حركة المياه تحت السطحية

من المعروف، بإن جريان الموائع اما ان يكون هادئاً وطبقياً او ان يكون عاصفاً ومضطرباً. حيث في حالة الجريان الهاديء يكون مستقيماً ومنتظماً، اما في الجريان العاصف فيكون غير منتظم ومصحوب بالتيارات الصاعدة والتيارات الهابطة. ويحدث الجريان الطبقي عندما تكون حركة المياه واطئة جداً كما هي في حالة المياه تحت السطحية، وهنا يعرف جريان المياه بالرشح. وقد وجد بإن سرعة الرشح تتناسب تناسباً طردياً مع الانحدار الهيدروليكي وعكسياً مع النفاذية. ولكي نتفهم هذه الحركة بصورة جيدة يستوجب منا التعرف على المصطلحات التالية:

١ــ الضغط الهيدروستاتيكي (السكوني) (Hydrostatic Pressure)

ويعني الضغط المسلط بوساطة الماء على نقطة معينة. وبالنسبة للمياه الحوفية عادة ينتج عن وزن الماء الواقع عند مستويات اعلى في نفس منطقة التشيع.

٢ــ علو الضغط المائي للطبقة الصخرية الحاملة للمياه (Pressure Head)

هو الضغط الهيدروستاتيكي المعبر عنه بارتفاع عمود من الماء الذي يمكن اسناده بواسطة الضغط في تلك النقطة، فعلى سبيل المثال الضغط اللازم لرفع الماء في بئر محكم الى مستوى معين فوق السطح.

٣ــ المستوى الهيدروستاتيكي للطبقة الحاملة للمياه (Hydrostatic Level)

هو المستوى الذي يمر خلال قمة عمود من الماء الذي يمكن اسناده بواسطة الضغط الهيدروستاتيكي للماء في نقطة معينة فعلى سبيل المثال عدة امتار فوق او تحت سطح الارض، او مستوى سطح البحر.

٤ــ السطح البيزومتري للطبقة الحاملة للمياه (Piezometric surface)

وهو عبارة عن سطح وهمي في اي مكان منه ينطبق مع السطح او المستوى الهيدروستاتيكي للطبقة المائية . وبمعنى آخر السطح الذي يرتفع اليه الماء من الطبقة تحت الضغط المائي الكامل .

٥ــ الانحدار الهيدروليكي للطبقة الصخرية المائية

وهو معدل التغير في علو الضغط الهيدروستاتيكي لكل وحدة مسافة في ذلك المكان وفي نفس الاتجاه . ويمكن تمثيله على هيئة نسبة مثلاً متر لكل كيلو متر او اية وحدات اخرى .

٦ــ معامل التوصيل المائي للطبقة الصخرية الحاملة للمياه
(Aquifer Transmissibilty (Coefficent)

ويعني القابلية الكلية للطبقة الحاملة للمياه الجوفية بالسماح لمرور الماء من خلالها . وتساوي حاصل ضرب معامل النفاذية مضروباً في سمك الطبقة .

٧ــ قانون دارسي (Darcy's Law)

ينص قانون دارسي على ان سرعة المياه في المواد المنفذة تتناسب تناسباً طردياً مع الانحدار الهيدروليكي المسبب لحز كة المياه ومعامل النفاذية . والذي يمكن وضعه في العلاقة التالية .

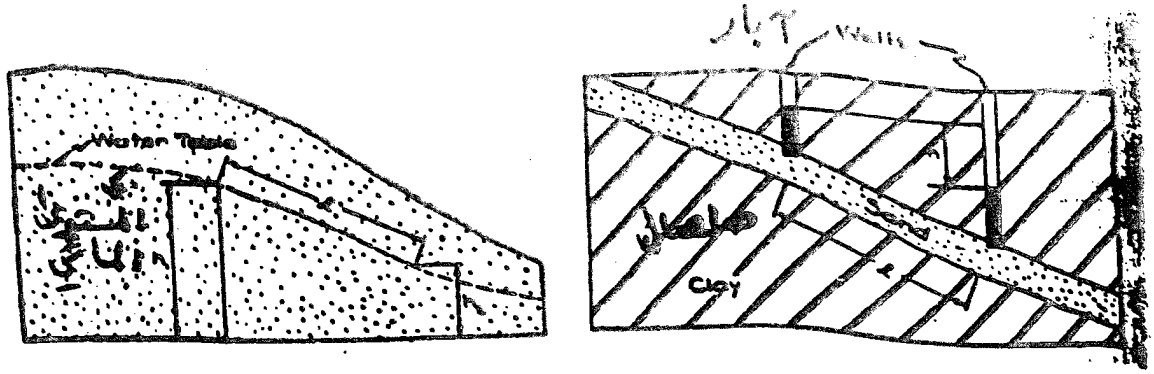
$$(h/L) \times K = V$$

حيث v = سرعة المياه الجوفية ، والتي تمثل معدل الجريان للماء المار خلال مقطع عمودي على اتجاه الجريان . وتستخدم نفس النفاذية سم/ بالثانية .

K = معامل النفاذية ، والذي يمثل السرعة لميل هيدروليكي واحد لمادة معينة .

h = الفرق في علو الضغط بين نهايتي عمود من التربة

L = المسافة العمودية بين النقطتين لعمود من التربة التي يتم فحصها
كما هو مبين في الشكل (6-6) ادناه



شكل (6-6)

يوضح مخطط لتمثيل قانون دارسي . في المخطط الايسر حالة المياه الحرة، وفي المخطط الايمن في حالة المياه المقيدة

وتتجة للدراسات التطبيقية لايجاد حجم الماء المار في وحدة الزمن خلال مقطع معين من الطبقة . او بدراسات التي اجريت على بعض انواع الترب . لقد صنفت كما هو مبين في الجدول (6-1)

جدول (6-1) يبين النفاذية والتصريف لبعض الترب

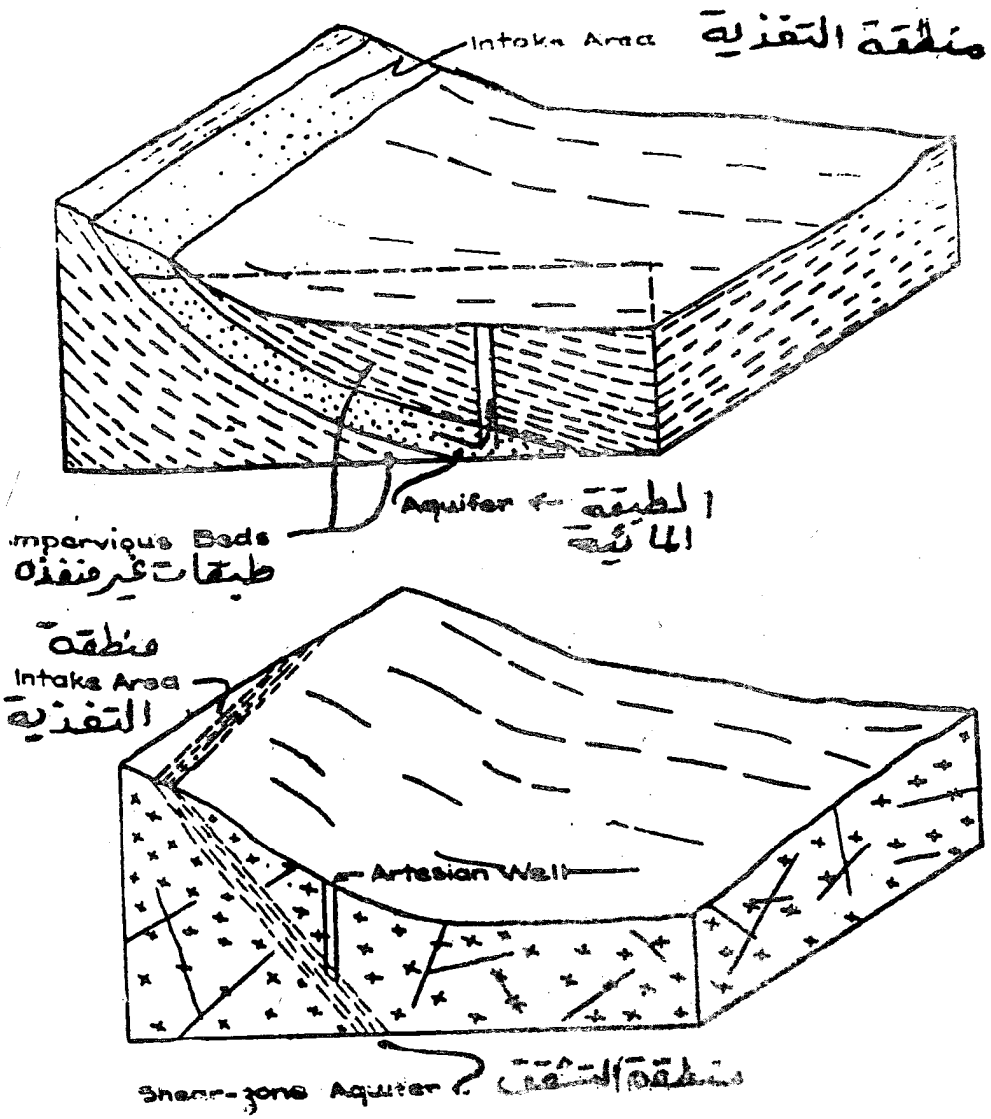
نوع التربة	حصى نظيف	رمل نظيف	رمل ناعم مع طمي	صلصال متجانس
التصريف	ممتاز	جيد	ضعيف	غير منفذ
النفاذية سم/بالثانية	10^{1} — 10^{2}	10^{-1} — 10^{-4}	10^{-4} — 10^{-7}	10^{-8} — 10^{-9}

المياه الارتوازية (Artesian Water)

في اماكن عديدة من الارض تحتجز المياه الجوفية في مناطق منفذة بين صخور غير منفذة وهنا يكون الماء محبوساً. ولذا تعرف الطبقات المنفذة بالخزان المائي الجوفي او بالطبقة الصخرية الحاملة للمياه. حيث تتواجد هذه المياه تحت ضغط عالٍ وفي حالة وجود حفرة او دق بئر ترتفع المياه منها الى اعلى باتجاه سطح الارض. وتعرف المياه الواقعة تحت ضغط مائي عالٍ بالمياه الارتوازية. والبئر الذي ترتفع مياهه فوق منسوب المستوى المائي المجاور له يعرف بالبئر الارتوازي. ومن اهم الشروط اللازمة للجريان الارتوازي هي:

١ــ وجود طبقة صخرية حاملة للمياه محصورة بين طبقتين غير منفذتين.
٢ــ ميل كاف لهذه الطبقة الصخرية الحاملة للمياه لتعطينا انحدار هيدروليكيا مناسبا.
٣ــ منطقة انفاذ مائي من خلالها يتم تغذية الطبقة الصخرية في المستقبل.

حيث يوضح الشكل (6-7) هذه الابار الارتوازية ويمكن ان تتواجد المياه الارتوازية في جميع الصخور الحاوية على فتحات كالمسامات والفوالق والشقوق وقنوات الاذابة والكهوف ومناطق القص المختلفة للصخور البلورية. ولكن من الناحية التطبيقية نجد ان معظم المياه الارتوازية تتواجد بكثرة في طبقات الحجر الرملي المنفذة والمحبوسة بين طبقات النضيد غير المنفذة او بقية انواع الصخور غير المنفذة. وقبل البدء بشرح هذه الابار علينا التعرف على المصطلحات التالية.



شكل (6-7)

يوضح حالات الابار الارتوازية

١ــ البئر الارتوازي (Artesian Well)

هو ذلك البئر الذي تخرج مياهه الى السطح تحت تأثير الضغط المائي في طبقة صخرية حاملة للمياه محصورة بين طبقتين غير منفذتين دون الحاجة الى استخدام مضخات صناعية .

٢ــ سجل البئر (Well Record)

ويعني سجل الطبقات الصخرية التي تم اختراقها عند حفر البئر مرتبة حسب ظهورها اثناء عملية الحفر من السطح نحو الاسفل ويشمل سمك الطبقات وتراكيبها المعدنية والكيميائية ، اضافة الى تحديد الطبقة الحاملة للمياه الارضية .

٣ــ مخروط الانفاذ (Cone of Depression)

ويعني الانخفاض الناتج في المستوى المائي او اي سطح بيزوميتري نتيجة لسحب الماء بواسطة البئر بعد عملية الضخ وعنده يكون الانحدار الهيدروليكي حول البئر عميقاً حتى يتم التوازن بين الماء الداخل الى البئر والماء المسحوب منه بعد الضخ .

٤ــ نصف قطر دائرة التأثير (Radius of Influence)

وتمثل اقصى مسافة من مركز البئر التي عندها ينخفض المستوى المائي بعد الضخ من البئر الى ان يتلاشى بحيث يصبح لاتأثير له يذكر على المستوى المائي في هذه المسافة المتخذة من مركز البئر . وتتخذ هذه المسافة عادة بحدود ٦٠ متراً للرمل الطموي و ١٥٠ متراً للرمل الناعم ، و ٣٠٠ متراً للرمل الخشن والحصى ، و ٦٠٠ متراً للحصى النظيف .

الابار (Wells)

يعرف البئر بإنه تلك الفتحة الاصطناعية التي تسحب المياه من الفجوات بين الصخور او الترب التي تخترقها . وتقسم هذه الابار الى عدة اقسام اما تبعاً للسوائل التي تنتجها او تبعاً للطريقة حفرها او بعدها او قربها من سطح الارض . وبالرغم من ان استخراج المياه من باطن الارض يعود الى الهندسة المائية ، لكن من الضروري ترضيح الارتباط بين جيولوجية المياه تحت السطحية والمفاهيم المتعلقة

باستخراجه . حيث ان معظم المشاريع واختيار نوع البئر وطريقة حفره، واحتمالات كمية التصريف وتنسيق المسافات بين الابار جميعها تعتبر مسائل جيولوجية تعتمد بالاساس على الظروف والاعتبارات الجيولوجية . وعلى العموم، توجد انواع كثيرة من الابار المائية تعتمداساساً على طبيعة المواد الجيولوجية، والعمق المتوقع، وعمر البئر وانتاجه . وهنا سوف نتطرق فقط الى طريقة حفر هذه الابار واعماقها .

١ــ ابار الحفر الضحلة : (Dug Wells)

وهي الابار التي تحفر بآلات الحفر الاعتيادية كالمعاول والمجارف في مكان تكون فيه المياه تحت الارضية واقعة تحت المستوى المائي مباشرة وفي منطقة التشبع . حيث تكون مياهها حرة الحركة . ومن الناحية التطبيقية تحفر في المواد المفككة التي عندها يكون المستوى المائي قريباً من السطح . وعادة تبطن بواسطة الحجر او الطابوق لمنع التلوث . واما اعماقها فلا تزيد عن ٣٠ متراً واقطارها تتراوح بين المتر وعدة امتار .

٢ــ ابار الانابيب ذات النهايات المثقبة (Driven Wells)

في المواد غير المتماسكة تحفر الابار بادخال انابيب مدببة ذات نهايات مثقبة الى باطن الارض . وان هذه النقاط النهائية لايتجاوز قطرها عشرة سينتمترات . وان اسطوانة الضخ توضع ملاصقة للانبوب . واما المضخة فسوف لاتبدأ بالعمل الا بعد ارتفاع المستوى بحدود ٨ أمتار من السطح . حيث تعد هذه الابار سريعة العمل واقتصادية سواءً للاغراض المنزلية او سحب مياه الاساسات اثناء عملية انشاء المباني وغيرها .

٣ــ ابار الحفر ذات الحركة الرحوية ــ الهيدروليكية
(Hydraulic Rotary-Drilled Wells)

يتم الحفر الدوراني الهيدروليكي بآلة قطع ماسية دوارة عند نهاية انبوب الحفر. ومن ثم يضغط طين الحفر داخل انبوب الحفر، الذي بدوره يخرج من خلال فتحات موجودة عند قعر الانبوب. وعندما يرتفع طين الحفر الى الاعلى خارجاً من انبوب التثقيب يحمل معه جميع الجزيئات التي تم اختراقها ومن ثم قطعها نحو السطح. وبهذه الطريقة يمكن حفر ابار ذات اقطار كبيرة، ويمكن وضع الحصى بسهولة حول التبطين او اي غطاء اخر معد للبئر. وتعد هذه الطريقة ايضاً من افضل الطرق التي بواسطتها يمكن اختراق طبقة صخرية مختلفة الصلابة.

٤ــ ابار الحفر القياسية (Churn-Drilled)

وهي عبارة عن مجموعة من الالات المربوطة بعضها مع البعض الاخر. والمكونة من آلة قطع وقضيب حديدي ومجموعة من الجرات المرتبطة اساساً ببرج الحفر. حيث ترتفع هذه الالات الى اعلى ومن ثم تنزل الى اسفل اثناء عملية الحفر. واما الاجزاء التي يتم قطعها او حفرها فتزال بوساطة دلو. وتستخدم هذه الطريقة بكثرة في جميع انواع الصخور.

تصريف الابار (Yield of Wells)

يعتمد تصريف البئر اساساً على صفات التكوينات الصخرية الحاملة للمياه الارضية. وعند ضخ الماء من البئر سينخفض المستوى المائي حول البئر. ويكون هذا الانخفاض كبيراً بجوار البئر ويتضاءل كلما ابتعدنا عن محور البئر الى ان يصبح المستوى المائي كما كان عليه قبل بدء الضخ. وفي الطبقات المتجانسة يكون هذا الانخفاض على شكل مخروط بيضاوي قاعدته نحو الاعلى وقمته نحو الاسفل.

وبعد استمرار الضخ نجد بان انخفاض منسوب الماء بجوار البئر يزداد فيه الانحدار الهيدروليكي حول البئر الى ان يعم التوازن بين الماء الداخل الى البئر مع الماء تم ضخه من البئر . واما المستوى المائي الذي نشأ بفعل الضخ سوف يتسطح كلما ابتعدنا عن مركز البئر . وتعرف المسافة من مركز البئر وحتى يتلاشى عندها تأثير الضخ من البئر على المستوى المائي بنصف قطر دائرة التأثير .

تحديد معامل الانفاذ في الحقل

سبق ان وصفت الطريقة التي يتم بواسطتها ايجاد قيمة معامل الانفاذ للعينة من الصخور او الترب في المختبر . ولكن هذه القيم التي توجد في المختبر تختلف كثيراً عن القيم الحقيقية للانفاذ في الطبيعة . ولذلك يمكن ايجاد هذه القيم في الحقل وفق الخطوات التالية .

١ــ يمكن اجراء الاختبار اما على بئر ضحل او بئر عميق او بئر ارتوازي .
٢ــ تخطط مجموعة من الخطوط المارة بمحور البئر فوق سطح الارض .
٣ــ تدق انبوبتان مثقوبتان ومفرغتان على احد الخطوط التي تم رسمها على السطح . حيث تبعد الانبوبة الاولى بمسافة $نق_1$ عن محور البئر ، وتبعد الانبوبة الثانية بمسافة $نق_2$ عن محور البئر . بحيث يصلان الى نفس عمق البئر .
٤ــ يبدأ بالضخ لمدة ٢٤ ساعة حتى يصبح تصريف البئر ثابتاً ومن ثم يحسب متوسط التصريف
٥ــ نحدد اعماق المياه التي دخلت الى الانبوبتين ولتكن $ع_1$ ، $ع_2$ على التوالي .

ولايجاد قيمة معامل الانفاذ يمكن حسابها من معادلات تصريف الابار وهي كالآتي .

(أ) في حالة الابار الارتوازية

$$\text{معامل الانفاذ الحقلي} = \frac{\text{تصريف البئر}}{\text{٢ ط (ع٢ − ع١) × سمك الطبقة}} \times ٢٫٣ \text{ لو } (\text{نق٢}/\text{نق١})$$

(ب) في حالة الابار الضحلة

$$\text{معامل الانفاذ الحقلي} = \frac{\text{تصريف البئر}}{\text{ط (ع٢٢ − ع١٢)}} \times ٢٫٣ \text{ لو } (\text{نق٢}/\text{نق١})$$

البحث عن المياه تحت السطحية

تقسم طرق البحث عن المياه تحت السطحية بصورة اساسية الى اربعة طرق رئيسية وهي :

١ ــ التحري الجيولوجي المباشر

ويتم عادة من دراسة الجيولوجيا السطحية للمنطقة . فعلى سبيل المثال عندما تكون المنطقة شبه مستوية وتنتشر هنا وهناك بعض المستنقعات والبرك مما يدل على ان المستوى المائي قريب عن السطح ، ومن دراسة التتابع الطبقي للصخور الرسوبية وخصوصاً تلك التكوينات التي لها قابلية خزن الماء الجوفي ، او تلك الصخور المشققة او المتصدعة التي تسمح بامرار الماء ، او من خلال دراسة الغطاء النباتي او انماط المجاري في تلك المنطقة . نجد ان تلك الصفات مجتمعة تدل على وجود او غياب المياه تحت السطحية .

٢ــ طريقة حفر الابار الاختبارية

وهي طريقة مباشرة لاكتشاف الخزان الجوفي للماء من خلال وضع ابار استكشافية للبحث عن المياه الجوفية سواء بطريقة الحفر الرحوي الهيدروليكي او اية طريقة اخرى. وفي هذه الطريقة يتم التعرف على سمك الطبقات الحاملة للمياه وسعة التصريف. بالاضافة الى المعلومات الاخرى التي تخص جريان الماء، ولكنها طريقة مكلفة.

٣ــ الطرق الجيوفيزيائية (Geophysical Methods)

وتشمل طرقاً عديدة او اهم هذه الطرق هي الكهربائية التي تتضمن سلوك الكهرباء المار في هذه الطبقات الحاملة للمياه الارضية. او قد تستخدم طريقة الموجات الزلزالية. حيث تتأثر هذه الموجات اثناء مرورها في الطبقات الحاملة للمياه مقارنة بتلك الطبقات التي لاتحتوي على الماء من حيث اختلاف سرعة انتقالها في هذه الاوساط. وفي الاونة الاخيرة استخدمت الصور الجوية او الاشعة تحت الحمراء التي تبين الفروقات في درجات الحرارة فتؤدي الى اكتشاف المياه تحت السطحية.

٤ــ التطبيقات القديمة

وهذه تتمثل بعصا التنبؤ التي يستخدمها السحرة لتحديد مواقع المياه تحت السطحية. وبالرغم من ان هذا التكتيك يفتقر الى التأكيدات العلمية نجد بإن هؤلاء الاشخاص لازالو يتنقلون بين الاقطار يستعملون عصا شبيهة بالشوكة التي تمسك بكلتا اليدين، وحينما تنخفض نهاية العصا يفترض بإنها تنخفض بفعل المياه تحت السطحية. وسواء امتلك هؤلاء السحرة الاساس العلمي ام لا. فان المياه الجوفية لاتخلو منها اية منطقة في الارض ولكن بعدها او قربها من السطح يختلف من منطقة الى اخرى. وفي حالة حفر اية فتحة في موقع مناسب والى اعماق كافية سوف تخرج منها المياه الجرنية.

مكتب القسمة
للطباعة والاستنساخ