

ولتعيين إنتاجية البئر المعادلة (٤-٤٨) عند الحسايد $[P_c \rightarrow P_k]$

$$: [R_c \rightarrow R_k]$$

$$Q = 2\pi b c \left[\frac{(n-1)(P_k - P_c)}{\left(\frac{1}{R_c} \right)^{n-1} - \left(\frac{1}{R_k} \right)^{n-1}} \right]^{1/n} \quad (50-4)$$

ويإهمال $\frac{1}{R_c^{n-1}}$ لكونه صغير بالمقارنة مع $\frac{1}{R_k^{n-1}}$ فإن المعادلات (٤-٤٩)

(٤-٥٠). عند استخدام قانون كراسنوبولسكي ($n=2$) تصبح :

$$P = P_k - \left(\frac{Q}{2\pi b c} \right)^2 \frac{1}{r} \quad (51-4)$$

$$Q = 2\pi b c \sqrt{R_c(P_k - P_c)} \quad (52-4)$$

وبتعويض قيمة Q من المعادلة (٤-٤٩) في المعادلة (٤-٤٥) نحصل على ما يلي :

$$P = P_k - \frac{P_k - P_c}{\frac{1}{R_c^{n-1}} - \frac{1}{R_k^{n-1}}} \left(\frac{1}{r^{n-1}} - \frac{1}{R_k^{n-1}} \right) \quad (53-4)$$

وعندما تكون $n=2$ تصبح المعادلة (٤-٥٣) على النحو التالي :

$$\frac{dP}{dr} = \frac{P_k - P_c}{\frac{1}{R_c} - \frac{1}{R_k}} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R_k} \right) \quad (54-4)$$

إن توزع الضغط لهذا النوع من الجريان حسب قانون كراسنومولسكي يماثل

توزيع للجريان الكروي الشعاعي حسب قانون الارتساح الخططي .

أما تدرج الضغط فيحسب باستخدام المعادلين (٤-٤٧) ، (٤-٤٠) :

$$\frac{dP}{dr} = \left(\frac{Q}{2\pi r b c} \right)^n = \frac{(n-1)(P_k - P_c)}{\frac{1}{R_c^{n-1}} - \frac{1}{R_k^{n-1}}} \cdot \frac{1}{r^n} \quad (55-4)$$

وتصبح العلاقة السابقة من أجل قانون كراسنوبولسكي ($n=2$) على النحو

التالي :

$$\frac{dP}{dr} = \frac{\frac{P_K - P_c}{1} - \frac{1}{r^2}}{\frac{R_c}{R_K}} \quad (56-4)$$

أما سرعة الارتساح فيمكن حسابها من المعادلة (٤٧-٤) معأخذ المعادلة (٤-٥٥) بعين الاعتبار :

$$v = c \left[\frac{\frac{(n-1)(P_K - P_c)}{1} - \frac{1}{r^2}}{\frac{R_c^{n+1}}{R_K^{n+1}}} \right]^{1/n} \quad (57-4)$$

نلاحظ أن هذه المعادلة للجريان الدائري الشعاعي حسب قانون الارتساح غير الخططي تتطابق مع نفس المعادلة من أجل الجريان الدائري الشعاعي حسب قانون الارتساح الخططي (انظر إلى المعادلة (٣٦-٤)) .

كذلك يمكننا من التوصل إلى المعادلة التالية :

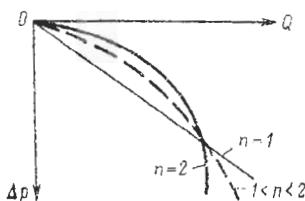
$$\frac{P_K - P_p}{P_K - P_c} = \frac{S_p}{S} = \frac{R_c}{r_p} \quad (58-4)$$

حيث إن S_p ، S - انخفاض مستوى السائل عن المستوى статического في بئر المراقبة والبئر العاملة (انظر الشكل ٤-١٥) .

وبتحليل المعادلات السابقة الذي يمكن التوصل إلى الاستنتاجات التالية :

١) إن الدليل البياني سيكون باتجاه محور فاقد الضغط عندما تكون $2 \leq n \leq 1$ وذلك حسب المعادلة (٤-٥٠) وهذا ما يوضحه الشكل رقم (٤-١٧) ، أما في حالة قانون كراسنوبولسكي ($n=2$) حسب المعادلة (٤-٥٢) ، فإن الدليل البياني شكل قطع زائد من الدرجة الثانية . وعندما يكون ($n=1$) فإن الدليل البياني سيكون خطأً مستقيماً ، أي أن العلاقة خطية ، أي يتحقق قانون الارتساح الخططي ، وهذا الدليل يبين أن الإنتاجية تزداد بشكل خططي مع زيادة فاقد الضغط ، أما في الحالتين الأخريتين فإن زيادة الإنتاجية تتناقص مع زيادة فاقد الضغط P .

٢) إن منحني توزع الضغط للجريان الدائري الشعاعي حسب قانون الارتساح غير الخطى سيأخذ شكل قطع زائد بناءً على المعادلتين (٤-٥٣)، (٤-٥٨) وبالتالي فإن قمع المخاض الضغط شيشبه القمع الموضح في الشكل (٤-١٥)، ولكن يختلف عن الجريان حسب قانون الارتساح الخطى ، بأن سرعة المخاض الضغط بالقرب من حداران البئر ستكون أكبر منه للمنحنى اللوغاريتمي الموضح بالشكل رقم (٤-١٥).



شكل (٤-١٧) : الدليل البياني لعدة أنواع من الجريانات الارتساحية

٣) سرعة الارتساح ستتغير بتغير نصف القطر r حسب المعادلة (٤-٥٧) وهذه المعادلة تشبه نفس العلاقة بالنسبة إلى الجريان الدائري الشعاعي حسب قانون الارتساح الخطى الممثلة بالمعادلة (٤-٣٦) والشكل (٤-١٤).

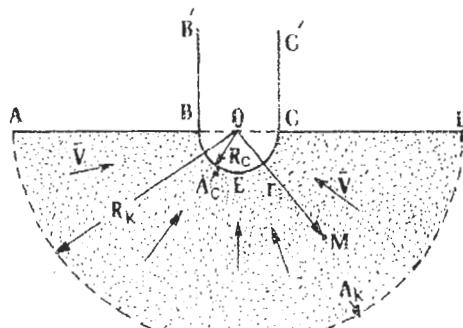
٤) إن تدرج الضغط في أية نقطة من الطبقة يتاسب عكساً مع مربع البعد r للنقطة المدرسة ، وهذه المعادلة تشبه المعادلة الموضحة بالشكل (٤-١٤)، ولكن سرعة المخاض تدرج الضغط ستكون أكبر عند حداران البئر منه في حالة الجريان الدائري حسب قانون الارتساح الخطى .

٤-٣- الجريان الكروي الشعاعي :

٤-٣-١- وصفه :

لنفرض أنه لدينا بئراً عاملاً يتصل بطبقة ذات سماكة غير محدودة من خلال غطائها العلوي على شكل نصف كررة (الشكل ٤-١٨). إن مسارات حرکة جزيئات السائل أو الغاز في الطبقة ستكون مستقيمات تلتقي فراغياً في نقطة واحدة واقعة في

مركز نصف الكرة السابق (النقطة O في الشكل ٤-١٨) ، وذلك لدى استغلال هذا البئر .
 أما عند استخدام البئر للحقن فإن للدارات السائل المسارات نفسها ولكن مع تغير الاتجاه .
 إن الضغط وسرعة الارتساح في أية نقطة من الطبقة في هذا الجريان المستقر
 سيكونان تابعين فقط لبعد هذه النقطة عن مركز قاع البئر . وبالتالي فإن هنا السرع
 من الجريان سيكون أحادي الاتجاه ويسمى الجريان الكروي الشعاعي (أو الجريان
 الثلاثي المنتظم) . ويمكن أن يصادف هذا النوع من الجريان عند احتراق البئر لغضاته
 العلوي من الطبقة وعندما يكون عمق احتراق البئر للطبقة أصغر بكثير من سمكها .



شكل (٤-١٨) : محضط اجريان الارتساحي الكروي الشعاعي
 لنفرض أن النقطة O في الشكل (٤-١٩) تعدُّ مركز التقاء مسارات جريان
 ثلاثي منتظم ، فإن المعادلين (٤-٢٦) ، (٤-٢٧) يمكن استخدامهما على اعتبار
 سطح الارتساح هو سطح نصف كره ويعطى بالمعادلة التالية :

$$F = 2\pi r^2 \quad (4-59)$$

$$v = \frac{Q}{F} = \frac{Q}{2\pi r^2} \quad (4-60)$$

٤-٣- الجريان الكروي الشعاعي حسب قانون الارتساح الخطى :

ليكن لدينا بئر نصف قطره R يتصل بطبقة ذات سمكية غير محدودة من خلل
 غطائها العلوي على شكل نصف كره (الشكل ٤-١٨) ، ولنفرض أن السائل غير

القابل للانضغاط يجري باتجاه البئر تحت نظام الدفع المائي . ولتكن الضغط المصغر المائي في الطبقة وعند قاع البئر P_k^* ، ولكي يبدأ السائل بالجريان يجب تخفيف الضغط عند قاع البئر إلى قيمة ثابتة P_c^* . ويبقى الضغط عند كونتور التغذية الذي يبعد مسافة R_K عن مركز البئر ، ثابتاً ويساوي P_k^* .

A_k - المقطع العمودي نصف الكروي لقاع البئر غير التام هيا-روهوديناميكيًّا ، ذي نصف القطر R_k ،

A_k - المقطع العمودي نصف الكروي لكونتور التغذية ذو نصف القطر R_k سنقوم وبناء على الشكل (٤-١٨) بدراسة هذا الجريان من خلال تحديد المعادلات التي تصفه والتي من خلالها نعين المؤشرات التي سبق وأن حددت من الجريانات السابقة .

من المعادلتين (٤-٢٦) ، (٤-٥٩) يمكن أن نحصل على :

$$dP^* = \frac{Q \cdot \mu}{2 \pi r^2 K} dr \quad (٤-٦١)$$

حيث إن : P^* - الضغط المصغر في نقطة ماسن الطبقة ، r - بعد هذه النقطة عن مركز البئر O ، Q - إنتاجية البئر الثابتة .

ويمكملة هذه المعادلة عند الحدود $[P^* \rightarrow P_k^*]$ ، $[r \rightarrow R_k]$ نحصل على :

$$P^* = P_k^* - \frac{Q \cdot \mu}{2 \pi K} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R_k} \right) \quad (٤-٦٢)$$

ولتعيين إنتاجية البئر نكامل المعادلة (٤-٦١) عند الحدود $[P^* \rightarrow P_c^*]$ ،

: $[R_c \rightarrow R_k]$

$$Q = \frac{2 \pi K (P_k^* - P_c^*)}{\mu \left(\frac{1}{R_c} - \frac{1}{R_k} \right)} \quad (٤-٦٣)$$

نعرض قيمة Q في المعادلات (٤-٦١) ، (٤-٦٢) ، (٤-٢٦) :

$$\frac{dP^*}{dr} = \frac{\frac{P_K^* - P_c^*}{1 - 1}}{R_c - R_K} \cdot \frac{1}{r^2} \quad (64-4)$$

$$P^* = P_K^* - \frac{\frac{P_K^* - P_c^*}{1 - 1}}{R_c - R_K} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R_K} \right) \quad (65-4)$$

$$v = \frac{K}{\mu} - \frac{\frac{P_K^* - P_c^*}{1 - 1}}{R_c - R_K} \frac{1}{r^2} \quad (66-4)$$

وباعتبار $R_c \gg R_K$ فيمكن إهمال $\frac{1}{R_K}$ لأنها صغيرة جداً بالمقارنة مع

وبالتالي يمكن كتابة ما يلي :

$$Q = \frac{2\pi R_c K (P_K^* - P_c^*)}{\mu} \quad (67-4)$$

$$P^* = P_K^* - (P_K^* - P_c^*) \frac{R_c}{r} \quad (68-4)$$

في المعادلة (68-4) أهملت قيمة $\frac{1}{R_K}$ بالمقارنة مع $\frac{1}{r}$ لأن هذه المعادلة تسمح

فقط بتعيين الضغط بشكل دقيق عندما تكون $R_K \ll r$ أو بالأحرى قرب البتر.

لكي ندرس قانون حركة ذرات السائل على طول مساراتها تقوم بتعويض سرعة

الارشاد من المعادلة (4-26) في المعادلة (60-4).

$$dt = \frac{-2\pi m}{Q} r^2 dr \quad (69-4)$$

نتكامل المعادلة عند الحدود $[t] \rightarrow [0]$ ، $[r] \rightarrow [r_0]$ فنحصل على :

$$t = \frac{2\pi m}{3Q} (r_0^3 - r^3)$$

للحصول على الزمن اللازم لذرة السائل لقطع المسافة من R_K إلى R_c نعرض R_c

بدلاً من r ، وبما أن R_c صغير جداً لذلك يمكن إهماله :

$$t = \frac{2\pi m}{3Q} r_0^3 \quad (70-4)$$

أو :

$$\tau = \frac{2}{3} \pi r_e^3 \cdot m \quad (71-4)$$

حيث إن : τ - حجم السائل في الفراغات المسامية ضمن نصف كرة ذات نصف القطر r_e .

الآن سنستخرج معادلة حساب الضغط الوسطي في الفراغات المسامية للطبقية :

$$P = \frac{1}{V_p} \int_{V_p} P^* dV_p \quad (72-4)$$

حيث إن :

$$V_p = \frac{2}{3} \pi R_k^3 \cdot m, dV_p = (2 \pi r^2 dr) \cdot m$$

P^* - تحدد بالمعادلة (4-60).

وبالتعويض وإجراء التكامل عند الحذف $[R_c \rightarrow R_k]$ وإعمال قيم

بالنسبة إلى R_k^2 نحصل على :

$$P = P_k^* - \frac{\frac{P_k^* - P_c^*}{R_k}}{2 \frac{R_c}{r}} \quad (73-4)$$

إن العلاقة بين انخفاض مستوى السائل عن مستوى السائل الستاتيكي يمكن أن نحصل عليها من المعادلة (4-18) :

$$\frac{P_k^* - P^*}{P_k^* - P_c^*} = \frac{S_p}{S} = \frac{R_c}{r} \quad (74-4)$$

حيث إن : S_p - انخفاض مستوى السائل في بئر المراقبة عن المستوى الستاتيكي ،

P^* - الضغط في بئر المراقبة ، P_c^* - بعد بئر المراقبة عن البئر العاملة .

سنقوم الآن بتحليل المعادلات التي تم الوصول إليها لهذا النوع من الجزيئات

حيث سندرس تغير كل من الإنتاجية والضغط وتدرج الضغط وقانون الحركة .

مما سبق يمكن استنتاج ما يلي :

- ١) إن علاقة الإنتاجية بفرق الضغط المصغر حسب العلاقة (٤-٦٣) للجريان الكروي الشعاعي تشبه العلاقة نفسها بالنسبة للجريان الدائري الشعاعي لذلك سيكون للدليل البياني لهذه العلاقة الشكل نفسه المعروض بالشكل (٤-١٣)، حيث ستكون العلاقة خطية والمنحنى سيأخذ شكلاً مستقيماً.
- ٢) إن تدرج الضغط وسرعة الارتساح حسب المعادلين (٤-٦٤)، (٤-٦٦) في آية نقطة من الطبقة سيتاسبان عكساً مع مربع بعد هذه النقطة عن مركز قاع البشر. وعند رسم هذه العلاقة نلاحظ أنها تشبه العلاقة الموضحة بالشكل (٤-١٤)، ولكن ميل المنحنى عند المنطقة القردية من البتر (عند قيم صغيرة من ٢)، سيكون أكبر منه للمنحنى نفسه بالنسبة للجريان الدائري الشعاعي.
- ٣) إن الضغط المصغر في آية نقطة من الطبقة سيتاسب عكساً مع بعد هذه النقطة عن مركز قاع البتر، وذلك حسب المعادلة (٤-٦٥)، أي أن علاقة الضغط المصغر بالمسافة لها شكل قطع زائد. وهنا فإن خطوط تساوي الضغط المصغر ستكون على شكل أنصاف كرات مركزها هو مركز قاع البتر، ومن الواضح أن الضغط الحقيقي في النقاط الواقعة في مستوى تساوي الضغط سيختلف من نقطة إلى أخرى. ونعرفة ارتفاع النقطة والوزن النوعي للسائل والضغط المصغر يمكن حساب الضغط الحقيقي في آية نقطة . فإذا أردنا حساب الضغط الحقيقي في النقطة M كما في الشكل (٤-١٨) مع اعتبار مستوى المقارنة منطبقاً على الخط ABCD يمكن كتابة ما يلي :

$$P_M = P_M^* + \gamma H_M \quad (٤-٧٥)$$

ويجب الإشارة إلى أنه إذا كان البتر مخصصاً للحقن فإن كافة المعادلات السابقة الذكر ستبقى صالحة مع الأخذ بعين الاعتبار أن الضغط المصغر عند قاع البشر P_M^* سيكون أكبر من الضغط المصغر عند كونتور التغذية P_K^* .

٤-٤ - وجود نظامين للارتياح في آن واحد :

يجب عدم اعتبار صلاحية القانون غير الخطى واحدة في الظروف الحقلية الحقيقية وذلك على امتداد الطبقة من جدران البئر وحتى كونتور التغذية ، أي يجب اعتبار الأسس n ثابتاً ، فيمكن أن يتم الإرتياح حسب القانون الخطى عند الإنتاجية الصغيرة للبئر ، ولكن ومع زيادة إنتاجية هذا البئر سيبدأ الانزياح عن قانون الارتياح الخطى وذلك ابتداءً من المنطقة المجاورة لقاع البئر أما في المناطق الأبعد فإن الجريان يحافظ على صفتة الخطية . ومع زيادة الإنتاجية أكثر توسيع المنطقة التي ينراوح فيها قانون الارتياح .

ومن الضروري هنا استخدام قانون الارتياح ذي الحدين الموضح بالمعادلة (٥٧-٢) :

$$\frac{dP}{dr} = \frac{\mu}{K} v + B v^2 ; \quad B = \mu \rho / \sqrt{K} \quad (76-4)$$

$$v = \frac{Q}{2 \pi r b} \quad \text{حيث إن :}$$

ومنه :

$$\frac{dP}{dr} = \frac{\mu}{K} \frac{Q}{2 \pi r b} + \frac{B Q^2}{(2 \pi r b)^2} \quad (77-4)$$

$$dP = \frac{Q \mu}{2 \pi b} \frac{dr}{r} + \frac{B Q^2}{(2 \pi b)^2} \frac{dr}{r^2} \quad (78-4)$$

نكمال هذه المعادلة عند الحدود $[P \rightarrow P_K]$ ، $[r \rightarrow R_K]$ ، وعند الحدود

$[P_c \rightarrow P_K]$ ، $[R_c \rightarrow R_K]$ فنحصل على المعادلين التاليين :

أ) توزيع الضغط في الطبقة :

$$P = P_K - \frac{Q \mu}{2 \pi K b} \ln \frac{R_K}{r} - \frac{B Q^2}{(2 \pi b)^2} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R_K} \right) \quad (79-4)$$

ب) إنتاجية البئر :

$$P_K - P_c = \frac{Q \cdot \mu}{2 \pi K b} \ln \frac{R_K}{R_c} + \frac{B Q^2}{(2 \pi b)^2} \left(\frac{1}{R_c} - \frac{1}{R_K} \right) \quad (80-4)$$

ولتسهيل دراسة مثل هذه الجريانات لابد من سرد بعض المفاهيم :

١) كلما اقتربنا من البئر زادت سرعة الارتشاح .

٢) بزيادة فاقد الضغط أو بزيادة انخفاض مستوى السائل الديناميكي عن المستوى الستاتيكي له في البئر فإن إنتاجية هذا البئر وبالتالي سرعة الارتشاح في نقاط مختلفة من الجريان ستزداد .

٣) ينراح الارتشاح عن القانون الخطى إذا تخطى عدد رينولدز له عدد رينولدز

الخرج Re_{kr} ، حيث يمكن حساب هذا العدد بالمعادلة التالية :

$$Re_{kr} = \frac{10}{m^2 \cdot 3} \cdot \frac{v_{kr} \sqrt{K}}{v} \quad (81-4)$$

حيث إن :

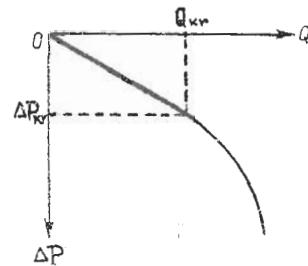
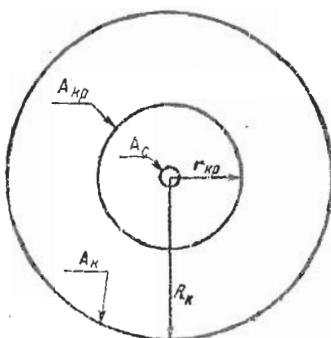
ما سبق يمكن القول إنه عند تخفيف بسيط مستوى السائل في البئر العاملة فإن السائل يبدأ بالتدفق بإنتاجية صغيرة تقابلها سرعة ارتشاح قليلة ، حيث يبقى عدد رينولدز عندها $Re_{kr} < Re_{kr}$ وهذا سيكون الجريان خطياً ويكون الدليل البياني له خطأ مستقيماً ويقابل الحد الأول من المعادلة (٤ - ٨٠) . ولدى زيادة الإنتاجية لقيمة تكون عندها سرعة الارتشاح أكبر من السرعة الحرجة v_{kr} سيصبح عدد رينولدز $Re_{kr} > Re_{kr}$ وسينراح قانون الارتشاح عن القانون الخطى ويبدأ الدليل البياني بالإلحناء باتجاه محور فاقد الضغط ΔP ، وهو يقابل الحد الثاني من المعادلة (٤ - ٨٠) . وهذا ما يوضحه الشكل (٤ - ٢٠) ، وبالتالي سيحدث نوعان من الجريان في آن واحد في الطبقة . والشكل رقم (٤ - ٢١) يوضح مجال الجريان الارتشاحى الخطى وغير الخطى حيث إن :

A_{kr} - المستوى الأفقي للمجال الحرج .

A_{kr} - نصف قطر المجال الحرج ، A_k - المسقط الأفقي للبئر ،

A_k - المسقط الأفقي لكونتور التغذية .

وبزيادة إنتاجية البئر فإن سرعة الارتشاح ونصف قطر الحال الخرج سيزدادان أي سيتحرك كونتور التغذية A_{kr} باتجاه A_{kp} .



شكل (٤ - ٢٠) الدليل البياني في حالة وجود نوعين من الجريان الخططي وغير الخططي في حالة وجود نوعين من الجريان .

كذلك يمكننا القول إن الانزياح هنا لن يحدث مباشرة وإنما سيحدث تدريجياً . وهكذا ونتيجة للأبحاث التي أجريت ثم التوصل إلى أعداد كبيرة من الأدلة البيانية للجريان الارتشاحي الخططي وغير الخططي أو المشتركة ، وكلها ثبتت أن قانون الارتشاح سيكون خطياً عند قيم صغير لإنتاجية البئر وسيزدح في الحالة العكسية . وترسم هذه الأدلة البيانية للابار المستمرة عند نظام الدفع المائي بحيث يبقى الغاز منحلاً حتى لو استمرت بإنتاجية كبيرة .

في الشروط الحقلية وللأبار النقطية التامة هيدروديناميكياً ذات القاع المفتوح فإن قيم R عند جدران البئر ستكون صغيرة وأصغر بكثير من القيمة الحرجة وبالتالي فإن قانون الارتشاح في الطبقة سيكون خطياً . ولإيضاح ذلك سنعطي مثالاً يثبت ذلك رغم من أنها ستعطي قيمة صغيرة للزوجة التحريرية وقيمة كبيرة لإنتاجية البئر والتغذية .

مثال : لنفرض أن البئر التام هيدروديناميكياً اخترق الطبقة بسمك $b = 10 \text{ m}$ وإنتاجية $Q = 100 \text{ m}^3 / \text{day}$ ، ذو نصف القطر $R = 10 \text{ cm}$ ومعامل نفوذية

الطبقة $1 D = 10^{-8} \text{ cm}^2$ ، والمسامية $m = 0,2 \text{ K}$ ، واللزوجة التحريريكية بالشروط
الطبقية $S / v = 0,1 \text{ cm}^2 / \text{cc}$.

وبإجراء الحسابات نحصل على ما يلي :

$$v = 0,0184 \text{ cm} / \text{s}$$

$$Re = 0,075$$

نجد أن عدد رينولدز أصغر بكثير من القيمة الحرجة الدنيا التي تساوي الواحد . ولتبين تأثير عدم تمامية البئر من ناحية فتح الطبقة نفترض أن البئر متصل مع الطبقة من خلال 100 ثقب ، حيث نصف قطر الثقب $0,5 \text{ cm}$ ، حيث يصبح سطح الارتساح F' مساوياً :

$$F' = 78,55 \text{ cm}^2$$

$$v' = 14,7 \text{ cm} / \text{s}$$

ونتهي :

$$\frac{v'}{v} = \frac{F}{F'} = 800$$

$$Re' = 60$$

نجد من هذا المثال أن سطح الارتساح سيقل بحوالي 800 مرة منه في البئر التام هيدروديناميكياً . وأن قيمة Re' للبئر غير التام أكبر بكثير من القيمة الحرجة له ، وبالتالي فإن الجريان في المنطقة القريبة من قاع البئر سيكون جرياناً غير خططي ، أي أنه سينزاح عن قانون الارتساح الخططي .

٤-٥- الجريان الارتساحي للسوائل إلى الآبار غير التامة هيدروديناميكياً :

يعد جريان السائل إلى الآبار غير التامة في الطبقات الأفقية المتاجنة ذات السماكة القاتبة ، جرياناً دائرياً شعاعياً . ولكن هناك صعوبات كبيرة في دراسة هذا النوع من الجريان في الطبقات ذات السماكxات المحددة ، قد لاتمكن من تجاوزها . وعلى الرغم من ذلك تعد دراسة جريان السائل إلى الآبار غير التامة هيدروديناميكياً من المسائل المهمة في الحياة العملية ، لذلك سوف نستعرض بعض العلاقات النهائية التي تم الحصول عليها ولكن بدون استثناءات وبراهين ، من أجل هذا النوع من الجريانات .

سنفترض قبل كل شيء أن البئر قد اخترق الطبقة ذات السماكة اللامتناهية ($b \rightarrow \infty$) فالجريان في هذه الحالة يصبح حرياناً كروياً شعاعياً . وعندما نفترض أن ($b \rightarrow \infty$) فإن الإنتاجية سوف تحدد بالمعادلة (٤-٦٣) . وإذا اخترق البئر الطبقة اللامتناهية في السماكة

بعمق b ، فإن إنتاجيته تحدد بمعادلة غيرينسكي (GERENSKY) :

$$Q = \frac{2\pi K b}{\mu} \frac{P_k^* - P_c^*}{\ln \frac{1,6}{R_c}} \quad (4-82)$$

ومن أجل الحصول على إنتاجية البئر غير التام من الملاiem مقارنة هذه الإنتاجية Q بإنتاجية البئر التام هييدروديناميكيّاً Q_t ، حيث إنه تقييم عدم تمامية البئر من خلال معامل تمامية البئر :

$$\delta = \frac{Q}{Q_t} \quad (4-83)$$

أما الطريقة الأكثر استخداماً من أجل الحصول على إنتاجية البئر غير التام فهي تعتمد على التمثيل الكهربائي للعمليات الارتشاحية، ويتم هذا التمثيل على النحو التالي : يملاً حوض بمحلوّل كهربائي ، ثم يغمس فيه قطب كهربائي على شكل حلقة تمثل كونتور التغذية . ثم نغمس في مركز الوعاء قطب كهربائي آخر وذلك بعمق معين يتوافق مع درجة اختراق البئر الحقيقي للطبقة . وتوصل جهود مختلفة إلى كلا القطبين بينما فرق جهد يمثل فاقد الضغط وبالتالي فإن شدة التيار المار سيمثل إنتاجية البئر .

تعطى إنتاجية البئر غير التام هييدروديناميكيّاً بالمعادلة التالية :

$$Q = \frac{2\pi k b (P_k - P_c)}{\mu \left(\ln \frac{R_k}{R_c} + C \right)} \quad (4-84)$$

حيث إن $C = C_1 + C_2$ - المقاومة الارتشاحية الإضافية الناتجة عن عدم تمامية البئر من ناحية اختراق الطبقة (C_1) ومن ناحية فتح الطبقة (C_2) .

يمكن حساب المقاومة الكهربائية باستخدام قانون أوم بعد قياس فرق الجهد وشدة التيار ، ثم تم إعادة الحسابات على المقاومة الارتشاحية وتحدد المقاومة الارتشاحية الإضافية .

لقد قام الباحث شورف (SHOOROV) بهذه التجارب ، فحدد المقاومات الارتساحية الإضافية C_1 ، C_2 من أجل حالات مختلفة لعدم تمامية البئر ثم رسم منحنيات تربط ما بين العوامل a ، b كما في الشكل (٤-٢٢) ، والعامل C_2 مع العوامل الثلاث التالية :

α ، ℓ ، n . D_c كما في الشكل (٤-٢٣) .

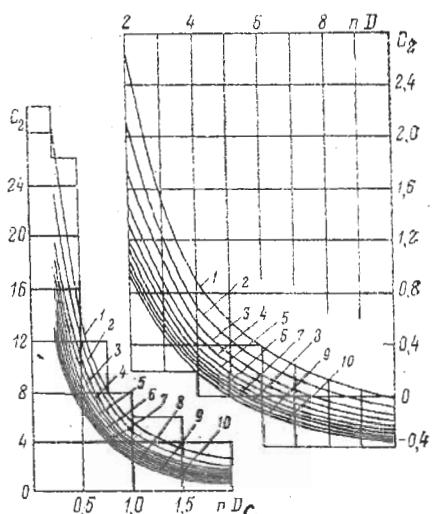
حيث إن :

$$a = \frac{b}{D_c} , \bar{b} = \frac{b_1}{b}$$

$$\ell = \frac{\ell'}{D_c} , \alpha = \frac{d_o}{D_c} \quad (4-85)$$

n - عدد الثقوب في المتر الواحد من المواسير ، D_c - قطر البئر ،

ℓ' - عمق دخول الطائفة داخل الطبقة ، d_o - قطر الثقب



شكل (٤-٢٣) منحني شورف لتحديد

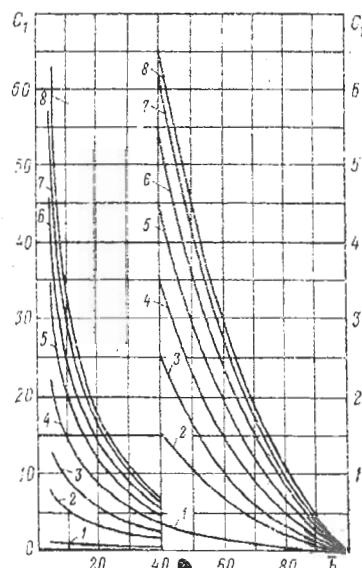
العامل C_2 حيث إن قيمة a هي :

1- 0.02 ; 2- 0.04 ; 3- 0.06 ; 4- 0.08

5- 0.1 ; 6- 0.12 ; 7- 0.14 ; 8- 0.16 ;

9- 0.18 ; 10- 0.20

عندما تكون $b = 0.5$



شكل (٤-٢٢) منحني شورف لتحديد

المعامل C_1 حيث إن قيمة a هي :

1-1 ; 2-5 ; 3-10 ; 4-20 ;

5-40 ; 6-80 ; 7-160 ; 8-300

وبتعويض قيم الإنتاجية من المعادلين (٤-٣٢)، (٤-٨٤) في المعادلة (٤-٨٣) نحصل على معامل ثمامية البئر (٨) .

$$\delta = \frac{\ln \frac{R_k}{R_c}}{\ln \frac{R_k}{R_c} + C} \quad (4-86)$$

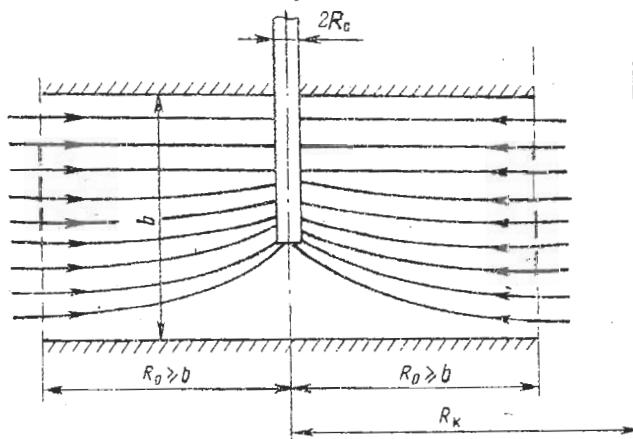
يمكن إدخال مفهوم نصف قطر البئر المصغر \bar{R} الذي يمثل نصف قطر بئر تام ذي الإنتاجية المساوية لإنتاجية البئر غير التام والذي يعطى بالمعادلة التالية :

$$\bar{R}_c = R_c \cdot e^C$$

عندئذ تصبح المعادلة (٤-٨٤) على النحو التالي :

$$Q = \frac{2\pi k b (P_k - P_c)}{\mu \ln \frac{R_k}{R_c}} \quad (4-87)$$

ثم قام الباحث تشارني (TSHARNY) باقتراح طريقة أخرى لحساب إنتاجية البئر غير التام ، وذلك عندما تكون درجة اختراق الطبقة صغيرة ($b \ll R_c$) . فقد قسم مجال الجريان إلى قسمين كما في الشكل (٤-٢٤) .



شكل (٤-٢٤) مسارات الحركة إلى البئر غير التام

المجال الأول يقع بين كونتور التغذية ونصف القطر R_c المساوي أو أكبر من سماكة الطبقة (b) ($R_c \geq b$) ، حيث يكون الجريان في هذا المجال دائرياً شعاعياً ،

أما المجال الثاني فيقع مابين السطح الأسطواني ذي نصف القطر R_k وجدار البئر ، والجريان في هذا المجال سيكون فراغياً لنفرض أن الكمون في النقاط التي تبعد مسافة $r = R_o$ عن مركز البئر ، هو ϕ_o ، عندئذ وفي المجال $R_k \leq r \leq R_o$ يمكن كتابة معادلة ديوبي :

$$Q = \frac{2\pi b (\phi_k - \phi_o)}{\ln \frac{R_k}{R_o}} \quad (88-4)$$

حيث إن الكمون ϕ يعطى بالمعادلة التالية :

$$\phi = \frac{k}{\mu} (P + \rho g Z) \quad (89-4)$$

أما في المجال $R \leq r \leq R_o$ ، حيث يعد الجريان كروياً شعاعياً تقررياً يحدث بين نصف الكرة ذات أنصاف الأقطار R_k ، R_o .

$$\phi = \frac{2\pi (\phi_o - \phi_c)}{\frac{1}{R_o} - \frac{1}{R_k}} \equiv 2\pi R_o (\phi_o - \phi_c) \quad (90-4)$$

وبالتالي يمكن الحصول على إنتاجية البئر من المعادلين (4-88) ، (4-89) ، (4-90)

$$Q = \frac{2\pi (\phi_o - \phi_c)}{\frac{1}{b} \ln \frac{R_k}{R_o} + \frac{1}{R_o}} \quad (91-4)$$

وعندما يخترق البئر الطبقة المنتجة بعمق قليل بالنسبة إلى سمكها فإن

$R_o = 1,5b$ ، وعندئذ تصبح المعادلة (4-91) على الشكل التالي :

$$Q = \frac{2\pi (\phi_k - \phi_c)}{\frac{1}{b} \ln \frac{R_k}{1,5b} + \frac{1}{R_o}}$$

وأخيراً يمكن القول إن دراسة جريان السائل إلى الآبار غير التامة هيدروديناميكياً من ناحية فتح الطبقة أو إلى الآبار غير التامة من الناحيتين ، سيكون أصعب منها للآبار غير التامة من ناحية اختراق الطبقة فقط .