الفصل السابع

جريان المياه الأرضية

7 - 1 تقديم

7 - 2 الخصائص العامة لحركة المياه الأرضية

7 - 3 مسامية الصخور والتربة

7 - 4 حساب كمية وسرعة جريان المياه الأرضية

7 - 5 إنتاجية الآبار

7 - 5 - 1 الآبار المحصورة

7 - 5 - 2 الآبار غير المحصور

7 - 5 - 3 الفرضيات المستعملة في إشتقاق معادلات التصريف

7 - 6 الجريان غير الثابت من الآبار

7 - 7 تحسين إنتاجية الآبار

obeikandi.com

obeikandl.com

الفصل السابع جريان المياه الأرضية

7 - 1 : تقديم :

تتحرك المياه الجوفية من مستويات الطاقة الأعلى إلى مستويات الطاقة الأقل، حيث أن طاقتها تأتي نتيجة الارتفاع والضغط . وتهمل الطاقة الحركية (التي تتناسب مع مربع السرعة) بسبب السرعة المنخفضة جداً لحركة المياه الأرضية . تعاني المياه الأرضية أثناء جريانها فقدان في الطاقة بسبب الاحتكاك في الوسط الحبيبي خلال مسارها فيه . يسمى الفقدان في الطاقة لوحدة الطول التي تقطعها المياه بالجريان « الميل الهيدروليكي Hydraulicgra-diut » وهو يتناسب مع سرعة المياه الأرضية . وعند التعبير عن التناسب بين الميل الهيدروليكي وسرعة الجريان بمعادلة رياضية ينتج لدينا ما يسمى بقانون دارسي . حيث وجد الباحث دارسي أن معدل الجريان Q يتناسب طرديًا مع الفقدان في الطاقة وعكسيًا مع طول مسار الجريان ، ويتناسب طرديًا مع معامل K يعتمد على طبيعة الرمل . ويمكن التعبير عن هذا القانون كما يلي :

$$Q = KA \frac{h_1 - h_2}{dt} = KAi \qquad \text{أو} \qquad V = Ki$$

حيث A = مساحة مقطع الطبقة التي تجري خلالها المياه .

$$i = \text{الميل الهيدروليكي} = \frac{dh}{dt}$$

■ ■ ■

7 - 2 : الخصائص العامة لحركة المياه الأرضية :

إن جريان جميع المياه الأرضية في الطبيعة هو ثلاثي الأبعاد إلى حد ما . ومن الناحية العملية لا يمكن تحليل حركة المياه الأرضية الطبيعية ثلاثية الأبعاد ما لم تسمح المعالم المتناظرة . بحذف واحد أو اثنين من هذه الأبعاد . ولحسن الحظ ، يكون هذا ممكنًا في معظم حالات جريان الميل الأرضية . مثال ذلك حركة المياه الأرضية إلى بئر محفور ضمن حشرج نفاذ متجانس السمك ومحصور بين طبقتين غير نفاذتين ففي هذه الحالة سيكون الجريان ذو بعدين حيث لم تحصل حركة عمودية (إلى الأعلى أو الأسفل) لوجود طبقتين غير نفاذتين . ففي هذه الحالة حذف البعد الثالث طبيعيًا .

يمكن تحديد جريان المياه الأرضية كميًا من خلال معرفة السرعة ، الضغط ، الكثافة ، درجة الحرارة ، ولزوجة المياه المتسربة خلال التكوين الچيولوچي . إلا أن هذه الخصائص غالبًا ما تكون متغيرات مجهولة ويمكن تتغير في المكان الواحد من نقطة إلى أخرى ضمن التكوين ، وتتغير أيضًا مع الوقت .

ويسمى جريان المياه الأرضية محصوراً Confined عندما تكون حدود أو سطوح الوسط الذي تجري خلاله المياه ثابتة البعد لمختلف حالات الجريان وبتعبير آخر عندما يكون الحشرج الحامل للمياه واقع بين طبقتين غير نفاذتين . ويسمى الجريان غير محصور uncoufind عندما يمتلك سطحًا حراً وهو السطح الذي يتغير موقعه تبعًا لحالة الجريان ويسمى منسوب المياه Water Table .

يسمى الوسط الذي تتحرك فيه المياه متناظراً إذا كانت خواصه في أي نقطة متماثلة في جميع الإتجاهات المنطلقة من تلك النقطة . ويسمى غير متناظر إذا تأثرت بعض صفاته بتغير الإتجاه في أية نقطة . يعتبر الوسط ذو تركيب متغاير (heterogeneous) إذا كانت خواص أو ظروف التناظر أو عدم

التناظر تختلف من نقطة إلى أخرى في الوسط . ويعتبر ذو تركيب متجانس إذا كانت خواص التناظر أو عدم التناظر فيه ثابتة في كل الوسط .

السائل الذي يكون في حالة واحدة يعتبر متجانس فالمزيج من الماء المالح والماء العذب يعامل على إنه متجانس رغم إمكانية اختلاف الكثافة من نقطة إلى أخرى في المزيج . لكن مزيج الماء مع الرايت يعتبر متغاير . ويكون الجريان مثغايراً . وفي هذا الكتاب سيكون مناقشتنا للجريان المتجانس فقط .

■ ■ ■

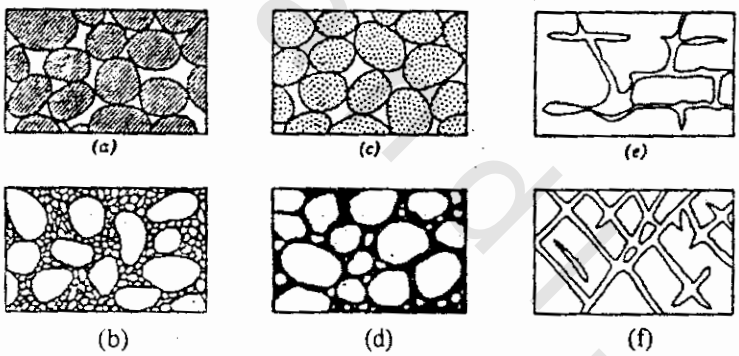
7 - 3 : مساميَة الصخور والتربـَة :

تشكل الصخور التربة الوسط المسامي الذي تتجمع فيه المياه وتجري خلاله تحت تأثيرات قوى مختلفة . هذا الوسط المسامي ذو هيكل صلب مكون من تجمع حبيبات معدنية صلبة مفصولة ومحاطة بفراغات يمكن أن تمتلئ بالماء ، أو الغازات أو المواد العضوية .

تعرف المسامية Porositg على أنها نسبة حجم الفراغات (المسامات) إلى الحجم الكلي الوسط . تعتمد مسامية المواد المتصلبة على درجة الالتحام (السمنتة Cemeutation) وقابلية الصخور للتكسر والذوبان . فيما تعتمد مسامية المواد غير المتصلبة على ترتيب الحبيبات ، وشكلها وتوزيع حجمها . تدخل الحبيبات الصغيرة في الفتحات المتروكة بين الحبيبات الكبيرة وبذلك سيكون الوسط ذو الحبيبات غير المتجانسة الحجم أقل مسامية من الوسط ذو الفرز الحبيبي الجيد (درجة الفرز Sorting) مفهوم علمي في علم الصخور يعني درجة تفاوت أحجام الحبيبات المكونة للوسط . فإذا كان الفرز جيداً تكون الحبيبات متقاربة في أحجامها ، أما إذا كان الفرز رديئًا فتكون الحبيبات متفاوتة في أحجامها .

الشكل (7 - 1) يبين أنواع مختلفة من الفواصل والمسامات الصخرية

والعلاقة بين نسجة الصخور والمسامية . تعتبر المسامية مقياس لسعة حمل المياه من قبل الوسط وتلعب دوراً مهمًا في قابلية الوسط لنقل المياه أيضًا . وتسمى قابلية الوسط لنقل المياه بالايصالية الهيدروليكية hydroulic conductisity . إن العلاقة بين المسامية والإيصالية الهيدروليكية ليست بسيطة ، كما تؤثر عوامل أخرى على الإيصالية الهيدروليكية . إن حجم انفراغ أكثر أهمية من المسامية بالنسبة لقابلية نقل المياه من قبل الوسط . فالرمال ذات الحبيبات المدورة أو الزاوية الكبيرة الحجم نسبيًا تكون أقل مسامية من الطين الذي يتركب من حبيبت صفائحية صغيرة ذات سطوح كبيرة تسبب قوى جزيئية عالية بين دقائق الطين ودقائق المياه . ورغم مساميتها الأقل ، تعتبر المواد الرملية حشارج جيدة نفاذة .



(الشكل 7 - 1) مقاطع صخرية تبين العلاقة بين نسجة الصخور المسامية (a) صخور رسوبية مفرزة جيداً ذات مسامية عالية (b) رسوبيات ذات فرز رديء ذات مسامية منخفضة (c) رسوبيات مفرزة جيداً تتكون من حبيبات هي ذاتها مسامية ، لذلك فإن الرسوبيات ككل تعتبر ذات مسامية عالية جداً (d) رسوبيات مفرزة جيداً لكن مساميتها قليلة جداً بسبب ترسب مواد معدنية في الفواصل بين الحبيبات (e) صخور أصبحت مسامية نتيجة الذوبان (f) صخور أصبحت مسامية بسبب التكسر .

7 - 4 : حساب كمية وسرعة جريان المياه الأرضية :

إن باوند واحد من المياه يجري بسرعة V قدم / ث يمتلك طاقة حركية مقدارها $\frac{V_2}{2g}$ قدر پا/پا حيث g و التعجيل الأرضي .

أما الطاقة الكامنة لباوند من المياه فإنها نتيجة الفرق الموجود في الضغط أو الفرق في الارتفاع . ويمكن تمثيل الطاقة الكامنة الناتجة عن فرق الضغط بالنسبة $\frac{P}{W}$ حيث P هي مقدار الضغط على وحدة المساحة ، w هي وزن وحدة الحجم . ويمكن تمثيل الطاقة الكامنة الناتجة عن فرق الارتفاع بالارتفاع y الذي يمثل مقدار الارتفاع فوق منسوب قياسه .

في الحقيقة يمكن أن يمتلك پاوند من المياه طاقة حركية وطاقة كامنة معًا عندما تكون الطاقة الكامنة مؤلفة من فرق الضغط والارتفاع معًا ، ويمكن تمثيل الطاقة المشتركة بالصيغة التالية لمعادلة برنولي التي تعطي الطاقة لكل وحدة وزن (ft - 16/16) :

$$H = \frac{V_2}{2g} + \frac{P}{W} + y$$

عند تطبيق هذه المعادلة على حركة المياه الأرضية في التربة فإنه يمكن إجراء تبسيط عليها ؛ لأن سرعة المياه الأرضية في الحشارج بطيئة جداً ولذلك سيكون المقدار $\frac{V_2}{2g}$ والذي يمثل الطاقة الحركية صغير جداً بحيث يمكن إهماله . لذلك ستكون معادلة برنولي التي تطبق على جريان المياه الأرضية كما يلي :

$$h = \frac{P}{W} + y$$

وتستعمل في هذه الحالة كمنسوب بيزومتري Piezometric head (ارتفاع

عمود الماء في آبار الفحص) ، الشكل (7 - 2) يبين جريان المياه في ثلاثة اتجاهات واستعمال البيزو - مترات لقياس إتجاه الجريان وكمية الطاقة . لاحظ أن المياه تجري دائمًا اتجاه تناقص المنسوب البيزومتري .

عندما يكون الجريان مماثل لما هو في الشكل (7 - 2) فإنه يمكن كتابة قانون دارسي بالشكل الآتي :

$$V = K \frac{hl}{L}$$

بقدر ما يكون الجريان غير مضطربًا (not turbulent) فإن السرعة V والجريان خلال الحشارج المشبعة يتناسبان مع نفاذية الحشرج K والميل الهيدروليكي $\frac{hl}{L}$ (ميل مناسيب لمياه في البيزومترات) . وحدات النفاذية هي وحدة طول لكل وحدة زمن (L/t) وتعتمد على التأثير المشترك لخصائص التربة والسائل المتحرك فيها . وخواص السائل المؤثرة على النفاذية هي وزنه النوعي W ولزوجته M حيث تتناسب النفاذية طرديًا مع الوزن النوعي وعكسيًا مع اللزوجة . أي أنه بالإمكان كتابة قانون دارسي بالشكل الآتي :

$$V = \left(\frac{W}{M} K1\right) \frac{hl}{L}$$

فالنفاذية K^1 في هذه الحالة تأخذ وحدات المساحة (L^2) وتتأثر فقط بخصائص التربة وهي حجم وشكل دقائق التربة والمسامات (النسجة والبناء) ولا تعتمد على خواص السائل . في معظم الدراسات التي أجريت على حركة المياه الأرضية وجد أن تأثير الوزن النوعي واللزوجة صغير نسبيًا . لذلك فأن المقدار $\frac{W}{M}$ غير ضروري في معظم الدراسات العامة والعملية للمياه الأرضية.

وبما أن Q = AV فإنه يمكن أن تكون كمية الجريان Q كما يأتي :

$$Q = AK \frac{hl}{L}$$

حيث A = المساحة الكلية العمودية على إتجاه الجريان . إن الضغط عند أية نقطة في الحشرج يساوي P = wh ومنه فإن ارتفاع الضغط h سيكون $h = \frac{P}{W}$ فإذا كان الارتفاع الهيدروليكي عند نقطة 1 يساوي h1 وعند نقطة 2 يساوي h_2 فإن :

$$h_1 = \frac{P_1}{W} + y_1 \quad \text{و} \quad h_2 = \frac{P_2}{W} + y_2$$

افرض أن h_1 أعلى من h_2 وأن المسافة بين النقطتين تساوي L . فأن الميل الهيدروليكي سيكون :

$$\frac{H_L}{L} = \frac{h_1 - h_2}{L} = \frac{(p_1 / w + y_1) - (p_2/w + y_2)}{L}$$

حيث W = الوزن النوعي للماء ، $\frac{P_1}{W}$ و $\frac{P_2}{W}$ هما ارتفاعات الضغط في النقطتين 1 و 2 ، y_1 و y_2 هما ارتفاع النقطتين 1 و 2 عن مستوى قياسي معين.

وهذه المعادلات تمثل جريان المياه الأرضية في الحشارج المشبعة ونبين استعمالها في مثالين الأول : لجريان غير محصور (Unconfind) أي جريان مياه جوفية حرة في حشرج رملي تحت هيدروليكي صغير (الشكل 7 - 3) . والمثال الثاني لجريان نحو الأعلى خلال طبقة طينية سمكها 40 قدم تحتها حشرج ارتوازي مكون من الحصى تكون فيه المياه تحت ضغط (أي أنها مياه محصورة) (الشكل 7 - 4) .

الشكل (7 - 3) يبين جريان مياه أرضية غير محصورة خلال تربة رملية واقعة فوق طبقة طينية مضغوطة . البيزوميتر في النقطة A يبين ارتفاع مياه

بيزومتري مقداره : $+y = 50ft$ وفي نقطة $h_1 = \frac{P_1}{W}$ $h_2 = 40ftB$. وعليه بما أن المسافة بين النقطتين هي 100 قدم فإن الميل الهيدروليكي سيكون مساويًا إلى:

$$\frac{H_L}{L} = \frac{h_1 - h_2}{L} = \frac{50 - 40}{100} = \frac{1}{10}$$

وأن السرعة :

$$V = K \frac{H_L}{L} = \frac{1}{10} K$$

فإذا افترضنا أن معدل النفاذية :

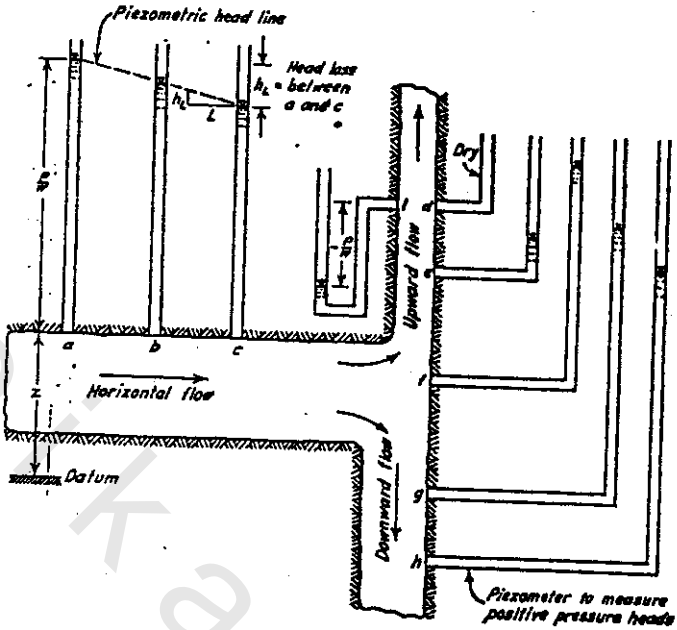
$$3.8 \times 10^{-5} \text{ ft/sec} = 1200 \text{ ft/year}$$

فإن سرعة الجريان خلال الرمل ستكون $V = 120$ ft/year

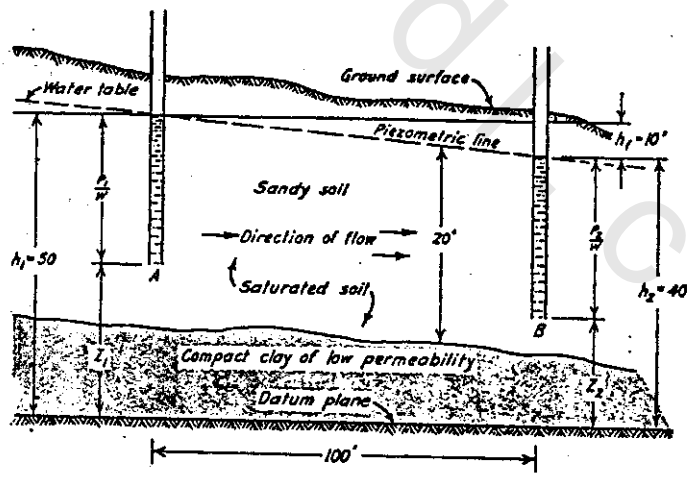
وأن كمية الجريان في مقطع طوله 1000 قدم وعمقه 20 قدم سيكون :

$$Q = AK \frac{h_L}{L} = (1000 \times 20) \times \frac{3.8}{100000} \times \frac{10}{100} = 0.076 \text{ efs} = 34 \text{ jpm}$$

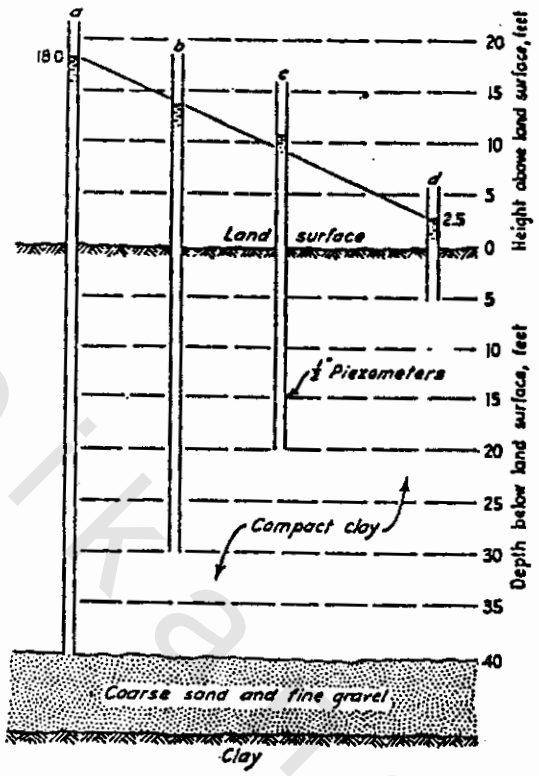
في المثال الثاني ، نتائج القياسات البيزومترية عند ارتفاعات مختلفة في طبقة طينية واقعة فوق طبقة حصوية نفاذة ارتوازية (مياه محصورة) مسجلة ومبينة في الشكل (7 - 4) .



(الشكل 7-2) يوضح جريان أفقي ، نحو الأعلى ، ونحو الأسفل في طبقة من التربة مع استعمال البيزومترات لمعرفة اتجاه الجريان ومقدار الميل البيزومتري (الهيدروليكي) .



(الشكل 7-3) جريان مياه أرضية حرة (غير محصورة) في طبقة رملية مشبعة واقعة فوق طبقة طينية مضغوطة .



(**الشكل 7-4**) معدل ارتفاع المياه (P/W) في طبقة طينية تقع فوق حشرج ارتوازي (من الحصى الناعم والرمل) .

تم قياس نفاذية الطين ووجد بأنها كمعدل 5 قدم/ سنة ، ولإيجاد معدل سرعة الجريان من مستوى العمق 40 قدم إلى مستوى العمق 5 قدم (أي مسافة 35 قدم نحو الأعلى) مقاسة بالقدم / سنة ، تستعمل المعادلة التالية :

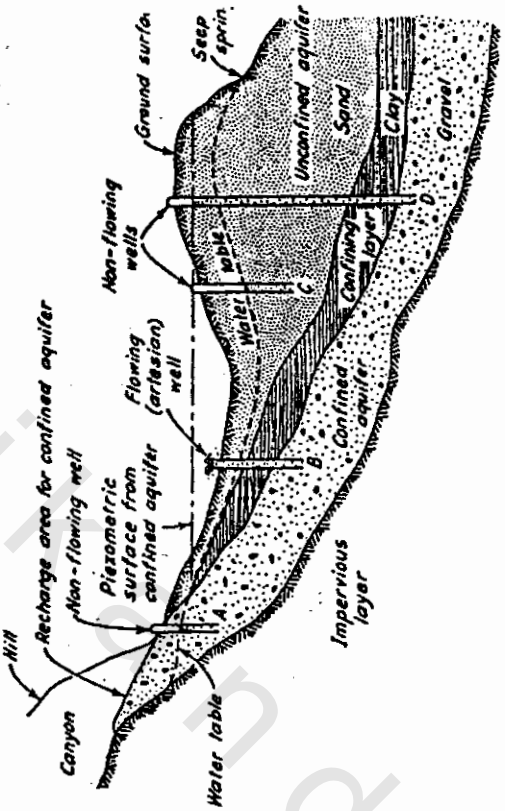
الميل الهيدروليكي :
$$\frac{H_L}{L} = \frac{h_1 - h_2}{L} = \frac{18 - 2.5}{35} = 0.44$$

$$V = K \frac{H_L}{L} = 2.5 \quad 0.44 = 2.2 \text{ ft / year}$$

7 - 5 : إنتاجية الآبار :

إن السلوك العام للبئر والصيغ الهيدروليكية المطبقة عليه تعتمد على التكوين (الحشرج) الذي حفر فيه البئر . الشكل (7 - 5) يبين أربعة آبار من ينبوع واحد في وادي نموذجي . تتغذى المياه الأرضية من المنطقة المكشوفة (المتعرية) العالية من المنطقة الحصوية في أسفل منحدرات التلال (على يسار الشكل) حيث يحصل تسرب كبير من المياه المنحدرة متغلغلاً داخل هذه الطبقة ذات النفاذية العالية . البئر A محفور في هذا الجزء العالي ولا يجري منه الماء الذي يصل مستواه فيه إلى مستوى المياه الأرضية . في حين تجري المياه من البئر B بسبب إن قمة البئر تقع تحت السطح البيزومتري للحشرج المحصور . البئر C مماثل للبئر A وكلاهما يعتبر بئر غير محصور . أما البئر D فهو مماثل للبئر B ما عدا أن D تجري منه المياه بدون ضخ ذلك لأن قمة البئر تقع فوق السطح البيزومتري للحشرج المحصور . وتسمى الآبار B و D آبار محصورة أو آبار أرتوازية .

إن كمية المياه التي يمكن الحصول عليها من بئر ما بواسطة الضخ تتحدد بأحد أو كلا عاملين رئيسيين هما : 1 - سعة المضخة والقوة الحصانية للمحرك أو الماكنة التي تدير المضخة . 2 - سعة البئر التي تعتمد على مقدار الهبوط في مستوى المياه الأرضية أو الضغط ، وعمق البئر ، والقطر الفعال للبئر ، ونفاذية الطبقة الحاملة للمياه . إن سعة المضخات ومتطلبات الطاقة لرفع كميات معينة من المياه إلى الإرتفاعات المطلوبة هي في الغالب معروفة ومفهومة جيداً ويمكن تحديدها من خلال حسابات بسيطة . إلا أنه من الصعب تحديد متطلبات الطاقة اللازمة لتحريك كميات معينة من المياه خلال الطبقات الرملية والحصوية الحاملة لها نحو البئر وذلك بسبب النفاذية غير المحدودة للرمل أو الحصو الذي تتحرك خلاله المياه .



(الشكل 7 - 5) آبار في وادي نموذجي .

7 - 5 - 1 : الآبار المحصورة Confined Wells :

الشكل (7 - 6) يمثل جريان شعاعي أفقي في طبقة محصورة حاملة للمياه سمكها (t) إلى بئر يتغلغل في كامل سمك الطبقة . يمكن التعبير عن التصريف الداخل إلى البئر بالمعادلة $Q = AV$. حيث أن المساحة الجانبية (A) لأسطوانة قطرها يساوي (r) والارتفاع (t) (وهي تمثل الجزء الفعال من البئر الذي تترشح المياه من خلال المساحة الجانبية) ، $\therefore A = 2\pi rt$. أما السرعة (V) خلال الأسطوانة فتستخرج بقانون دارسي $V = K\frac{dh}{dv}$ حيث K = نفاذية

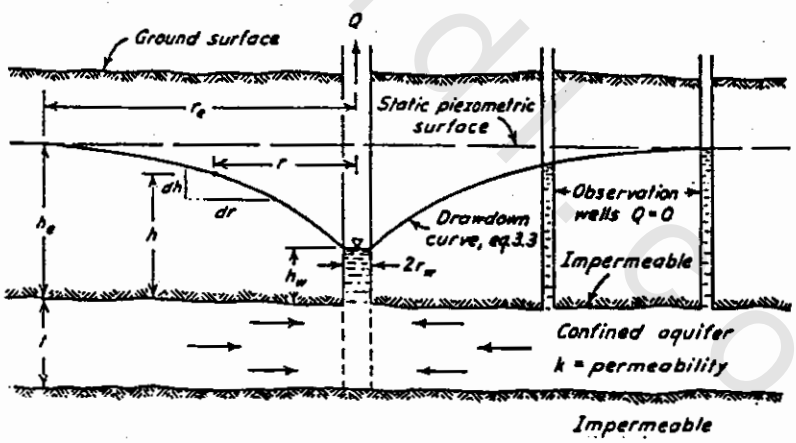
الطبقة الحاملة للمياه $\frac{dh}{dv}$ = ميل منحنى الهبوط في منسوب المياه حول البئر عند قطر r . وعليه فإن كمية الجريان الشعاعي نحو البئر ستكون :

$$Q = AV = 2\pi rtk \frac{dh}{dv}$$

ومن فصل المتغيرات والتكامل لهذه المعادلة بين الحدود he و hw بالمستوى العمودي وبين الحدود re و rw بالمستوى الأفقي ستكون النتيجة :

$$Q = \frac{2\pi kt (he - hw)}{2.310910 (re / rw)}$$

إن مقدار الهبوط (he - hw) يتناسب طرديًا مع التصريف ، في حين يتغير التصريف مع لوغاريتم قطر البئر ، لذلك عند مضاعفة قطر البئر فإن التصريف يزداد 10% فقط وزيادة قطر البئر أربع مرات سيزيد التصريف حوالي 20% فقط .



(الشكل 7 - 6) جريان شعاعي في حشرج محصور إلى بئر متغلغل تمامًا في الحشرج .

7 - 5 - 2 : الآبار غير المحصورة unconfined Wells :

يصبح البئر المحصور غير محصوراً عندما لا يتحدد الجريان بطبقة علوية غير نفاذة (الشكل 7 - 7) . في الآبار غير المحصورة يكون سطح الجريان هو منسوب المياه (السطح الأعلى) الأرضية حول البئر (وهو مستوى الضغط الجوي الذي تكون تحته المسامات مملوءة ومشبعة بالمياه في الطبقة الحاملة لها).

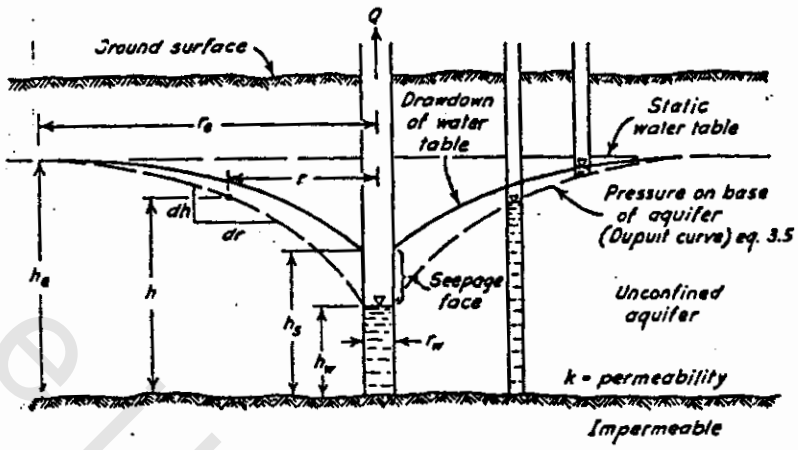
يمكن إيجاد هيدروليكية البئر غير المحصور بنفس الطريقة التي استعملت في البئر المحصور باستثناء استبدال السمك الثابت (t) للحشرج بسمك متغير مقداره (h) وعليه ستكون المعادلة كما يلي :

$$Q = AV = 2\pi rhk \frac{dh}{dv}$$

وبالتكامل للمعادلة أعلاه يبين نفس الحدود نحصل على :

$$Q = \frac{\pi k (he_2 - hw_2)}{2 - 310910 (re / rw)}$$

في هذه الحالة يتغير التصريف Q مع الفرق بين مربعي he و hw ، بينما في الآبار المحصورة يتغير التصريف Q مباشرة مع h (علاقة خط مستقيم) ، ويشترط في كلتا الحالتين عدم وجود تداخل مع آبار أخرى مجاورة (أي لا توجد آثار جانبية لجريان آبار مجاورة) . ونفس العلاقة موجودة بين التصريف Q وقطر البئر rw في كلتا الحالتين الآبار المحصورة وغير المحصورة .



(**الشكل 7-7**) جريان شعاعي في حشرج غير محصور إلى بئر متغلغل في الحشرج كليًا .

7 - 5 - 3 : الفرضيات المستعملة في اشتقاق معادلات التصريف :

يتم اشتقاق كلا معادلتي التصريف في الآبار المحصورة وغير المحصورة على افتراض جريان أفقي شعاعي خلال مواد متجانسة عموديًا علي سطوح أسطوانية شاقولية (عمودية) . كذلك تم افتراض جريان ثابت (لا يتغير مع الوقت) Steady Flow . وباستعمال معادلة دارسي $V = k\left(\frac{dh}{dv}\right)$. افترض على أن الجريان انسيابي (غير مضطرب) ، وفي حالة الجريان المحصور ثم افتراض أن سمك الطبقة الحاملة للمياه (t) ثابت .

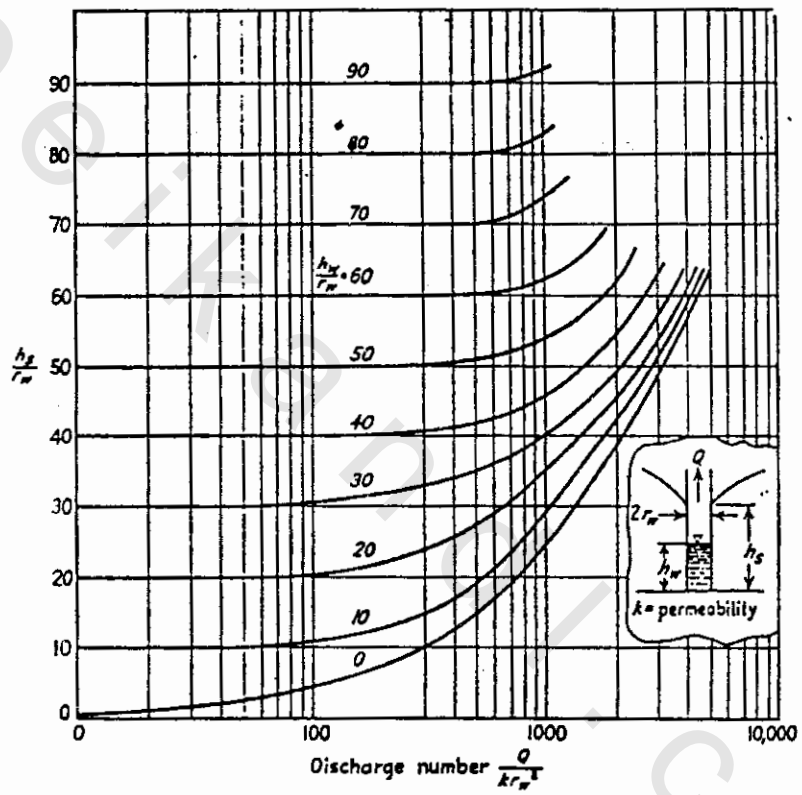
نادراً (إن لم يكن مستحيلاً) ما توجد ظروف حقلية تحقق جميع هذه الافتراضات ، إلا أنها على أية حال قريبة من الواقع في معظم الحالات . عند الأخذ بنظر الاعتبار هذه الافتراضات مع ما تتضمنه من نسبة خطأ في النتائج فإنه يمكن تقريبها بالشكل الذي يجعل هذه النتائج المستخرجة من المعادلات النظرية قريبة جداً من القيم الحقيقية للتصريف .

إن جريان المياه غير المحصورة في المنطقة القريبة المحيطة بالبئر ليس أفقيًا كما افترض . وعليه فإنه كلما اقتربنا من البئر كلما ازدادت نسبة الخطأ المتوقعة . وتبين معادلة التصريف الخاصة بالآبار غير المحصورة إن عمق المياه خارج البئر he يقترب من عمق المياه داخل البئر hw كلما اقترب نصف قطر أسطوانة الجريان re من نصف قطر البئر rw حتى يتساوى العمقان عندما يتساوى نصفا القطر (hw = he عندما rw = re) . أي أن ذلك لا يحدث في واقع الحال ويبقى منسوب المياه خارج البئر (عند سطح أسطوانة البئر تمامًا) أعلى من منسوب المياه داخل البئر ، أي أن الرشح نحو البئر سيكون خلال سطح أسطواني ارتفاعه hs في الآبار غير المحصورة (المياه الأرضية مرة غير محصورة من الأعلى) . لاحظ الشكل (7 - 7) . وستكون معادلة التصريف الصحيحة كالآتي :

$$Q = \frac{\pi k (he^2 - hs^2)}{2 - 310910 (re / rw)}$$

في كل معادلة التصريف Q في الآبار المحصورة وغير المحصورة يمكن التعويض عن he و re بمقدار h و r لأي نقطة وسطية أخرى (أي نقطة أخرى تقع بين نقطة قياس re وبين البئر) . ونظراً لكون hs مجهول بصورة عامة ولا توجد معادلة رياضية تربط بينه وبين hw الذي يمكن قياسه حقليًا بصورة مباشرة لذلك تم رسم العلاقة بين ما يسمى برقم التصريف ($\frac{Q}{Kr^2w}$) وبين النسبة $\frac{hs}{rw}$ كما مبين في الشكل (7 - 8). حيث أن رقم التصريف $\frac{Q}{Kr^2w}$ يمثل خاصية الهبوط في منسوب المياه الأرضية حول البئر (كلما زاد رقم التصريف كلما ازداد الهبوط) . في بعض الآبار غير المحصورة عند ضخ المياه منها ربما يكون منسوب المياه الأرضية المحاذي للبئر أعلى بكثير من سطح

المياه داخل البئر . إن ارتفاع سطح الرشح hs هذا يكون مهم جداً عندما تكون الآبار محفورة لغرض تخفيض منسوب المياه الأرضية (لأغراض البزل في الأراضي الزراعية أو في المناطق السكنية مثلاً) .



(**الشكل 7-8**) منحنيات تمثل العلاقة بين سطح الرشح Seepage face وعمق المياه في البئر وبين رقم التصريف $\frac{Q}{kr^2w}$ لبئر شعاعي غير محصور .

7 - 6 : الجريان غير الثابت من الآبار Unsteady flow from wells :

إن ظروف الجريان في البئر نادراً ما تكون ثابتة . فالتصريف أو عمق المياه كلاهما يتغير عادة مع الوقت . ومع ذلك يمكن تطبيق معادلات التصريف المذكورة في الفقرة 6 - 4 على الجريان غير الثابت unsteady flow لأن سرعة الجريان خلال الحشرج باتجاه البئر قليلة جداً بحيث يمكن إهمال الطاقة الحركية الناتجة عن هذه السرعة قليلاً .

عادة ما تواجه صعوبة في اختيار القيمة المناسبة لنصف القطر المؤثر re (وهو المسافة من مركز البئر إلى النقطة التي يبدأ عندها هبوط مستوى المياه الأرضية عند سحب المياه من البئر (لاحظ الشكل 7 - 7) وتنجم هذه الصعوبة من حقيقة كون منحنى هبوط مستوى المياه يقترب من المنسوب الاعتيادي للمياه الأرضية كلما ابتعدنا عن البئر وبصورة قليلة يصعب معها التمييز بين مستوى الهبوط ومستوى المياه الأصلي . ومع ذلك فإن الخطأ الكبير في القيمة الحقيقية لـ re لا يؤثر كثيراً على التصريف أو على منحنى الهبوط وذلك لاستخدام لوغاريتم نصف القطر في معادلة التصريف ، فمثلاً ينتج فرق (خطأ) أقل من 10% عند استخدام re = 500 قدم بدلاً من re = 1000 قدم وإن 2000 قدم تسبب فرق 10% أخرى من قيمة Q أو h . إن القيمة المعقولة لـre لفترة قصيرة من الضخ أو لحشرج صلد نوعًا ما هي حوالي 500 قدم . أما في فترات ضخ المياه الطويلة أو في الحشارج عالية النفاذية فإنه يمكن استخدام قيمة re مقدارها 2000 قدم .

عند استخدام معادلات التصريف ، فإن التصريف الرياضي الصحيح لنصف القطر المؤثر re هو المسافة بين مركز البئر ونقطة تقاطع منحنى مستوى الهبوط draw-down curue مع مستوى المياه الأرضية غير المتأثر (المنسوب الأصلي للمياه الأرضية) . في البئر المحصور Confind well ارسم قيم h مقابل قيم

لوغاريتم r ، ثم مد الخط المستقيم الناتج فوق الجزء الأكبر من نصف القطر (خط الهبوط) إلى الخط المستقيم الذي يمثل منسوب المياه الأصلي وعند تقاطع المستقيمين تحصل على re . أما في البئر غير المحصور ، ارسم قيمة h^2 مقابل لوغاريتم r ، وبنفس الطريقة مد الخط المستقيم الناتج (الذي يمثل خط الهبوط) حتى يتقاطع مع الخط المستقيم الذي يمثل منسوب المياه الأصلي . حيث أن المسافة بين نقطة التقاطع إلى البئر تمثل نصف قطر التأثير re .

7 - 7 : تحسين إنتاجية الآبار :

لا تقل عملية تحسين إنتاجية الآبار في أهميتها عن عملية حفر الآبار ذاتها. حيث أن الغرض الأساسي لإجراء عملية التحسين هو لزيادة كمية المياه المنتجة من البئر . وتتحقق هذه الزيادة من خلال تحسين وزيادة نفاذية التكوين الحامل للمياه والذي تجري خلاله المياه نحو البئر . أما الغرض الثانوي من عملية التحسين فهو لتحديد كمية المياه المتيسرة ومواصفات وحدة الضخ والطاقة التي يجب إنشائها على البئر .

وتعتمد الطريقة المستعملة لتحسين إنتاجية الآبار على نوع التكوين الجيولوچي المحفور فيه البئر ونوع المعدات المتوفرة . إذا كانت الطبقة الحاملة للمياه مكونة من الرمل والحصو فإنه يمكن تحقيق زيادة في إنتاجية الآبار بإزالة دقائق الرمل الصغيرة والغرين والطين من التكوين الحامل للمياه في المنطقة المحيطة مباشرة بجزء البئر الفعال (جزء البئر الذي ترشح من المياه) .

أما في حالة التكوينات الرسوبية المتصلبة فإن تحسين آبارها يمكن أن يتم بإذابة جزء من المادة المسمنتة (المواد الناعمة التي تعمل على مسك الدقائق الحبيبية مع بعضها) وذلك للحصول على فراغات أكبر وفتحات أوسع قريبًا من البئر . أما عندما تكون الطبقة الحاملة للمياه التي تغذي البئر صخرية التكوين فإنه من الضروري تكسير الصخور المحيطة بالبئر وعمل فجوات يمكن أن يجري

بها الماء نحو البئر . وفي جميع الحالات ينبغي إزالة المواد التي تحركت وترسبت في قاع البئر أثناء عمليات التحسين . ويتم ذلك عادة باستخدام مضخات الرمل (مضخات تستطيع سحب الرمل من الماء إلى خارج البئر) أو باستعمال أنابيب نزح خاصة . وينبغي توخي الحذر عند تنفيذ عمليات تحسين الآبار وذلك بعدم إزالة كميات كبيرة من المواد الناعمة من الطبقة المحيطة بالبئر لأن ذلك قد يؤدي إلى إنهيار الطبقات العليا المستندة على الطبقة التي أزيحت منها تلك المواد وبذلك يمكن أن تودي إلى غلق البئر نهائيًا . وفي حالة عدم انقطاع كميات الرمل أو الدقائق الناعمة التي تدخل إلى البئر فإنه من الضروري تغليف بطانة البئر بغشاء خاص يمنع دخول الدقائق الناعمة ويسمح بمرور المياه إلى داخل البئر .

وتستخدم طرق مختلفة في عمليات تنظيف وتحسين الآبار منها :

١ - طريقة الضخ :

تستخدم لهذا الغرض مضخة متغيرة السرعة وذات سعة عالية ، ويفضل عدم استخدام مضخات جديدة بسبب الدمار والاستهلاك الذي يصيب المضخات المستعملة في التنظيف عادة إضافة إلى إنخفاض كفاءة المضخة بسبب ما يفعله الرمل من تآكل وتعرية لأجزاء المضخة عادة . في بداية العملية يجب أن يبدأ الضخ بسرعة بطيئة . إن السرعة الثابتة للضخ تؤدي إلى إنتظام دقائق الرمل الناعمة وتراصفها في الفراغات بشكل يؤدي إلى تقليل كفاءة البئر ، لذلك يجب أن تزداد السرعة على مراحل وتبقى ثابتة لفترة مناسبة بين مرحلة وأخرى حتى ينقطع تواجد الرمل في مياه الضخ . ويستمر الضخ لحين الحصول على أقصى تصريف وعدم مشاهدة الرمل في مياه الضخ . حينئذ توقف المضخة عن العمل ويسمح لمنسوب المياه بالصعود إلى موقعه الأصلي ، وتعاد العملية إلى حين التأكد من عدم إمكانية سحب رمال أخرى من البئر .

٢ – طريقة الهواء المضغوط Compressed Air Methed :

طريقة الهواء المضغوط مناسبة جداً للآبار الصغيرة . ويجب أن يكون عمق المياه في البئر يساوي على الأقل ثلثي العمق الكلي للبئر . ومن الضروري أن يتراوح ضغط الهواء بين 100 إلى 150 با/نج 2(psi) ويجب أن لا تقل الطاقة المتوفرة لضاغطة الهواء عن الطاقة اللازمة لضخ السعة القصوى من البئر . وطريقة الهواء الأكثر فعالية هي التي تستفيد من الضغط والضخ (السحب) في آن واحد . يتم إدخال أنبوب هواء بقطر 2 إنج في أنبوب السحب للمضخة ذي قطر يتراوح بين 6 - 8 إنج بحيث تصل نهاية الأنبوب الهوائي قرب قعر البئر . حيث يمتد أسفل نهاية أنبوب السحب وتطلق كمية كبيرة من الهواء بصورة فجائية مسببة دفع المياه من البئر نحو الحشرج . ويرفع أنبوب الهواء إلى الأعلى داخل أنبوب السحب سيتولد فعل مص وسحب داخل البئر مما يسبب اندفاع المياه من الحشرج إلى داخل البئر . وبتكرار عملية رفع وإنزال أنبوب الهواء داخل أنبوب السحب تنتج حركة مياه متناوبة الإتجاه (مرة خارج البئر نحو الحشرج المحيطة به وأخرى نحو البئر من الحشرج) وتعمل حركة المياه هذه على رفع دقائق الطين والغرين والرمل الناعم وحملها إلى البئر . وبعد إنقطاع جريان الرمل يرفع أنبوب المضخة إلى الأعلى قليلاً لتنظيف جزء آخر من البئر بتكرار العملية إلى أن يتم تنظيف كافة الجزء المثقب من بطانة البئر . كما يستعمل الهواء المضغوط لإجراء ما يسمى بعملية الغسل التراجعي Baekwashing . في هذه العملية يتم إقحام الهواء المضغوط داخل البئر المغلق (مغلق من الأعلى بغطاء محكم) حتى ينخفض منسوب المياه في البئر إلى قمة التثقيب في البطانة (بداية التثقيب من الأعلى) ومن ثم يمرر الهواء المضغوط داخل البئر بفتح الغطاء بصورة فجائية حيث يتسبب ذلك في جريان معكوس (عند ضغط الهواء يجري الماء من البئر إلى الحشرج وعند تمريره ينعكس الجريان

ليكون من الحشرج إلى البئر) . وتعمل هذه الطريقة على تنظيف المنطقة المحيطة بالبئر من الدقائق الناعمة وبذلك تتحسن إنتاجية البئر .

3 – طريقة المكبس :

وهي واحدة من الطرق الأكثر شيوعًا وأكثرها فعالية في تنظيف الآبار وتحسين نوعيتها وخصوصًا في الحشارج الحصوية والرملية . وفي هذه الطريقة يتحرك مكبس غاطس داخل بطانة البئر صعوداً ونزولاً مسببًا حركة مياه تناوبية مرة إلى خارج البئر وأخرى إلى داخله . تبدأ حركة المكبس الغاطس بسرعة بطيئة بادئ الأمر ثم تزداد سرعة حركة المكبس تدريجيًا مع تقدم عملية التنظيف . عند نزول المكبس إلى الأسفل يندفع المياه بقوة من البئر إلى المنطقة المحيطة به من الحشرج وعند صعوده يتخلخل الضغط كثيراً وينخفض داخل البئر مما يعمل على تدفق المياه بقوة إلى داخل البئر من الحشرج دافعة معها الدقائق الناعمة إلى داخل البئر والتي تترسب في قعره . وهكذا تستمر العملية لحين إكمال التنظيف .

وتستعمل طرق أخرى أقل شيوعًا في تحسين إنتاج الآبار كالمواد الكيميائية والمتفجرات وبدرجات متفاوتة من النجاح . وتتطلب هذه العمليات خبرة ومهارة عالية لدى منفذ بها . حيث يستعمل حامض الهيدروكلوريك (محلول تركيز 15%) لتفكيك حبيبات الرمل المتماسكة مع الحجر الجيري ولتوسيع المسامات والشقوق في الصخور الحاملة للمياه المحيطة بالبئر . وتستعمل مواد كيميائية أخرى كمواد منظفة لإزالة الطين والغرين وكذلك الكلس والحديد وغيرها من المواد اللاصقة . أما المتفجرات فأنها تستعمل لتوليد اهتزازات في الصخور المحيطة بالبئر تعمل على تكسيرها وتفتيتها وزيادة عدد الشقوق والمفاصل فيها مما يزيد من عدد المسالك لمرور المياه من الصخور نحو البئر .