. 3. الآبار Wells :

تعد الآبار واحدة من أهم الطرق الشائعة في الحصول على المياه الجوفية من التكوين الخازن ، وعلى الرغم من استخدام الآبار في كثير من التطبيقات فإن أكثرها شيوعاً هي في إمدادات المياه والتطبيقات الهندسية في الري. تأمل وجود الماء في تكوين خازن حر يضخ بمعدل ثابت من البئر، وقبل الضخ يشير منسوب الماء في البئر إلى منسوب الماء الجوفي الساكن، و ينخفض هذا المنسوب مع إستمرارالضخ. و إذا كان التكوين الخازن موحد الخواص و متجانساً و كان منسوب الماء الجوفي أفقياً فإن ذلك المنسوب يتخذ شكلاً مخروطياً جراء الجريان الشعاعي إلى البئر، و يطلق عليه مخروط الانخفاض cone of depression. ويطلق على الانخفاض في منسوب الماء الجوفي في أية نقطة عن المنسوب الساكن مصطلح منحني الهبوط draw – down أما مدى تأثير مخروط الانخفاض فيطلق عليه مساحة التأثير area of influence في حين يسمى قطره المؤثر بقطر التأثير radius of influence. وعند حصول الضخ بمعدل ثابت فإن منحني الهبوط يبدأ بالتكوين مع مرور الزمن و ذلك للسحب الكائن في الخزين، و يطلق على هذا الطور بالجريان غير الثابت لأن منسوب الماء الجوفي يتغير مع مرور الزمن، وباستمرار الضخ تصل حالة من التوازن بين معدل الضخ و معدل المياه الداخلة إلى البئر من الحافات الخارجية من منطقة التأثير. و يتخذ سطح منحني الهبوط موقعاً ثابتاً مع مرور الزمن حيث يعمل البئر تحت ما يسمى بظروف الجريان الثابت. و عند توقف الضخ يعوض الخزن في مخروط الانخفاض بمزيد من المياه الجوفية الداخلة إلى منطقة التأثير و يبدأ التراكم التدريجي للخزين لحين الوصول إلى منسوب ساكن و يطلق على هذا مرحلة الاستعادة recuperation or recovery و تعد هذه ظاهرة غير ثابتة، اذ يعتمد وقت الاستعادة على خصائص التكوين الخازن.

أنواع حركة المياه الجوفية:

تتحكم في حركة المياه الجوفية عوامل عدة، اهمها النفاذية وتغير عمود ضغط الماء. واعتماداً على هذين العاملين يمكن تقسيم حركة المياه الجوفية الى نوعين رئيسيين هما الجريان الثابت (Steady flow) والجريان غير الثابت (Unsteady flow). كما يمكن تقسيم الجريان الثابت الى الجريان الثابت باتجاه واحد (Steady one-direction flow) والجريان الثابت الشعاعي (Steady radial flow).

1.3.8. الجريان الثابت في البئر Steady Flow into a Well :

تعد مسائل المياه الجوفي ذات الجريان الثابت سهلة نسبياً وفيما يأتي الصيغ المستخدمة للجريان الشعاعي الثابت الى البئر للتكوينات الحرة والمحصورة.

1. الجريان المحصور Confined Flow :

يوضح الشكل أدناه بئراً يخترق تكويناً خازناً محصوراً سمكه B بافتراض أن للبئر تصريفاً ثابتاً مقداره Q ، فإذا كان الارتفاع H و كان عند بئر الضخ هو h_w و منحني الهبوط فيه هو S_w فان التصريف Q للبئر يصبح:

$$Q = \frac{2\pi \, KB \, (h_2 - h_1)}{\ln(\frac{r_2}{r_1})} \qquad (1)$$

وتمثل المعادلة اعلاه معادلة التوازن للجريات الثابت في تكوين خازن محصور ويطلق عليها عادة مصطلح معادلة ثيم Thiem's equation.

ومن معرفة منحنى الهبوط S_1 و S_2 عند آبار المراقبة ينتج ان

$S_1 = H - h_1$, $S_2 = H - h_2$, $T = KB$ (transportation factor m^2/s.)

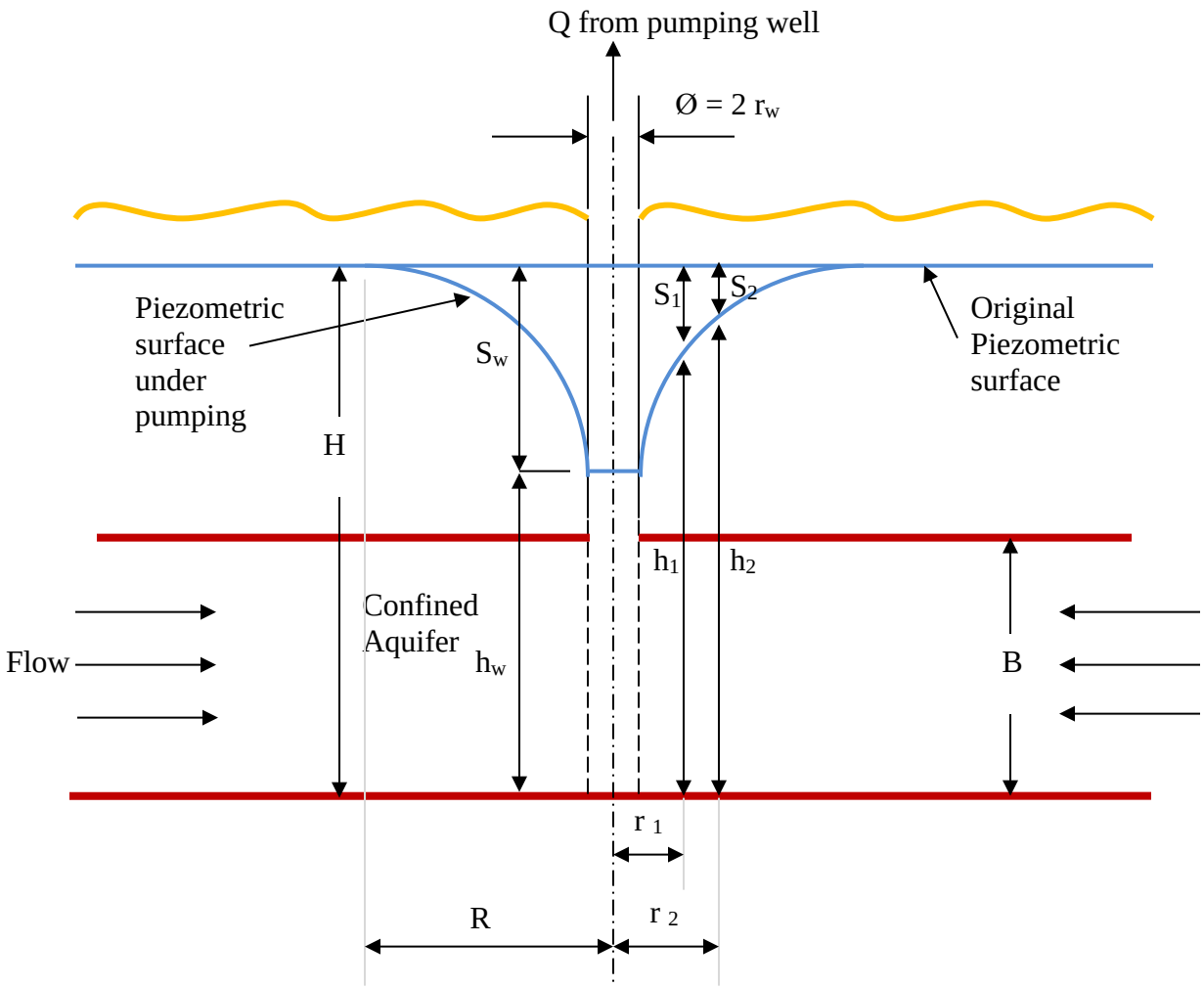
وبناءً عليه يمكن اعادة كتابة المعادلة أعلاه كما يأتي:

$$Q = \frac{2\pi \, T \, (S_1 - S_2)}{\ln(\frac{r_2}{r_1})} \qquad (2)$$

و عند حافة منطقة التأثير ($S = 0$, $R = r_2$, $H = h_2$) كما أن ($r_1 = r_w$, $h_1 = h_w$, $S_1 = S_w$) عند جدار البئر تقرأ المعادلة 2:

$$Q = \frac{2\pi \, T \, Sw}{\ln(\frac{R}{r_w})} \qquad (3)$$

يمكن استخدام المعاداتين 2 و 3 لحساب T ومن ثم K من فحوصات الضخ. ولكي يمكن استخدام المعادلة 1 او بدائلها يجب التأكد من ان البئر تخترق كلياً التكوين الخازن، وان الحالة السائدة للجريان هي الحالة الثابتة.



شكل 1. بئر يعمل في تكوين مائي محصور

مثال (1) بئر قطرها 30 سم تخترق كلياً تكويناً خازناً محصوراً معامل النفاذية له 45 م/يوم ، فإذا علمت أن سمك الطبقة الخازنة = 20 متر و أن منحني الهبوط و نصف قطر التأثير عند الضخ بالحالة الثابتة هما 3 و 300 متر على التوالي ، إحسب كمية تصريف البئر ؟

الحل : من شكل 1

$R = 300$ m. , $r_w = 0.15$ m. , $S_w = 3$ m. , $B = 20$ m.

أما K (م/ثا) فهي

$K = 45 / (3600 * 24) = 5.208 * 10^{-4}$ m/s.

$T = 5.208 * 10^{-4} * 20 = 10.416*10^{-3}$ m^2/s.

ومن المعادلة 3 فان Q

$Q = 2 * \pi * 10.416*10^{-3} * 3 / \ln(300/0.15) = 0.02583$ $m^3/s. = 1550$ liter/min.

مثال (2) في المثال السابق إحسب التصريف إذا كان :

1. **قطر البئر 45 سم مع بقاء بقية العوامل ثابتة .**
2. **إذا زاد منحني الهبوط إلى 4.5 متر و ببقاء بقية العوامل ثابتة .**

الحل :

SOLUTION:

(a) $$Q = \frac{2\pi T s_w}{\ln R/r_w}$$

As T and s_w are constants, $$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\ln R/r_{w_2}}{\ln R/r_{w_1}}$$

Putting $R = 300$ m $Q_1 = 1550$ lpm, $r_{w_1} = 0.15$ m and $r_{w_2} = 0.225$ m.

$$Q_2 = 1550\frac{\ln 300/0.15}{\ln 300/0.225} = 1637 \text{ lpm}$$

[Note that the discharge has increased by about 6% for 50% increase in the well diameter.]

(b) $$Q = \frac{2\pi T s_w}{\ln R/r_w}$$

$Q \alpha s_w$ for constant T, R and r_w. Thus

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{s_{w_1}}{s_{w_2}}$$

$$Q_2 = 1550 \times \frac{4.5}{3.0} = 2325 \text{ lpm}$$

[Note that the discharge increases linearly with the drawdown when other factors remain constant.]

لاحظ: في الحالة a ان التصريف ازداد بحدود 6% عندما زاد قطر البئر بـ 50%.

وفي الحالة b ازدادالتصريف خطياً مع زيادة منحنى الهبوط مع بقية العوامل ثابتة.

2. الجريان غير المحصور (الحر) Unconfined Flow :

تأمل بئراً نصف قطرها r_w تخترق تكويناً خازناً افقياً وحراً كما موضح في شكل 2. فاذا كان تصريف الضخ Q فان معادلة التوازن للبئر في التكوين الخازن الحر هي:

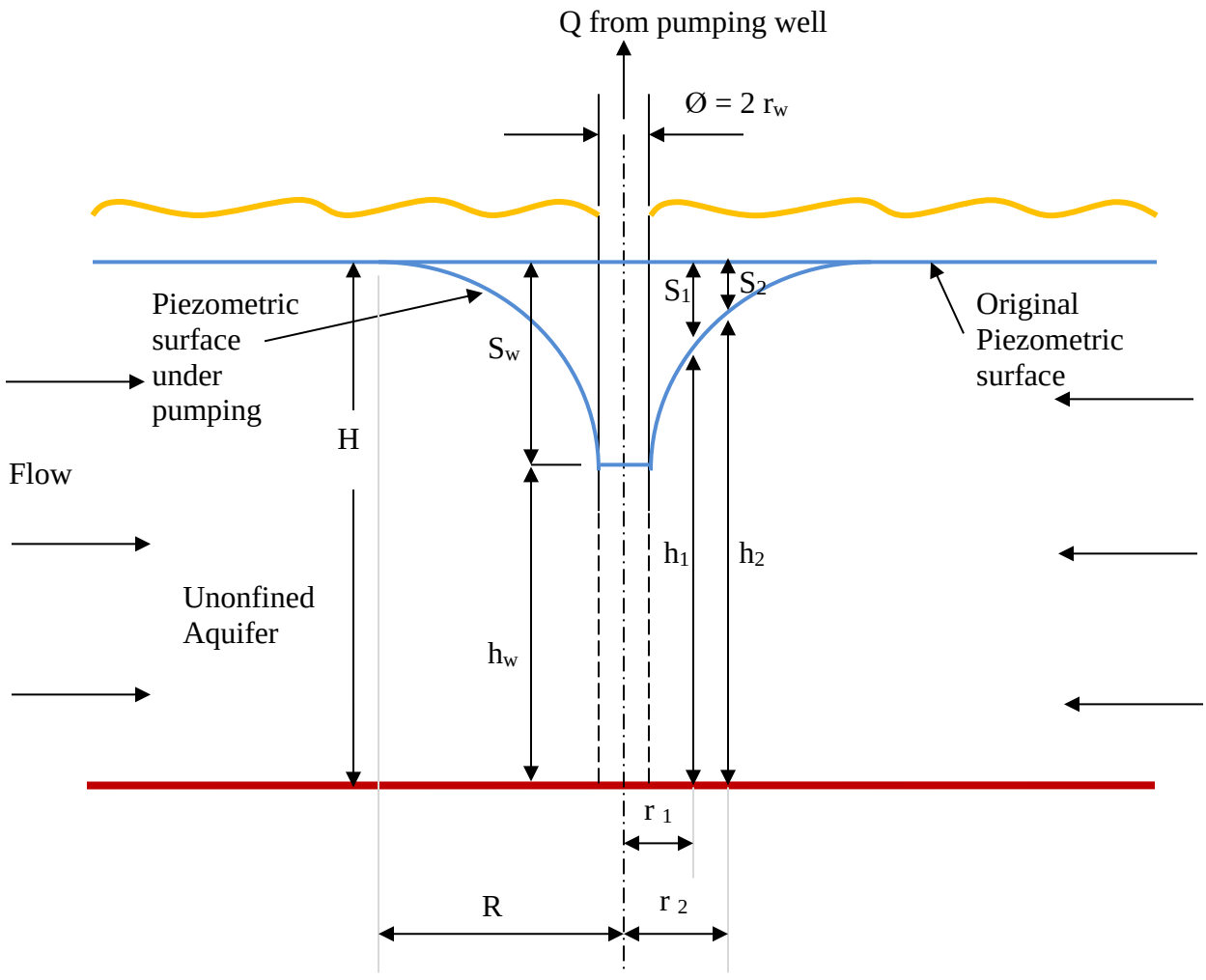
$$Q = \frac{\pi K \ (h_2^2 - h_1^2)}{\ln (\frac{r_2}{r_1})} \qquad (4)$$

وعند حافة منطقة التأثير التي نصف قطرها R فأن H=سمك الطبقة المشبعة من التكوين الخازن، وان

($r_1 = r_w$, $h_1 = h_w$) كما أن ($H = h_2$, $R = r_2$) عند جدار البئر.عليه تصبح المعادلة 4 كما يأتي:

$$Q = \frac{\pi K \ (H^2 - h_w^2)}{\ln (\frac{R}{r_w})} \qquad (5)$$

اذ يمثل h_w عمق الماء عند بئر الضخ التي نصف قطرها r_w



شكل 2. التصريف الشعاعي في بئر في تكوين مائي حر

مثال (3) بئر قطرها 30 ســـم تخترق كلياً تكويناً خازناً حراً عمقه 40 متر وبعد فترة طويلة من الضـــخ بمعدل ثابت مقداره 1500 لتر /دقيقة ، ظهر أن منحني الهبوط في بئري مراقبة تبعدان 25 و 75 متر عن بئر الضخ هما 3.5 و 2 متر على التوالي ، إحسب معامل الاستنقال T للتكوين الخازن ، وما مقدار منحني الهبوط عند بئر الضخ ؟

الحل :

1. $Q = 1500*10^{-3}/ 60 = 0.025\ m^3/s.$

$h_2 = 40 – 2 = 38\ m.$, $h_1 = 40 – 3.5 = 36.5\ m.$

$r_2 = 75\ m.$, $r_1 = 25\ m.$

من معادلة 4 تكون K

$0.025 = (\pi * K * (38^2 – 36.5^2)) / \ln (75/25)$

$K = 7.823 * 10^{-5}\ m/s.$

$T = K H = 7.823 * 10^{-5} * 40 = 3.13 * 10^{-3}\ m^2 / s.$

2. $Q = \frac{\pi K\ (H_1^2 - h_w^2)}{\ln (\frac{r_1}{r_w})}$

$0.025 = (\pi * 7.823 * 10^{-5} * (36.5^2 – h_w^2)) / \ln (25/0.15)$

$h_w = 28.49\ m.$

منحنى الهبوط عند البئر $S_w = 40 – 28.49 = 11.51\ m$