المياه الجوفية

مصطلح يطلق على الماء الموجود في مسام الصخور وفي ترسبات المناطق المتشبعة تماما. وبالرغم من أن هذا النوع من المياه لا يستخدم على نطاق واسع مثل الماء المتوفر على سطح الأرض ، إلا أن المياه الجوفية تمثل أحد أهم مصادر المياه في المناطق الريفية .وفي العديد من المناطق تشكل المياه الجوفية أكبر مخزون من المياه الصالحة للشرب، بل تعد المصدر الأوحد لمياه الري وللأغراض الصناعية والمحلية. وحتى في المناطق الرطبة، يتم استخراج كم كبير من المياه الجوفية لأغراض عديدة.

وبوجه عام تفضل المياه الجوفية على المياه الموجودة على سطح الأرض لأنها أقل تعرضا للتلوث من جراء الطفيليات المسببة للأمراض، كما أنها توجد على بعد طفيف تحت سطح الأرض بالإضافة إلى أنها ذات درجة حرارة ثابتة ومتوافرة في العديد من المناطق حتى تلك التي تعرضت لسنين عديدة من الجفاف الشديد .

تتكون معظم المياه الجوفية الضحلة بشكل مباشر من رشح كميات صغيرة من مياه الأمطار والثلوج الذائبة إلى الطبقة التي تلي السطح .أما المياه الجوفية البعيدة الغور فقد تمسكها مسام التربة فتظل راكدة لآلاف بل لملايين السنين .

وبعض هذا النوع من المياه يحتوي على كميات كبيرة من الأملاح المذابة وقد تكون مياه بحر مالحة أمسكتها الصخور المحيطة بها أثناء تكونها منذ قديم الزمان .غير أن الماء المالح البعيد الغور في أغلب البيئات الجيولوجية ينتقل ببطيء ولا يمثل ذلك الماء المحصور عند تكون الصخور .

أما في المناطق البركانية فقد تنتج كميات قليلة من المياه الجوفية من كتل الصخور النارية المنصهرة في الجزء الأعمق من الطبقة التي تلي السطح .وحتى في المناطق التي توجد بها عيون ساخنة، تكون كميات المياه التي مصدرها الصخور المنصهرة بوجه عام أقل من نسبة 1٪ من مجموع الماء الساخن المتدفق على السطح .

حركة المياه الجوفية

يتحدد معدل حركة المياه الجوفية على أساس نفاذية الصخور أو الترسبات التي تحوي هذه المياه وكذا معدل انحدار مستوى الماء، كما أن معدل تدفق مياه النهر يعتمد على انحدار مجرى النهر. ويعد معدل حركة المياه الجوفية أقل سرعة من مياه السطح، وتقدر في الغالب ببضعة سنتيمترات قليلة في اليوم، وتعد هذه الحركة البطيئة أحد أهم خصائص المياه الجوفية لأن ذلك يعني أنها ستظل موجودة في الأرض ومتوافرة

لفترات طويلة نسبيا بحيث يمكن للإنسان استخدامها قبل أن تأخذ طريقها إلى البحر. فإذا توافرت الطبقات الحافظة للماء، فقد يتحرك الماء الجوفي من مصدره لمسافة تقدر بمئات الكيلومترات.

أصل المياه الجوفية:

تعد الأمطار والثلوج المصدر الأساسي للمياه كلها في العالم، وذلك الجزء من التساقط المائي الذي لا يستغل في موقعه إما أن يتدفق فوق سطح الأرض أو يتسرب إلى باطنها فيزيد من موارد الماء الجوفي. وهكذا فإن الأمطار أو الثلوج التي لا تستعمل هي مصدر كل من المياه السطحية والمياه الجوفية اللازمة للري والتسرب وللصناعة ولكافة الاحتياجات البشرية والحياتية على سطح الكرة الأرضية.

تمثل دورة المياه الأرضية المصدر الرئيسي للمياه العذبة في الطبيعة، فإنها تبدأ بمياه المحيطات التي تغطي ثلاثة أرباع سطح الكرة الأرضية، حيث تتبخر المياه من هذه الأسطح المائية نتيجة لأشعة الشمس وتتجمع الأبخرة المتصاعدة في الغلاف الجوي مكونة السحب، وبفعل التيارات الهوائية الباردة وبوجود حبيبات التكاثف تأخذ السحب بالتكاثف وتسقط المياه مرة أخرى إلى الأرض على هيئة إمطار وبرد وثلوج، حيث يجري قسم منها إلى الأنهار والوديان والبحيرات، أما القسم الثاني فإنه يتغلغل في التربة السطحية في منطقة جذور النباتات وجزء آخر يستمر في التغلغل إلى أسفل منطقة الجذور تحت تأثير الجاذبية الأرضية لتغذي الخزانات الأرضية أو تكون المياه الجوفية .فهذه المياه تظهر مرة أخرى على هيئة ينابيع تجري على سطح الأرض مع المياه السطحية إلى المحيطات لتبدأ الدورة الهيدرولوجية من جديد.

وتوجد المياه الجوفية أيضا في بعض التكوينات الجيولوجية مقترنة بوقت تكوينها، كما توجد أيضا بكميات قليلة نتيجة لبعض التفاعلات الكيميائية التي تحدث تحت سطح الأرض كما هو الحال في المياه المصاحبة للأنفجارات البركانية، حيث تنتج مباشرة مع انطلاق الأبخرة التي كانت محبوسة داخل الصخور المنصهرة عندما تبرد قبل وصولها إلى سطح الأرض.

تعتمد الزراعة في المملكة بشكل رئيس على المياه الجوفية لأغراض الري ، وذلك لندرة الأمطار وعدم انتظام كمياتها ومواعيد سقوطها، فالمياه الجوفية هي المياه المتسربة من خلال الطبقات النفاذة إلى باطن الأرض، حيث تتجمع فوق طبقة صماء مكونة بذلك الخزانات الجوفية، وتعد الأمطار هي المصدر الرئيس لهذه المياه بالإضافة إلى المياه السطحية مثل الأنهار أو البحيرات أو من مياه الري الفائضة المتسربة لباطن الأرض، وعلى الرغم من استغلال هذه المياه من الخزانات الجوفية فإنها تعود لتمتلئ تلقائياً من نفس هذه المصادر.

تعتبر التنمية الاقتصادية والاجتماعية مستحيلة بدون مياه، لذلك فإن للقرارات التي يتخذها صانعو القرار في قطاع المياه، تأثيرات لا تقتصر على الأبعاد الاقتصادية فحسب بل تشمل أيضا وبنفس الدرجة من

الأهمية شروط سلامة الإنسان وصحته وبقاءه وما يرتبط بهذه الشروط من أبعاد اقتصادية واجتماعية، ولقد كان طلب الإنسان على المياه في الماضي قليلاً بالنسبة لمصادرها المتوافرة وحين كانت قدراته التكنولوجية ضعيفة التأثير على البيئة، ولم تكن هناك ثمة مشكلة في تلبية الاحتياجات المائية لمختلف الاستعمالات.

أما اليوم فإن تزايد السكان وزيادة استهلاك المياه وتنامي القدرات التكنولوجية المؤثرة على نحو سلبي على البيئة قد أدت جميعها إلى ظهور التنافس على استعمالات المياه وتلوث البيئة. ومن هنا تتضح أهمية المياه بالنسبة للإنسان وخاصة الدور الرئيس الذي يلعبه في حماية البيئة.

وكما هو واضح في معدلها السنوي تعتمد على معدل الساقط المطري، وللسهولة يمكن القول أن كمية هذه المياه هي الفرق بين كمية المياه التي تغذي الطبقات المائية وكمية مياه التصريف الطبيعي من هذه الطبقات0

أوضحت الأبحاث والدراسات بأن المملكة تتمتع بثروة مائية جوفية كبيرة جداً (للمزيد من المعلومات حول هذا الموضوع راجع الكتاب المعنون "سبع سنابل خضر/ وزارة الزراعة والمياه–السعودية–عبد الباسط الخطيب).

مزايا وعيوب التخزين الجوفي

لا شك أن استغلال المياه الجوفية لأغراض الري له بعض المزايا وبعض العيوب، ويمكن تلخيصها بإيجاز كما يلي:

المزايا:

لا تحتاج المياه الجوفية إلى إقامة منشآت ضخمة كما هو الحال في الخزانات السطحية التي لا يحتاج إنشاؤها إلى اختيار موقع خاص تتوفر فيه شروط خاصة، كما يساعد استنزاف المياه الجوفية على خفض منسوب سطحها وذلك فهي تخدم غرضين، أولهما استعمالها في الري أو الشرب، وثانيهما تساعد في الصف الباطني، أي خفض منسوب الماء الأرضي.

العيوب:

تكون غالباً درجة ملوحة المياه الجوفية أعلى من درجة ملوحة المياه السطحية، كما أن استغلال المياه الجوفية يتطلب إلى دراسة جيولوجية مكثفة لتحديد نوعية الطبقات الحاملة للمياه وسمكها، علاوة على صعوبة التحكم في مسار المياه الجوفية بسبب تعذر إنشاء الأعمال الصناعية التي تحكم حركتها.

مناطق تواجد المياه الجوفية

تتواجد المياه الجوفية في طبقات الأرض بين الفراغات البينية للتربة، ويمكن تحديد مناطق تواجد هذه المياه في المناطق الآتية :

1-مياه منطقة التهوية:

تمتد هذه المنطقة من سطح الأرض حتى منسوب المياه الجوفية، وخلال مسام هذه المنطقة تترشح المياه الفائضة عن السعة الحقلية بفعل الجاذبية الأرضية إلى الأسفل لغاية أن تصل منطقة التشبع، ويطلق أحياناً على مياه منطقة التهوية مياه الرشح، ولا يمكن أن يعتمد على هذا النوع من المياه عند التخطيط لمشاريع الري.

2-منطقة التشبع:

تبدأ هذه المنطقة من منسوب سطح المياه الجوفية حتى الطبقة الصماء، وتكون جميع فراغات التربة في هذه المنطقة مليئة بالماء، وتدعى هذه المنطقة بالطبقات الحاملة للمياه، وتكون عادة مكونة من الطبقات الرملية بأحجام مختلفة أو تكون من الطبقات الرملية المخلوطة بالحصى.

3-منطقة الفجوات غير المتصلة:

وهي المنطقة التي تلي منطقة التشبع، تتواجد فيها المياه بشكل متقطع على هيئة جيوب في بعض فجوات الصخور، ويتعذر الاستفادة أو استغلال هذه المياه من هذه المنطقة.

في حالة المياه الجوفية فإن قوى الخاصية الشعرية تتحكم في حركة الماء، بينما في حالة المياه الجوفية فإن قوى الجاذبية والاحتكاك الناجمة عن حركة المياه تتحكم في سرعة وحركة واتجاه وكمية المياه.

أنواع الخزانات الجوفية

تنقسم الخزانات الجوفية حسب حدودها الهيدرولوجية إلى الأنواع الآتية :

أ-الطبقات الخازنة:

هي الطبقات التي تسمح بدخول الماء وحركته بين مسامات التربة فيها والتي يمكن أن يستفاد من المياه المختزنة فيها كمياه جوفية لكافة الأغراض.

ب- الطبقات غير الخازنة:

هي تكوينات جيولوجية غير نفاذة لا يمكنها أن تخزن الماء ولا تسمح بحركته لأنها لا تحتوي على مسامات متصلة (مثل صخور الغرانيت).

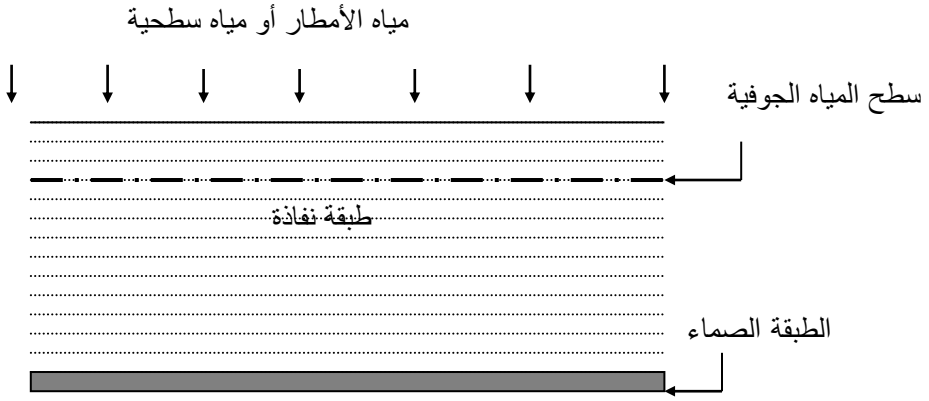
ج- تكوينات كتميه:

هي تكوينات جيولوجية مسامية غير نفاذة، لها القابلية على خزن الماء ولكنها لا تسمح بحركته ضمن طبقاتها بسهولة، وتتصف بقلة إنتاجيتها من الماء (مثل الطبقات الطينية).

وبشكل عام تنقسم الطبقات الخازنة حسب وجود المكونات غير النفاذة أو عدم وجودها داخل طبقات التربة وكذلك حسب موقعها إلى الأنواع الآتية :

الخزانات الجوفية الحرة (الطبقات الحاملة الحرة غير المحصورة):

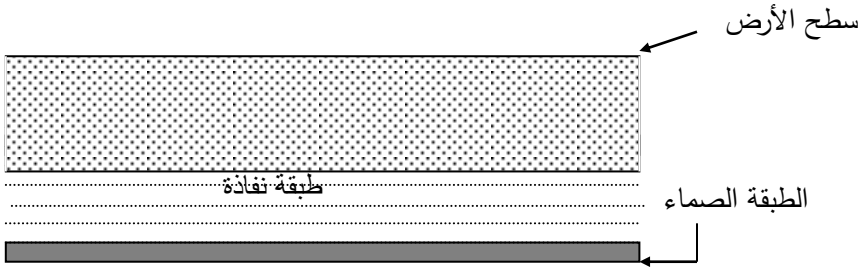
تكون الطبقة الحاملة للمياه من أعلى دون أن تعلوها طبقة صماء، أي أن الخزان يكون متصلاً بشكل مباشر بمصادر تغذيتها (شكل1)، كما أن سطح الماء الحر الموجود في هذه الطبقات يتأثر بظروف المياه الموجودة على سطح الأرض، فهو يرتفع مستواه بالقرب من الأنهار أو قنوات الري ذات المناسيب العالية وينخفض المنسوب بالقرب من المصارف.



شكل1: مقطع لخزان جوفي حر

الخزان الجوفي المحصور (الطبقات الحاملة الارتوازية–المحصورة):

هي التكوينات الجيولوجية النفاذة التي تحتجز المياه تحت الضغط الارتوازي بين طبقتين غير نفاذتين (شكل2)، قد يرتفع الماء في مثل هذه الطبقات فوق مستوى الطبقة العليا أوقد يرتفع إلى سطح الأرض إذا كان الضغط كافياً، ومقدار ارتفاع الماء في البئر يعتمد على مقدار الضغط الارتوازي المتوفر في الطبقة، وهذا الضغط يتأثر بمقدار ارتفاع الماء عند مصدر الماء المغذي للطبقة الحاملة.



شكل2: مقطع لخزان جوفي محصور

الخزان الجوفي شبه المحصور:

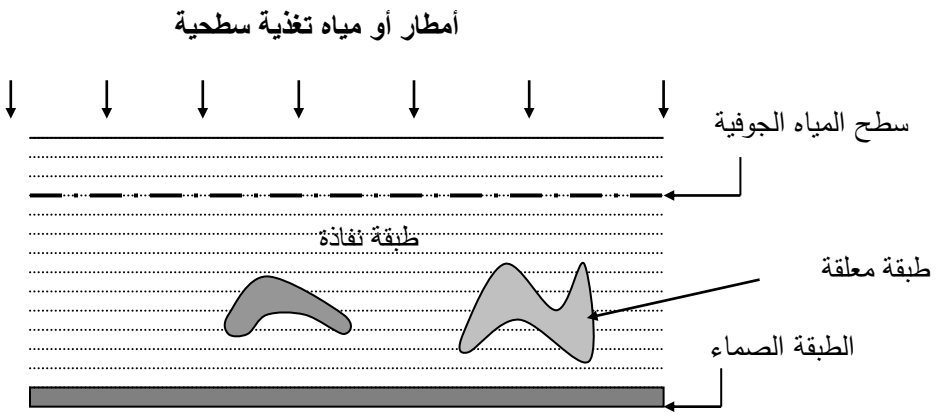
في هذا النوع من الخزانات الجوفية تعلو الطبقة النفاذة طبقة شبه صماء وفي الأسفل طبقة صماء.

طبقة معلقة:

أحياناً تتخلل الطبقة الحاملة النفاذة عند عمق معين ولمسافة محدودة بعض التكوينات غير النفاذة التي تعيق أو تمنع حركة الماء نحو الطبقة الصماء إلى الأسفل، وهذه لا تعد تكوينات حاملة بل تدعى الطبقات الجاثمة أو المعلقة (شكل3).

تغذية المياه الجوفية

عند توفر مياه سطحية فائضة عن حاجة الاستهلاك يتم إعادة هذا الفائض إلى باطن الأرض لتغذية المياه الجوفية، وتتم العملية إما بواسطة تهيئة أحواض ترشيح أو بإنشاء بعض السدود الصغيرة لحجز المياه خلفها على سطح الأرض لأطول فترة زمنية ممكنة للسماح للماء للتغلغل داخل الأرض.



شكل 3: مقطع لخزان جوفي يحتوي على تكوينات معلقة

هيدروليكية الآبار

لاستنتاج معادلات تتعلق بهيدروليكية الآبار لا بد من وضع بعض الفرضيات التي تساعد على تحقيق ذلك، ومن هذه الفرضيات ما يلي:

1- تدفق المياه نحو البئر يكون أفقي.

2- تخترق البئر الطبقة الحاملة للمياه بالكامل.

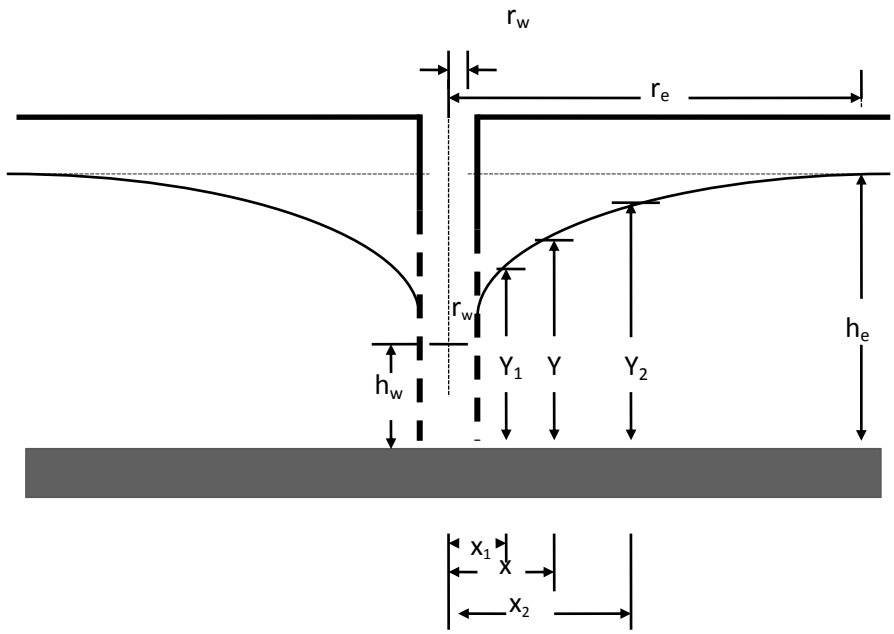
3- معامل الأستنقال (T) ثابت في جميع الأماكن في مقطع الطبقة الحاملة وفي جميع الأوقات.

4- الجريان طباقي ويمكن استخدام قانون دارسي.

طرق تقدير التصرف من الآبار

مياه الخزانات الجوفية الحرة

يعوض عن الماء المستنزف من البئر بواسطة الرشح من خلال التربة بصورة أفقية، والتصرف المستنزف من البئر في حالة الجريان المستقر Steady State Flow يعادل معدل الجريان خلال أحد الأسطح الأسطوانية المحيطة بالبئر (شكل 4)، فلو أخذنا اسطوانة قطرها 2x وارتفاعها Y، يمكن إيجاد مقدار التصرف من خلال سطح هذه الأسطوانة بتطبيق قانون دارسي بالشكل التالي:



شكل 4: مقطع لطبقة حاملة حرة للمياه الجوفية (غير محصورة)

$$Q = A.V \quad \ldots\ldots (1)$$

ولكن مساحة سطح الأسطوانة يساوي:

$$A = 2\pi xY \quad \ldots\ldots (2)$$

والميل الهيدروليكي يساوي:

$$I = \frac{dy}{dx} \quad \ldots\ldots (3)$$

بالتعويض عن المعادلات (2 و 3) في المعادلة (1) نحصل على ما يلي:

$$\therefore \; Q = k\frac{dy}{dx}.2\pi xY \quad \ldots\ldots (4)$$

وبإجراء التكامل للمعادلة (4) لتأخذ كامل حدود الطبقة الحاملة تصبح المعادلة:

$$\int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{x} = \int_{Y_1}^{Y_2} \frac{2\pi k}{Q}.YdY \quad \ldots\ldots (5)$$

إذن تأخذ المعادلة الشكل التالي بعد التكامل

$$\therefore \ \ln\frac{x_1}{x_1} = \frac{\pi k}{Q}\left(Y_2{}^2 - Y_1{}^2\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(6)$$

وبعد إعادة ترتيبها تصبح كما يلي وتدعى "**معادلة ثيم Thiem**":

$$Q = \frac{\pi k}{\ln\frac{x_2}{x_1}}\left(Y_2{}^2 - Y_1{}^2\right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(7)$$

وفي هذه الحالة يتطلب لحل هذه المعادلة وجود آبار مراقبة لتسجيل مقدار الهبوط فيها لقياس كل من (T_1 , T_2) ، وهذا أمر يحتاج إلى جهد وتكلفة، وعليه تم تطوير هذه المعادلة بحيث يمكن الاستغناء عن آبار المراقبة ، وتدعى المعادلة المطورة الآتية "**بمعادلة ديبوي Dupuit**":

$$Q = \frac{\pi k}{\ln\frac{r_e}{r_w}}\left(h_e{}^2 - h_w{}^2\right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(8)$$

يستلزم لحل هذه المعادلة معرفة نصف قطر دائرة تأثير البئر (r_e) وارتفاع الماء (h_e) في الطبقة الحاملة قبل بدء الضخ.

مياه الخزان الجوفي المحصور (المياه الارتوازية)

يتدفق الماء في هذه الحالة نحو البئر فقط من سمك الطبقة المحصورة (D)، وبهذا تكون الأسطوانات المحيطة بالبئر متساوية الارتفاع (شكل5)، أي أن مساحة سطح اسطوانة نصف قطرها (x) يساوي (2π Dx)، وباستخدام قانون دارسي يمكن إيجاد التصرف نحو البئر من خلال الأسطوانة كما يلي:

$$Q = KIA \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(9)$$

ويكون التصرف:

$$Q = k\frac{dY}{dX}.2\pi Dx \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(10)$$

وبعد ترتيب المعادلة تصبح كما يلي:

$$\frac{dx}{x} = \frac{2\pi kD}{Q} dY \quad \text{.....(11)}$$

بإجراء التكامل لطرفي المعادلة

$$\int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{x} = \int_{Y_1}^{Y_2} \frac{2\pi k}{Q} \quad dY \quad \text{.....(12)}$$

تأخذ المعادلة الشكل التالي بعد إجراء التكامل:

$$\ln \frac{x_2}{x_1} = \frac{2\pi kD}{Q} \left(Y_2 - Y_1\right) \quad \text{.....(13)}$$

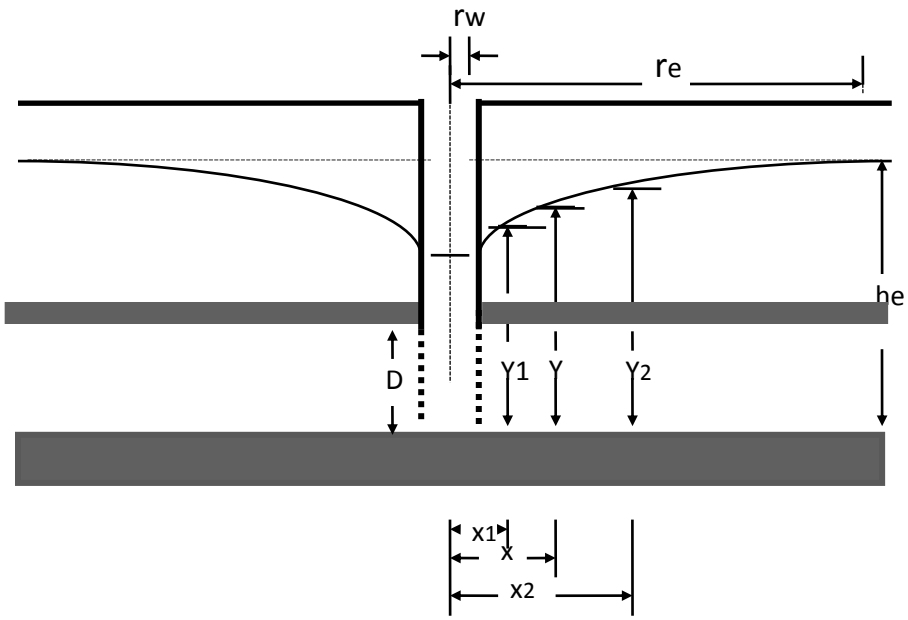
أو بعد إعادة ترتيبها تصبح كما يلي وتدعى "**معادلة ثيم Thiem**":

$$Q = \frac{2\pi kD}{\ln \frac{x_2}{x_1}} \left(Y_2 - Y_1\right) \quad \text{.....(14)}$$

وفي هذه الحالة يتطلب لحل هذه المعادلة وجود آبار مراقبة، وعليه تم تطوير هذه المعادلة بحيث يمكن الاستغناء عن آبار المراقبة، وتدعى المعادلة المطورة الآتية "**بمعادلة ديبوي Dupuit**":

$$Q = \frac{2\pi kD}{\ln \frac{re}{r_w}} \left(h_e - h_w\right) \quad \text{.....(15)}$$

ولحل هذه المعادلة يستلزم الأمر معرفة نصف قطر دائرة تأثير البئر (r_e) ومقدار الضغط البيزومتري في الطبقة الحاملة قبل بدء الضخ (h_e).


rw
re
he
D
Y1
Y
Y2
x1
x
x2

شكل 5. مقطع لطبقة حاملة للمياه الجوفية محصورة (ارتوازية)

مياه الخزانات الجوفية الحرة المعززة بتصرف عمودي

يمكن أن تتغذى الآبار من مياه الأمطار أو من مياه الري الفائضة تغذية عمودية بالإضافة للتغذية الأفقية، على شرط أن يكون معدل المطر أو الري اكبر من السعة الحقلية للتربة، ويمكن أن تحصل التغذية أيضا إذا تعرضت التربة إلى رشح ثابت للأعلى من خلال الطبقات السفلي. ولكي نستنتج معادلة لحساب التصرف من الآبار المعززة بمياه الأمطار أو بمياه الري نفترض بأن بئراً تخترق الطبقة الحاملة بالكامل (طبقة غير محصورة)، وأن معدل تغذيتها يساوي (R)، ولنأخذ شريحة رأسية عرضها يساوي (dx) تمتد من سطح الماء إلى الطبقة الصماء (شكل6)، فيمكن حساب مقدار التصرف نحو البئر نتيجة للتغذية بضرب معدل التصرف في مساحة الشريحة حول البئر بالطريقة الآتية :

مساحة الشريحة حول البئر (A) تساوي:

$$A= 2\pi x dx \qquad (16)$$

إذن التصرف فوق هذه الشريحة نتيجة المطر المتجه نحو البئر يساوي:

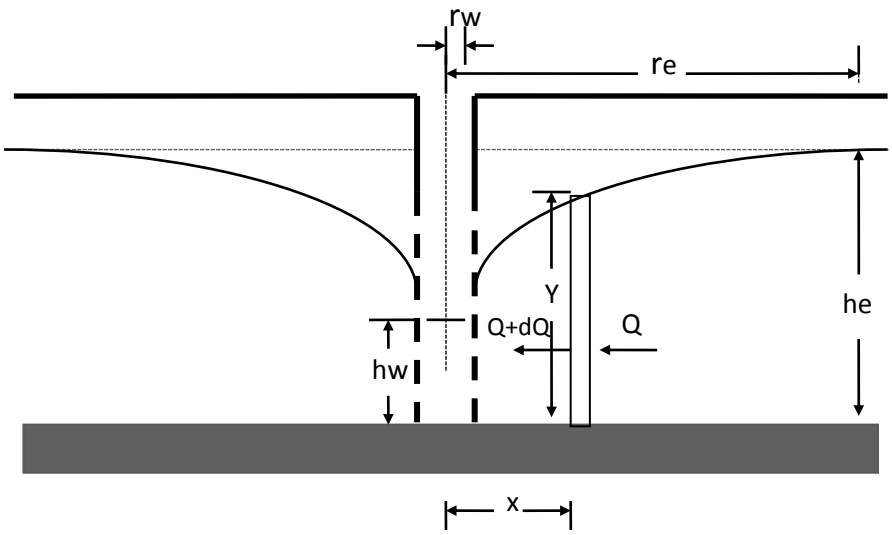
$$dq= -2\pi x dx.R \qquad (17)$$

وبإجراء التكامل لهذه المعادلة

$$\int dq = \int -2\pi x dx.R \quad \ldots\ldots(18)$$

بعد التكامل تصبح المعادلة كما يلي:

$$q = -\pi x^2 R + C \quad \ldots\ldots(19)$$



شكل 6. مقطع لطبقة حاملة للمياه الجوفية حرة (غير محصورة)

وعندما تكون $x = 0$ تكون $q = Q$ ، وبتطبيق هذه الشروط الحدودية نحصل على قيمة الثابت (C) أي أن $q = C$ ، ثم نعوض عن هذه القيمة في المعادلة (19) فتصبح بالشكل التالي:

$$q = -\pi x^2 R + Q \quad \ldots\ldots(20)$$

ولكن من قانون دارسي يمكن إيجاد مقدار التصرف نحو البئر من خلال الأسطوانة المحيطة بالبئر والتي يكون ارتفاعها عند مسافة (x) من البئر يساوي (Y) بالطريقة الآتية :

$$q = 2\pi x k Y \frac{dY}{Dx} \quad \ldots\ldots(21)$$

وبتساوي المعادلتين (20) و (21) نحصل على:

$$-\pi x^2 R + Q = 2\pi x k Y \frac{dY}{Dx} \quad \ldots\ldots(22)$$

نضرب طرفي المعادلة بـ $\frac{dY}{dX}$:

$$-\pi x R dx + Q\frac{dx}{x} = 2\pi k Y dY \quad \ldots\ldots(23)$$

وبإجراء التكامل حسب الشروط الحدودية تصبح المعادلة (2−23) كما يلي:

$$\int_{r_w}^{r_e} -\pi x R dx + \int_{r_w}^{r_e} Q\frac{dx}{x} = \int_{h_w}^{h_e} 2\pi k Y\, dY \quad \ldots\ldots(24)$$

$$\left[-\frac{\pi R}{2}x^2\right]_{r_w}^{r_e} + \left[Q\ln x\right]_{r_w}^{r_e} = \left[\pi k Y^2\right]_{h_w}^{he} \quad \ldots\ldots(25)$$

$$-\frac{\pi R}{2}\left(r_e^{\,2} - r_w^{\,2}\right) + Q\ln\frac{r_e}{r_w} = \pi k\left(h_e^{\,2} - h_w^{\,2}\right) \quad \ldots\ldots(26)$$

بعد إعادة ترتيب المعادلة يمكن إيجاد معادلة التصرف من بئر معزز بتغذية رأسية كما يلي:

$$Q = \frac{\pi k}{\ln\frac{r_e}{r_w}}\left[\left(h_e^{\,2} - h_w^{\,2}\right) + \frac{R}{2k}\left(r_e^{\,2} - r_w^{\,2}\right)\right] \quad \ldots\ldots(27)$$

تأثير التداخل على مستوى الماء في الآبار

إذا تم حفر عدة آبار قريبة من بعضها البعض بحيث يتقاطع مخروط انخفاض سطح الماء لكل منها مع الآخر فإن ذلك يؤثر على مستوى الماء فيها وعلى مقدار تصرفاتها.

يمكن تقدير الخفض الكلي في مستوى الماء للآبار المتداخلة (Z_t) عند أي نقطة إذا كانت تصرفات الآبار معلومة، أو العكس، أي يمكن تقدير مقدار التصرف إذا كان مقدار الانخفاض معلوم. فالانخفاض في مستوى الماء عند أي نقطة ضمن دائرة التأثير الناتجة عن التصرف من عدة آبار موجودة على خط مستقيم (شكل 7) يساوي مجموع الخفض الناتج عن كل بئر من هذه الآبار، ويمكن التعبير عنه بالعلاقة الآتية :

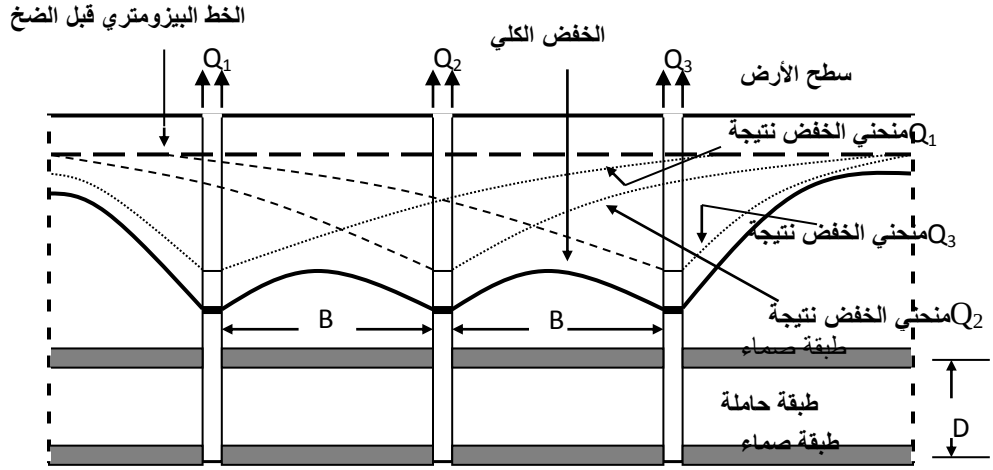
$$Z_t = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \ldots\ldots Z_n \quad \ldots\ldots(28)$$

حيث أن:

Z_t = الخفض الكلي في مستوى الماء الناتج من مجموعة الآبار المتداخلة

$z_1+z_2+z_3+z_n$ = الخفض الكلي في مستوى الماء الناتج من البئر 1 و2 و3 و n

يمكن تقدير مقدار الخفض في منسوب الماء عند أي نقطة في حالة التدفق المستقر للحالات الآتية :



شكل7: مقطع يبين تأثير تداخل الآبار على خفض منسوب الماء الجوفي

الطبقات المحصورة

$$Z_t = h_e - h_i = \sum_{i}^{n} \frac{Q_i}{2\pi kD} . \ln \frac{r_{ei}}{r_i} \quad \ldots\ldots(29)$$

حيث أن:

r_i = المسافة من البئر رقم (i) إلى النقطة المطلوب حساب مقدار الخفض عندها(Z_t)

r_{ei} = نصف قطر دائرة تأثير البئر رقم (I) Q_i = التصرف من البئر رقم (i)

h_i = ارتفاع الماء عن الطبقة الصماء عند النقطة المطلوب حساب الخفض عندها نتيجة لذلك البئر فقط

طبقة غير محصورة

$$h_e^2 - h_i^2 = \frac{Q_i}{\pi k} \ln \frac{r_{ei}}{r_i} = C_i \quad \text{.....(30)}$$

أو يمكن التعبير عن المعادلة بالشكل التالي:

$$h_i = \sqrt{h_e^2 - C_i} \quad \text{.....(31)}$$

والخفض الناتج يساوي:

$$Z_i = h_e - h_i \quad \text{.....(32)}$$

إذن بعد التعويض في المعادلة (33) عن قيمة h_i من المعادلة (32) نحصل على ما يلي:

$$Z_i = h_e - \sqrt{h_e^2 - C_i} \quad \text{.....(33)}$$

وبالتالي يكون مقدار الخفض الكلي عند النقطة المحددة يساوي:

$$Z_t = \sum Z_i = \sum_i^n (\sum h_e - \sqrt{h_e^2 - C_i}) \quad \text{.....(34)}$$

تأثير التداخل على تصرف الآبار

اقترح العالم مسقاط (Muskat) المعادلات الآتية لإيجاد مقدار التصرف من الآبار المتداخلة:

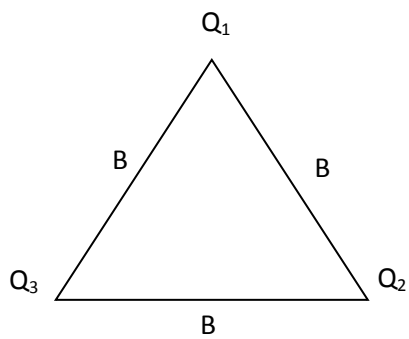
أ) الطبقات المحصورة (الارتوازية)

1- في حالة بئرين متشابهين تماماً (أي أن أقطارهما متساوية، والضخ وانخفاض مستوى الماء فيهما بنفس الوقت) ، وتفصلهم مسافة تساوي (B):

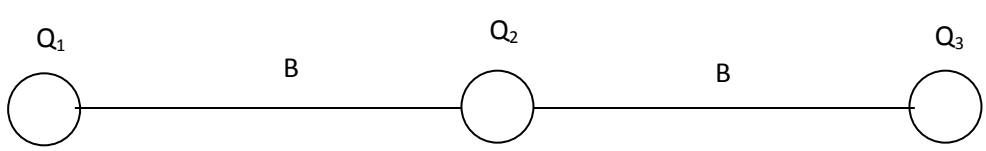
$$Q_1 = Q_2 = \frac{2\pi kD(h_e - h_w)}{\ln\left(\frac{r_e^{\,2}}{r_w.B}\right)} \quad \text{.....(35)}$$

2- في حالة ثلاثة آبار متشابهة تماماً تفصل الواحد عن الآخر مسافة (B) ومواقعها تشكل مثلث متساوي الأضلاع:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \frac{2\pi kD(h_e - h_w)}{\ln\left(\frac{r_e^{\,3}}{r_w.B^2}\right)} \quad \text{.....(36)}$$



3- في حالة ثلاثة آبار متشابهة تماماً تفصلها مسافة (B) وعلى خط مستقيم: يكون التصرف في الآبار الخارجية كما يلي:



$$Q_1 = Q_3 = \left[\frac{2\pi kD(h_e - h_w)\ \ln\left(\frac{B}{r_w}\right)}{2\ln\left(\frac{r_e}{B}\right)\ln\left(\frac{B}{r_w}\right) + \ln\left(\frac{B}{2r_w}\right)\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)}\right] \quad \text{.....(37)}$$

التصرف من البئر الوسطى يساوي:

$$Q_2 = \left[\frac{2\pi kD(h_e - h_w)\ \ln\left(\frac{B}{2r_w}\right)}{2\ln\left(\frac{r_e}{B}\right)\ln\left(\frac{B}{r_w}\right) + \ln\left(\frac{B}{2r_w}\right)\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)} \right] \quad \ldots\ldots(38)$$

أما التصرف الكلي من هذه الآبار فيساوي:

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad \ldots\ldots(39)$$

مثال1

حفرت آبار ثلاثة في طبقة محصورة سمكها 15م، وقطر كل بئر من هذه الآبار يساوي 10سم، شكلت المسافة بين الآبار مثلث متساوي الأضلاع ، وطول الضلع يساوي 12م، ونصف قطر دائرة تأثير كل بئر يساوي 400م، ومعامل نفاذية الطبقة الحاملة 20م/يوم، ومقدار الخفض في منسوب الماء في كل بئر يساوي 2م. أوجد التصرف من كل بئر، وأوجد أيضا نسبة الخفض في التصرف نتيجة لتداخل الآبار الثلاثة.

الحل:

r_w=10/5 = 5cm = 0.05m

B=12m r_e=400m k=20m/day D=15m

مقدار الخفض في البئر يساوي:

$s=h_e-h_w=2m$

باستخدام المعادلة (37) نحصل على:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \frac{2\pi kD}{\ln\left(\frac{r_e^{\ 3}}{r_w.B^2}\right)}.(h_e - h_w)$$

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \frac{2\pi(20\times15\times2)}{\ln\left(\frac{400^3}{0.05\times12^2}\right)} = 235.76m^3/day$$

أما التصرف من كل بئر بدون تأثير التداخل يمكن إيجاده من معادلة ديبوي للطبقات المحصورة (معادلة رقم 2−15) كم

ا يلي:

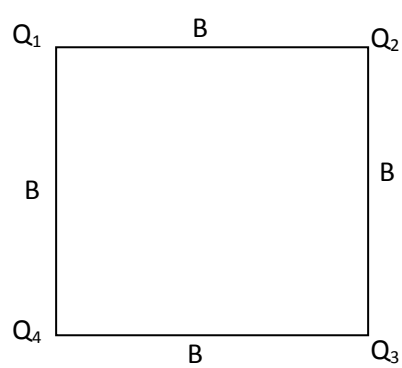
$$Q = \frac{2\pi kD}{\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)}.(h_e - h_w)$$

$$Q = \frac{2\pi(20\times 15\times 2)}{\ln\left(\frac{400}{0.05}\right)} = 419.73 m^3/day$$

إذن تكون نسبة النقص في التصرف نتيجة التداخل تساوي:

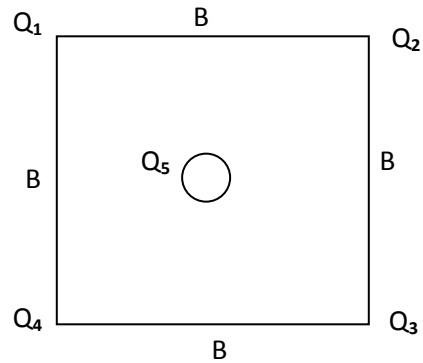
$$\% = \frac{419.73 - 235.76}{419.73}\times 100 = 43.83\%$$

4− في حالة أربعة آبار على شكل مربع طول ضلعه يساوي (B) يكون التصرف كما يلي:



$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = \frac{2\pi kD(h_e - h_w)}{\ln\left(\frac{r_e^4}{\sqrt{2}\, r_w B^3}\right)} \quad \text{.....(40)}$$

وإذا كانت هناك بئر موجودة في وسط الآبار الأربعة يكون التصرف من الآبار في الزوايا كما يلي:



$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = \frac{2\pi kD(h_e - h_w)\ln\left(B/\sqrt{2}\,r_w\right)}{4\ln\left(\sqrt{2}\,r_e/B\right)\ln\left(B/\sqrt{2}\,r_w\right) + \ln\left(r_e/r_w\right)\ln\left(B/4\sqrt{2}\,r_w\right)} \quad \ldots(41)$$

المعادلات السابقة يمكن تعديلها كي تناسب الطبقات الحرة وذلك بالتعويض عن قيم h_e بمقدار $(h_e)^2/2D$ وعن h_w بمقدار $(h_w)^2/2D$.

6 اختراق البئر للطبقة الحاملة جزئياً

إن الفرضيات التي تم الإستناد عليها في استنتاج معادلات تقدير التصرف من الآبار للطبقات الحاملة الحرة والمحصورة كانت مبنية أساسا على أن البئر يخترق كامل الطبقة الحاملة ، ولكن هناك حالات عديدة يخترق البئر الطبقة جزئياً (الشكل5)، لذا لا يمكن استخدام المعادلات السابقة لحل هذا النوع من الآبار لكون الناتج في مثل هذه الحالة لا يعبر النتائج عن الواقع، وذلك لأن حركة الماء في حالة الاختراق الجزئي تكون ثلاثية الأبعاد نحو البئر، وكمية التصرف اكبر من الاختراق الكامل. ولقد اقترح العالم كوزيني (Kozeny) المعادلات الآتية لحالات الاختراق الجزئي:

1-الطبقات الحرة (غير محصورة)

يعبر عن التصرف من بئر يخترق الطبقة جزئيا بالمعادلة الآتية :

$$Q_p = \left[\frac{\pi k\left(h_e^{\,2} - h_w^{\,2}\right)}{\ln\frac{r_e}{r_w}}\right]\left[1 + 7\sqrt{\frac{r_w}{2h_s}}.\cos\frac{\pi h_s}{2h_e}\right] \quad \text{.....(42)}$$

ويمكن التعبير عن مقدار انخفاض سطح الماء الأرضي في هذا النوع من الآبار بالمعادلة الآتية :

$$h_e - h_w = \frac{Q_p}{4\pi k}\left[\frac{2}{h_s}.\ln\frac{\pi h_s}{2r_w} + \frac{0.2}{h_e}\right] \quad \text{.....(43)}$$

2- الطبقات المحصورة

$$Q_p = \left[\frac{2\pi k h_s\left(h_e - h_w\right)}{\ln\frac{r_e}{r_w}}\right]\left[1 + 7\sqrt{\frac{r_w}{2h_s}}.\cos\frac{\pi h_s}{2D}\right] \quad \text{.....(44)}$$

ومعادلة تقدير انخفاض منسوب الماء الأرضي هي:

$$h_{2h_e} - h_w = \frac{Q_p}{2\pi k}\left[\frac{1}{h_s}.\ln\frac{\pi h_s}{2r_w} + \frac{0.1}{D}.\ln\frac{r_e}{2D}\right] \quad \text{.....(45)}$$

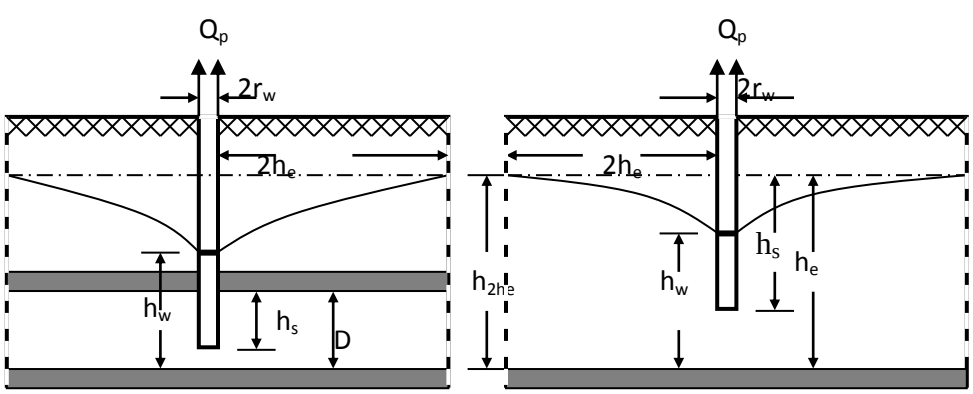
حيث أن:

Q_p= التصرف من البئر التي تخترق الطبقة الحاملة جزئياً

h_e = العمق الكلي للطبقة الحاملة أسفل الماء الأرضي قبل الضخ

h_s = عمق البئر الفعلي تحت سطح الماء

h_{2he}= ارتفاع سطح الماء الأرضي فوق الطبقة الصماء عند مسافة أفقية تبعد عن البئر بمقدار يساوي ضعف h_e.



(ب) (أ)

شكل8: آبار تخترق الطبقة الحاملة جزئياً (أ) طبقة حرة (ب) طبقة محصورة

7- الجريان الكروي نحو البئر

يخترق البئر أحيانا قمة الطبقة الصماء العلوية فقط (شكل9)، ففي مثل هذه الحالة يكون مقدار h_s مساوياً صفر، وهذه الحالة تعتبر من الحالات الخاصة من الاختراق الجزئي ، وعليه يمكن تقدير التصرف (Q_s) من مثل هذه الآبار من المعادلة الآتية :

$$Q_{s\acute{y}} = 2\pi k.r_w\left(h_e - h_w\right) \quad \text{.....(46)}$$

ولقد تم سابقاً إيجاد معادلة التصرف من الآبار التي تخترق كامل الطبقة بالشكل التالي:

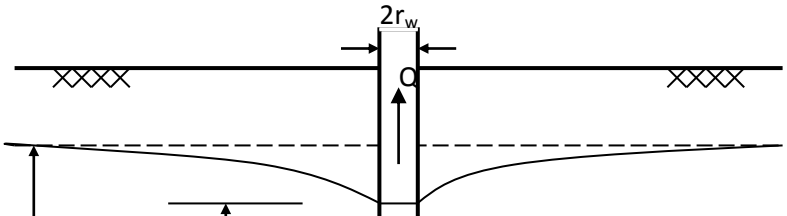
$$Q = \frac{2\pi kD\left(h_e - h_w\right)}{\ln\frac{r_e}{r_w}} \quad \text{.....(47)}$$

وبمقارنة التصرف الكروي نسبة إلى التصرف من الآبار التي تخترق كامل الطبقة نحصل على ما يلي:

$$\frac{Q_s}{Q} = \frac{2\pi kr_w\left(h_e - h_w\right)}{\frac{2\pi kD\left(h_e - h_w\right)}{\ln\frac{r_e}{r_w}}} = \frac{r_w \ln\frac{r_e}{r_w}}{D} \quad \text{.....(48)}$$

وبعد ترتيب المعادلة (48) تأخذ الشكل التالي:

$$\frac{Q_s}{Q} = \frac{r_w}{D}.\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) \quad \text{.....(49)}$$



شكل 9: الجريان الكروي في الآبار

<u>مثـال:</u>

إذا كان قطر بئر (r_w) يخترق فقط قمة الطبقة الحاملة يساوي 10سم، ونصف قطر دائرة التأثير (r_e) يساوي 100متر، وسمك الطبقة الحاملة (D) يساوي 20متر، أوجد نسبة التصرف من هذا البئر بالنسبة إلى بئر يخترق كامل الطبقة.

باستخدام المعادلة (49) نحصل على ما يلي:

$$\frac{Q_s}{Q} = \frac{r_w}{D} \ .\ln 1000 \ \cong \frac{1}{30}$$

وهذا يعني بأن إنتاجية هذا النوع من الآبار تكون أقل كثيراً من التصرف من الآبار الأخرى، وفي هذا المثال تكون أقل بمقدار 30 مرة، وهذا يبين بوضوح بأن كفاءة هذه الآبار تكون اقل من غيرها.

مصطلحات خاصة بالمياه الجوفية

1. **مخروط الانخفاض:** يتدرج سطح الماء الحر أثناء تدفقه بشكل شعاعي نحو البئر مكوناً بذلك شكل مخروطي قاعدته إلى الأعلى، ويسمى شكل السطح الحر للمياه الجوفية بمخروط الانخفاض.

2. **الانخفاض:** هو الفرق بين منسوب السطح الاستاتيكي للمياه الجوفية ومنسوب المياه داخل بئر الضخ.
3. **الحصيلة النوعية:** هي حجم المياه المجتذبة أو الحرة التي يمكن استنزفها من وحدة حجم التربة.
4. **السعة النوعية للبئر:** هي التصرف المستنزف من البئر الذي يحدث انخفاضاً قدره وحدة واحدة.
5. **معامل الأستنقال:** التصرف الذي يمر من مقطع عرضه الوحدة من كل عمق الطبقة الحاملة عندما يكون انحدار سطح المياه يساوي وحدة واحدة.
6. **ثابت الخزن:** حجم المياه التي يتم سحبها من وحدة المساحات من كل عمق الطبقة الحاملة عندما يتم تخفيض سطح الماء الجوفي الحر مسافة متر واحد.