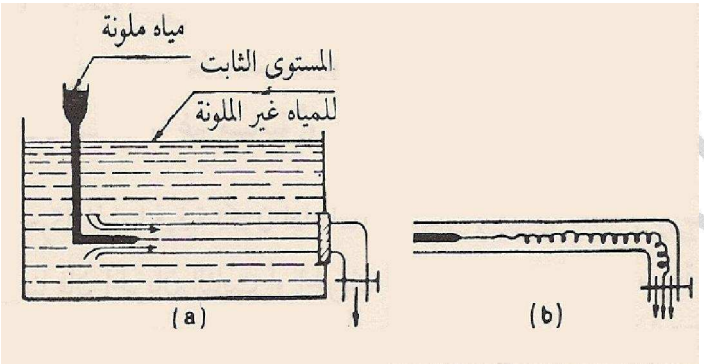
أنظمة جريان المياه الجوفية:

ان دراسة حركة السوائل الموجودة في القشرة الأرضية تخضع لقوانين واعتبارات مختلفة ويرجع ذلك إلى اختلاف الأوساط تحت السطحية وقد قام كثير من علماء الهيدرو لبك بدراسة حركة المياه الجوفية عمليا ونظريا واعتبروا ان أوساط الجريان المسامية متشابهة ومتجانسة وتمتد إلى ما لا نهاية وان طبقات الأساس مستوية وأفقية ومنتظمة . علما بان الأوساط التي تتحرك فيها المياه الجوفية مسامية ذات شقوق غير متشابهة وغير متجانسة لذلك فإن نوع الجريان وشكله وسرعته تتغير حسب الوسط الذي تشغله وعليه فالدراسات الهيدروجيولوجية اعتمدت تصنيفين أساسين في البحث شملت دراسة المياه الجوفية في الوسط المسامي (porous media) ,والوسط غير المسامي(fracture media) .

إن حركة المياه الجوفية تكون إما ثابتة أو غير ثابتة ففي الجريان الثابت تكون سرعة المياه متساوية وتبقى ثابتة وبمعنى آخر فان متجه السرعة (vector velocity) لا يتغير مع الزمن ويسمى مثل هذا الجريان بالجريان المنتظم وهو نادر التواجد في الطبيعة . وعموما فان سرعة الجريان في الطبيعة تتغير مع الزمن ويسمى الجريان في مثل هذا الحال بالجريان غير الثابت وعليه إن جريان المياه الجوفية الثابت وغير الثابت يوجد في الطبيعة في نظامين :

أ ـ نظام الجريان ألصفائحي laminar flow ، ب ـ نظام الجريان المضطرب turbulent flow

ان جريان المياه الجوفية في الوسط المسامي غالبا ما يكون صفائحي حيث تتحرك جزيئات السوائل على شكل خطوط متوازية مع بعضها بعضا وغير متداخلة وعلى شكل صفائحي . بعكس الجريان المضطرب الذي تكون فيه جزيئات السوائل غير منتظمة ومتداخلة وسرعة الجريان كبيرة ويتغير اتجاهها مع الزمن مع ان متوسط السرعة لا يتغير مع الزمن . ومن اجل إيضاح نظامي الجريان السابقين يمكن الاستعانة بتجربة رينولد وإيجاد رقم رينولد لكل من الحالتين على انفراد .



ولتحقيق ذلك يتم ملئ خزان بماء غير ملون(شكل-) له فتحة تصريف(حنفية) تؤمن جريان المياه من الخزان الى الخارج . وعند فتح الحنفية بتصريف قليل من المياه نلاحظ أن خطوطا من المياه الملونة المحقونة قد انتشرت داخل المياه غير الملونة بشكل منتظم (الجريان ألصفائحي) أما إذا فتحنا الحنفية بتصريف عالي من المياه فان خطوط المياه الملونة ستنتشر في المياه غير الملونة بشكل غير منتظم ومتداخل يسمى ذلك بالجريان المضطرب.

شكل –a - نظام الجريان ألصفائحي ،b - نظام الجريان المضطرب

من هذه التجربة نلاحظ أن نظام الجريان الصفائحي والمضطرب تحددها سرعة الجريان ،ويمكن تمييز تلك السرعة اعتمادا على رقم رينولد Reynolds Number الذي يمكن التعبير عنه بالمعادلة التالية مع العلم بأنه عدد بدون وحدات .

$$Re = (v \cdot d) / V$$

حيث أن v : تعبر عن سرعة السائل أو التصريف النوعي

d: قطر الأنبوب الزجاجي أو قطر المسام أو الطول ألبعدي للوسط المسامي

V: لزوجة السائل الكينماتيكية

ان السرعة التي تفصل ما بين النظام ألصفائحي والنظام المضطرب تسمى بالسرعة الحرجة v_c ويسمى رقم رينولد لهذه السرعة بعدد رينولد الحرج ويعبر عنه بالمعادلة التالية علما بان هذا العدد يختلف حسب الوسط والسائل .

$$Re = (v_c \cdot d) / V$$

كذلك فان عدد رينولد للجريان عبر الوسط المسامي يمكن إيجاده حسب المعدلة التالية :

$$Re = (\rho \cdot v \cdot d) / \mu$$

حيث ρ تعبر عن كثافة السائل ، μ تعبر عن اللزوجة الديناميكية .

CONFIDENTIAL

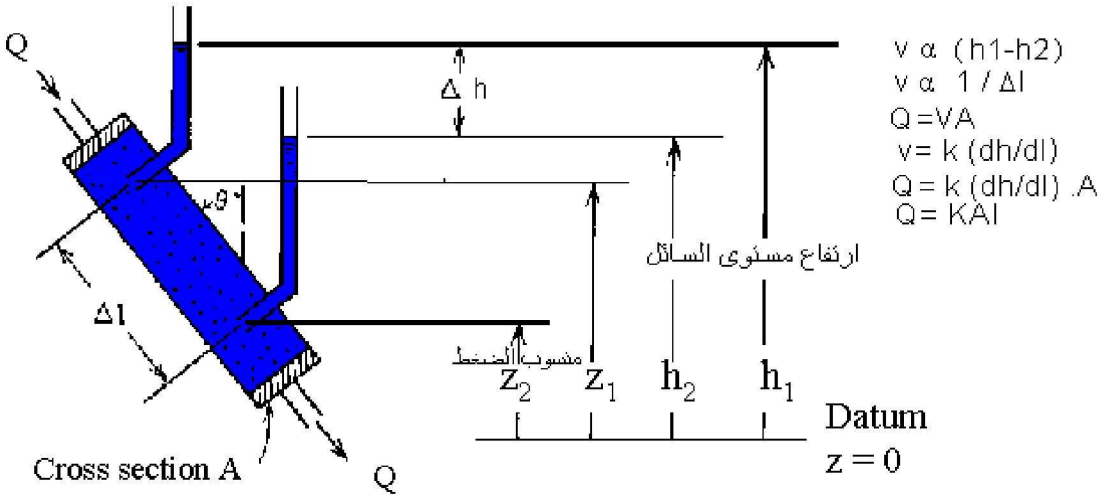
قانون دارسي: Darcy's Law

يعود ظهور هيدرولوجية المياه الجوفية كعلم كمي إلى عام 1856وهوالعام الذي قام به المهندس الفرنسي هنري دارسي بنشر تقريره في مدينة ديجون الفرنسية حول جريان المياه خلال الطبقات الأفقية الرملية وحلل في تجربته عملية جريان المياه عبر الرمال ،وسميت التجربة باسمه .

لقد حاول بتجاربه الدقيقة تحديد قانون جريان الماء عبر المرشحات ،وأظهرت كل التجارب إن حجم الماء الذي يمر من خلال طبقة الرمل ذات طبيعة معروفة تتناسب طرديا مع الضغط وعكسيا مع سمك الطبقة الحاجزة .

فإذا اعتبرنا أن التجربة تشبه تلك التي في الشكل ( )، وان الاسطوانة الدائرية ذات المقطع العرضي قد ملئت بالرمل وسدت من نهايتها ، تم تزويدها بأنبوبين . احدهما للجريان الداخلي والأخر للجريان الخارجي وجهازين لقياس الضغط manometer ، إذ يغذى الماء للاسطوانة الزجاجية كما في الشكل () ويسمح له بالجريان خلالها حتى تمتلئ جميع المسامات بالماء وتصبح سرعة الجريان الداخلي Q مساويا للجريان الخارجي ،

وإذا اعتبرنا ان منسوب مستوى الأساس الموضح بالشكل ( ) z=0 ومنسوب جهازي الضغط z_1,z_2وارتفاع مستويات السائلh_1,h_2 والمسافة بين جهازي قياس الضغط Δl ومن المعادلة (Q=VA) يمكن الحصول على المعادلة (V= Q/A) ،حيث تعبر Qعن مقدار التصريف و A عن مساحة المقطع العرضي للاسطوانة و V عن سرعة دارسي أو سرعة جريان دارسي واصطلح بعض العلماء على تسميتها بالتصريف النوعي عبر الاسطوانة حيث أنها فكرة مرئية وتقاس بسهولة وتفضل على السرعة الميكروسكوبية التي هي حقيقة أيضا إلا أن قياسها من المحتمل ان يكون غير ممكن .



شكل ( ) مظهر مختبري يوضح قانون دارسي .

لقد أظهرت تجربة دارسي إن V تتناسب طرديا مع (h1-h2) عندما تكون Δl ثابتة وتتناسب عكسيا مع Δl عندما تبقى (h1-h2) ثابتة وإذا عبرنا عن ذلك بالرموز نحصل على : { v α1 / Δl, v α (h1-h2) }

إذ: Δh = h1-h2

وعليه يمكن إعادة كتابة التناسب الطردي بالشكل v α Δh ومن حالتي التناسب السابقتين نستطيع كتابة قانون دارسي بالشكل التالي : v= k (Δh/Δl)

أما بالصيغة التفاضلية فيمكن إعادة كتابتها بالشكل التالي: v= k (dh/dl)

حيث إن h تعبر عن الارتفاع الهيدروليكي و dh/dl تعبر عن الميل الهيدروليكي أما k فهو ثابت التناسب ويعتمد على خواص التربة ونوعيتها في الأنبوب .وبما أن السرعة v تختلف من تربة إلى أخرى، فإننا نستطيع القول وبعبارة أخرى إن v α k عندما تكون dh/dl ثابتة .

ويعرف k بالايصالية الهيدروليكية وله قيم عالية للرمل والحصى وقيم منخفضة للطين ومعظم أنواع الصخور. ومن التحليل السريع للمعادلة (Q=VA)وحيث أن: (v= k (dh/dl ، لذا :

Q= k (dh/dl) . A

وإذا رمزنا للميل الهيدروليكي بالرمز I أي أن I = dh/dl فيمكن الحصول على الصيغة التالية :

Q= KAI

CONFIDENTIAL

الايصالية الهيدروليكية والنفاذية :

ان ثابت التناسب في قانون دارسي يعتمد على الوسط المسامي وعلى نوعية السائل أي ان k هي دالة للوسط والسائل وإذا أبقينا $\Delta h, \Delta l$ ثابتة (انظر الشكل-) وقمنا بمحاولتين الأولى باستعمال نفس الرمل والسائل و الماء وفي الثانية استعملنا محلول السكر ، فإننا نجد ان قيمة v ستنخفض كثيرا في المحاولة الثانية عنه في المحاولة الأولى .

لقد أثبتت التجارب على إن احتواء الوسط المسامي على حبيبات كروية منتظمة نصف قطرها d يؤثر على قيمة v وتبين أن v سرعة دارسي تتناسب :

- طرديا مع مربع نصف قطر حبيبات الوسط المسامي .
- طرديا مع الوزن النوعي للسائل $\gamma = \rho g$
- وعكسيا مع اللزوجة الحركية للسوائل (μ) وذلك بثبات الميل الهيدروليكي .

ونستطيع كتابة هذه العلاقات بالشكل التالي :

$$V \alpha d^2$$

$$V \alpha \rho g$$

$$V \alpha 1/\mu$$

وحسب ملاحظات دارسي فان : $V \alpha dh / dl$

- ◄ إن علاقات التناسب السابقة تقودنا إلى صيغة أخرى لقانون دارسي وهي :

$$V \alpha [d^2 \rho g /\mu] dh/dl$$

$$V = [C d^2 \rho g /\mu] dh/dl \quad .....1$$

حيث أن C هو ثابت التناسب ويعتمد على خواص الوسط المسامي الذي يؤثر على الجريان مثل عدم انتظام أنصاف أقطار الحبيبات المكونة للوسط وعدم انتظام توزيعها ودرجة تكورها وظروف رصها .

ومن المعادلة 1 مع معادلة دارسي 2 : $V = K dh/dl$.....2

- ◄ نستنتج المعادلة 3 : $K =[(Cd^2 \rho g) /\mu]$ 3
- ◄ وبما أن ρ،μ يعتمدان على السائل فقط أي أن كل منهما تعتبر دالة للسائل فقط .

فان Cd^2تعتمد على الوسط فقط أي أنها دالة للوسط ، ومنها نستنتج المعادلة - 4 $k=Cd^2$ 4

- ومن المعادلة 4 في المعادلة 3 نجد أن : $K=(k \rho g) /\mu$

- ◄ حيث أن k تعبر عن النفاذية النوعية specific or intrinsic permeability
- ◄ وإذا اشرنا إلى K بالايصالية الهيدروليكية فمن الأفضل إن تدعى k بالنفاذية .
- ◄ والجدير بالذكر إن بعض المراجع تستعمل مصطلح معامل النفاذية coefficient of permeability بدلا من المصطلح الايصالية الهيدروليكية hydraulic conductivity.

إن النفاذية هي دالة للوسط فقط ولها إبعاد المساحة m^2ويستعمل المصطلح في الصناعات البترولية حيث يوجد الغاز والزيت والماء في نظام جريان مخلوط وعند القياسات بالمتر المربع فان k ستكون صغيرة جدا ، لذلك فقد عرف مهندسو البترول وحدة النفاذية بدارسي . وإذا استبدلنا قيمة K حسب المعادلة $(K =(k \rho g)/\mu)$ ووضعناها في معادلة دارسي $(V=Ki)$ فان قانون دارسي سيصبح.

$$V=(k \rho g)/\mu . dh/dl$$

وحسب هذه المعادلة يمكن تعريف 1 دارسي:

على انه النفاذية التي تعطي أو تسبب في إعطاء تصريف نوعي قدره 1cm/sec في سائل لزوجته 1cp تحت ميل هيدروليكي يجعل $\rho g. dh/dl = 1 atm / cm$ وعموما فان 1 دارسي يساوي 10^{-8} cm^2تقريبا وفي الصناعات البترولية تستعمل بشكل واسع للايصالية الهيدروليكية ويتضح ذلك من قانون دارسي المبسط حسب المعادلة التالية :

$$Q=K(dh/dl) A$$

و الجدول ( ) يوضح مجموعة من عوامل التحويل للوحدات الأساسية لكل من الايصالية الهيدروليكية و النفاذية .

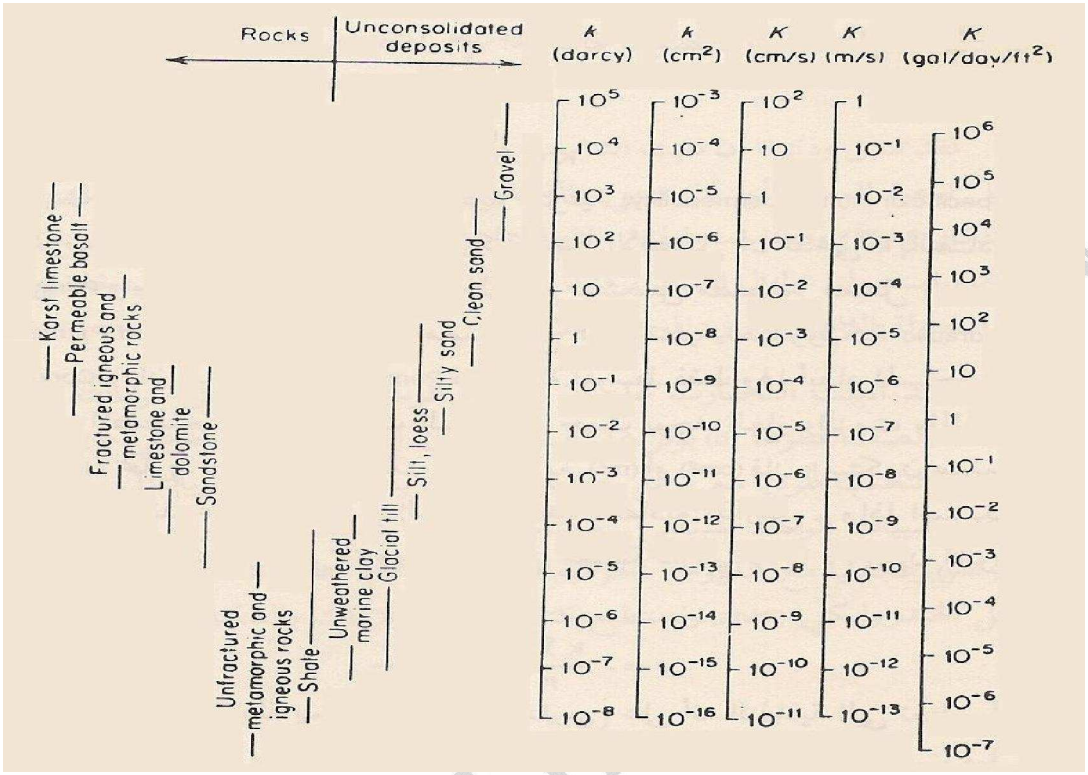
	النفاذية Permeability, k*			الموصلية الهيدروليكية Hydraulic conductivity		
	cm^2	ft^2	darcy	m/s	ft/s	U.S. gal/day/ft^2
cm^2	1	1.08×10^{-3}	1.01×10^{8}	9.80×10^{2}	3.22×10^{3}	1.85×10^{9}
ft^2	9.29×10^{2}	1	9.42×10^{10}	9.11×10^{5}	2.99×10^{6}	1.71×10^{12}
darcy	9.87×10^{-9}	1.06×10^{-11}	1	9.66×10^{-6}	3.17×10^{-5}	1.82×10^{1}
m/s	1.02×10^{-3}	1.10×10^{-6}	1.04×10^{5}	1	3.28	2.12×10^{6}
ft/s	3.11×10^{-4}	3.35×10^{-7}	3.15×10^{4}	3.05×10^{-1}	1	6.46×10^{5}
U.S. gal/day/ft^2	5.42×10^{-10}	5.83×10^{-13}	5.49×10^{-2}	4.72×10^{-7}	1.55×10^{-6}	1

*To obtain k in ft^2, multiply k in cm^2 by 1.08×10^{-3}.

CONFIDENTIAL-KAYAN

كما يظهر الجدول ( ) قيما للايصالية الهيدروليكية والنفاذية في خمسة أنظمة مختلفة لمجموعة من الصخور .

جدول ( ) :- قيم الموصلية الهيدروليكية و النفاذية .



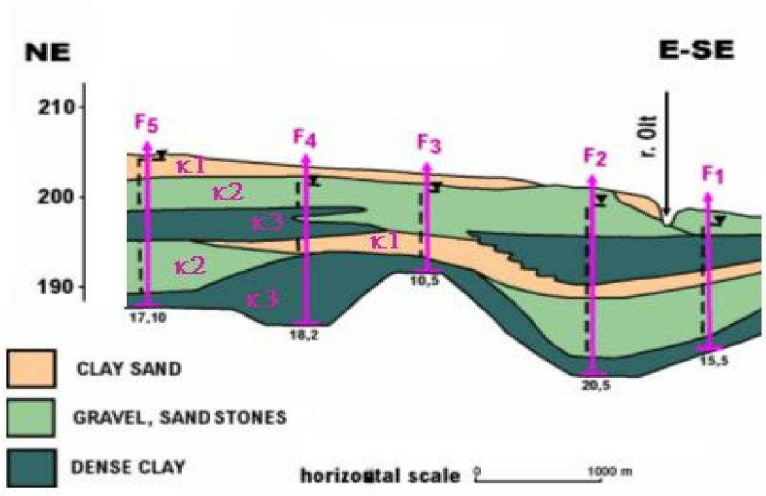
التشابه isotropic وعدم التشابه anisotropic في الايصالية الهيدروليكية :

لقد بينت القياسات الحقلية وبرامج اخذ العينات المتعددة أن قيم الايصالية الهيدروليكية في التكوين الجيولوجي وقياسات اتجاهها في أية نقطة على هذا التكوين غالبا ما تتغير .

- يعرف اختلاف قيم الايصالية الهيدروليكية في التكوين الجيولوجي بعدم التجانس (heterogeneity) .
- بينما يعرف اختلاف قياسات اتجاهها في أية نقطة على التكوين الجيولوجي بعدم التشابه(anisotropic) .

أي أننا إذا قمنا بتحليل الايصالية الهيدروليكية لتكوين جيولوجي متجانس في الإحداثيات x,y,z نجد ان: $k(x,y,z)=c$ أي ان النفاذية ثابتة في جميع الاتجاهات.

بينما تكون النفاذية متغيرة أي $k(x,y,z)\neq c$ في التكوين الجيولوجي غير المتجانس . ينشأ عدم التجانس باختلاف البيئات الجيولوجية وغيرها ويبين الشكل ( ) . مقطعا عموديا كمثال للطبقات غير المتجانسة ، وتجدر الإشارة إلى أن الطبقة الواحدة ذات الايصالية الهيدروليكية k1 تكون متجانسة ولكن النظام بكامله غير متجانس،علما بان الامتداد الواسع للطبقة و وجود الطيات أو الفوالق هو السبب في عدم استمرارية و عدم التجانس .



شكل (7.3) الايصالية الهيدروليكية لحالة عدم التجانس .

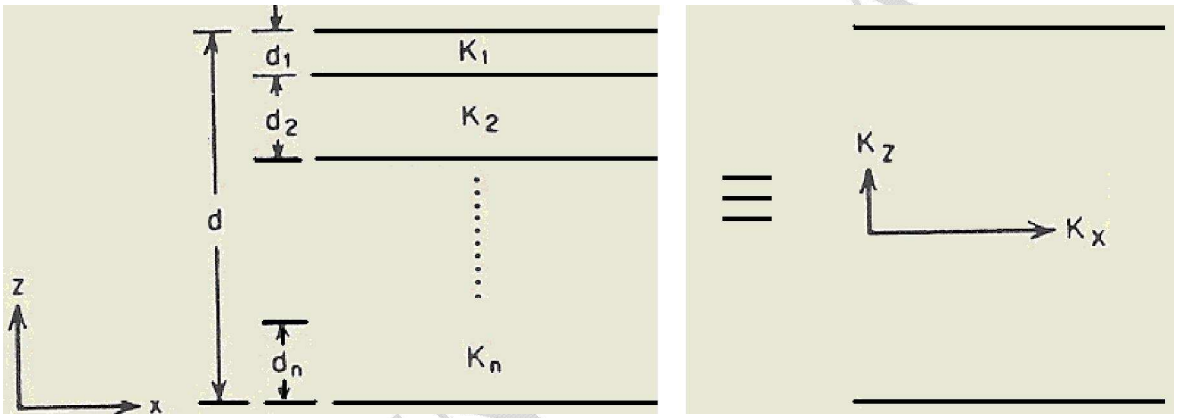
ونتيجة لذلك فان الايصالية الهيدروليكية في الاتجاه العمودي K_z قد تكون اقل أو أعلى من الاتجاه الأفقي وليس غريبا أن نجد قيمة K_z خمس أو عشر أضعاف قيمة K_x حيث تسمى هذه الظاهرة بعدم التشابه anisotropy أما إذا كانت قيم k متساويا في جميع الاتجاهات $Kx=Ky=Kz$ فان المادة تكون حين إذ متشابهة . isotropy .

ويدل اختلاف الايصالية الهيدروليكية لعدد من الطبقات المكونة لتركيب جيولوجي ما على عدم التشابه فمثلا الطبقة المائية التي تحوي على طبقات أفقية من الرمل وطبقات من الحصى بشكل منفصل تسلك سلوكا مشابها للوسط غير المتشابه فمقاومتها للجريان العمودي من خلال حركة الماء عبر طبقات الرمل والحصى سيكون أكثر من مقاومتها للجريان الأفقي ، إذ يمر الماء من خلال طبقات الحصى وحدها .

اووووووووووو يي يي يي .....من هنا هيدروجيولوجي متقدم (للاطلاع فقط) .

أن احتواء الطبقة المائية على عدد (n) من الطبقات الأفقية التي تختلف في سماكتها (d) وفي قيم ايصاليتها الهيدروليكية (شكل-) وعلى اعتبار أن هذا التكوين الطبقي غير متشابه وغير متجانس وان كل طبقة لوحدها تعتبر متجانسة ومتشابهة وذات ايصالية هيدروليكية (k1,k2,k3..kn) يقودنا إلى معاملة النظام جميعه على أساس التجانس الفردي وعدم التشابه الطبقي وإذا ما اعتبرنا ان الجريان عمودي على التطبق فان التصريف النوعي سيكون نفسه الداخل والخارج للنظام وفي الحقيقة يجب أن يكون ثابتا أثناء خروجه من هذا النظام وإذا كان التغير في عمود الماء في الطبقة الأولى هو $\Delta h1$ و التغير في عمود الماء في الطبقة الثانية هو $\Delta h2$ وهكذا فان مجموع التغير في مستوى الماء يكون

$$\Delta h=\Delta h1+\Delta h2+\ldots+\Delta hn$$



شكل ( ) العلاقة ما بين الطبقات المتشابهة وغير المتجانسة .

ومن قانون دارسي: $V =(k_1\Delta h_1)/ d_1+ (k_2\Delta h_2)/ d_2+\ldots\ldots+(k_n \Delta h_n)/ d_n=(k_z \Delta h)/ d$

حيث ان k_z يساوي الايصالية الهيدروليكية العمودية لنظام الطبقات وبتحليل المعادلة السابقة نحصل على:

$$k_z = Vd /\Delta h =Vd / \Delta h_1+\Delta h_2+\ldots\Delta h_n$$

وباختصار المعادلة حيث $\Delta h =Vd / k$ نحصل على :

$$k_z=d / [(d_1/k_1)+ (d_2/k_2)+\ldots+)d_n/k_n)]$$

أي ان $k_z =d / \sum_{i=1}^{n} d_i / k_i$

وإذا كانت الطبقات متساوية في السمك فهذا يعني أن:

$$k_z =n / \sum_{i=1}^{n} 1 / k_i$$

حيث أن n تعبر عن عدد الطبقات.

أما أذا كان الجريان موازيا للطبقات واعتبرنا أن فرق الارتفاع هو Δh وان الميل الهيدروليكي (i) متساوي في كل طبقة ، كون الطبقات أفقية فان السرعة خلال وحدة السمك في هذا النظام هو مجموع السرع خلال الطبقات والسرعة خلال الطبقة الأولى هو k1d1 وأما الطبقات الأخرى فيمكن التعبير عن السرعة خلالها على انه $v=k_n d_n$.

أي أن: $k_x =n / \sum_{i=1}^{n} ki\ di / d$

وإذا كانت الطبقات متساوية في السمك فان: $kx = (k1+k2+k3+\ldots..+kn) / n$

CONFIDENTIAL

.

قانون دارسي في الأبعاد الثلاثة: Darcy's law in three dimension (للاطلاع فقط)

لقد سبق وذكرنا أن المعادلة (v=ki) هي صيغة ذات بعد واحد لقانون دارسي ، وحيث أن قانون دارسي يمكن تطبيقه في أي اتجاه في الفراغ كما أسلفنا فأننا سنحاول تطبيق قانون دارسي للجريان في الأبعاد الثلاثة .

أن قيمة الايصالية الهيدروليكية k للجريان الأفقي والتي يجب أن تؤخذ في الاتجاه x هي kx وقيمة الايصالية الهيدروليكية للجريان العمودي والتي يجب ان تؤخذ في الاتجاه z هي kz .

وتسمى المحاور $\sqrt{k_x}$ و $\sqrt{k_z}$ بالمحاور الرئيسية والتي يمكن بواسطتها ومن الشكل البيضاوي للموصلية الهيدروليكية أن نحصل على قيم الايصالية الهيدروليكية في الاتجاهات الأخرى وفي الواقع فان الايصالية الهيدروليكية لها تسعة مركبات هي:

$$K_{zz}. K_{zy}, K_{zx}, K_{yz}, K_{yy}, K_{yx}, K_{xz}. K_{xy}, K_{xx}$$

ان السرعة v في قانون دارسي هي موجهة في الأبعاد الثلاث ولها المركبات, V_x ، V_z ، V_y

وتطبيق قانون دارسي نحصل على:

$$V_x = K_{xx}\,\partial h/\partial x + K_{xy}\,\partial h/\partial y + K_{xz}\,\partial h/\partial z$$
$$V_y = K_{yx}\,\partial h/\partial x + K_{yy}\,\partial h/\partial y + K_{yz}\,\partial h/\partial z$$
$$V_z = K_{zx}\,\partial h/\partial x + K_{zy}\,\partial h/\partial y + K_{zz}\,\partial h/\partial z$$

حيث إن h هي دالة x ,y ,z وفي حالة :

$$K_{xy}= K_{xz} = K_{yx}= K_{yz}= K_{zx}= K_{zy}=0$$

وبالتعويض نحصل على المعادلات التالية : -

$$V_x = K_x\,\partial h/\partial x$$
$$V_y = K_y\,\partial h/\partial y$$
$$V_z = K_z\,\partial h/\partial z$$

إن تطابق الاتجاهات الرئيسية مع إلاحداثيات x ,y ,z هو السبب الكافي واللازم لتطبيق المعادلات البسيطة بدلا من المعادلات العامة وفي معظم الحالات يمكن اختيار نظام الإحداثيات الذي يتدفق مع المحاور ولكن يجب تصور النظام غير المتشابه وغير المتجانس الذي تكون فيه الاتجاهات الرئيسية في هذه التكاوين مختلفة ، ويكون أحيانا في مثل هذه الحالة من غير الممكن اختيار المحور المناسب ، وذلك بسبب اختلاف الاتجاهات الرئيسية في التكاوين غير المتشابه .

CONFIDENTIAL BAYAN

NFIDENTIAL-BAYAN

effective stress and Specific Storage Ss
الخزن النوعي و الإجهاد الفعال:

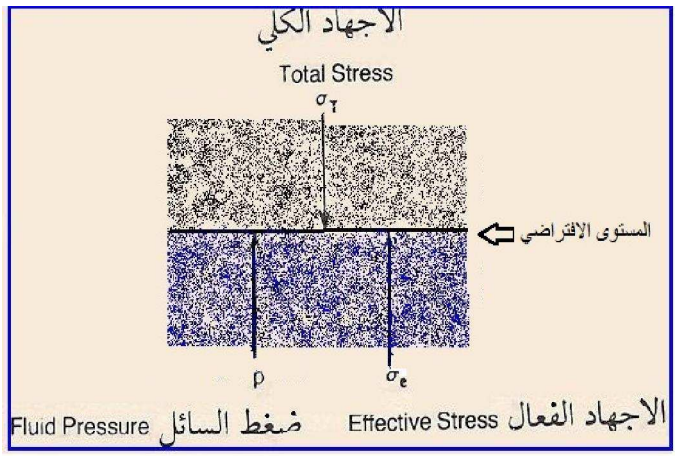
BAYAN
1433/10/12

الخزن النوعي و الإجهاد الفعال: Specific Storage S_s and effective stress

إذا سلطنا إجهادا على وحدة الكتلة من الرمل المشبع فانه سيتولد ضغط في الماء الموجود في المسامات وضغطا على حبيبات الرمل نفسها وسيتسبب في إعادة ترتيب حبيبات الرمل و اقتراب الحبيبات من بعضها بعضا ورصها بشكل أكثر . ويعتمد ضغط الماء الموجود في المسامات على انضغاطية السائل β .

وإذا اعتبرنا أن الإجهاد المسلط على تكوين جيولوجي مشبع عند العمق المبين في الشكل ( ) في حالة توازن ويقع في المستوى الافتراضي المبين في الشكل ، فان σ_T مجموع الاجهادات المؤثرة باتجاه الأسفل تعتمد على وزن الصخور التي تعلو المستوى الافتراضي ، فان جزءا من الإجهاد سوف يتولد في الهيكل الحبيبي للوسط المسامي كما إن قسما أخر سيتولد بواسطة ضغط السائل P، أي بواسطة ضغط المياه الموجودة في المسامات . إن الجزء من الإجهاد الذي لا يتولد بواسطة السائل يسمى بالإجهاد الفعال(effective stress) ويرمز له (σ_e) وهو الإجهاد الذي يحدث عادة على حبيبات الوسط المسامي . والتغيير في الإجهاد الفعال يعمل على إعادة ترتيب الحبيبات في التربة ويسبب ضغطا على الهيكل الحبيبي. وهذا يسببه التغير في مجموع الاجهادات والذي تربطهما العلاقة التالية:

$$d\ \sigma_T = d\ \sigma_e + d\ P \quad \text{أو} \quad (\sigma_T = \sigma_e + P)$$



شكل ( ) الإجهاد الفعال والإجهاد الكلي وضغط السائل في مستوى افتراضي خلال وسط مسامي مشبع.

إن وزن الصخور والمياه التي تعلو أنظمة الجريان الجوفية غالبا ما يكون ثابتا مع مرور الزمن ، الأمر الذي يجعل التغيرات في مجموع الإجهاد يساوي صفرا أي ان

$$d\ \sigma_e + d\ P = 0$$

$$d\ \sigma_e = -dP$$

وهذا يدل على إن زيادة ضغط السائل يعني نقصا في الإجهاد الفعال بنفس مقدار الزيادة والعكس صحيح.

أما انضغاطية الوسط المسامي فقد عرفه بعض العلماء بالمعادلة التالية :

$$\alpha = (-d\ V_T / V_T) / d\ \sigma_e$$

علما ان الحجم الكلي للوسط المسامي (V_T) يتكون من حجم المواد الصلبة (V_S) وحجم الفراغات المشبعة (V_P) (أي أن : $V_T = V_S + V_P$) و إن الزيادة في الإجهاد الفعال $d\ \sigma_e$ تسبب نقصانا في الحجم الكلي لكتلة من التربة ($d\ V_T$) ويحدث هذا النقص في الوسط المسامي كنتيجة لإعادة ترتيب الحبيبات وتداخلها و ربما تضغط على بعضها .والجدول ( ) يوضح قيم انضغاطية بعض الصخور .

جدول ( ) قيم الانضغاطية لمجموعة من الصخور .

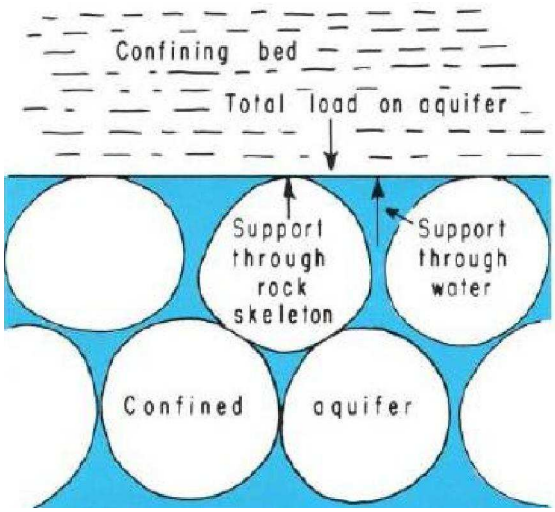
الانضغاطية	Compressibility, α (m^2/N or Pa^{-1})
Clay	10^{-6}–10^{-8}
Sand	10^{-7}–10^{-9}
Gravel	10^{-8}–10^{-10}
Jointed rock	10^{-8}–10^{-10}
Sound rock	10^{-9}–10^{-11}
Water (β)	4.4×10^{-10}

CONFIDENTIAL BAYAN

الخزن النوعي للخزان الجوفي :

\ هو حجم الماء الذي يتحرر من وحدة حجم الطبقة المائية عند انخفاض عمود الماء الهيدروليكي بمقدار وحدة واحدة .

ان انخفاض عمود الماء الهيدروليكي يدل على انخفاض انضغاطية الماء وزيادة انضغاطية رسوبيات الخزان الجوفي . ، بمعنى آخر ان سبب تحرر أو خروج الماء من المخزون تحت ظروف هبوط عمود الماء الهيدروليكي (hydraulic head) يعود الى :



ا- زيادة الإجهاد الفعال δe الذي يسبب انضغاطا في رسوبيات الطبقة المائية (α انضغاطية الوسط المسامي).

ب- انخفاض الضغط المسلط على الماء p (الذي يعتمد على انضغاطية الماء β) مسببا تمدد في حجم الماء .

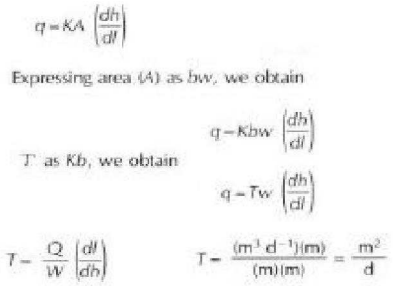
و بناءا عليه فان الخزن النوعي يمثل حجم الماء المستنزف من وحدة حجم الخزان الجوفي بسبب محصلة انضغاطية الماء والوسط المسامي والذي يعبر عنه بالمعادلة التالية :

$$S_s = \beta n \rho g + \alpha \rho g = \rho g(n\beta+\alpha)$$

حيث : α تمثل انضغاطية الوسط المسامي .
β تمثل انضغاطية الماء.
n تمثل المسامية.
ρ تمثل الكثافة .
g تمثل التعجيل الارضي .

الناقلية ومعامل الخزن في الخزانات الجوفية المحصورة:Transmissvity and Storage Coefficients

معامل الناقلية يمثل قابلية الخزان على إمرار المياه من خلال السمك المشبع للخزان ، ويمكن تعريف معامل الناقلية لخزان جوفي محصور سمكه b حسب المعادلة التالية :


$$q = KA\left(\frac{dh}{dl}\right)$$

Expressing area (A) as bw, we obtain

$$q = Kbw\left(\frac{dh}{dl}\right)$$

T as Kb, we obtain

$$q = Tw\left(\frac{dh}{dl}\right)$$

$$T = \frac{Q}{W}\left(\frac{dl}{dh}\right) \qquad T = \frac{(m^3 d^{-1})(m)}{(m)(m)} = \frac{m^2}{d}$$

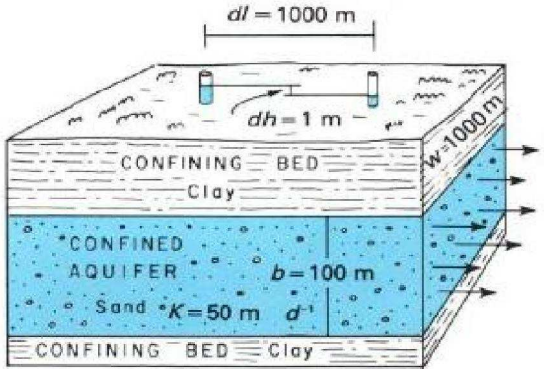
$$T = Kb$$

حيث K تمثل الايصالية الهيدروليكية وتقاس (m/sec) .
T تمثل الناقلية ووحدتها m^2/ sec .

و أيضا يعرف معامل الناقلية بمقدار تصريف المياه Q من وحدة عرض الخزان W ولكل وحدة انخفاض في منسوب المياه الجوفية(dh/ dl). وحسب المعادلة التالية :

$$T = Q / [W . dh/dl]$$

معامل الخزن في الخزانات المائية المحصورة : يمثل حجم الماء الناتج من مخزون الطبقة المائية المحصورة لكل وحدة مساحة من سطح الطبقة المائية ولكل وحدة انخفاض في منسوب المياه الجوفية (dh). (شكل – a.) .



إن معامل الخزن S يمكن تعريفه حسب المعادلة التالية:

$$S = S_s b \quad \ldots\ldots \text{ or}$$

$$S = b \rho g (n \beta + \alpha)$$

ان معامل الخزن للطبقات المحصورة يتراوح بين 0.001- 0.00001 ، أما معامل الانتشار الهيدروليكي Diffusivity المعرف حسب المعادلة $D=T/S=K/S_s$ فانه غير مستعمل بشكل واسع .

الناقلية والعطاء النوعي للخزانات الجوفية غير المحصورة . Transmissvity and Specific yield(S_y)

ان تعريف معامل الناقلية للطبقات المائية غير المحصورة لا يختلف عن تعريف معامل الناقلية للطبقات المحصورة ، ويمكن استعمال المعادلة (T= Kb) للطبقات المائية غير المحصورة و لكن b تعبر هنا تعبر عن السمك المشبع للطبقة المائية .

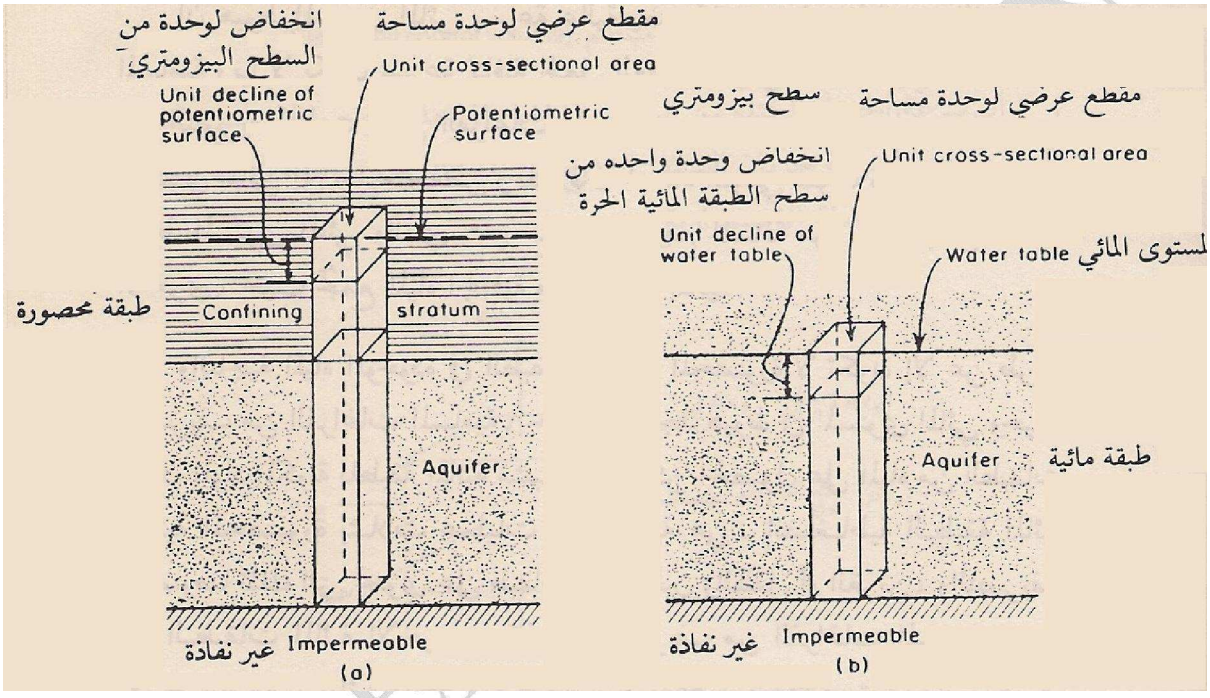
يعرف معامل الخزن للطبقة المائية غير المحصورة بالعطاء النوعي ويعرف بحجم الماء المنتج من مخزون الطبقة غير المحصورة لكل وحدة مساحة من سطح الطبقة المائية و لكل وحدة انخفاض في المستوى المائي(dh) ويسمى أحيانا بمعامل الخزن غير المضغوط والشكل (b.) يوضع هذه الفكرة .

ان معامل الخزن للطبقات غير المحصورة يتراوح بين 0.001 - 0.1 وكمثال يوضح تعريف معامل الخزن:

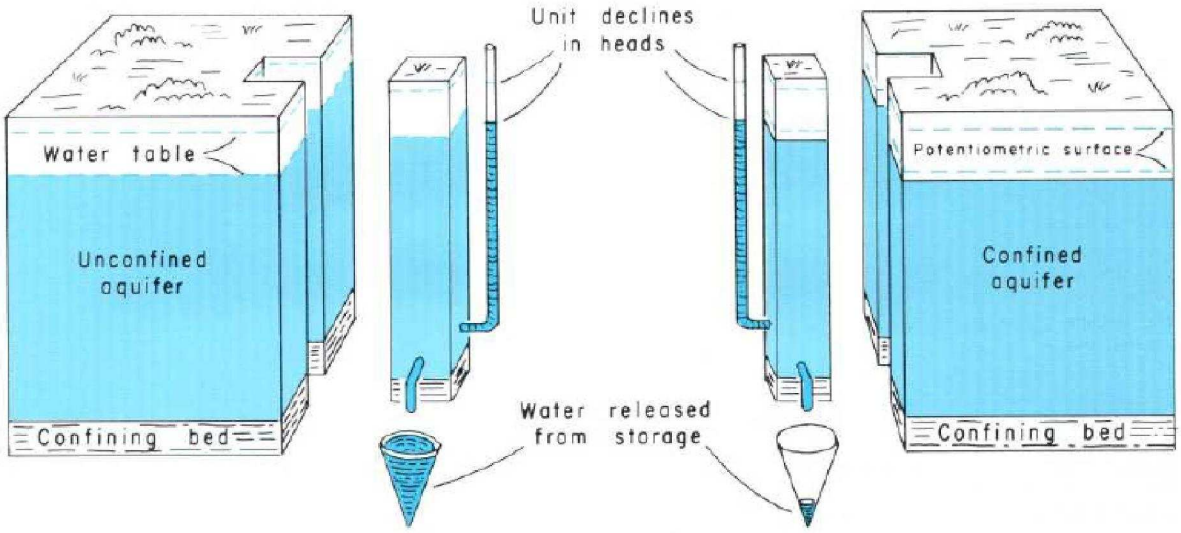
نفرض ان 4 م ^{3} من مياه طبقة مائية غير محصورة قد تحرر من منطقة أفقية مساحتها 10 م ^{2} وحدث هبوط في المستوى المائي مقداره 2 م فما هو معامل الخزن ؟ (20%)

$S= 4m^3 / 10m^2 \times 2m = 4/ 20 = 0.20$

ويمكن الحصول على معامل الخزن أو العطاء النوعي ومعامل الناقلية للطبقات المائية حقليا بواسطة تجارب الضخ .



شكل ( ) مظهر تخطيطي لمعامل الخزن في الطبقات المائية المحصورة و غير المحصورة .



الجريان المزدوج: Coupled Flow

لقد أثبتت كثير من التجارب المختبرية التي قام بها كثير من العلماء وعززوها بإثباتات نظرية ان المياه في الوسط المسامي تميل للجريان تحت ميول أخرى غير الميل الهيدروليكي فالميل الحراري يسبب في جريان المياه الجوفية عبر الوسط المسامي حتى بدون وجود الميل الهيدروليكي والميل الكهربائي يحدث جريانا للمياه من الجهد العالي نحو المنخفض وهذا يسبب تداخل في الشحنات الكهربائية المتجمعة في معادن الطين في التربة والشحنات الأيونية في المياه ، والميل الكيماوي يسبب في جريان المياه من المناطق ذات الملوحة العالية إلى المناطق ذات الملوحة الأقل ، وقد يحدث ذلك حتى مع غياب الميول الأخرى ، ويعتبر الميل الكيميائي مهما جدا في تلوث المياه الجوفية . ومن اجل اشتقاق قانون لجريان المياه تحت هذه الظروف دعنا نبحث في سرعة المياه في كل حالة على انفراد حتى نتمكن من اشتقاق القانون العام الذي يحكم جريان الحالات المجتمعة .

أ ـ إن سرعة المياه تتناسب طرديا مع الميل الهيدروليكي وبمعنى أخر فان :

$$V \propto dh / dl$$

$$V = -L_1 .\ dh / dl$$

ب ـ إن سرعة المياه تتناسب طرديا مع الميل الحراري وبمعنى أخر فان :

$$V \propto dT / dl$$

$$V = -L_2 .\ dT / dl$$

ج ـ إن سرعة المياه تتناسب طرديا مع الميل الكيماوي أي أن :

$$V \propto dC / dl$$

$$V = -L_3 .\ dC / dl$$

وفيما إذا لعبت كل من هذه الميول مجتمعة دورا في حدوث الجريان فإنها ستتبع قانون عام الجريان يمكن كتابته بالشكل التالي:

$$V = -L_1 .\ dh / dl - L_2 .\ dT / dl - L_3 .\ dC / dl$$

حيث إن h المنسوب الهيدروليكي و C التركيز الكيميائي و T درجة الحرارة و L_1, L_3, L_2 ثوابت التناسب

أهمية قانون دارسي :

تسري صحة قانون دارسي في حالة الجريان ألصفائحي حيث أن حركة المياه الجوفية صفائحية في معظم الحالات تقريبا كما ذكرنا سابقا فان قانون دارسي يصف جريان المياه الجوفية بشكل صحيح في معظم البيئات الهيدروجيولوجية ، وعموما فان قانون دارسي يستعمل :

1 ـ للجريان في الوسط المشبع وغير المشبع .
2 ـ للجريان الثابت وغير الثابت .
3 ـ للجريان في الأنظمة المتجانسة وغير المتجانسة .
4 ـ للجريان في الأنظمة المتشابهة وغير المتشابهة .
5 ـ للجريان في كل من الصخور المتشققة والحبيبات المسامية

إن تطبيق قانون دارسي له حدود معينة ، فهو قانون خطي linear law وإذا كان مفعوله ساريا في جميع الحالات ، فمعنى ذلك إننا إذا وضعنا السرعةV مقابل الميل الهيدروليكي dh /dl فان ذلك يعطينا خطا مستقيما لجميع الميول الهيدروليكية($0-\infty$) ولكن هنالك حالتين على الأقل يسري بها صحة قانون دارسي بالمعنى الخطي له في الجريان عبر المواد الحبيبية . أما الحالة الأولى فهي عندما يكون الجريان عبر رسوبيات منخفضة النفاذية وذات ميل هيدروليكي قليل وفي الحالة الثانية حيث يكون الجريان كبيرا وعبر رسوبيات عالية النفاذية ، وبعبارة أخرى فان هنالك حدودا دنيا وحدودا عليا لسريان صحة قانون دارسي وقد اقترح بعض العلماء شكلا عاما كقانون للجريان عبر الوسط المسامي ويمكن ان يكون :

$$V = -k(dh / dl)^m$$ ……………………………………………

فان كانت m=1 وهي كذلك لجميع الحالات العامة فان الجريان سيكون خطيا ويسمى عندها قانون دارسي أما إذا كانت $m \neq 1$ فيكون الجريان غير خطي لا ينطبق عليها قانون دارسي . وعموما فقد بين بعض العلماء إن سرعة الجريان العالية جدا تتخطى شروط قانون دارسي وتعتبر من الحدود العالية له. وقد اعتمدوا في ذلك على عدد رينولد الذي سبق شرحه والذي يستعمل بشكل واسع في ميكانيكا المائع للتميز يبين الجريان ألصفائحي والجريان المضطرب .

وقد اثبت العلماء ان قانون دارسي يعتبر صحيحا عندما يكون رقم رينولد مابين 1 -10 مع العلم بان الجريان في حدود هذا العدد يكون صفائحي عبر الوسط المسامي .إن سرعات الجريان التي تتجاوز الحد الأعلى لقانون دارسي قد تتواجد في التكوينات الصخرية مثل الحجر الجيري الكارستي و الدولومايت والمواد البركانية الكهفية .

ان حركة كتلة السائل، إما أن تكون محددة بمحيط صلب من جميع النواحي مثل حركة المياه في الوسط المسامي وحركة المياه في الأنابيب، و إما أن تكون محددة بمحيط صلب وسطحه العلوي ملامس للهواء مثل حركة المياه في القنوات والأنهار وفي الحالة الأولى يكون الضغط عند أية نقطة في الجريان اكبر أو اقل من الضغط الجوي ومن الممكن أن يتساوى مع الضغط الجوي عند بعض نقاط الجريان في بعض الحالات ، أما في الحالة الثانية فان الجريان له سطح حر والضغط عند

أية نقطة على هذا السطح يكون مساويا للضغط الجوي ويحدث الجريان تحت تأثير قوى الجاذبية . وعموما يقسم الجريان تبعا للعوامل التي تسبب الضغط والسرعة إلى :

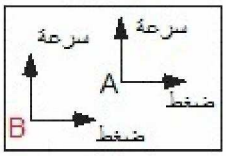
1 ـ الجريان الثابت في وسط متجانس: وهو ذلك الجريان الذي لا تتغير فيه السرعة والضغط مع الزمن عند أية نقطة محددة فيه .

2 ـ الجريان الثابت في وسط غير متجانس : هو الجريان الذي لا يتغير فيه متوسط السرعة والضغط مع الزمن من موضع لآخر على امتداد خط الجريان .

3 ـ الجريان غير الثابت في وسط متجانس: وهو الجريان الذي تتغير فيه السرعة والضغط مع الزمن عند أية نقطة محددة فيه .

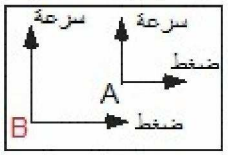
4 ـ الجريان غير الثابت في وسط غير متجانس: هو الجريان الذي يتغير فيه معدل (متوسط) السرعة والضغط مع الزمن من مكان لآخر على امتداد المجرى.

جريان ثابت (منتظم) في وسط متجانس

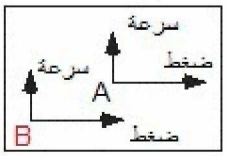


Isotropic, Homogeneous

جريان غير ثابت(غير منتظم)في وسط متجانس

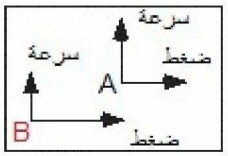


Anisotropic, Homogeneous



Isotropic, Heterogeneous

جريان ثابت (منتظم) في وسط غير متجانس



Anisotropic, Heterogeneous

جريان غير ثابت (غير منتظم) في وسط غير متجانس

تعيين سرعة حركة المياه الجوفية :

يمكن تعيين اتجاه وسرعة حركة المياه الجوفية في الطبقات المائية بطرق متعددة أهمها استعمال الملونات او الأملاح حيث يتم حفر أبار المراقبة على مسافة معينة من البئر الاختيارية وفي حالة معرفة اتجاه التيار الجوفي تحفر آبار المراقبة باتجاه التيار بعد البئر على نفس المسافات أما إذا كان اتجاه التيار غير معلوم فيتم حفر آبار المراقبة بشكل دائري :

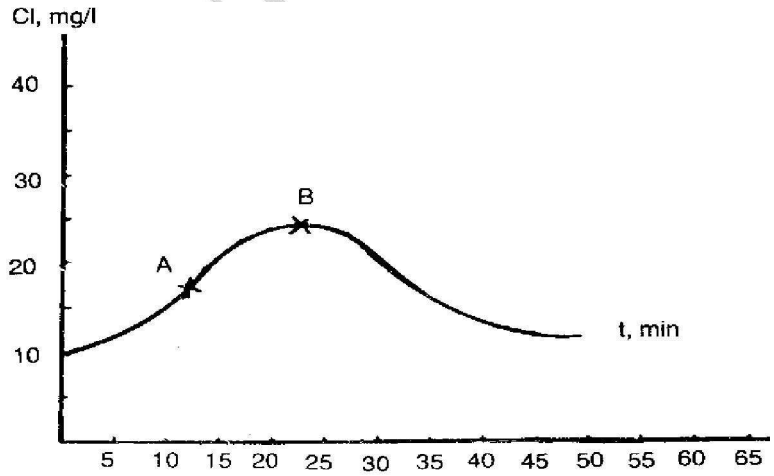
- على بعد (1- 1.5) م في حالة الطبقات المائية المكونة من الرمال خشنة الحبيبات .
- على بعد (0.5-1) م في حالة الطبقات المائية المكونة من الرمال الدقيقة ومتوسطة الحبيبات .

وبعد ذلك يتم ضخ محلول ملح الطعام بحيث يزيد فيه تركيز الكلور بألفين مرة عن تركيزه في المياه الجوفية إلى داخل البئر الاختيارية ويراعى تعيين محتوى الكلوريدات في الماء من البئر الاختيارية ومن آبار المراقبة قبل إجراء التجربة ومن ثم يحدد الزمن اللازم لوصول الكلوريدات إلى آبار المراقبة بمعرفة زمن إدخال الملح إلى البئر الاختيارية وقياس محتوى الكلوريدات في ا لماء المراقبة بواسطة اخذ العينات من المياه كل 10 دقائق ويتم تعيين محتوى الملح في المياه الجوفية بواسطة نترات الفضة ، حيث تتفاعل نترات الفضة مع الكلوريدات معطية راسب من كلوريدات الفضة ذو اللون الرمادي القاتم . والبئر الذي يظهر فيه الملح قبل غيره يكون واقع في اتجاه تيار المياه الجوفية . ويمكن تعيين السرعة الحقيقية لحركة المياه الجوفية حسب المعادلة التالية:

$$V = l / t$$

حيث أن l : تعبر عن المسافة بين البئر الاختيارية وبئر المراقبة الواقعة في اتجاه التيار بالأمتار .

t : الزمن منذ بداية وضع المحلول الملحي في البئر الإنتاجية ولغاية ظهور في بئر المراقبة .



ومن اجل تعيين t يمكن رسم منحني يبين العلاقة بين محتوى الكلوريدات في المياه الجوفية وبين الزمن الذي مر منذ بداية التجربة بحيث يوضع محتوى الكلور (ملغم / لتر) في ماء بئر المراقبة على المحور الرئيسي ومدة المراقبة بالدقائق او الساعات على المحور الأفقي (شكل -) ويؤخذ الزمن t مساويا لقيمة الاحداثي الأفقي الواقع مقابل نقطة انحناء المنحني (A) وتنصح بعض المراجع بأخذ قيمة t للاحداثي الأفقي المساوي للمسافة حتى النقطة العظمى (B) .

شكل ( ) انتشار الكلور عند تعيين السرعة الحقيقية لحركة المياه الجوفية .

WADEE AL-BAYAN

ان سرعة حركة المياه الجوفية في الطبقات المائية شديدة الملوحة وخاصة تلك التي يزيد فيها محتوى الكلور عن 500 - 600 ملغم / لتر . لا نستطيع تعيينها بواسطة الأملاح وعندما تكون الطبقات الكتيمة متعرجة بشدة فان محلول ملح الطعام ذو التركيز الأعلى من تركيز المياه الجوفية سوف يترسب في الأماكن المنخفضة من الطبقة الكتيمة وبالتالي إعطاء قيما غير حقيقية عن سرعة الماء . لذا يستعاض عن ملح الطعام في مثل هذه الحالات بالإصباغ العضوية التي يمكن اكتشاف وجودها في الماء عندما يكون تركيزها في الماء يتراوح ما بين (0.000001% - 0.1%)

إن صبغة الفلور في المياه الجوفية القلوية التي تحتوي على كميات كبيرة من المركبات العضوية يكون لها لون اصفر مخضر وهي أكثر ثباتا في التركيز القليلة ولكي تذوب الصبغة تضاف إليها الصودا الكاوية وغاز النشادر بكميات قليلة . ولكل نوع من أنواع الصخور تستعمل كمية محدودة من صبغة الفلور ويظهر في الجدول التالي ( ) كميات الصبغة التي يمكن استعمالها لأنواع مختلفة من الصخور .

جدول (5.3) تركيز صبغة الفلور المستخدمة في الصخور المختلفة

نوع الصخر	صبغة الفلور ملجم/ م٣
الصخور الرملية	٠,٥
الصخور الطينية الرملية	١,٠
الصخور الطينية	١,٥
الصخور المتشققة	١,٢
الصخور الكارستية	٠,٦

أما في المياه الجوفية الحامضية فينصح بإضافة ازرق المثيلين او ازرق الا نيلين او غير ذلك عوضا عن صبغة الفلور ويستخدم الفلوروسكوب لتعيين كمية المواد الصيغية في الآبار الاختيارية وهو عبارة عن مجموعة من الأنابيب المحضرة من الزجاج الشفاف ، وتعبأ الأنابيب بمحاليل صابغات الفلور بتركيزات مختلفة تتراوح ما بين 0.001 وحتى 0.00000001 غم /لتر . بحيث لا يختلف لون المحلول ذو التركيز القليل عن لون الماء النقي . وتؤخذ بعد مدة معينة عينات من الماء من آبار المراقبة تقارن مع معايير الفلوروسكوب . ويعين تركيز المادة الصيغية . ثم ترسم علاقة تبين التغيير في تركيز المادة الصيغية في مياه البئر الاختبارية كما في تجربة ملح الطعام التي سبق شرحها وتعيين سرعة حركة المياه الجوفية بأخذ قيمة t من الاحداثي الأفقي لنقطة انحناء المنحني .

كذلك يمكن تعيين سرعة المياه الجوفية بواسطة الطريقة الالكتروليتية ، حيث يتم إدخال محلول كهربائي او الكتروليتي معين مثل محلول كلوريد الألمنيوم إلى البئر الاختيارية ثم ينتظر ظهوره في آبار المراقبة من خلال تغير التوصيلية الكهربائية للمياه .

هذا وقد بدء حديثا استعمال النظائر المشعة والمستقرة لتعيين سرعة حركة المياه الجوفية حيث تسمح الحساسية العالية وبساطة القياسات الإشعاعية بتعيين الكمية الصغرى من النظائر في المياه الجوفية . وتستعمل النظائر المشعة كذلك من اجل اكتشاف الطبقات الحاوية للمياه في الآبار المغلقة بأنابيب او المحفورة بطين الحفر ومن اجل تعيين سرعة انتقال الأملاح في المناطق العليا من الطبقات الحاوية للمياه . وهناك أنواعا من النظائر المشعة وخاصة التريتيوم الذي يمكن أن يستعمل كاشفا في الحقل دون إظهار أي خطر للتلوث . وتجدر الإشارة إلى أن هنالك نظائر مشعة أخرى يجب حصر استعمالها في الدراسات المختبرية فقط بسبب خطر مستويات إشعاعها والجدول (6.3) يعطي فكرة عن بعض الكواشف (tracers) المستعملة لكشف حركة المياه الجوفية .

جدول ( ) المواد و طرق الكشف المستخدمة في حساب سرع المياه الجوفية .

Colorimetry	Chemical Determination
Organic dyes and stains, water soluble	Soluble chloride salts
Soluble chromate salts	Boron, borax, and boric acid
Amaranth dye	Copper sulfate
Basic fuchsin	Dextrose
Congo red	Ethanethiol
Eosine	Sodium glyceral phosphate
Magenta	Sodium iodide
Methylene blue	
Sodium fluorescein	Nuclear Radiation
Mass Spectrography	Bromine 82
Helium	Calcium 45
Hydrogen ?	Cobalt 60
	Hydrogen 3 (Tritium)
	Iodine 131

الضغط الهيدروستاتيكي :

إن أية نقطة في السائل في حالة السكون النسبي تقع تحت تأثير السائل المحيط (جزء من السائل على جزء آخر) وهذا ما يسمى بقوى الضغط الهيدروستاتيكي وهو يؤثر إلى الداخل باتجاه عمودي . وضغط السائل على أية نقطة واقعة في جسم الماء عبارة عن قوة على وحدة مساحة وتكون دائما عمودية على المستوى الذي تؤثر عليه واتجاهاتها متساوية للداخل .

وضغط الماء في الظروف الهيدروستاتيكية يعكس وزن عمود الماء الذي يقع فوق وحدة مساحة المقطع العرضي حول تلك النقطة . ويمكن التعبير عن الضغط نسبة لضغط الصفر المطلق ، ويعبر عنه عادة نسبة للضغط الجوي ويسمى عندئذ بضغط المقياس (Gauge pressure) وهو قراءة الضغط التي نحصل عليها عند تصفير الجهاز للضغط الجوي .

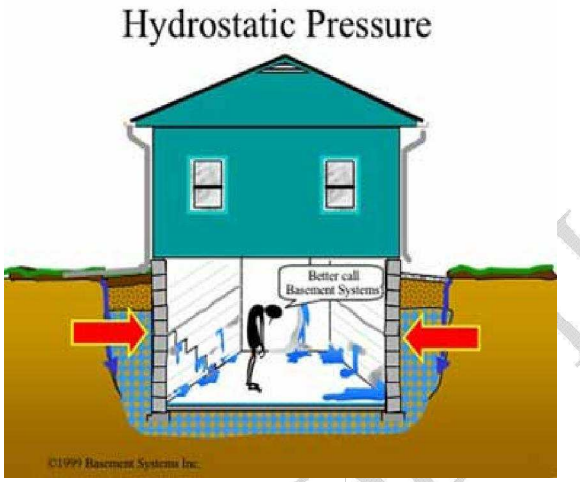
إن جميع النقط الواقعة داخل حجم معين من سائل ساكن تحقق القانون الأساسي في الهيدروستاتيكا الذي يمكن التعبير عنها حسب المعادلة التالية:

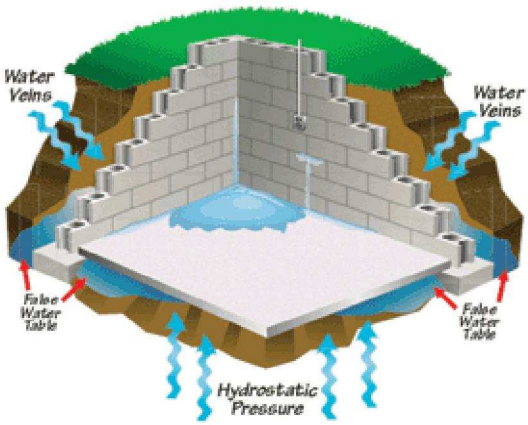
$$(P/\gamma)+z = \text{constant}$$

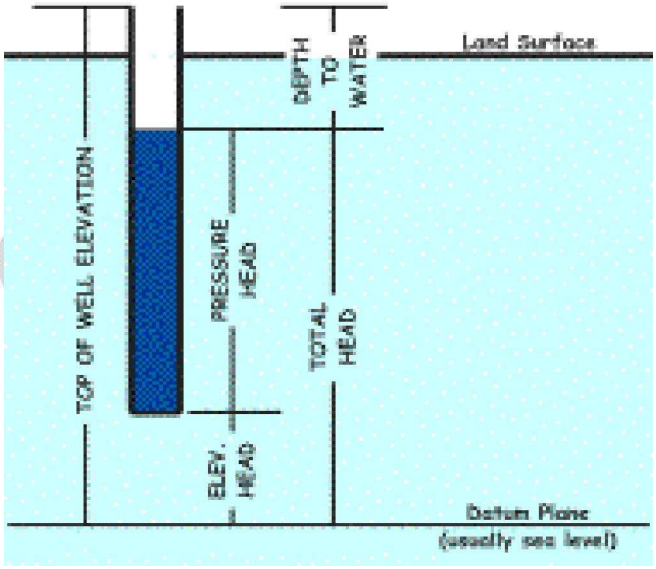
حيث أن P الضغط الهيدروستاتيكي و γ الوزن النوعي للسائل و z يعبر عن الإحداثي الرأسي لنقطة واقعة داخل حجم معين من سائل ساكن . فمثلا بالنسبة لنقطتين موجودتين في نفس الحجم من السائل وإحداثياتها z_2,z_1 فان :

$$(P_1/\gamma)+z_1 = (P_2/\gamma)+z_2$$

حيث تعبر z_2,z_1 عن الإحداثيات الرأسية للنقطة الأولى والثانية . و p_1,p_2 تعبر عن الضغط الهيدروستاتيكي في النقطتين الأولى والثانية . و γ هو الوزن النوعي للسائل .







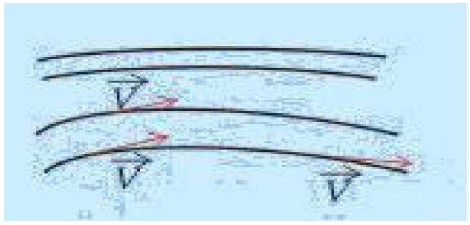
الضغط الراسي (h): pressure head

يعرف الضغط الراسي في أية نقطة في السائل بارتفاع عمود الماء الذي يظهر في المانوميتر (manometer) الموجود في تلك النقطة .

و الضغط الراسي في الماء يساوي عمق نقطة القياس تحت السطح ، وإذا عبرنا عن الضغط (p) كما في ضغط المقياس فان : $P= \rho. g. h$

وعليه فان الضغط الراسي هو مقياس لضغط السائل (p).

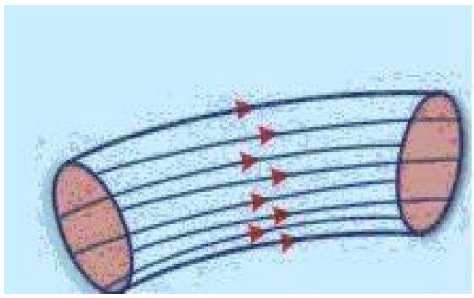
المسار: (trajectory) يعرف مسار جزيء ما بأنه الطريق الذي يسلكه ذلك الجزيء أثناء حركة السائل خلال فترة زمنية معينة ،وشكل المسار لا يتغير مع الزمن في حالة الجريان المستقر بينما تتغير قيمة واتجاه السرعات باستمرار مع الزمن في حالة الجريان غير المستقر ، وعلى ذلك فان مسار الجزيئات المختلفة يتغير أيضا مع الزمن .



خط الجريان أو الانسياب : stream line

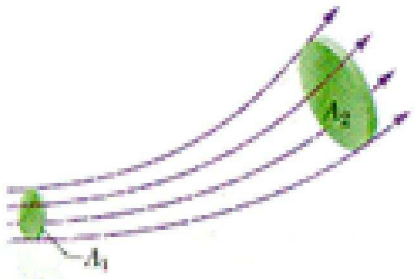
هو منحني يمر بمجموعة نقاط في السائل المتحرك في لحظة معينة بحيث يكون متجه السرعة مماس لذلك المنحني ، أي إن خط الجريان يمثل اتجاه حركة الجزيئات الموجودة عليه في لحظة زمنية معينة بينما المسار يمثل الطريق الذي يسلكه جزيء ما خلال فترة زمنية معينة .

أنبوب الجريان: stream tube



إذا أخذنا في الاعتبار مساحة صغيرة ΔA في سائل متحرك فان الحجم المتكون بواسطة حزمة من خطوط الجريان المارة بجميع نقاط تلك المساحة يسمى أنبوب الجريان ، وفي حالة الجريان المستقر فان شكل خطوط الجريان ومساحة مقطع أنبوب السريان وشكله لا يتغير مع الزمن وكذلك فان حجم السائل الذي يمر خلال مقطع معين من أنبوب الجريان في وحدة الزمن لا يتغير من مقطع إلى آخر في أنبوب الجريان ، وحيث إن مساحة مقطع أنبوب الجريان صغيرة فانه يمكن اعتبار أن السرعة متساوية في جميع نقط تلك المساحة هذا علما بان شكل ومساحة مقطع أنبوب الجريان وكذلك السرعات تختلف من مكان لأخر على امتداد الجريان .

مقطع الجريان: (flow area) هو المقطع العرضي العمودي على جميع خطوط الجريان المتقاطعة معه، ويكون مقطع الجريان مستويا أي إذا كانت خطوط الجريان متوازية، ويكون منحنيا إذا كانت خطوط الجريان غير متوازية.



التصريف: Discharge

التصريف هو عبارة عن حجم السائل المار عبر مقطع الجريان (A) في وحدة الزمن، ويرمز له بالرمز (Q) أي أن الحجم / الزمن Q=

وحيث إن سرعة الجريان (V)في أنبوب الجريان تكون ثابتة عند جميع نقاط مساحة مقطع الجريان في الجريان المستقر فان: $Q=VA$

معادلة الاستمرارية للجريان المستقر: continuity equation for steady state

إن معادلة الاستمرارية للجريان المستقر :

تنص على أن التصريف المار في مقاطع الجريان المختلفة لا يتغير أي أن:

$$Q=Q_1=Q_2\ldots\ldots= \text{Constant}$$

ومنه فان :

$$Q=V_1A_1=V_2A_2\ldots\ldots\ldots\ldots=VA$$

وحيث أن مساحة مقطع الجريان ومعدل السرعة من الممكن أن يتغير من مقطع لأخرى فان:

$$V_1/V_2 =A_2/A_1$$

أي أن معدل السرعة تتناسب عكسيا مع مساحة مقطع الجريان.

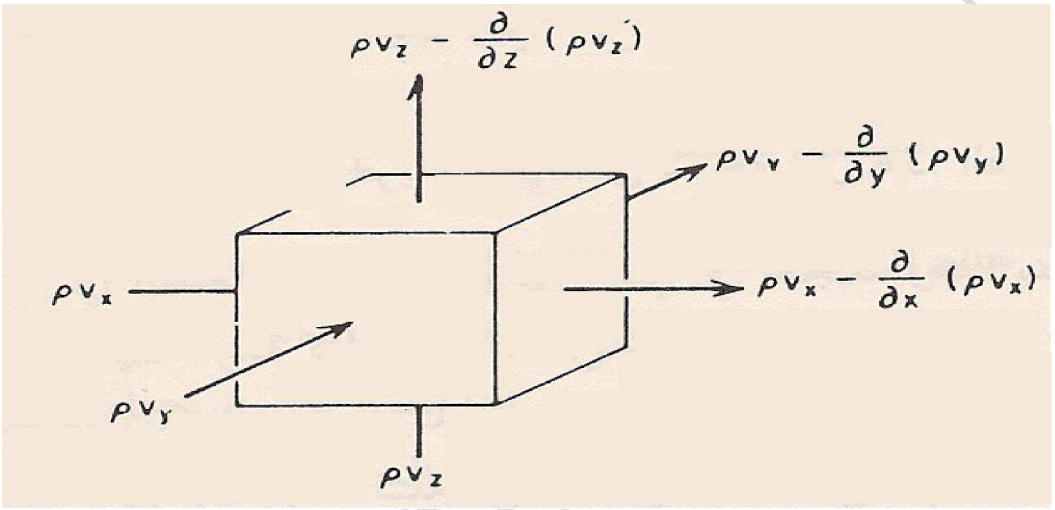
CONFIDENTIAL-AYAN

معادلات جريان المياه الجوفية:

يعتبر قانون دارسي الذي سبق شرحه القاعدة الأساسية لجريان المياه الجوفية في الوسط المسامي .وسنقدم التطورات المختصرة لمعادلات الجريان في الحالات التالية :

1 ـ الجريان الثابت: Steady flow

الجريان الثابت هو الجريان الذي لا تتغير فيه السرعة والضغط مع الزمن عند أية نقطة محددة فيه . والشكل ( ) يبين وحدة حجم لوسط مسامي ويدعى بالحجم الأساسي المنتظم . إن سرعة الجريان لكتله من السائل الداخل إلى هذا الحجم الأساسي المنتظم تكون مساوية لسرعة جريان السائل الخارج من هذا الحجم . وهذا يترجمه الشكل الرياضي التالي لمعادلة الاستمرارية .



شكل (17.3) وحدة حجم لوسط مسامي(الحجم الأساسي المنتظم) .

$$[- \partial(\rho V_x) /\partial x - \partial(\rho V_y) /\partial y - \partial(\rho V_z) /\partial z] = - \partial\rho / \partial t$$

حيث إن ρ تعبر عن كثافة السائل و t تعبر عن الزمن .

وحيث أن الظروف في حالة الجريان الثابت لا تتغير مع الزمن وبما ان الماء يعتبر مائعا وغير قابل للانضغاط ρ ثابتة لذا فان المعادلة السابقة يمكن اختصارها إلى :

$$[- \partial(\rho V_x) /\partial x - \partial(\rho v_y) /\partial y - \partial(\rho v_z) /\partial z] = 0$$

وباستبدال V_x ، V_y ، V_z ب(k i) من قانون دارسي ووضعها في المعادلة السابقة نحصل على معادلة الجريان الثابت عبر الوسط المسامي المشبع وغير المتشابه(anisotropic) وكما يلي :

$$\partial /\partial x\ (K_x .\ \partial h/\partial x) + \partial /\partial y\ (K_y .\ \partial h/\partial y) + \partial /\partial z\ (K_z .\ \partial h/\partial z) = 0$$

وبما أن ($K_x = K_y = K_z$) في الأوساط المتشابهة isotropic و(ثابت =) في حالة الأوساط ($K_{x,\ y,z}$) المتجانسة homogenous فإننا نستطيع الحصول على معادلة خاصة للجريان الثابت خلال الوسط المتشابه والمتجانس كما يلي :

$$\partial^2 h / \partial x^2 + \partial^2 h / \partial y^2 + \partial^2 h / \partial z^2 = 0$$

وتدعى هذه المعادلة بمعادلة لابلاس

2- الجريان غير الثابت : Unsteady flow

لقد سبق وعرفنا الجريان غير الثابت بالجريان الذي تتغير فيه السرعة والضغط مع الزمن عند أية نقطة محددة فيه ، ومن اجل اشتقاق قانون عام للجريان المشبع وغير الثابت في الوسط المسامي يلزم فهما لانضغاطية الطبقة المائية و انضغاطية السوائل اللذين يحكمان هذا الجريان. إن التغير في انضغاطية السائل يعني التغير في حجمه وهذا يسبب تغيرا في كثافته ، وبالتالي فان سرعة كتلة من السائل شكل ( ) الناتجة من تمدد الماء تحت هذه الظروف تساوي n. ∂ρ / ∂t وكذلك فان انضغاطية الطبقة المائية تعكس التغير في مساميتها وبالتالي فان سرعة كتلة من السائل الناتجة عن تغير المسامية مع الزمن تساوي ρ . ∂n / ∂t وحيث أن سرعة كتلة من السائل في الجريان غير الثابت تشتمل على الحالتين السابقتين ، فان سرعة من السائل (شكل -) هي : ∂ρn / ∂t

CONFIDENTIAL

وحسب قانون بقاء المواد للجريان غير الثابت في الوسط المسامي الذي يتطلب أن تكون السرعة النهائية (net rate) لجريان كتلة من السائل في أية وحدة حجم من الوسط المسامي تساوي السرعة الزمنية لتغيير مخزون كتلة السائل داخل العنصر ( ) وعليه فان معادلة الاستمرارية تأخذ الشكل التالي :

$$[- \partial(\rho v_x) /\partial x - \partial(\rho v_y) /\partial y - \partial(\rho v_z) /\partial z] = - \partial(\rho n) / \partial t = n. \partial \rho / \partial t + \rho. \partial n / \partial t$$

وبما أن التغير في ρ ,n يحدث بسبب تغير منسوب الماء وحجم الماء الناتج عن هبوط المنسوب الهيدروليكي وحدة واحدة يعرف بالخزن النوعي ($Ss = \rho g(n \beta + \alpha)$) فان سرعة السائل (السرعة الزمنية لتغيير مخزون كتلة من السائل تصبح $Ss\ \rho. \partial h / \partial t$

وبوضعها في معادلة استمرارية نحصل على:

$$[- \partial(\rho v_x) /\partial x - \partial(\rho v_y) /\partial y - \partial(\rho v_z) /\partial z] = \rho\ Ss\ \partial h / \partial t$$

وبتوسيع هذه المعادلة وقسمة طرفيها على ρ وبإدخال قانون دارسي عليها نحصل على المعادلة التالية :

$$\partial /\partial x (K_x. \partial h/\partial x) + \partial /\partial y (K_y. \partial h/\partial y) + \partial /\partial z (K_z. \partial h/\partial z) = Ss\ \partial h / \partial t$$

وهذه هي معادلة الجريان غير الثابت في الوسط المسامي المشبع وغير المتشابه . أما إذا كان الوسط المسامي متشابه ومتجانس فان المعادلة السابقة تصبح:

$$\partial^2 h / \partial x^2 + \partial^2 h / \partial y^2 + \partial^2 h / \partial z^2 = Ss/k\ .\ \partial h / \partial t$$

وتعرف هذه المعادلة بمعادلة الانتشار diffusion equation ، ان حل $h(x, y, z, t)$ يصف قيمة المنسوب الهيدروليكي في أي نقطة من حقل الجريان وفي أي زمن ، ويتطلب هذا الحل معرفة العناصر الهيدرولوجية الأساسية (k, n, α) وعناصر السائل (ρ, β) وفي الحالة الخاصة للطبقة المائية الأفقية ذات السمك b وفيها ($T=Kb, S =Ss\ b$) فان المعدلة السابقة تصبح على شكل بعدين وكما يلي :

$$\partial^2 h / \partial x^2 + \partial^2 h / \partial y^2 = S/ Kb\ .\ \partial h / \partial t$$

والحل $h(x, y, z)$ يصف المنسوب الهيدروليكي في أية نقطة على المستوى الأفقي عبر الطبقة المائية الأفقية في أي زمن وهذا يتطلب معرفة عناصر الطبقة المائية T, S

CONFIDENTIAL

آبار المياه : Water wells

البئر هو ثقب أو ممر غالبا ما يكون عموديا ، يحفر في الأرض لغرض استخراج المياه الجوفية إلى السطح ،ويمكن تقسيم الآبار حسب عمقها إلى قسمين :

1- آبار ضحلة وهي الآبار التي تصل أعماقها لغاية 35 مترا وتستلم المياه من ترسبات جوفية ذات نفاذية ، وقد تتغذى مياهها بالمياه السطحية الراشحة خلال التربة .

2- آبار عميقة وهي التي يزيد عمقها عن 35 مترا ، وتستلم مياهها من الطبقات المائية العميقة .

وتصنف آبار المياه حسب الغرض من حفرها إلى :

- آبار استكشافية : وتحفر من اجل التحري عن المياه الجوفية .
- آبار إنتاجية : وتحفر من اجل استغلال المياه الجوفية .

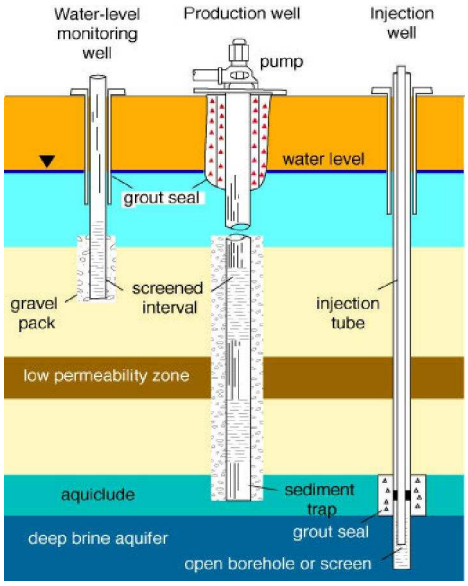
شكل ( ). بئر انتاجي لتجهيز المياه لاغراض مختلفة . geoheat.oit.edu

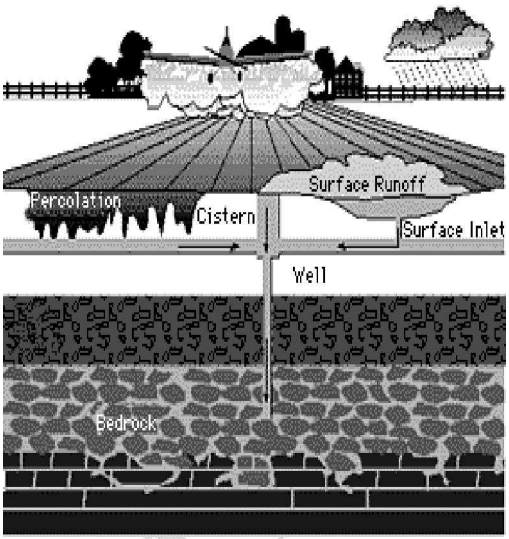
- آبار مراقبة : وتحفر من اجل مراقبة تذبذبات المستوى المائي وتستعمل لمراقبة نوعية المياه .

شكل ( ). بئر للمراقبة الهيدروجيولوجية . www.geobacter.org

- آبار التطعيم الاصطناعي : وتحفر لغرض تغذية المياه الجوفية صناعيا .
- آبار بزل وتصريف : وتهدف إلى التخلص من مياه البالوعات والنفايات الصناعية والمياه المالحة من الحقول الزراعية.

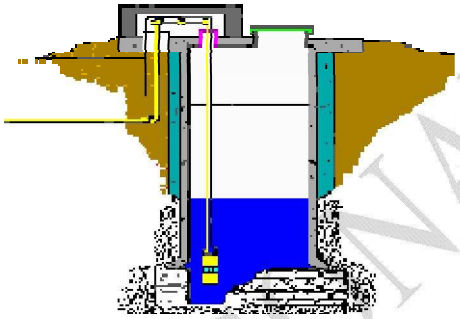
ويعتمد اختيار طريقة معينة لحفر الآبار على الهدف من تجهيز المياه وعلى كمية المياه المطلوبة وعلى الظروف الجيولوجية وعمق المياه الجوفية وعلى العوامل الاقتصادية . ويجب ان يتم تطوير الآبار وفحصها قبل عملية الضخ وقبل تركيب المضخة ويجب عمل صيانة دورية لها من اجل ديمومتها وحفاظا عليها من التلوث السطحي .





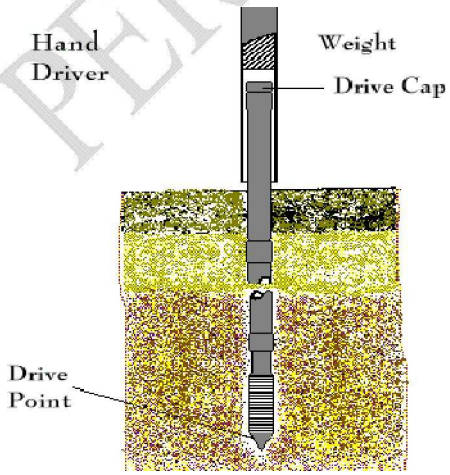
أنواع الآبار :

الآبار المحفورة يدويا :Dug wells



و تعتبر أقدم أنواع الآبار ويتم حفرها يدويا إلى عمق قليل ، ويرجح اكتشافها تاريخيا إلى منطقة الشرق الأوسط التي ما يزال فيها كثير من هذه الآبار ، وتستعمل بصورة عامة لسد الحاجات المنزلية من المياه ويتم تغليفها بواسطة الأخشاب او الصخور أو المعادن وغالبا ما تستعمل الخرسانة في التغليف ، ويحتوي جزء التغليف السفلي على فتحات صغيرة تسمح بمرور الماء ، ويستمر حفر هذه الآبار لحين تدفق المياه إلى داخلها وتختلف أعماقها حسب عمق المستوى المائي وتتراوح ما بين 5 -15 مترا ، أما أقطارها فتتراوح ما بين 1- 5 متر . ويمكن إغلاق هذه الآبار أو أبقائها مفتوحة ويعتمد ذلك على طريقة سحب الماء منها ، ويجب إغلاق فوهاتها خوفا من التلوث ويفضل إنشاء سياج إسمنتي بارتفاع 30 سم على الأقل حول فوهة البئر لتغطيته ، كما يجب تصريف كافة المياه السطحية بعيدا عن البئر .

الآبار المدفوعة: Driven wells

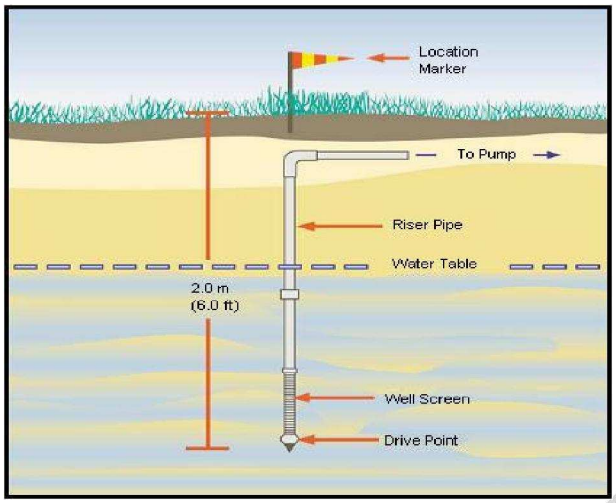


تتكون هذه الآبار من سلسلة من الأنابيب الطويلة المتصلة بعضها مع بعض وتدفع إلى داخل الأرض بواسطة ضربات متكررة لتصل إلى أسفل المستوى المائي ويتم دخول الماء إلى البئر من خلال رأس اختراق يتكون من مقطع اسطواني مثقب يحيط به مخروط فولاذي يحميه أثناء اندفاعه داخل الأرض .

تتراوح أقطار هذه الآبار ما بين 0.6 - 10 سم تقريبا ، ويصل عمقها إلى 16 متر ويوجد منها القليل بعمق 30 متر . ويتم استخراج الماء من هذه الآبار بواسطة المضخات ذات النوع المناص أو الشافط ، وإذا أردنا الحصول على تجهيز ماء مستمر فيجب ان يكون مستوى الماء قريبا من سطح الارض .

PERSONAL

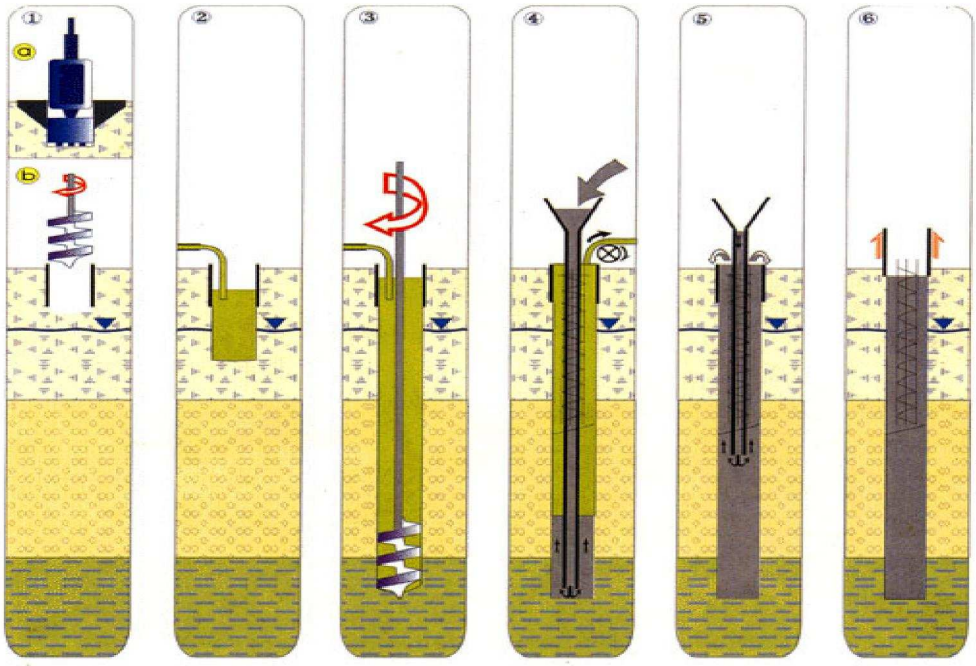
تستعمل هذه الآبار لسد الحاجات المنزلية إذ أن إنتاج هذه الآبار يعتبر قليل وتتراوح تصريفاتها ما بين 4.5 - 11.4 م3 / دقيقة ، وتستعمل كذلك لأغراض استكشافية في التحري عن المياه الجوفية .



ويمكن استعمالها لتخفيض المستوى المائي بحفر مجموعة من الآبار وضخ المياه منها بشكل مستمر ، لتجفيف الحفر وخاصة أثناء إنشاء المباني تحت السطحية أو في حالة حفر الأساسات ، ويعتبر حفر الآبار المدفوعة من ابسط طرق الحفر المستخدمة في استخراج المياه من الأعماق الضحلة ، حيث يمكن دفعها بواسطة ثقل دافع معلق ببكرة مربوطة على ركيزة ثلاثة أقوام ، وتكون نقطة الدفع اكبر قليلا من انبوب التبطين وتستخدم عادة المضخات اليدوية لسحب الماء من هذه الآبار ، علما بأنه يمكن استخدام المضخات الكهربائية لهذه الغاية .

الآبار المجوفة : Bored wells

يستخدم المثقب Auger لحفر هذه الآبار التي تتراوح أقطارها ما بين 250 - 600 ملم ، حيث يتم دفعه داخل الأرض يدويا أو آليا ، ويجب أن تكون التربة في هذه الحالة متماسكة وذلك للمحافظة عليها من التهدم عند إخراج المثقب للتنظيف وإزالة التربة ، وبعد ان يصل المثقب إلى الطبقة المائية يتم تبطين البئر بالأنابيب والمصافي وتغليفها بالحصى المرصوص(gravel pack) .



الآبار المحفورة بالنفث أو الطرق: water Wells drilled by cable tools & injection

يتم حفر هذه الآبار بفعل تيار ماء متجه إلى أسفل بسرعة عالية حيث يقوم بتفتيت الترسبات وتعميق الحفرة ويخرج فتات القطع الصخرية معه من البئر . وتستعمل مطارق حفر لاختراق الطبقات المختلفة (شكل -) ، ويتم رفع أنبوب الحفر وتنزيله بسرعة لتحطيم صخور الطبقات واستخراجها بواسطة آلة نزح الفتات ، ثم يتم تبطينها بالكامل حتى أسفل مستوى المياه الجوفية ، وبعدها يتم إنزال ألانابيب مع مصافي إلى قعر البئر داخل انابيب التبطين وبسحب التبطين الخارجي لتصبح البئر جاهزة للضخ .

شكل ( ) حفارة الطرق(cable tool machine) .

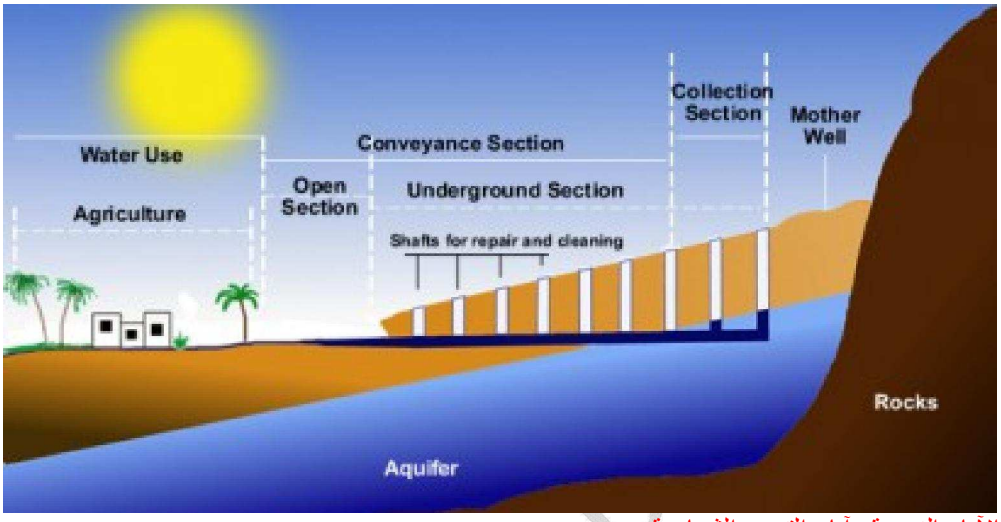
الآبار النفقية :Tunnel wells

يرجع أصل هذه الآبار الى قبل خمسة ألاف عام من الحضارة القديمة ، وامتد إلى بعض مناطق أسيا وإفريقيا وجنوب أوربا وعثر عليها في جنوب إفريقيا وفي بعض المناطق الصحراوية .

يتكون هذا النظام من بئر واحدة أو أكثر تسمى البئر الأم ، وتحفر عادة على امتداد الحدود الخارجية للأودية الصحراوية أو الأحواض شكل ( ) ، حيث ترشح المياه الجارية من الجبال الى المياه الجوفية ويصل عمق الآبار الأم من عدة أمتار إلى حوالي 300 متر وغالبيتها تتراوح ما بين 30 - 50 مترا ، ومن اجل الحصول على الماء دون استعمال مضخات يتم حفر نفق بعيدا عن البئر في نهاية المنحدر . وتحفر أنفاق بشكل راسي وعلى مسافات معينة أثناء إنشاء النفق لتامين التهوية اللازمة، ولرفع المواد التي تم تحطيمها إلى سطح الأرض ويتراوح قطر هذه الأنفاق حوالي 1 م ، أما طول النفق الأفقي فيتراوح من عدة مئات من الأمتار إلى حوالي 70 كم وفي الغالب يكون طوله بحدود 4 – 5 كيلومتر . ويمكن عمل أنفاق جانبية لزيادة التدفق ، ويتراوح معدل التدفق من هذه الأنفاق من عدة مئات من الأمتار المكعبة في اليوم إلى ما يزيد عن 25000 م3 باليوم .

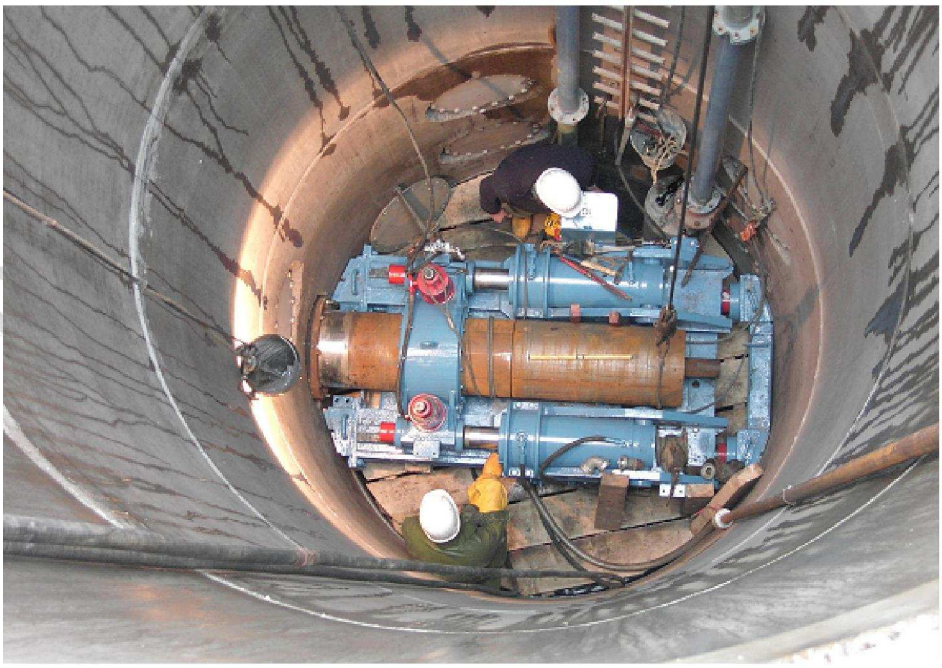
تحفر الآبار الأفقية بين الفترة والأخرى من الأسفل او بالقرب من الجداول بهدف جمع المياه الجوفية وتحفر في جوانب الجبال كمحاولة لسبر التطبق الأفقي وانطقة التهشم . إن وجود القواطع dikes او الحدود العمودية غير النفاذة بالقرب من المياه الجوفية يعمل على صدها ، والطبقات غير النفاذة الموجودة تحت الطبقة المائية تعمل على منع الرشح علما بان وجود النزازات والينابيع بالقرب من القواطع او فوق الطبقات غير المنفذة غالبا ما يكون مؤشرا جيدا لوجود المياه الجوفية .

تعتبر الآبار الأفقية حرة التدفق ، لذاك يجب تجهيزها بصمام او بجهاز خاص يتحكم في التدفق ، ولقد أنشئت مثل هذه الآبار في كثير من بلدان العالم .



الآبار النجمية وآبار التجمع الشعاعية:

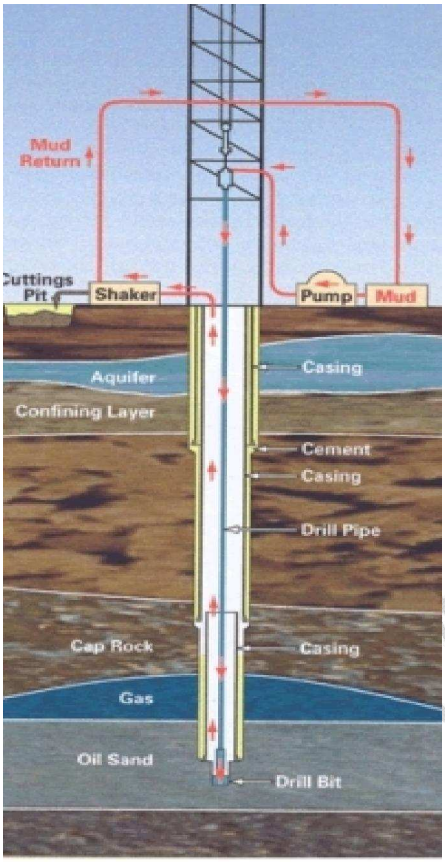
تحفر هذه الآبار عادة في المناطق القريبة من الأنهار للحصول على الماء لسد حاجات السكان وهي إحدى أنواع الآبار الأفقية وتتكون من 4 - 16 جامع أفقي تمتد بشكل شعاعي ومتماثل حول اسطوانة مركزية (شكل-) مكونة من حجرة كونكريتية بقطر 4 أمتار تقريبا وذات جدار بسمك 45 - 60 سم تقريبا . وبعمق حوالي 20 مترا وقد يصل أحيانا إلى (60) مترا . أما الجامع فيتكون عادة من أنبوب مشرح بقطر 20 - 60 سم وطول حوالي 30 -90 مترا وهو يشبه أنابيب التبطين .

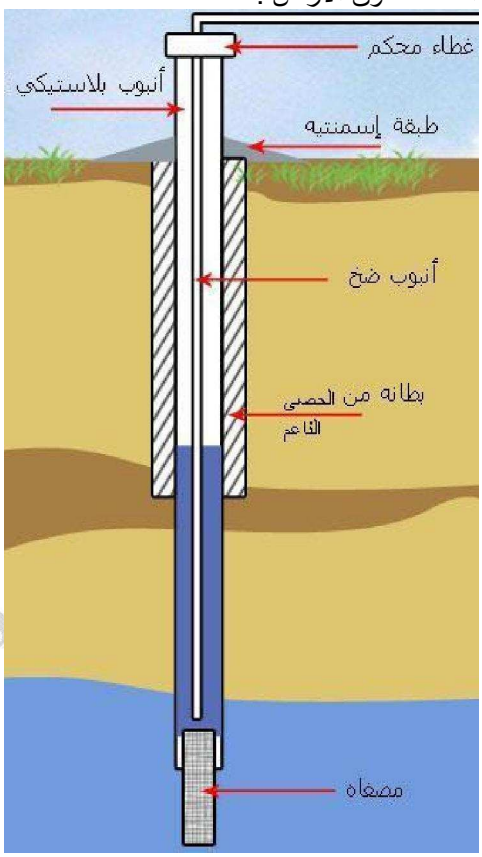


شكل.( ). بئر شعاعي افقي داخل البئر المركزي.

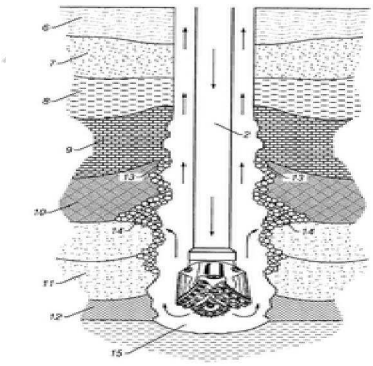
الآبار الأنبوبية : Boreholes

البئر الأنبوبية تحفر في الأرض وتمر عبر طبقات حاملة للماء وطبقات غير حاملة للماء ويمكن تبطينها بأنابيب صماء مقابل الطبقات غير الحاملة للماء وبأنابيب مثقبة أو بمصافي مقابل الطبقات الحاملة للماء وتحفر معظم الآبار في أيامنا هذه على هيئة ابار عمودية او مائلة ويجب ان تكون ابار الضخ ذات قطر كاف يسمح بدخول المياه الجوفية ، ويجب ان تتكيف مع حجم المضخة وفي حالة المياه الجوفية الضحلة جدا يمكن وضع المضخة فوق الأرض .





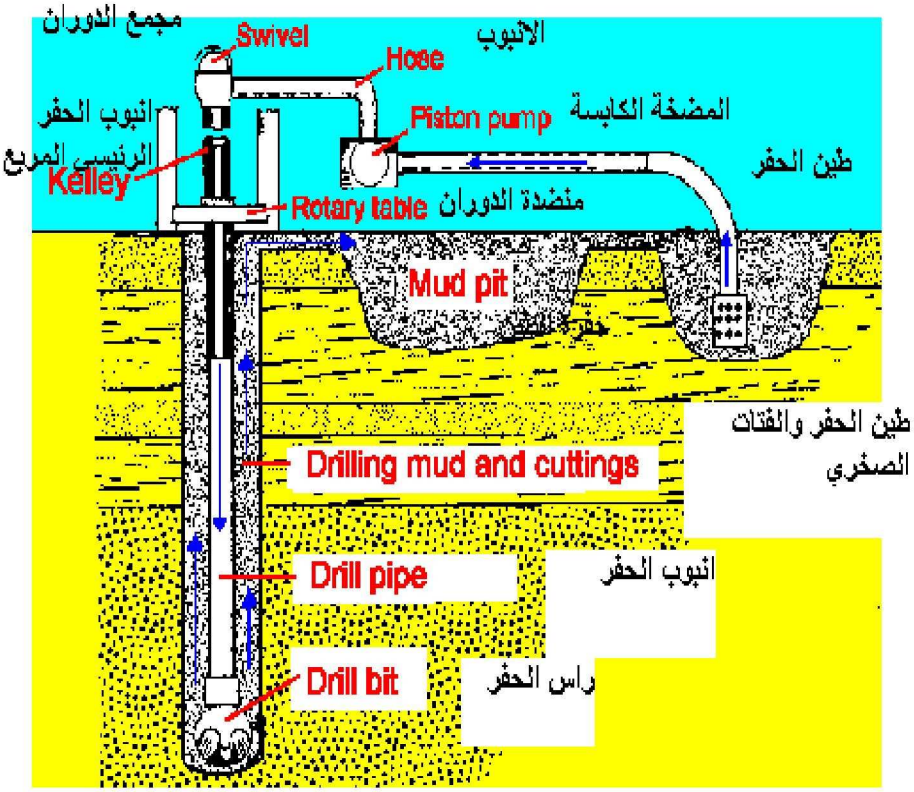
تتراوح أعماق هذه الآبار من عدة أمتار إلى ما يزيد عن ثلاثة ألاف متر وقد تكون بأقطار متغيرة وتسمى بالآبار التلسكوبية شكل ( ).



.وغالبا ما تتراوح أعماق معظم الآبار بين 20 - 500 متر وتحفر الآبار الصغيرة الضحلة المستعملة للأغراض المنزلية ولأغراض الزراعة باستعمال طريقة الدفع او النفث (الحقن) ويمكن حفرها يدويا إذا كانت المواد تحت السطحية غير متماسكة وخالية من الحجارة أما الآبار العميقة ذات المواد المتماسكة فإنها تحفر ميكانيكيا باستعمال طرق الحفر المختلفة ويجب تغليف الآبار المحفورة في الطبقات غير المتماسكة بأنابيب تبطين لحماية البئر من الانهيار ويجب استعمال مصافي خاصة أو أنابيب تغليف مشرحة أو مثقبة للسماح للمياه الجوفية بدخول البئر.

طرق حفر الآبار العميقة :

تتم عملية الحفر باستخدام سوائل الحفر المختلفة (شكل -) مثل خليط البنتونايت بالماء أو المواد المساعدة الأخرى.



شكل.( ). عملية الحفر باستخدام سائل الحفر(الوسط طين البنتونايت).

إن أهم الطرق المستعملة في حفر الآبار العميقة هي :

طريقة الحفر بالكيبل أو بالطرق :Cable tool method

يتم حفر الآبار في هذه الطريقة بالإسقاط المتكرر لرأس حفر ثقيل بشكل أزميل إلى أسفل البئر لتحطيم الصخور المتماسكة والرمال غير المتماسكة والحصى ويتم الحفر بشكل متقطع وعلى فترات لإتاحة الفرصة لتحريك المواد المكسرة بواسطة صمام الحفر النازح (الدلو) ويتغير طول رأس الحفر من واحد متر في حالة الآبار ذات الأقطار الكبيرة إلى بضعة أمتار في حالة الآبار ذات الأقطار الصغيرة أما المنزحة فتتكون من مقطع أنبوبي يلتصق به صمام عند القعر ويتصل عند القمة بحلقة يربط بها حبل وعند إنزال المنزحة إلى البئر يسمح الصمام للقطع الصخرية المحطمة بالدخول ويمنعها من الخروج ويتم رفعها إلى السطح بعد امتلائها بالمواد الصخرية حيث يتم تفريغها وهي متوفرة بأقطار مختلفة الأبعاد وتتراوح أطوالها ما بين 3-9 متر تقريبا وسعتها ما بين 0.07 - 3.4 م3 تقريبا .

يتكون برج الحفر من سارية شبه عمودية منتصبة فوق البئر ورافعة متعددة الأسلاك ودعامة متحركة ويجب ان تكون السارية عالية بصورة كافية تسمح لأطول مجموعة من الأدوات والأنابيب لان ترفع خارج البئر ويتراوح ارتفاعها ما بين 9 - 15 متر تقريبا وغالبا ما تكون هذه المجموعة مثبتة على مركبة نقل ليتم نقلها من موقع إلى آخر بشكل سريع .

يعلق رأس الحفر بواسطة حبل موجود حول بكرة في أعلى السارية ، وتعمل الدعامة المتحركة ذات الطول المتغير على رفع وإسقاط النهاية الأخرى من سلك الحفر الذي يحمل الرأس الذي يتراوح طوله ما بين 40 - 100 سم ، أما عدد طرقاتها فيتراوح ما بين 20 - 60 طرقة في الدقيقة تقريبا .

يتم تدوير سلك الحفر لتتمكن المطرقة من تكوين حفرة مستديرة . يجب ان تضرب المطرقة قاع البئر بشكل دائم. هذا ويتم إضافة الماء لتبريد رأس الحفر وتقليل الاحتكاك،

شكل (5.4) حفارة الطرق

كذلك فان الماء وقطع المواد المحطمة تكون عجينة يتم إخراجها كل 121 - 152 سم حفر بإيقاف عملية الحفر ورفع العدة من البئر . وتعتمد سرعة الحفر على نوع الصخر وعلى وزن وقطر رأس الحفر وعلى عدد الضربات في الثانية وتعتمد كذلك على الخبرة العملية ، ويمكن أن تصل سرعة الحفر في المواد غير المتماسكة إلى عدة أمتار في اليوم ، أما في الصخور الصلبة فتصل إلى نصف متر أو اقل . وكلما زاد عمق البئر لزم أسلاك حفر إضافية وزاد الزمن اللازم لتحريك وإدخال حبال الحفر ودفع انابيب التبطين ، لذلك فان العمق العملي محدود ويتراوح ما بين 1000 - 2000 متر ، ويعتمد على نوع الأجهزة وعلى الظروف الحقلية ، وكقاعدة فان هذه الطريقة لا تستعمل في الآبار التي يصل عمقها إلى 600 مترا . يمكن الحصول على العينات من الآبار المحفورة بهذه الطريقة بواسطة طين الحفر ، ويمكن الحصول على عينات من مياه التكاوين المختلفة بعد دفع انابيب التبطين إلى البئر .

ان عملية التبطين ليس ضرورية في المواد المتماسكة ، ما عدا تلك التي تكون بالقرب من السطح وتستعمل لمنع ترشح المياه الضحلة والمياه السطحية إلى البئر . أما في المواد غير المتماسكة فمن الضروري إجراء عملية التغليف لحفظ البئر من الأنهار ،وفي حالة الحفر بالطين او في المواد الطرية الأخرى يجب دفع انابيب التبطين إلى أسفل البئر ولمسافة تصل (0.2 -1 متر) .

هذا ويجب تبطين البئر في ترسبات الحصى والرمال ويجب دفع انابيب التبطين إلى الأسفل في كل مرة لمسافة تتراوح ما بين 1 متر إلى عدة أمتار .

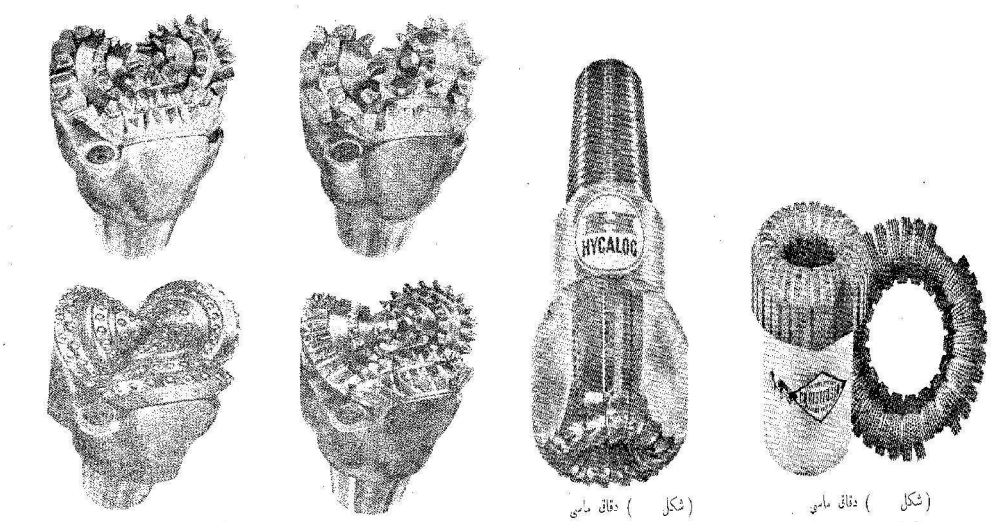
تعتبر تكاليف عملية الحفر بالدق رخيصة إذا ما قورنت بتكاليف الحفر ألدوراني إلا أنها تحتاج إلى وقت أطول ، ويعتبر العمق الذي يمكن الوصول إليه في هذه الطريقة محدودا . هذا ويسمح بانحراف راسي في البئر يصل إلى حوالي 15 سم لكل 30.5 متر ، ومشكلة الانحراف في الحفر تأخذ أهميتها في حالة الحفر في الطبقات الصخرية الصلبة . علما بأنه من الممكن تعديل الانحراف في الحفر باستعمال المتفجرات عند القاع لبعثرة الصخور المحيطة ثم متابعة الحفر بشكل راسي .

طريقة الحفر ألدوراني : Rotary drilling method

إن طريقة الحفر ألدوراني هي طريقة قديمة استعملها المصريون القدامى وقد تطورت هذه الطريقة عند استعمال الأدوات المعدنية وحفر آبار البترول والمياه .

يتكون رأس الحفر Cone bit من عدة دواليب مسننة دائرية تكون شكلا مخروطيا (شكل -) وأصابع كاربيدية مرنة مصنوعة بشكل برعمي متماثل في وجه رأس الحفر ، ويتم ربط رأس الحفر من أسفل أنبوبة الحفر المجوفة وتدار بسرعة 30-60 دورة في الدقيقة داخل البئر .

PERSONAL AYAT



(شكل) دقاق ماسي
مجوف لأخذ عينات الصخر الأسطوانية

(شكل) دقاق ماسي

(شكل) دقاق ثلاثي المخروطات
(أ) يستعمل في حفر صخور رخوة
(ب) يستعمل في حفر صخور متوسطة الصلابة
(د) يستعمل في حفر صخور صلبة جداً وبارزة
(جـ) يستعمل في حفر صخور صلبة

يتكون برج الحفر من رافعة - derrick او سارية - mast ومنضدة دوارة - rotating table ومضخة لطين الحفر mud pump ومنزحة - bailer و ماكنة وتتم عملية الحفر بفعل التكسير والطحن الذي تسببه الدواليب المسننة والبراعم او الأصابع أثناء دورانها فوق الصخور المختلفة الواقعة تحت ثقل أدوات الحفر الموجودة داخل البئر .

ويتكون سائل الحفر من خليط من البنتونايت او الطين والماء ، ويتم ضخه عبر أنبوب الحفر إلى الأسفل ليصل إلى رأس الحفر حيث يعمل على تبريدها ويقلل من تأثير احتكاكها ويقوم برفع القطع الصخرية المحطمة إلى الأعلى عبر المنطقة الفارغة بين جدار البئر وبين أنبوب الحفر، ويمكن إعادة استعمال طين الحفر المتدفق وضخه مرة أخرى خلال أنبوب الحفر بعد رفع وإبعاد الفتات الصخري الموجود فيه . ان استعمال أنابيب التبطين أثناء الحفر ألدوراني غير ضروري لان سائل الحفر يكون غشاء طينيا على جدار البئر يسمى بالكعكة الطينية mud cake وهي بدورها بالإضافة إلى الضغط الراسي لسائل الحفر الموجود في البئر والذي يكون أعلى من ضغط الطبقات ، يعملان على منع انهيار جدار البئر . يلعب سائل الحفر دورا هاما وحساسا في عملية الحفر ألدوراني فبالإضافة إلى عمله كمبرد و مزيت لرأس الحفر ، فهو يحرك قطع الحفر ويشكل غشاءا أو غطاء لحماية جدار البئر من الانهيار . أما الضغط الراسي للسائل في البئر الذي يزيد عن ضغط الطبقات فانه يحمي الكعكة أو الغشاء الطيني من التحطم ، ويمنع دخول الماء الموجود في التكوين إلى البئر حيث يقوم على لحم الجدار ويحافظ على سائل الحفر داخل البئر.

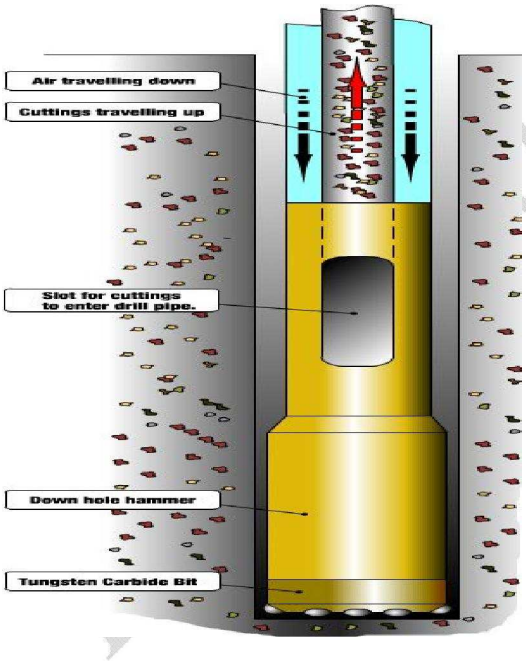
. وهذا يعتمد على خواص سائل الحفر مثل الكثافة وللزوجة وغيرها. فمثلا تعمل زيادة وكثافة سائل الحفر على زيادة الضغط الراسي داخل البئر عنه في التكوين وبذلك يبقى الفتات الصخري بحالة معلقة أثناء خروجه خلال البئر إلى أعلى ، هذا ويجب أن تكون سرعة التدفق إلى أعلى بحدود(100- 0.7 m/sec) لتتمكن من تحريك الفتات الصخري . ومن جهة أخرى فان زيادة الضغط الراسي الناتج عن زيادة كثافة سائل الحفر يمكن ان تسبب تحطما للكعكة التي لها أهميتها الكبيرة كما اشرنا في عملية الحفر وبذلك يمكن أن يحدث تهريب في سائل الحفر . وللزوجة العالية تعرقل عملية صعود الفتات الصخري إلى أعلى وهذا يسبب تجمع المواد الصخرية المفتتة حول رأس الحفر ويعرقل عملها ، كذلك فان زيادة اللزوجة تعمل على زيادة فواقد الاحتكاك - friction loss في أنبوب الحفر ، وينتج عن ذلك نقصان في سرعة الدوران وبالتالي تقل سرعة الحفر . وتعتمد قابلية الطين في تكوين الكعكة على جدار البئر وعلى خواص الترشيح .ويسمح الطين ذو الخواص الترشيحية العالية بمرور الماء عبر الكعكة ، إلا أن استمرار تراكم الطين على سطح التغليف يعمل على زيادة سمك الكعكة ، وكذلك فان حركة سائل الحفر باتجاه الأعلى تعمل على تأكل السطح الداخلي للكعكة ، وهذا يمنع السطح الداخلي من ان يكون سميكا جد. ويمكن تقليل الاحتكاك بين stuck pipe وبين كعكة الطين بتحديد كمية سائل الحفر المحتوي الرملي بإضافة مواد مزيته lubricants وطين ذات خواص ترشيح منخفضة ، لتكوين سطح رقيق في جدار البئر ،

وهذا ربما لا يمنع انهيار المواد غير المتماسكة وعموما يعتبر البنتونايت المادة الأساسية في طين الحفر وله تركيب صفائحي ، وعند مزجه بالماء تنتفخ حبيباته بمرور الماء بين الصفائح ويجب ان يحتوي سائل الحفر في آبار المياه على بنتونايت كاف للحصول على كثافة($1.14\text{-}1.02\ g/cm^2$) وتعتمد سرعة الحفر على صلابة الصخور وعلى شكل وحجم ونوعية رأس الحفر وسرعة دورانها وعلى الوزن الكلي عليها وعلى خواص سائل الحفر وضغطه أسفل البئر وسرعة دورانه . وتعتبر أجهزة الحفر ألدوراني معقدة وغالية الثمن بالمقارنة مع أجهزة الحفر بالطرق ذات الكفاءة نفسها ، ولكنها تحتاج إلى وقت أطول ويمكن ان يصل قطر البئر المحفور بطريقة الحفر ألدوراني إلى 54 سم وأكثر .

طريقة الحفر الدوراني العكسي : Reverse rotary method

تشبه طريقة الحفر ألدوراني العكسي طريقة الحفر ألدوراني العادي باستثناء ان دوران سائل الحفر تكون بالاتجاه المعاكس أي أن الضخ يتم باتجاه الأسفل خلال فراغ الأنبوب المزدوج ويرتفع باتجاه الأعلى خلال رأس وأنبوب الحفر وهذه الطريقة قادرة على حفر أبار ذات أقطار تصل إلى حوالي 122 سم من الصخور غير المتماسكة . وبما ان مساحة المقطع العرضي لأنبوب الحفر اقل بكثير من تلك التي في الفراغ الحلقي حول أنبوب الحفر . فان السرعات باتجاه الأعلى اكبر بكثير من مثيلاتها في طريقة الحفر ألدوراني الهيدروليكي ، وهذه ميزة خاصة في حالة حفر الآبار بأقطار كبيرة ، حيث تسمح باستعمال سائل حفر خفيف مثل المياه الطينية بدلا من طين الحفر .

ويتحقق ثبات جدار البئر في هذه الطريقة من ضغط سائل الحفر داخل البئر وتعتبر كعكة الطين المتكونة على جدار البئر رقيقة مقارنة مع مثيلاتها في الآبار المحفورة بطريقة الحفر ألدوراني الهيدروليكي ، ويمكن إضافة البنتونايت لبناء كعكة سميكة .



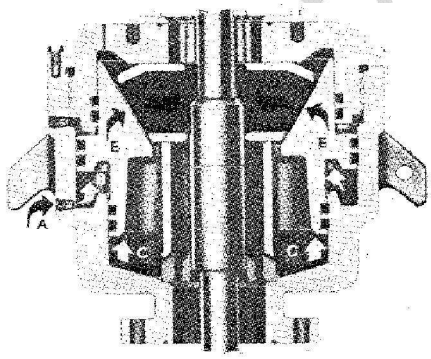
وهناك طريقة الحفر ألدوراني الهوائي ، حيث يتكون سائل الحفر من هواء جاف ورذاذ ورغوة وطين هوائي او سوائل أخرى اخف من الماء . ويجب ان تكون سرعة الدوران في الهواء الجاف عاليه بشكل كاف للحصول على سرعات باتجاه الأعلى - (10 - 30 م / ث) في الفراغ الحلقي بين أنبوب الحفر وجدار البئر لرفع الفتات الصخري واهم أسباب استعمال الهواء او سائل الحفر الخفيف هو زيادة سرعة الحفر . وتستعمل هذه الطريقة في الصخور المحطمة ويستعمل سائل حفر ذو نوع رغوي مع الهواء عند تدفق المياه الجوفية من البئر ، وتفضل الرغوة الصلبة - stiff foam أثناء الحفر في الطبقات غير المتماسكة .

إكمال وتجهيز البئر :well completion

يعني تجهيز البئر تهيئتها بعد إتمام عملية الحفر لاستقبال المياه الجوفية وتامين دخولها بأقل مقاومة ممكنة داخل التبطين وحوله وتغليف البئر بأنابيب التبطين المصنوعة من الحديد غير المصقول او من الفولاذ السبائكي او غير السبائكي او من النحاس او الاسبست وللتبطين أغراض كثيرة نذكر منها :

1 - منع انهيار الحفر
2 - تجنب دخول الماء غير المرغوب إلى داخل البئر .
3 - منع تسرب الماء الجيد من البئر إلى التربة السطحية .
4 - تجنب اختلاط التربة من جوانب البئر مع الماء .

يتم دخول المياه الجوفية للبئر الإنتاجية من خلال أنابيب مثقبة او مشرحة او من خلال مصاف خاصة صنعت لهذه الغاية . وتعمل هذه الأنابيب والمصافي على منع الرمال والمواد الناعمة الدقيقة من الدخول إلى البئر ، وتسمح بدخول الماء دون فواقد او انهيار في جدران البئر وتعتبر ضرورية في آلابار المحفورة في الطبقات الفتاتية وذات الحبيبات الناعمة ، وغير ضرورية في الآبار المحفورة في التكاوين المتماسكة ذات الجدران الثابتة حيث يتم دخول المياه الجوفية إلى البئر الإنتاجية من المسامات الطبيعية ومن الشقوق والاقنية او من أية فتحات أخرى في التكوين علما بان التبطين السطحي يعتبر ضروريا لحماية البئر من التلوث ، وغالبا ما يكون التبطين ضروريا لحماية البئر الإنتاجية من سقوط الجدران وانخسافها ، وفي الآبار النفطية تزود منظومة الحفر بمنظومة الوقاية من الانفجارات إذ تغلق بعد 15 ثانية من حدوث الانفجار وهي تعمل بنظام الهيدروليك والسدادات المطاطية ذات المقاومة العالية للضغط ودرجة الحرارة (شكل -)



(شكل) قطاع رأسي في جهاز منع الانفجار

أنابيب التبطين والمصافي :

عند اختيار أقطار الآبار الإنتاجية يجب مراعاة ان يكون قطر التغليف اكبر من قطر عمود المضخة بمرتين تقريبا حتى لا يعيق حركة العمود التي تسبب head loss ، وبشكل يسمح بقياس المستوى المائي داخل البئر. وإذا كان اختيار نوع أنابيب التبطين ضروريا لاعتبارات الاجهادات الواقعة على الأنابيب أثناء تثبيتها وعلى أكسدة المياه التي تلامسها فانه غالبا ما تكون أنابيب التبطين طويلة وذات مقاومة عالية ، أي قوية ، وقد أعطت أنابيب التبطين المصنوعة من الحديد المطاوع والفولاذ نتائج مرضية في كثير من المواقع .

يعتمد نوع المعدن المراد تصنيع مصافي منه ، على نوعية المياه الجوفية فإذا كانت المياه الجوفية مؤكسدة تصنع المصافي من مواد مقاومة للتآكل والصدأ .

المصفاة هي أنبوب أو اسطوانة مثقبة لها أقطار وأطوال مختلفة تسمح بدخول المياه إلى البئر وتعيق دخول الرمال والحبيبات الناعمة . هنالك العديد من أنابيب المصافي المصنوعة من البلاستك أو السبائك المعدنية(مغلونة أو مطلية بالكروم) المثقبة والمشرحة بطريقة تمنع الحبيبات من التجمع وغلق فتحاتها من خلال لفها بأسلاك معدنية بطريقة حلزونية ، وعموما يمكن تصنيع مصافي بشقوق وفتحات صغيرة تلاءم حجم مواد الطبقة المائية ، ويصنع بعضها من أسلاك مستديرة وبعضها من أسلاك مثلثة الشكل تقلل من تأثير حبيبات الرمل والحصى ، ويمكن تثقيب انابيب التبطين نفسها مقابل الطبقات الحاملة للماء . ويبين الشكل ( ) أنواع مختلفة من المصافي.

شكل ( ) أنابيب تبطين مثقبة ومصافي .

توزيع الحجم الحبيبي ومنحني التراكم ألحجمي لرسوبيات الخزان :

يعتمد تصميم الآبار الإنتاجية المحفورة في الطبقات غير المتماسكة على نتائج التحليل الميكانيكي او ألحجمي الذي يهدف الى تعيين حجم الحبيبات وتوزيعها ونسبتها في رسوبيات الخزان المراد وضع مصاف له وتتم هذه العملية في العادة بعد تفتيت العينات التي تؤخذ من مواد الطبقة حسب طرق اخذ العينات وتجزئتها بطريقة التربيع بعد تجفيفها من اجل الحصول على حجم مناسب للتحليل . وتتلخص طريقة التربيع بخلط العينة بشكل جيد وجمعها بشكل مخروطي على سطح مستوي كبير ، ومن ثم تمد وتسطح على شكل دائرة تقسم إلى أربعة أجزاء متساوية . يؤخذ منها الجزءان المتقابلان ويعاد مزجهما بشكل جيد وتكرر العملية حتى نحصل على الكمية المطلوبة للتحليل ، وتكون هذه العينة ممثلة تقريبا وتحمل نفس خواص العينة الأصلية الكبيرة . وبعد ذلك تنخل العينة الممثلة بمجموعة من المناخل المرتبة تصاعديا من الأسفل إلى الأعلى .

بعد ترتيب مجموعة المناخل توضع في هزاز ميكانيكي ، ثم يوضع وزن من العينة المفتتة في المنخل الأعلى ويقوم الهزاز الميكانيكي بتحريك المناخل في ثلاثة أبعاد (الطول ـ العرض ـ الارتفاع) ، وبذلك يسمح بالحركة الدائمة للحبيبات داخل المناخل . تتم العملية لمدة تتراوح بين 10 ـ 15 دقيقة . عندها يتم تصنيف العينة إلى عدة أحجام . ويوزن كل جزء منفصل بواسطة ميزان حساس ويحول هذا الوزن الى نسبة مئوية من الوزن الأصلي للعينة . ثم تحسب النسبة التصاعدية للوزن بجمع النسبة المئوية للوزن لمختلف الحجوم في العينة ابتداء من الحجم الأعلى وبصورة تراكمية حتى نصل في النهاية إلى النسبة 100 % . ويفضل عرض نتائج التحليل الميكانيكي على شكل جدول يبين الحجم والوزن والنسبة المئوية للوزن والنسبة التراكمية حسب أحجام المناخل . ثم يرسم منحني على ورق بياني يبين توزيع حجم الحبيبات بحيث توضع النسبة التراكمية بالوزن على المحور الصادي ولوغاريتم حجم الحبيبات او فتحات المناخل على المحور السيني وبذلك نحصل على منحنى توزيع الحجم الحبيبي او المنحنى التراكمي الذي يمكن بواسطته تعيين بعض المعاملات الحجمية الهامة التي يمكن استنباطها من المنحنى مباشرة.

يستعمل مصطلح معامل الانتظام Uniformity coefficient لوصف ميل الجزء الأكبر من منحنى توزيع الحجم الحبيبي ويرمز له بالرمز Cu وهو عبارة عن النسبة بين الحجم الممثل لكمية 40 % من العينة ، إلى الحجم الفعال effective size الذي هو عبارة عن الحجم الممثل لكمية 90 % من العينة .

يدل ارتفاع قيمة معامل الانتظام على قلة انتظام التدرج الحبيبي في حين يدل انخفاض قيمة معامل الانتظام على انتظام أكثر في تدرج الحبيبات . ويشير معامل الفرز sorting الذي هو عبارة عن الجذر ألتربيعي لحاصل قسمة حجم الحبيبات الممثل لكمية 25 % من العينة إلى حجم الحبيبات الممثل لكمية 75 % من العينة الى ميل منحني توزيع الحجم الحبيبي .

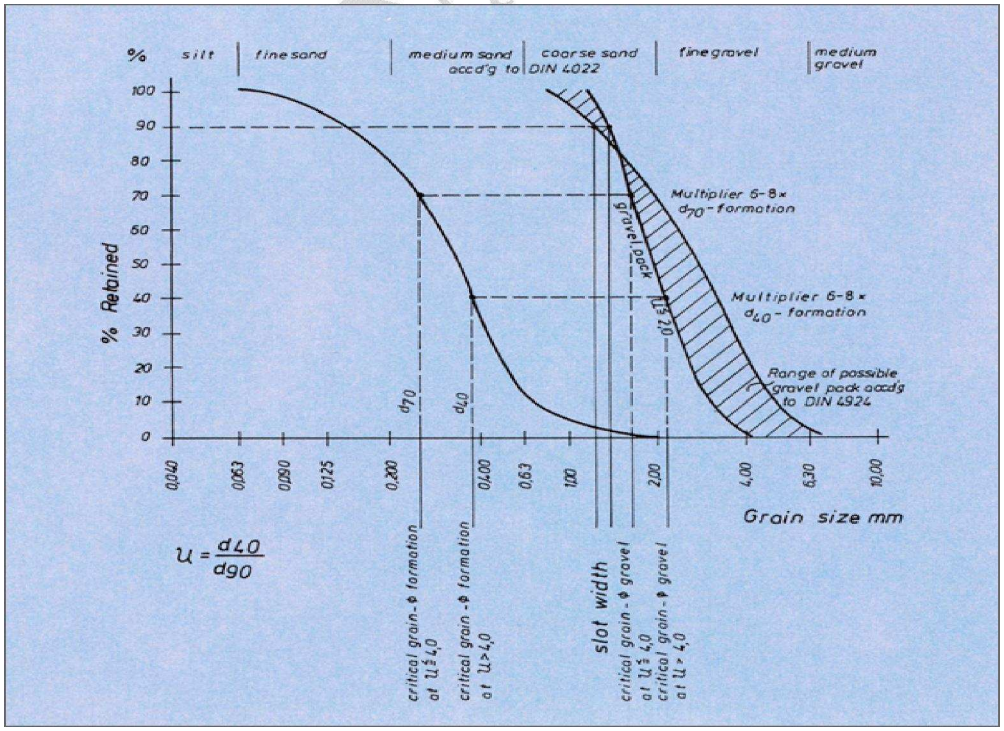
تحديد طول المصافي والمرشحات : (للاطلاع فقط)

تدخل المياه ألجوفية إلى البئر من خلال فتحات المصافي والأجزاء المثقبة من مواسير التغليف . وتعتمد سرعة دخول هذه المياه على مساحة الفتحات الفعالة التي تتراوح ما بين نصف إلى ثلث المساحة الكلية للمصافي . وبعد وضع المصافي في البئر تتراكم الرواسب حولها مما يسبب في إغلاق جزء من الفتحات المثقبة وهذا يعتمد على شكل الفتحات وحجمها وعلى نوعية الطبقة المائية ونوعية الحصى المرصوص حولها . وكمعدل فان نصف فتحات المصافي يغلق بمواد الطبقة المائية وتصبح المساحة الفعالة للمصافي حوالي 50 % من المساحة الحقيقية . ويعتمد اختيار طول المصافي على مساحة فتحاتها وعلى خواص الطبقة المائية وتكاليف الضخ وسعر المصافي وعلى عمر البئر الذي يمكن زيادته بمنع او تقليل هجرة المواد الناعمة إلى المصافي . وكما قد تبين ان اختيار طول المصافي يعتمد على سرعة دخول المياه الجوفية من خلالها وان هذه السرعة تتراوح ما بين 0.6 م/دقيقة - 3.6 م/دقيقة وتزداد هذه السرعة بزيادة الايصالية الهيدروليكية لصخور الطبقة المائية . وعموما تكون حبيبات الطبقة المائية ذات الايصالية الهيدروليكية المنخفضة ناعمة واصغر من حبيبات الطبقة المائية ذات الايصالية الهيدروليكية العالية . وقد اقترح Hunter,1970 القيمة العظمى لسرعة دخول المياه الجوفية بحوالي 3 سم /ث . وحيث ان عملية إغلاق فتحات المصافي تعتمد كثيرا على حجم الحبيبات فان هناك علاقة بين الايصالية الهيدروليكية للطبقات المائية وسرعة دخول المياه الجوفية للمصافي .

اختيار حجم الثقوب وحجم الحصى : (للاطلاع فقط)

يتم اختيار حجم فتحات المصافي وحجم الشقوق slot size اعتمادا على التحليل الميكانيكي أو ألحجمي لمكونات الطبقة المائية .

1- في حالة كون رسوبيات الخزان ناعمة ومنتظمة يكون معامل الانتظام C_u اقل من 3 يمكن اعتبار حجم فتحات المصفى مساويا لحجم فتحات المنخل الذي يساوي حجم الحبيبات الممثل لكمية 40% من العينة إذا كانت المياه الجوفية مؤكسدة ، و إذا كانت رسوبيات الطبقة المائية تحتوي على الرمل الخشن والحصى فيمكن اخذ حجم الفتحة ما بين حجم الحبيبات الممثل لكمية 30 % وحجم الحبيبات الممثل لكمية 50 % من جزيئات الرمل .



2- في حالة كون رسوبيات الخزان غير منتظمة ومعامل الانتظام اقل من 6 ، يؤخذ حجم فتحات المصفى مساويا لحجم الحبيبات الممثل لكمية 30% من العينة إذا كانت المواد التي تعلو الطبقة المائية ثابتة . وعندما تكون المواد التي تعلو الطبقة المائية معرضة للانهيار وغير ثابتة يؤخذ حجم فتحات المصفى مساويا لحجم الحبيبات الممثل بكمية 60 % من العينة.

3- في حالة اعتماد غلاف من الحصى حول المصافي يؤخذ حجم فتحات المصفى مساويا لحجم الحبيبات الممثل لكمية 90% من حجم المواد المستعملة في رص الحصى . وفي حالة احتواء التكوين المائي على طبقات مختلفة فانه يلزم إجراء تحليل ميكانيكي منفصل لكل طبقة على حدة وإذا كان حجم الحبيبات الممثل لكمية 50 % من مواد الطبقة ذات الحبيبات الخشنة اقل بأربع مرات من حجم الحبيبات الممثل لكمية 50 % من مواد الطبقة ذات الحبيبات الناعمة ، يمكن استعمال فتحات منتظمة ويجب اختيار حجم الحصى المرصوص اعتمادا على المواد الأنعم . وإذا كان الفرق بين حجم الحبيبات الممثل لكمية 50 % من مواد الطبقة ذات الحبيبات الخشنة والطبقة ذات الحبيبات الناعمة ، يزيد بأكثر من أربعة مرات . فان حجم الفتحات والحصى يجب ان تتلاءم مع الطبقات نفسها . فإذا كانت المواد الخشنة أسفل المواد الناعمة ، فيجب مد مصافي المادة الناعمة إلى أسفل بحيث تتجاوز المواد الخشنة 60 سم على الأقل . ويجب ان يزيد حجم ثقوب المصافي المستعملة للمواد الخشنة عن حجم ثقوب مصافي المواد الناعمة بمرتين ويتم عادة اختيار حجم الحصى على أساس حجم الحبيبات الممثل لكمية 50 % من مواد المستعملة في الرص ويجب ان يكون خمسة أضعاف حجم الحبيبات الممثل لكمية 50 % مواد الطبقة المائية وإذا كان حجم الحصى المستعمل منتظما يتم اختيار حجم الحبيبات الممثل لكمية 50 % من الحصى اعتمادا على مواد الطبقة المائية الناعمة .

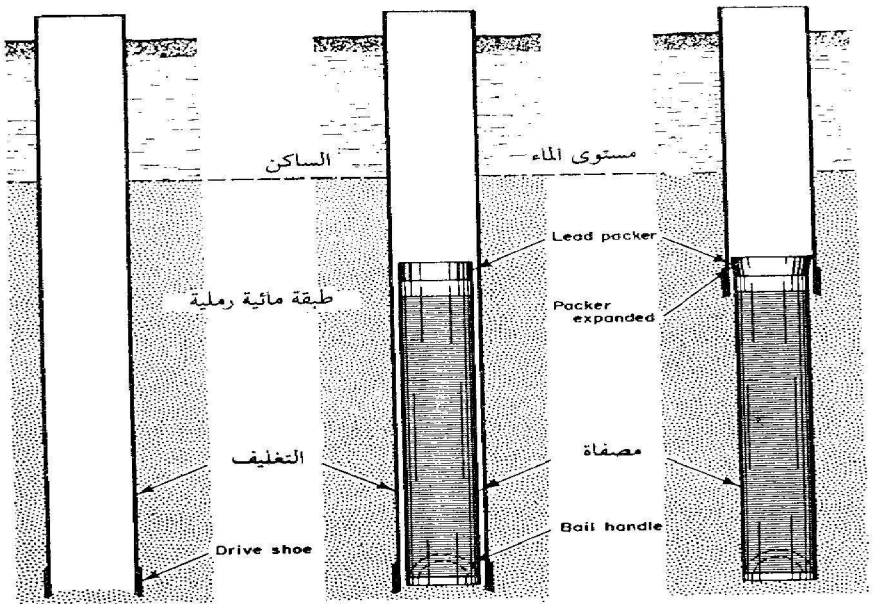
تثبيت المصافي والأنابيب المشرحة :

بعد اختيار حجم الثقوب وطول المصافي بشكل مناسب ، توضع المصافي داخل البئر الإنتاجي بدقة . وهناك طريقتان تستعملان في تثبيت المصافي وأنابيب التبطين المثقبة داخل الآبار الإنتاجية هما : -

ا - طريقة السحب pull back method

ب - طريقة إلانزال الحر bail down method

تستعمل طريقة السحب في الآبار المحفورة بالطرق(cable tool) حيث تكون مبطنة بشكل كامل بعد الانتهاء من حفرها . وتتلخص هذه الطريقة بإنزال المصفاة إلى قاع البئر وتثبيتها أسفل وداخل التبطين . ثم تسحب أنابيب التبطين إلى أعلى لمسافة حوالي 30 سم قبل النهاية العليا للمصفاة (شكل -) و تختم مع السطح العلوي للمصفاة . وإذا كان ذلك صعبا من الناحية العملية يمكن حفر البئر إلى عمق الطبقة العازلة المطلوب تبطينها ثم استئناف الحفر حتى الوصول إلى العمق المراد وضع المصافي فيه ليتم تثبيتها مع أنابيب تبطين اقل قطرا وتسمى الطريقة بالتدلي الحر.



شكل- تثبيت المصافي بطريقة السحب .

الغلاف الحصوي : Gravel pack

تستعمل حشوة الحصى في الآبار المحفورة في الطبقات المائية ذات النسيج الناعم مثل الحجر الرملي حيث يكون حجم الحبيبات الفعال اقل من 0.25 ملم ومعامل الانتظام اقل من 3 بهدف حماية الطبقات المائية من الانسداد بالمواد الناعمة شكل ( ) .

وتستعمل هذه الطريقة عندما تكون ثقوب المصافي كبيرة مما يقلل فعاليتها في منع حركة الرمال وتزيد فواقد البئر ويوضع الحصى حول المصافي والأجزاء المثقبة من أنابيب التبطين ليشكل غلافا يحمي المصافي من الانسداد ، ويتم اختيار الحصى المستعمل في عملية الرص بشكل مناسب بناءا على التحاليل الميكانيكية لمواد الطبقة المائية واعتمادا على حجم ثقوب المصافي . ويعمل هذا الغلاف على زيادة نصف قطر التأثير ويتراوح سمكه ما بين 15 - 25 سم علما بان 1.5 سم يكون فعالا لمنع حركة الرمال إلى داخل البئر ، ويراعى غسل الحصى وتنظيفه قبل جرفه من السطح ويجب ان يوضع بشكل تدريجي كي لا تتبعثر حبيبات الحصى التي يجب ان تتكون من مواد منتظمة او مدرجة حيث يمكن ان تشكل كلا من الحبيبات الناعمة والخشنة نطاقات خاصة بها وهذا يؤثر على فعالية الرص لان رمال الطبقة المائية يمكن

(شكل –) الغلاف الحصوي حول بئر .

أن تتحرك خلال النطاقات الخشنة ولتلافي ذلك يفضل وضع الحصى حول التبطين بواسطة أنابيب صغيرة لتامين انتظام حبيبات الحصى حول المصافي والتغلب على مشكلة حشر الحصى في مقاطع ضيقة ويمكن استعمال مضخات خاصة(بضغط الهواء) لضخ الحصى في مكانه. وفي الآبار المحفورة بطريقة الطرق حيث تمتد أنابيب التبطين إلى أسفل البئر مع إتمام عملية الحفر ، تنزل أنابيب تبطين داخلية إلى البئر خلال الأنابيب الخارجية وتثبت مع المصافي او تثقب وتستعمل كأنابيب مثقبة. ويتم وضع الحصى والرمال في الفراغ الحلقي بين انابيب التبطين والمصافي .ثم تسحب أنابيب التبطين الخارجية .

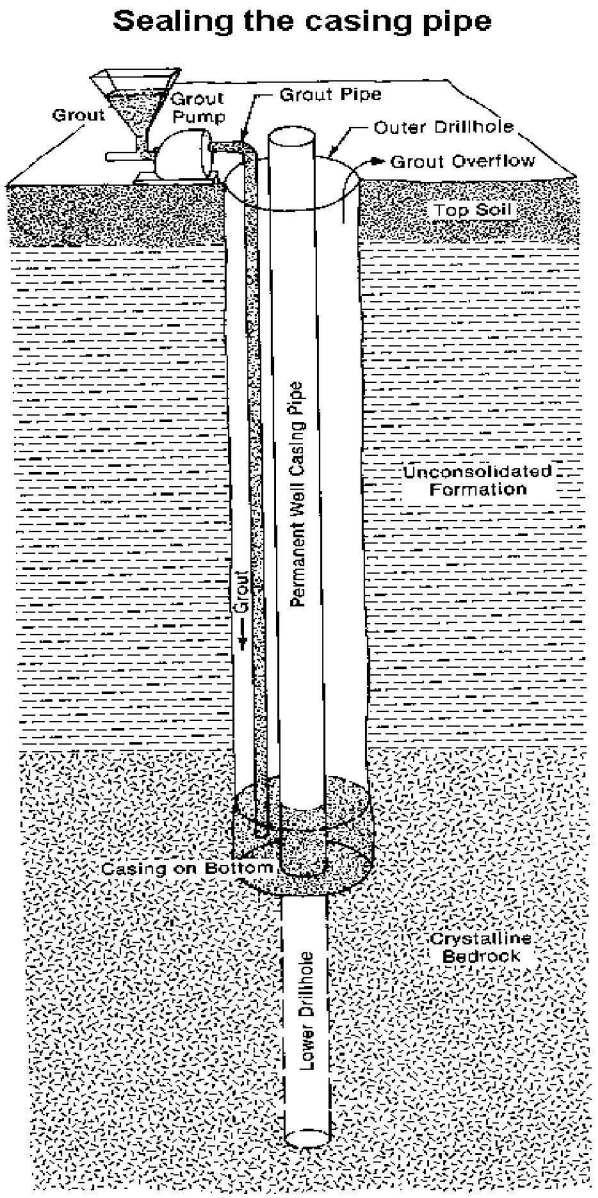
سمنته الآبار :WELL CEMENTING

تسمى عملية حقن او ضخ الملاط الأسمنتي بين انابيب التبطين وجدران البئر ، بسمنتة البئر . , شكل ( ).وهذه العملية تحمي المستوى المائي من التلوث وتمنع رشح المياه من الطبقات المائية العليا ذات النوعية المنخفضة إلى البئر وتعمل على تثبيت انابيب التبطين وتحمي سطحها الخارجي من التآكل وتمنع انهيار الطبقات الفتاتية وغير الثابتة حول البئر ، وتؤمن حماية وتطوير أفضل للطبقات المائية الموجودة حول المصافي ويمكن حقن جزء من البئر قبل إتمام عملية الحفر . والملاط الأسمنتي المستعمل في سمنت الآبار يتكون عادة من مزيج من حوالي 45 - 55 لتر من الماء لكل 100 كغم من الاسمنت . ويمكن إضافة البنتونايت ولتلافي تصلب الملاط بسرعة يجب خلط البنتونايت بشكل مستمر . وتتم عملية ضخ الملاط إلى البئر بواسطة أنبوب ذي قطر يتراوح بين 5 - 10 سم ويجب إطالته إلى أسفل المقطع المراد حقنه . وفي الآبار المحفورة بطريقة

PERSONAL-BAHAN

الحفر ألدوراني يمكن وضع حجم معين من الملاط الإسمنتي في البئر قبل التبطين. وتغلق انابيب التغليف من الأسفل بمادة قادرة على الحفر وتنزل إلى البئر ويتم ملئها بالماء او بسائل الحفر لزيادة وزنها . وهذا يجبر الملاط الإسمنتي على الدخول بينها وبين جدار البئر . وبعد تصلب الملاط او جفافه تستأنف عملية الحفر . ويحتاج ذلك إلى حوالي يومين او ثلاثة أيام . ولمنع تغلغل الملاط الأسمنتي في المصافي ومواسير التغليف المثقبة ، يتم حقن كمية من الرمل ذات حجم حبيبي يتراوح بين 0.3 - 0.6 ملم بعد غسله وتنظيفه ، إلى أسفل البئر بسماكة بضعة سنتمترات ، لتعمل جسرا واقيا يحمي المصافي .

ويجب إطالة أنابيب التبطين فوق سطح الأرض لمنع المياه السطحية من الجريان إلى أسفل وتلويث المياه الجوفية . وغالبا ما يتم عمل جدار إسمنتي عال حول فوهة البئر () يمنع دخول المياه السطحية إلى البئر ويصمم بشكل يخدم تامين المكان للمضخة ووحدة الطاقة بشكل غرفة ضخ . ويجب الا يلامس الجدار الأسمنتي مواسير التغليف بشكل مباشر لاختلاف خواص التمدد التي ربما تسبب كسر مواسير التغليف . ويمكن وضع مربط تمدد بينهما كما في الشكل ( ) .



شكل ( ) تسميت البئر .

ERSONAL-BAYAN

LECTURE-8

Groundwater Level and Fluctuations

مناسيب المياه الجوفية والتذبذب.

BAYAN

1434/10/08

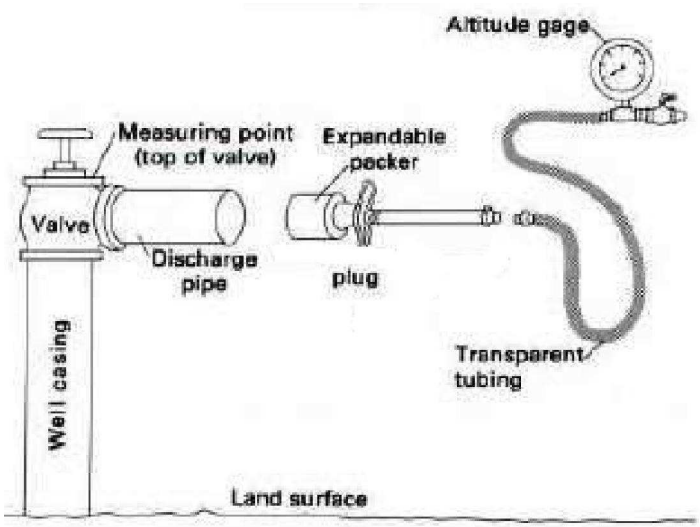
مناسيب المياه الجوفية والتذبذب : Groundwater Level and Fluctuations

يعرف مستوى المياه الجوفية بالسطح العلوي للنطاق المشبع ، ويدعى أحيانا بالمستوى المائي الاستقراري static water level أو منسوب المياه الجوفية groundwater table وفي حالة الطبقات المائية غير المحصورة ، يعرف بالمستوى المائي الاستقراري بينما يسمى بالمستوى البيزومتري peizometric level في حالة الطبقات المائية المحصورة .

ان أفضل تعريف لمستوى المياه الجوفية هو السطح الذي يكون فيه ضغط السائل في الوسط المسامي (porous media)مساويا للضغط الجوي ، ويكون موقع هذا السطح في المستوى الذي يصل إليه الماء في الآبار .

يعتمد شكل مستوى المياه الجوفية على نفاذية الصخور وظروف التغذية والخزن ونظام التصريف (شواطئ الأنهار والبحيرات) التي تتسرب نحوها المياه الجوفية وعلى وضع الطبقات الكاتمة للماء وسماكة الطبقات الحاوية على الماء ، ويمكن الحكم على شكل سطح المياه الجوفية من خلال خارطة مناسيب المياه .

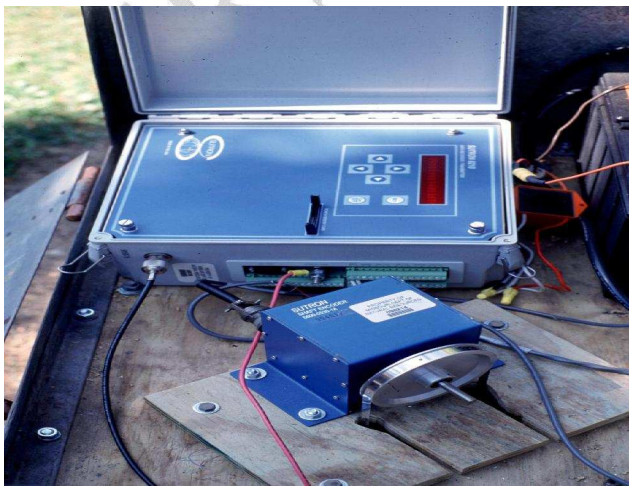
ان مستوى المياه الجوفية يعكس قيم الضغط الجوي في التكوين المائي ، ونستطيع القول بان الضغط الجوي فوق الطبقات المائية في حالة توازن مع مستوى ضغط الماء وفي هذه الحالة فان تغير الضغط في أي من الجهتين يؤثر في الجهة الأخرى ،لذلك فان التغير في مناسيب المياه الجوفية في الآبار المحفورة في الطبقات المائية غير المحصورة والطبقات المائية المحصورة الناتجة عن ضخ المياه من هذه الآبار سيخفض الضغط ويخل بالاتزان وبالتالي سيخفض المنسوب ، وبنفس الشكل فان التبخر من المستوى المائي له نفس التأثير على مستوى المياه الجوفية .



كذلك فان الأمواج البحرية وارتفاع وانخفاض مستوى ماء البحر والزلازل .... الخ يعمل على تغير مستويات المياه الجوفية ، وتجدر الإشارة إلى أن انخفاض مستوى المياه الجوفية الناتج عن ضخ المياه المفرط من الآبار يؤدي إلى الحاجة الماسة لوضع أنظمة وقوانين من شانها تحديد كميات ضخ المياه من الآبار .

قياس مناسيب المياه الجوفية :

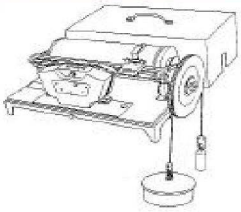
يمكن قياس مناسيب المياه الجوفية في الآبار التي تتدفق فوق سطح الأرض أثناء الحفر بإيقاف عملية الحفر مؤقتا وإطالة أنابيب التبطين فوق مستوى سطح الأرض حتى يتوقف الدفق الذاتي ويستقر مستوى الماء في الأنابيب ، وبعد ذلك يقاس مستوى الماء فوق فوهة البئر او يتم غلقه بإحكام مع ربط جهاز المانوميتر .شكل ( )، أما في الآبار التي لا تتدفق ذاتيا فهناك طرق مختلفة لقياس مستوى المياه الجوفية ، مثل العوامة وهي زجاجة مغلقة او قطعة خشبية او كرة مجوفة من النحاس الأصفر او أي وعاء أخر مسدود بإحكام يعلق بحبل ويدلى إلى البئر ليعوم على سطح الماء ، وفي الطرف الأخر من الحبل الذي يلف على بكرة يعلق ثقل ، ومنها فان عدد دورات البكرة التي تدلنا على المنسوب يتم تحويلها الى سجل الكتروني .. ويستفاد من هذه الطريقة في حالة التسجيل المستمر لتغيرات المنسوب . وتدعى مثل هذه الأجهزة بمسجلات مستوى المياه الجوفية شكل ( ).

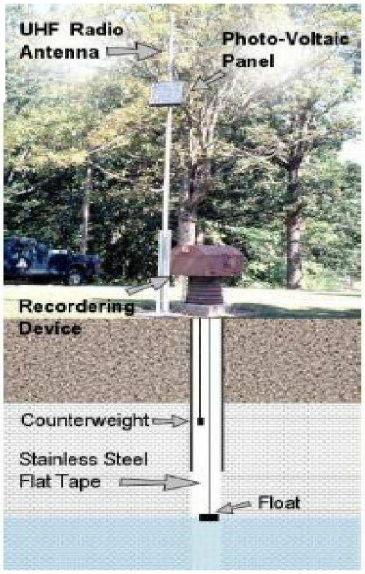


وهناك المجس الكهربائي (electrical sounder) الذي يستخدم لتعين مستوى المساه الجوفية الذي يزيد عمقه على عشرين مترا ، ويتألف من دائرة كهربائية تحتوي مصدر تغذية (بطارية) و قطبين معزولين عن بعضهما ومتصلين مع البطارية بواسطة سلك ويوصل في الدائرة الكهربائية مصباح او جرس كهربائي ، تغلق الدائرة الكهربائية بسبب التوصيل بين القطبين عبر الماء ويضاء عندها المصباح او يرن الجرس معلنا أن الجهاز قد وصل إلى مستوى الماء (شكل -) ويعتبر المقياس الكهربائي من أهم الأجهزة المستعملة لقياس منسوب المياه الجوفية .

لقد تم تطوير أجهزة قياس مناسيب المياه الجوفية في السنوات الأخيرة بحيث تعمل أوتوماتيكيا وتسجل تذبذبات مستوى المياه الجوفية على شريط ورقي يسمى هيدروغراف البئر ، وبتحليل هذا المنحنى يمكن معرفة مستوى المياه الجوفية في أي زمن .

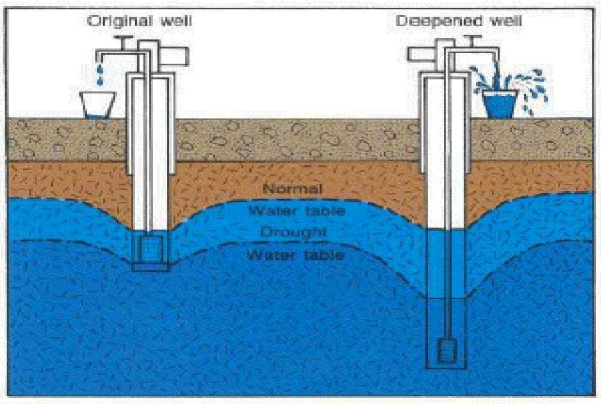
(شكل -).المقياس الكهربائي





(شكل-) طرق قياس منسوب المياه الجوفية .

ان قياس التذبذبات في مستوى المياه الجوفية بالبيزومترات وآبار المراقبة يعتبر من أهم مظاهر دراسة المياه الجوفية ، فهو يعكس التبدل في مخزون المياه الجوفية ويشير إلى كمية التغير الحقيقي في مخزون الطبقات المائية وحركة المياه الجوفية وتستعمل المعلومات المسجلة لمستوى المياه الجوفية في معرفة المناطق التي تتضمن مستويات المياه العالية والمنخفضة وهي تسهل التنبؤ بمستقبل المياه الجوفية بإظهار سرعة تغير مخزون المياه الجوفية مع الزمن .وتؤمن المعلومات اللازمة لحساب الخواص الهيدروليكية للطبقات المائية وعطاء الآبار وتبين العلاقة بين تذبذبات مستوى المياه الجوفية الناتج عن الضخ وتساقط الأمطار وغيره وتساعد في تقدير الجريان الأساسي base flowمن الجداول .

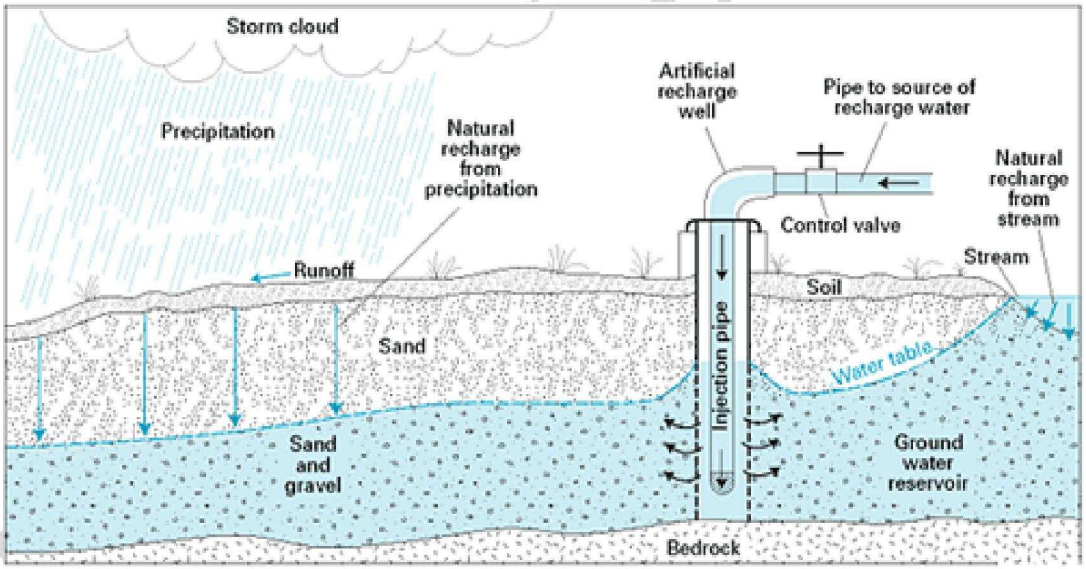


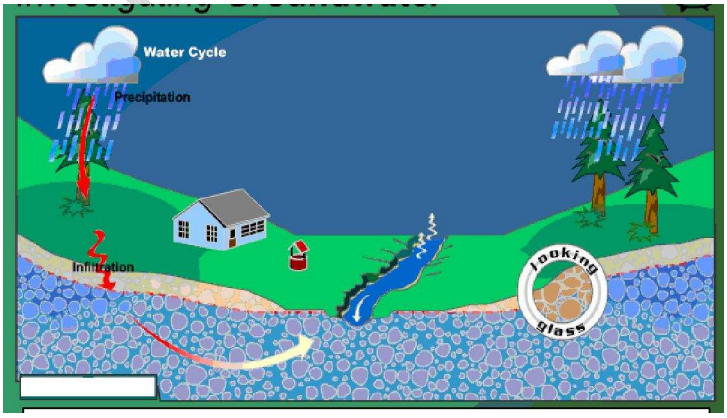
إن تذبذبات مستوى المياه الجوفية في الآبار غالبا ما يكون ثابتا وهو يرتفع من سنتمترات إلى أكثر من متر خلال فترة زمنية معينة . وعموما فان مستوى المياه الجوفية في الآبار المحفورة في الطبقات الارتوازية أكثر تذبذبا منه في الطبقات غير المحصورة .

ويحدث الهبوط المستمر في مستويات المياه الجوفية عندما يزيد التصريف عن التغذية بينما يرتفع منسوب المياه الجوفية عندما تكون التغذية أكثر من التصريف وكمية المياه المأخوذة من او المضافة إلى المخزون لكل وحدة تغير في مستويات المياه تحت ظروف المستوى المائي وتكون عادة أكثر بعدة مرات منها تحت الظروف الارتوازية وهذا يعني ان ($S \leq S_Y$) .

2.7- العوامل المؤثرة في تذبذب مستوى المياه الجوفية .

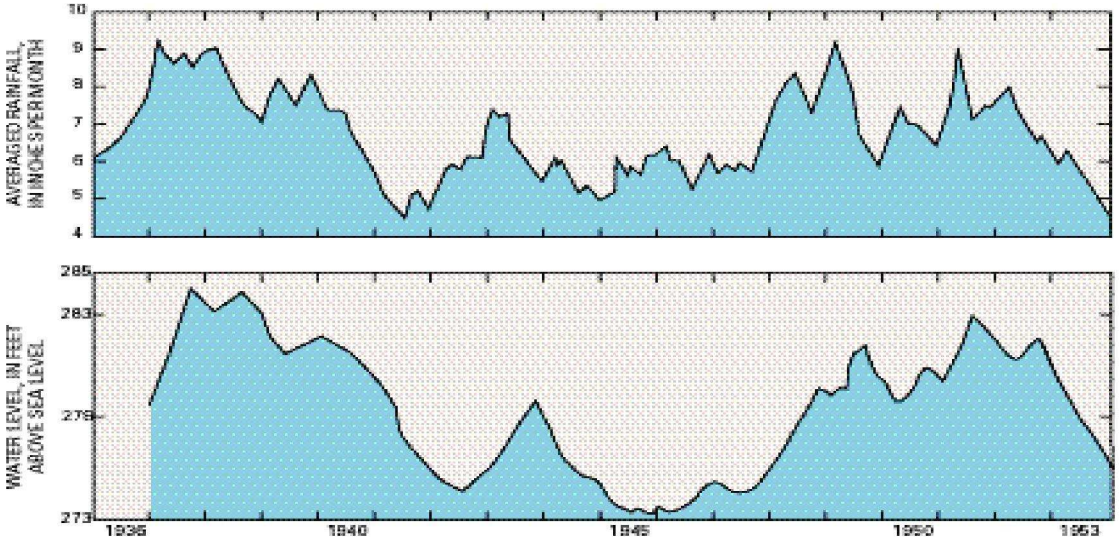
إن تذبذب مستوى المياه الجوفية يمكن ان يكون مؤقتا ويمكن ان يكون مستمرا ، والاختلافات الموسمية لمناسيب المياه الجوفية هي تلك التي تمتد الى فترات ولعدة سنوات او أكثر ، وعموما يمكن تقسيم العوامل المسببة لتغير مستوى المياه الجوفية إلى عوامل طبيعية تنتج من التأثيرات الهيدرولوجية والجيولوجية ومن الظروف الجوية .وعوامل اصطناعية يساهم الإنسان في صنعها كالإفراط في ضخ المياه من الطبقات المائية والتغذية والاصطناعية للمياه الجوفية وإقامة السدود والبحيرات والجداول وغيرها من طرق التخزين المختلفة وفيما يلي أهم هذه العوامل :





1- الهطول:

توجد صلة وطيدة بين الهطول وبين التذبذب في مستوى المياه الجوفية ، وقد اشرنا إلى عملية الرشح من مياه الأمطار ومساهمته في تغذية المياه الجوفية في موضوع الهيدرولوجي . فكلما كانت كمية المياه المترشحة إلى باطن الأرض كبيرة كلما ارتفع منسوب المياه الجوفية . وبطبيعة الحال فان منسوب المياه الجوفية يرتفع في مواسم المطر وينخفض في مواسم الجفاف ويحتاج ذلك إلى فترة زمنية معينة حتى تتمكن

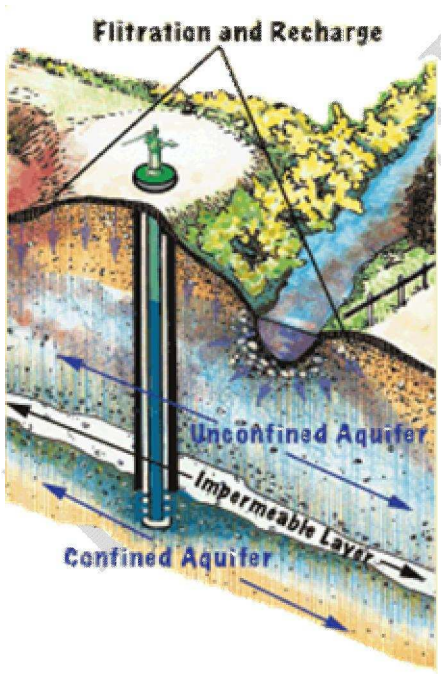


المياه المترشحة من الوصول إلى مستوى المياه الجوفية .وهذا يعتمد على نفاذية الصخور التي تعلو مستوى المياه الجوفية وبذلك فان ارتفاع مستوى المياه الجوفية لا يسجل إلا بعد مرور وقت معين على هطول الأمطار ولا يسجل الانخفاض في مستوى المياه الجوفية إلا بعد مرور مدة معينة على حدوث الجفاف . ويظهر في الشكل ( ) اثر الهطول في تذبذب مستوى المياه الجوفية .

(شكل -) اثر الهطول في تذبذب مستوى المياه الجوفية.

2- الجريان السطحي :

إن مرور المياه الجارية في جزء من الطبقات المائية غير المحصورة يؤثر على مستوى المياه الجوفية ، وقد اشرنا إلى العلاقات المتبادلة بين الأنهار ومستويات الطبقات المائية عند شرح تخزين المياه الجوفية سابقا . وعموما فان الجريان ما بين المياه السطحية والمياه الجوفية يمكن ان يكون متبادلا ويمكن أن يكون من احدهما إلى الآخر . وفي حالة تغذية المياه السطحية للطبقات المائية يلاحظ انخفاض في السطح العلوي للمياه السطحية وارتفاع لمستوى المياه الجوفية والعكس صحيح .



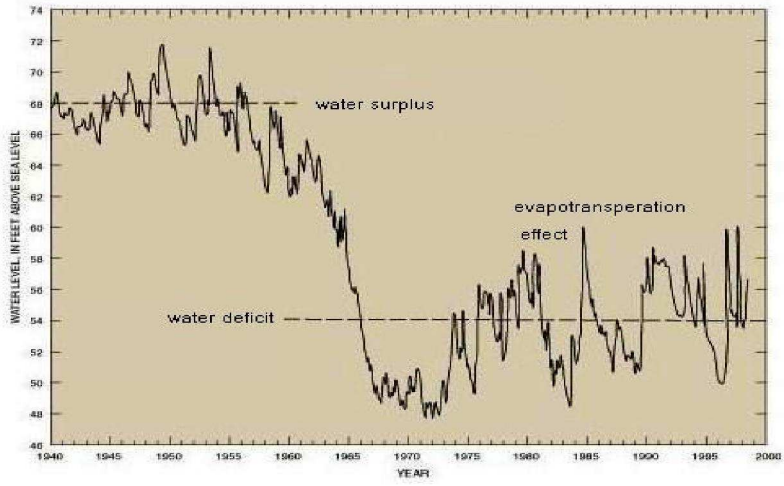
ان مستويات المياه في الآبار القريبة من البحيرات والجداول يتأثر بمراحل تغير سطح الماء فيها ، وتنتج التذبذبات الكبيرة في مستوى المياه في الطبقات المائية غير المحصورة عن حركة المياه من والى الطبقة المائية ، أما في الطبقات المائية الارتوازية فان المسئول عن تذبذب مستوى المياه الجوفية هو التغير في الأحمال فوق الطبقة المائية وبالتالي التغير في الضغط الجوي وعموما فان التذبذبات الناتجة عن تأثير مراحل تغير المياه الجوفية يقل مع زيادة المسافة من أماكن وجود المياه السطحية .

وتجدر الإشارة إلى أن جريان المياه السطحية إلى الطبقة المائية وكذلك جريان المياه الجوفية إلى الأنهار أو البحيرات أو الجداول يحتاج إلى فترة زمنية كافية ، لذلك فان ارتفاع او انخفاض مستوى المياه الجوفية لا يحدث مباشرة وكذلك مستوى المياه السطحية . ويظهر في الشكل ( ) علاقة مستوى المياه الجوفية في البئر الناتج عن التغير في مستوى المياه السطحية في منطقة ما .

(شكل -) علاقة مستوى المياه الجوفية مع مستوى المياه السطحية .

3 ـ التبخر - النتح :

إن تـأثيرات التبخـر والنـتح فـي مسـتويات الميـاه الجوفيـة خاصـة فـي الطبقـات المائيـة غيـر المحصـورة الموجـودة فـي المناطق الجافة وشبه الجافة يعتمد على عمق مستوى المياه الجوفية وعلى شدة التبخر . وفي الطبقات المائية العميقة يكون تاثير التبخر - النتح قليلا بحيث يمكن إهماله ويلاحظ إن التذبذبات في مستوى المياه الجوفية في المناطق التي لا تحتوي على أغطية نباتية يكون قليلا ويعود سبب تذبذب مستوى المساه الجوفية في مواسم نمو النباتات إلى الفواقد الناتجة عن التبخر .



وترجع زيادة هبوط مستوى المياه الجوفية في الأيام المشمسة إلى زيادة الفاقد في التبخر ، ويصل هبوط المياه الجوفية إلى حد أعلى في منتصف ساعات النهار .

يمكن قياس التبخر – نتح من مناطق التصريف اعتمادا على تذبذبات المستوى المائي في آبار المراقبة الضحلة ويظهر في الشكل ( ) تسجيلا لتذبذبات المستوى المائي الناتج عن التبخر لمنطقة تصريف .

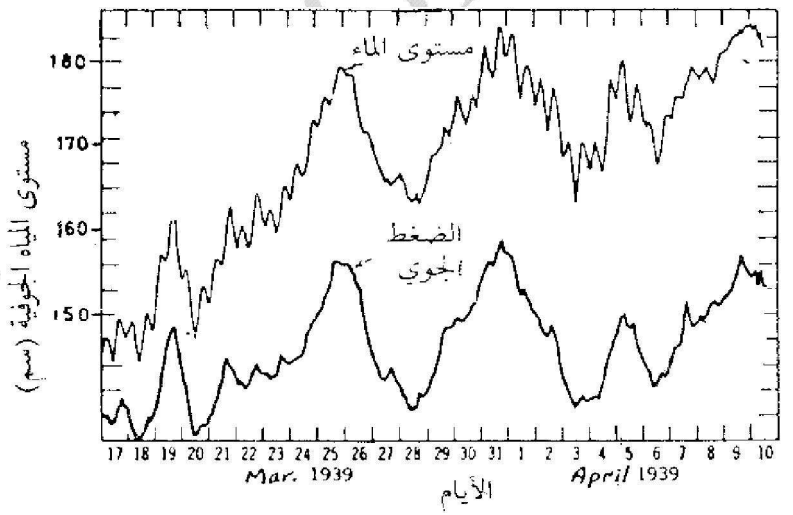
الشكل – ( ) تذبذبات المستوى المائي لمنطقة تصريف .

4 ـ الضغط الجوي :

إن تذبذبات مستوى المياه الجوفية في الطبقات المائية غير المحصورة الناتجة عن تغير الضغط الجوي قليلة جدا ، وتعتبر زيادة ضغط الهواء فوق الطبقات المائية غير المحصورة هي المسئولة عن هبوط المستوى المائي .

وزيادة الضغط يسبب انضغاطية للهواء والماء في النطاق غير المشبع وبالتالي انضغاطية في مياه النطاق المشبع وانخفاض منسوب المياه وبزوال المؤثر(انخفاض الضغط الجوي) يتحرر الماء من انضغاطيته ويتمدد ليأخذ حجم إضافي مسببا ارتفاع في منسوبه .

لقد تم تسجيل الضغط الجوي بواسطة البارومتر خلال 24 ساعة وتبين ان الضغط يصل إلى الحد الأعلى خلال الساعات الباردة ، ويصل إلى الحد الأدنى خلال الساعات الدافئة ، وهذا يعتمد على الظروف الجوية والارتفاع الطوبوغرافي .ويسبب تغيير الضغط تذبذبات كبيرة في الآبار المحفورة في الطبقات المائية المحصورة ونلاحظ هبوطا في مستوى المياه الجوفية في أبار المراقبة عند زيادة الضغط الجوي .

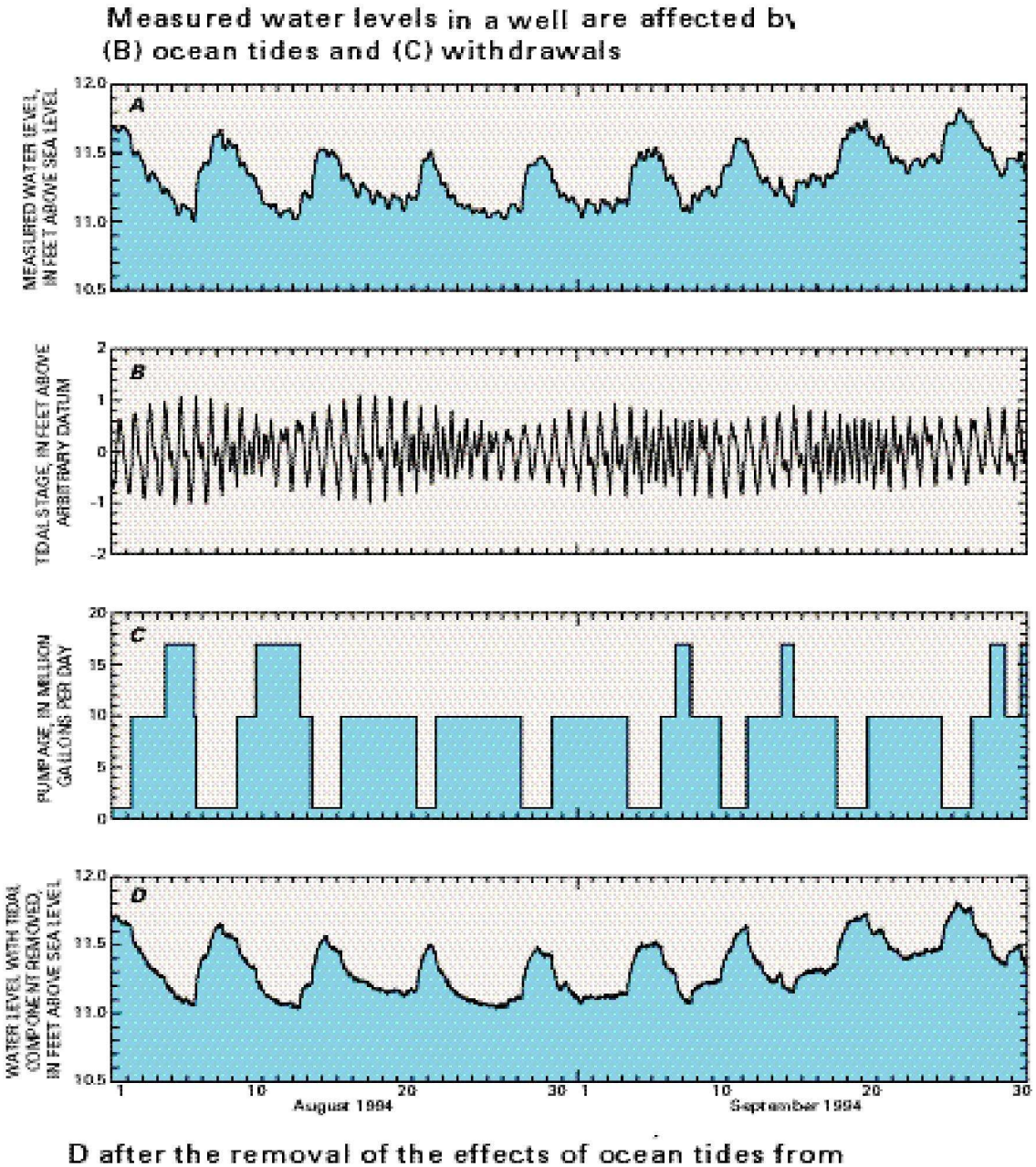


ويظهر في الشكل ( ) تذبذب منسوب المياه الجوفية الناتج عن التغير في الضغط الجوى .

شكل ( ) تذبذب مستوى المياه الجوفية الناتج عن تغير الضغط الجوي .

5- المد والجزر :

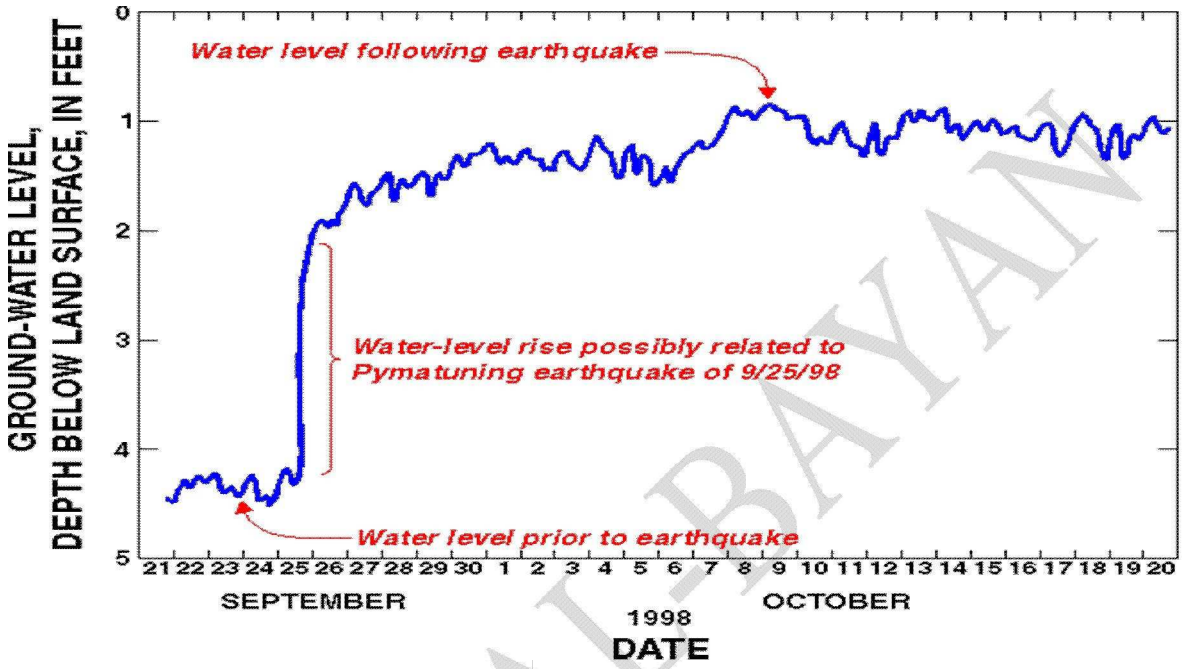
تعتبر تذبذبات مستوى المياه الجوفية الناتجة عن ظاهرة المد والجزر قليلة نسبيا ،ولوحظ أن بعض تذبذبات مستوى المياه الجوفية في الآبار ينتج من تأثير الرياح التي تعصف فوق السطح العلوي لهذه الآبار ، حيث ينخفض الضغط بشكل فجائي أثناء هبوب الرياح الشديدة . مما يسبب ارتفاعا في المستوى المائي ، وبعد مرور العاصفة يرتفع الضغط الجوي ويعود مستوى الماء إلى وضعه الأصلي . ويقع مستوى المياه في الطبقات المائية الحرة والطبقات المائية المحصورة المجاورة للبحار تحت تأثير ارتفاع وانخفاض سطح البحر ، ويمتد هذا التأثير إلى مسافة تصل إلى عدة كيلومترات من الشواطئ ولوحظ في بعض المناطق تأثير البحر على الطبقات المائية البعيدة عن الشواطئ ويظهر في الشكل ( ) تأثير ظاهرة المد والجزر على مستوى المياه الجوفي في الطبقات المائية الحرة والطبقات المائية المحصورة



شكل ( ): تذبذب مستوى المياه الجوفية الناتج عن تأثير المد والضخ .

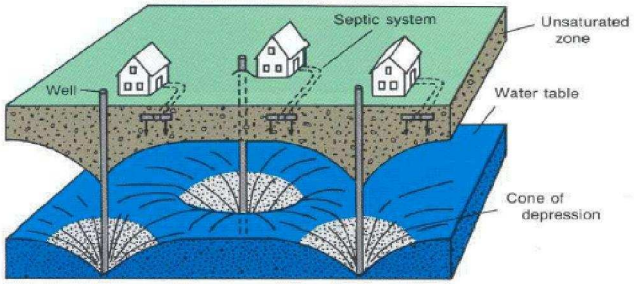
6- الزلازل :

لقد عرف تأثير الحركات الأرضية على مستوى المياه في الآبار منذ القدم ، ومع ان هذا التأثير يعتبر قليلا في الآبار الضحلة إلا انه يظهر بشكل واضح في الآبار العميقة وهو يعتمد على التركيب الجيولوجي للطبقات وعلى عمق الآبار وبعدها عن مركز الزلازل ويمكن ان يرجع تذبذب مستوى المياه في الآبار المحفورة في الطبقات الارتوازية إلى انكماش وتمدد الطبقات المرنة التي تمر عبرها الأمواج السيزمية الناتجة عن الزلازل حيث تخلق هذه الأمواج تداخلات غير ثابتة في الإجهاد الفعال وفي ضغط الماء داخل الطبقة المائية وتجدر الإشارة إلى أن التفجيرات داخل الأرض وحركة القطارات لها تأثير مشابه على مستوى المياه الجوفية .



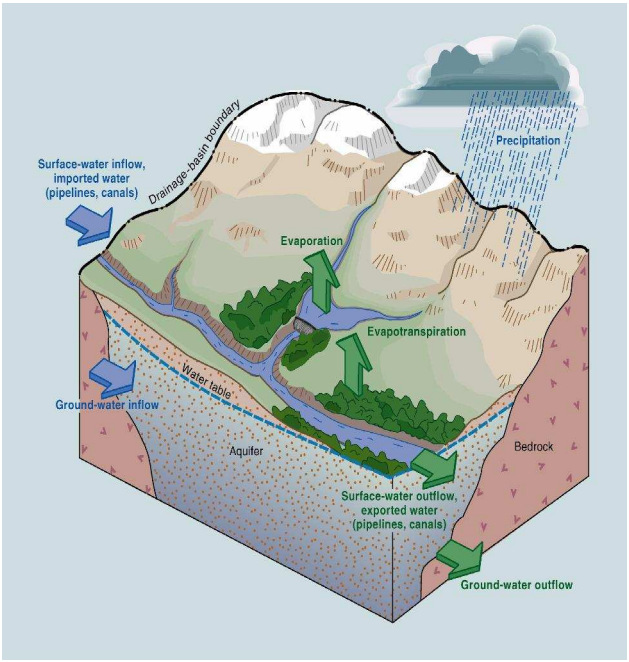
7 . العوامل الاصطناعية :

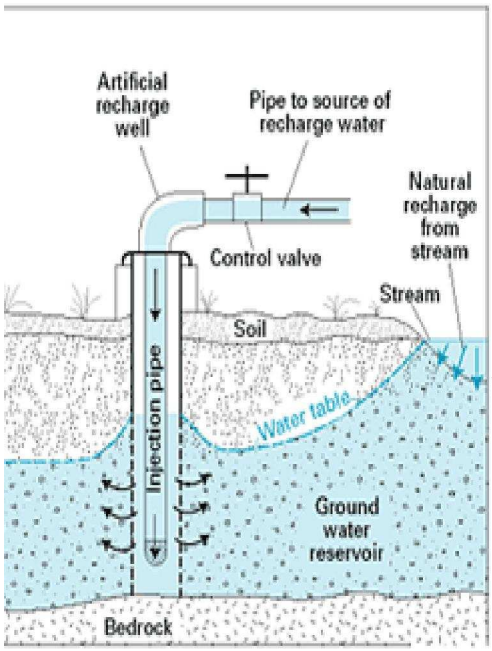
لقد سبق واشرنا إلى أن ضخ المياه من الطبقات المائية بواسطة الآبار يعقبه هبوط في مستوى المياه الجوفية حول البئر وزيادة الضخ في بعض المواسم يسبب هبوطا في مستوى المياه الجوفية ، شكل( ) .



وبالمقابل فان التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية كحقن المياه إلى الطبقات المائية بواسطة آبار الحقن يعمل على رفع مستوى المياه الجوفية . إن إقامة السدود يؤثر على مستوى المياه الجوفية في حالة زيادة منسوب المياه السد عن منسوب المياه الجوفية تجري المياه من السد إلى الطبقات المائية ، أما إذا كان منسوب مياه السد اقل من منسوب المياه الجوفية فان تأثير السد ينحصر في تقليل كمية المياه المترشحة من الطبقة المائية إلى النهر أمام السد . وتجدر الإشارة إلى أن أعمال الحفريات تؤثر على مستوى المياه الجوفية فإذا تجاوز عمق الحفر مستوى المياه الجوفية فان المياه تتسرب داخلها ، ومع استمرار تصريف المياه ينخفض المستوى المائي حولها . وإذا ما تركت المياه لتتجمع فيها فإنها ستصل بعد فترة معينة إلى حالة من الاتزان حيث يتصل سطح الماء في الحفرة مع مستوى المياه الجوفية دون أن يؤثر عليه .

FINAL-BAYAN

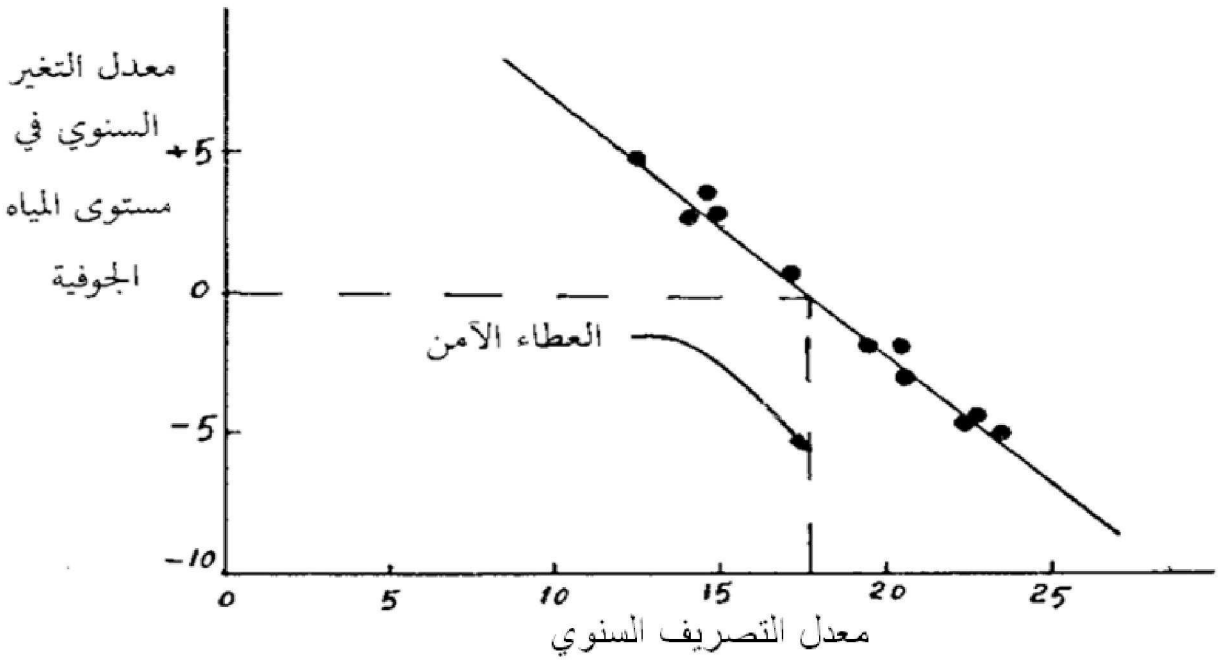




4.7 - الإنتاج الآمن : safe yield

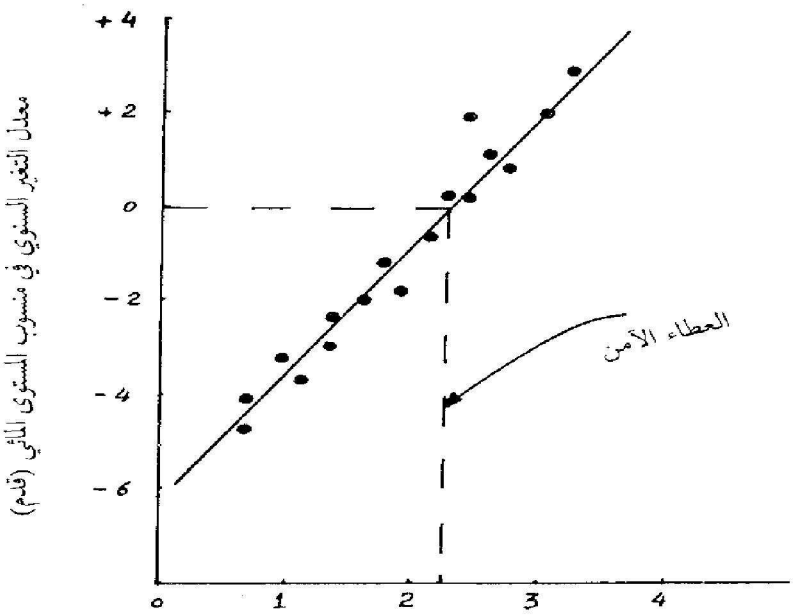
تسمى كمية المياه التي يمكن سحبها من حوض المياه الجوفية سنويا دون إحداث نتائج غير مرغوب فيها بالعطاء الآمن لحوض المياه الجوفية ، وتجاوز هذه الكمية يعني الإفراط في الاستغلال ، علما بان العطاء الآمن يتغير مع تغير الظروف المتحكمة فيه ويبدو للوهلة الأولى أن فكرة العطاء الآمن سهلة تماما ، وذلك لان كمية المياه الداخلة للحوض محددة ، ولا يمكن ضخ غير تلك الكمية . وعلى اعتبار أن المياه الجوفية مورد طبيعي ومتجدد فان كمية معينة فقط من الماء يمكن سحبها سنويا من الحوض المائي . ويعتمد الحد الأعلى لكمية المياه التي يمكن استغلالها من الخزان الجوفي على كمية العطاء الآمن . وحيث أن كمية مياه التغذية السنوية للأحواض المائية اقل بكثير من كمية المخزون وإذا ما تجاوزت كمية المياه المستغلة كمية التغذية السنوية فان ذلك يسبب نضوبا دائما في المياه الجوفية مع مرور الزمن .

وهذا يعني إفراطا في الاستغلال ، بالإضافة إلى أن انخفاض مستوى المياه الجوفية يزيد من كلفة رفع المياه وربما سيولد الحاجة لتعميق الآبار . مع العلم بان تجاوز العطاء النوعي يمكن تطبيقه في حالة وجود مياه جوفية ذات نوعية رديئة . ويعتبر الضخ من التكوينات المائية الساحلية سببا في اقتحام مياه البحر إلى الحوض المائي ، علما بان انخفاض مستوى المياه الجوفية قد يؤدي إلى ضخ المحاليل الملحية الحبيسة السفلية وعند زيادة الضخ فان المياه ذات النوعية الرديئة يمكن سحبها من المناطق المجاورة إلى التكوين المائي وينبغي تحديد العطاء النوعي من اجل المحافظة على الحقوق المائية ، حيث يمكن ان تحدث تداخلات في الأحواض المائية نتيجة الضخ المفرط . ويمكن تعريف العطاء الآمن للطبقات المائية غير المحصورة بأنه الاستعمال الاستهلاكي السنوي الحقيقي للمياه الجوفية التي يمكن ضخها إضافة إلى المياه الجوفية الخارجة من الحوض وهذا يكافئ الضخ السنوي الإجمالي ناقصا الجريان العائد وهناك عدة طرق تم تطويرها لحساب العطاء الآمن منها طريقة هل Hill method التي تعتمد على رسم علاقة بيانية بشكل خط مستقيم بين معدل التصريف السنوي مقابل معدل التغيير السنوي في مستوى المياه الجوفية (شكل -) وبمعرفة التغير الصفري في خط الارتفاع يمكن معرفة العطاء الآمن.



شكل ( ) علاقة التصريف بالتغير السنوي في مستوى المياه الجوفية .

وقد طور العالم **هاردنج Harding (للاطلاع فقط)** طريقة لحساب العطاء الآمن تعتمد على رسم علاقة بيانية بين القيم السنوية للجريان الداخل مطروحا منه الجريان الخارج للأراضي المرورية مقابل التغير السنوي في منسوب الطبقة المائية غير المحصورة (شكل -) . وعموما فان معظم الطرق التي تم تطويرها لتقدير العطاء الآمن تعتمد على تحليل المعطيات الهيدرولوجية لعدة سنوات وعلى استخدام المياه الجوفية في الحوض .



شكل ( ) استنباط العطاء الآمن بطريقة العالم هاردنج Harding

اقتحام مياه البحر .

الخزانات المائية الجوفية الساحلية في حالة تماس مع البحار والمحيطات عند الخط الساحلي ، وفي الظروف الطبيعية يحدث تصريف من المياه الجوفية العذبة إلى مياه المحيطات والبحار ، وعند ضخ المياه الجوفية من الطبقات المائية الساحلية التي ترتبط هيدروليكيا مع مياه البحر فان منسوب المياه في الخزانات غير المحصورة ينخفض ، ومع زيادة الضخ يمكن أن يحدث انعكاس للميل الطبيعي بحيث يصبح الجريان من مياه البحر المالحة باتجاه البئر . وتسمى هجرة المياه المالحة إلى الطبقات المائية العذبة تحت هذه الظروف باقتحام البحر .

ومن اجل فهم طبيعة هذه العملية فمن الضروري معرفة طبيعة السطح البيني بين المياه العذبة والمالحة في الطبقات المائية الساحلية تحت الظروف الطبيعية . ونتيجة الدراسات التي أجريت على امتداد الساحل الأوربي وجد أن المياه المالحة الموجودة تحت الأرض لا تكون على نفس مستوى سطح البحر بل على عمق معين يصل إلى 40 ضعف من ارتفاع المياه العذبة فوق مستوى سطح البحر (شكل -) ولقد عزي هذا التوزيع إلى التوازن الهيدروستاتيكي الموجود بين سائلين لهما كثافتان مختلفتان . وافترض فيها الظروف الهيدروستاتيكية البسيطة للطبقات المائية الساحلية غير المحصورة والمتجانسة . وقد تبين أن السطح البيني الذي يفصل بين المياه المالحة ذات الكثافة ρ_s والمياه العذبة ذات الكثافة ρ_f يجب ان يصنع زوايا اقل من تسعين مع مستوى ماء البحر (شكل- a) .تحت الظروف الهيدروستاتيكية فان وزن وحدة لعمود المياه العذبة الذي يمتد من المستوى المائي إلى السطح البيني تكون في حالة توازن مع وزن وحدة لعمود المياه المالحة الذي يمتد من مستوى مياه البحر إلى نفس العمق إلى السطح البيني . واعتمادا على ذلك نجد أن :

$$\rho_s \, g \, z_s = \rho_f \, g \, (z_s + h)$$

$$z_s = \rho_f / (\rho_s - \rho_f) \; . \; h$$

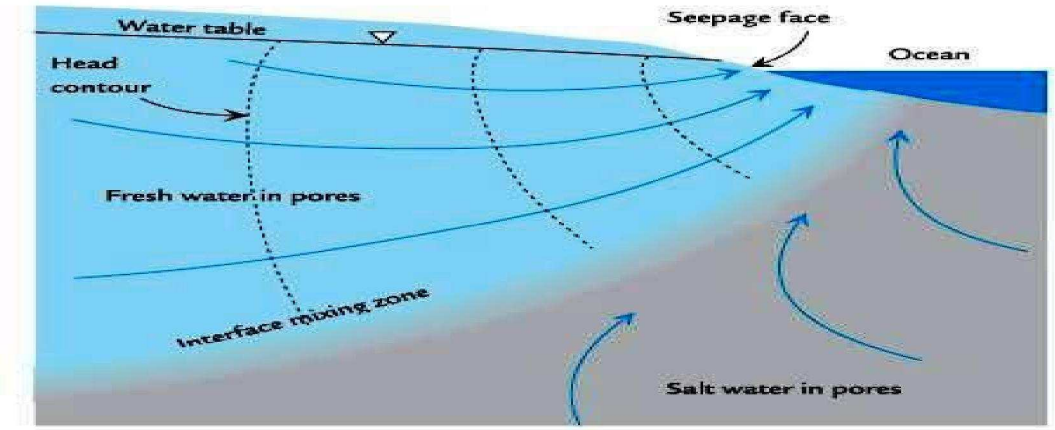
وإذا كانت : $\rho_s = 1.025$ ، $\rho_f = 1.0$،

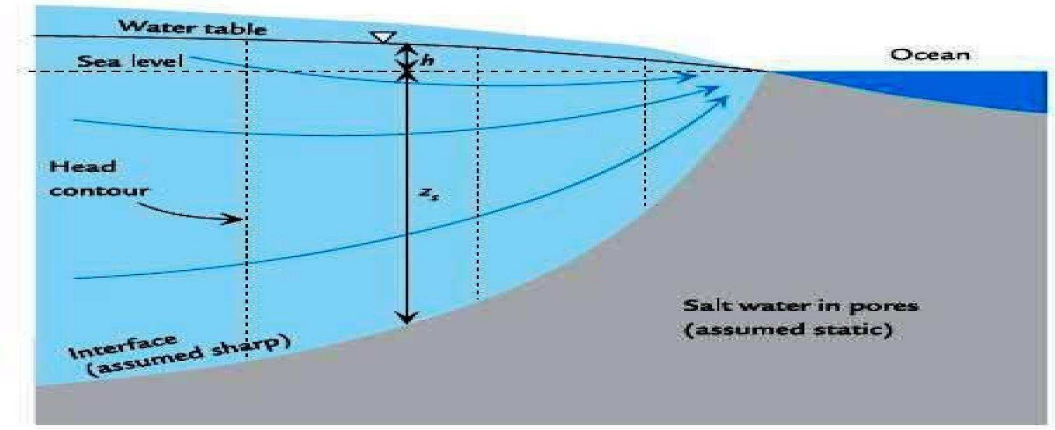
فان : $z_s = 40 \; h$

وتدعى هذه المعادلة بعلاقة غيبن - هيرزبيرغ وإذا ما حددنا التغير في مستوى المياه الجوفية Δz_w فان العلاقة تصبح : $\Delta z_s = 40 \Delta h$.

وهذا يعني انه إذا انخفض مستوى المياه الجوفي في الطبقات المائية الساحلية غير المحصورة (1 متر) فان المستوى البيني للمياه المالحة سيرتفع 40 مترا . لقد أظهرت الدراسات أن علاقة غيبن - هيرزبيرغ لا تكون حقيقية لجميع الحالات وتبدو صحيحة للطبقات المائية القريبة من شواطئ البحار . لذا فقد حاول كثير من العلماء تحليل ظاهرة اقتحام مياه البحر ، ويبدو إثبات Hubbert,1940 هو الأنسب ، حيث عرض هذه الظاهرة تحت ظروف حالة الجريان الثابت اعتمادا على رسم شبكات الجريان (شكل) ويبدو أن كلا التحليلين السابقين اعتمد على فريضة إن السطح البيني الذي يفصل بين المياه العذبة والمالحة في الطبقات المائية الساحلية ما هو إلا حد هيدروجيولوجي . وفي الحقيقة إن المياه العذبة والمياه المالحة تمتزج مع بعضها في نطاق انتشار حول السطح البيني . ويعتمد هذا النطاق على طبيعة الطبقة المائية وخواصها .

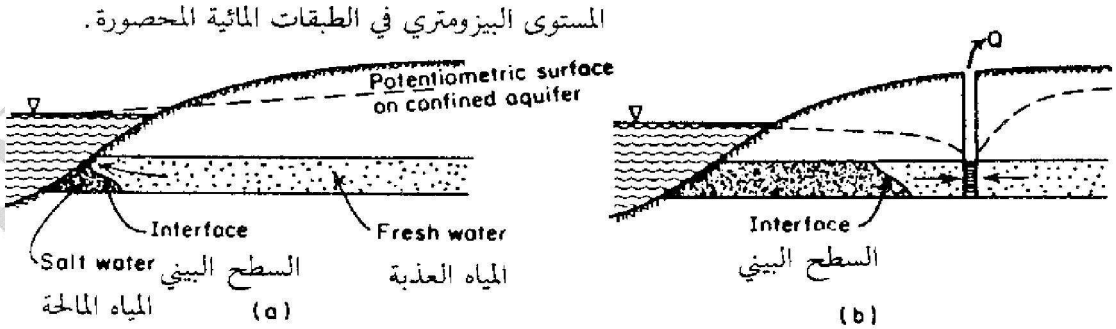
PERSONAL





شكل ( ) السطح البيني في الطبقات المائية الساحلية غير المحصورة . a:تحت الظروف الهيدروستاتيكية . b: تحت ظروف الجريان باتجاه البحر .

كذلك فان اقتحام مياه البحر يمكن أن يحدث في كل من الطبقات المائية المحصورة وغير المحصورة والشكل ( ) يبين السطح البيني بين المياه المالحة والمياه العذبة في الطبقات المائية الساحلية المحصورة تحت ظروف الجريان الثابت باتجاه البحر .



شكل ( ) a- السطح البيني في المياه المالحة ـ العذبة في الطبقات المائية المحصورة في حالة الجريان الثابت باتجاه البحر .b - اقتحام مياه البحر نتيجة الضخ .