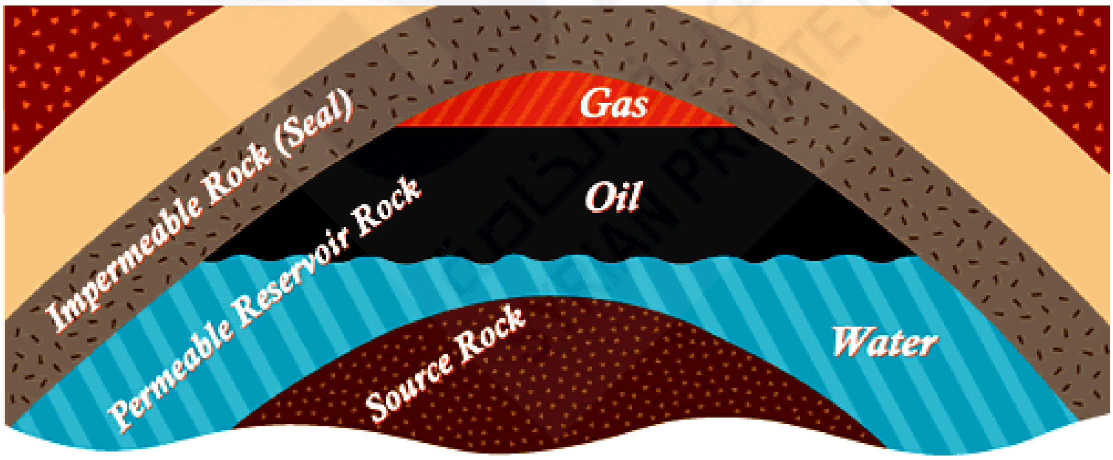
SYRIAN PRIVT UNIVERSITY
FACULTY OF PETROLEUM ENGINEERING

فحوصات الآبار

Well Tests

Lecture 9



في الثلاثينات من القرن الماضي، اقترح الباحثان "رولينس وشيلهارت"، بعد اختبار أكثر من (600) بئر غازي ، علاقة تجريبية بسيطة وهي :

$$q = C(P_K^2 - P_C^2)^n \qquad (23-1)$$

- يقترب الأس (n) من الواحد (1) إذا كانت تأثيرات العطالة خلال جريان الغاز في الوسط المسامي مهملة، والنفوذية غير ضعيفة، وبالتالي تصبح (q):

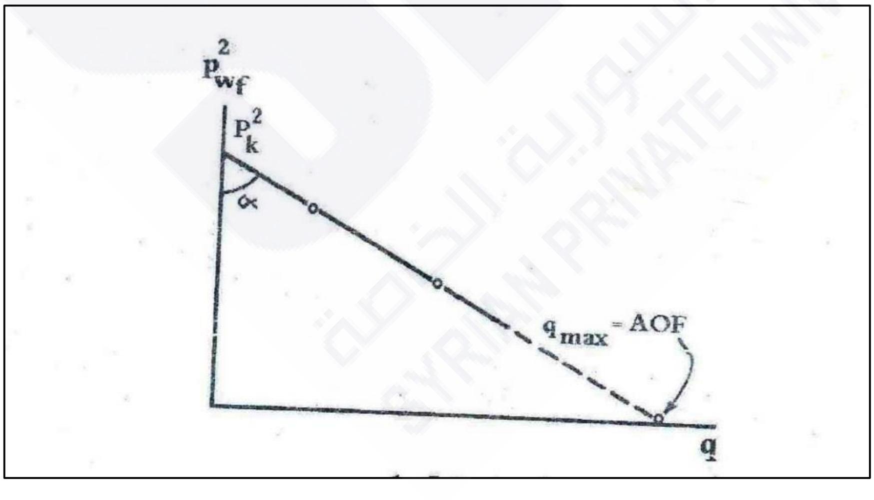
$$q_{sc} = \frac{\pi \times K_g \times h \times T_{SC}(P_K^2 - P_C^2)}{\mu_g \times P_{SC} \times T \times Z \times \ln\frac{R_K}{r_C}} \qquad (24-1)$$

أي أن الثابت (C)، في هذه الحالة، هو :

$$C = \frac{\pi \times K_g \times h \times T_{SC}}{\mu_g \times P_{SC} \times T \times Z \times \ln\frac{K_r}{r_C}} \qquad (25-1)$$

برسم الدليل البياني للعلاقة $P_C^2 = f(q)$ نحصل على خط مستقيم ، يعطي تمديده قيمة (AOF).

كما يمكن أيضا، من هذا المستقيم، تحديد قيمة (P_K) عندما تكون هذه القيمة غير معطاة، الشكل رقم (1−5).



الشكل(1−5)

يحدد عامل الإنتاجية (PI):

$$PI = \tan\alpha = \frac{q_{sc}}{P_K^2 - P_C^2} \qquad (3-26)$$

- تقترب قيمة الأس (n) من (0.5) إذا كانت تأثيرات العطالة وتأثيرات جريان لادارسي كبيرة.
- تكون قيمة الأس (n) أقل من (0.5) بسبب تجمع السوائل في قاع البئر.

تتعادل العلاقة (1−23) مع العلاقة (1−5) عندما يكون:

أ- (n=1) والحد الثاني من العلاقة (3−5) في الطرف اليميني مهملا.

ب- (n=0.5) ويصبح هذا الحد (الثاني) مسيطرا أو غالبا.

إذا تتراوح قيمة (n) ما بين ($1 \rightarrow 0.5$).

المعادلة (1−24)، هي معادلة دارسي للجريان الشعاعي وقد استخرجت كالآتي:

$$q_g = 2.\pi.r.h.\frac{K_g}{\mu_g} \times \frac{d_p}{d_r} \qquad (27-1)$$

وبما أن:

$$q_{sc} = q_g \times P \times \frac{T_{SC}}{T \times P_{SC} \times Z} \qquad (28-1)$$

$$q_g = q_{sc}\frac{Z \times T \times P_{SC}}{P \times T_{SC}} \qquad (29-1)$$

بمساواة المعادلتين (1−27) و (1−29) ثم التكامل لـ (P) و (r) ضمن الحدود ($P_C \rightarrow P_K$) و ($r_c \rightarrow R_K$)

نجد :

$$\ln\frac{R_K}{r_c} = \frac{\pi.K_g.h}{\mu_g \times q_{sc}} \times \frac{T_{SC}}{Z \times T \times P_{SC}}(P_K^2 - P_K^2) \qquad (30-1)$$

وبالتالي نحصل على العلاقة (1–24) المذكورة سابقا:

$$q_{sc} = \frac{\pi . K_g . h . T_{SC}(P_K^2 - P_C^2)}{\mu_g \times Z \times T \times P_{SC} \times \ln \frac{R_K}{r_c}}$$

- إذا أخذنا بالاعتبار عدم تمامية البئر وتأثير الظاهرة السطحية (S) تصبح المعادلة (1–24) بالوحدات المترية كما يلي :

$$P_K^2 - P_C^2 = \frac{q_{sc} \times \mu_g \times Z \times T \times P_{SC}}{\pi \times K_g \times h \times T_{SC}} \left(\ln \frac{R_K}{r_c} - \frac{3}{4} + \acute{S} \right) \qquad (31-1)$$

حيث أن:

q_{sc} : معدل تدفق الغاز بـ m^3/s.

- بالوحدات الإنكليزية، تصبح المعادلة (1–31) كالآتي:

$$P_K^2 - P_C^2 = \frac{1422 \times q_{sc} \times \mu_g \times Z \times T}{K_g \times h} \left(\ln \frac{R_K}{r_c} - \frac{3}{4} + \acute{S} \right) \qquad (32-1)$$

حيث أن :

q_{sc} : معدل تدفق الغاز بـ (Mscf/day) ألف قدم مكعب قياسي في اليوم .

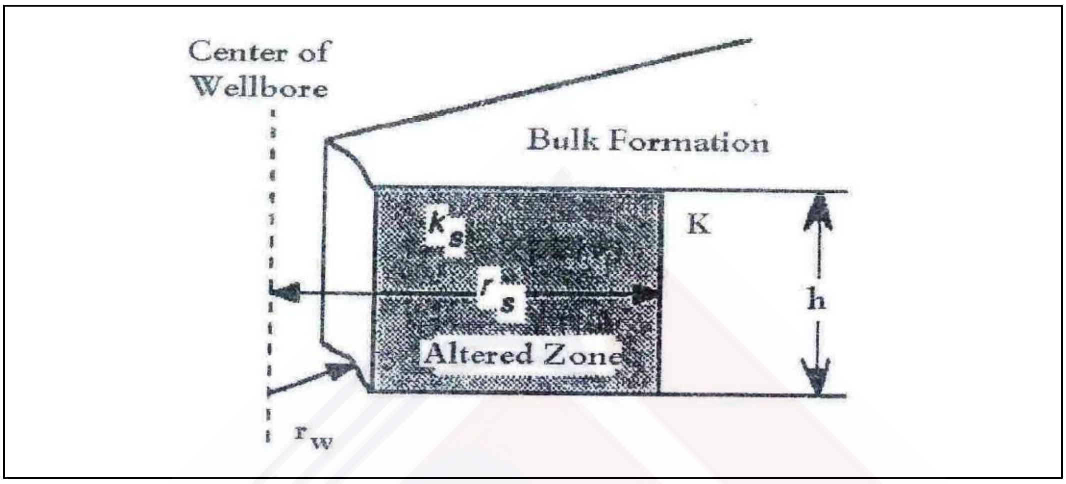
$\acute{S}$: الظاهرة السطحية الظاهرية وتساوي:

$$\acute{S} = S + D . q_g \qquad (33-1)$$

$D . q_g$: الظاهرة السطحية الإضافية التي تتبع معدل الجريان q_g .

D : ثابت الجريان المضطرب أو تأثير جريان لادارسي (Non–Darcy flow) ويحسب من العلاقة (1–15).

S : الظاهرة السطحية الحقيقية ، تنتج عن المنطقة ذات النفوذية المتبدلة حول جدران البئر وتسمى أحيانا الظاهرة السطحية الميكانيكية ، الشكل رقم (1−6).



الشكل(1−6): مخطط مقطع من الطبقة قرب جدران البئر

لتطبيق معادلة الجريان المستقر تلزمنا قيمة (S`) التي نحصل عليها من قياسات النظام غير المستقر.

يلزمنا قياسين لاستعادة الضغط، على الأقل، حيث يصبح لدينا معادلتان بمجهولين:

$$S_1^{\prime} = S + Dq_1 \qquad , \qquad S_2^{\prime} = S + Dq_2 \qquad (34-1)$$

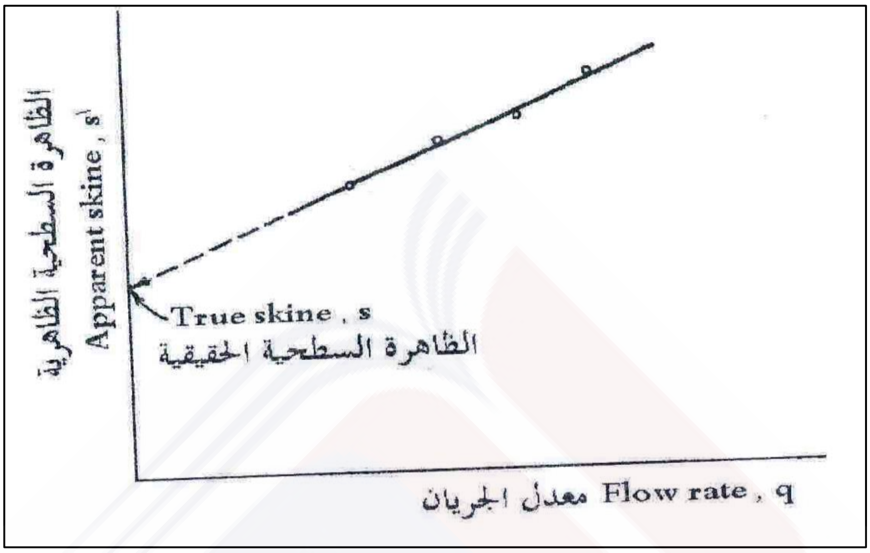
في المعادلات (1−34)، إذا تساوت قيمة كل من $(S_1^{`})$ و $(S_2^{`})$ فإن:

(D=0) وتأثير الجريان عالي السرعة يمكن إهماله.

يجب الإشارة إلى أن قيمة (D) يجب أن تكون موجبة دائما مهما تكن قيمة (S) سالبة أو موجبة.

أما إذا كانت قيمة (D) سالبة فيجب مساواتها بالصفر وتصبح عندها قيمة (S) هي المتوسط الحسابي لـ $(S_1^{`})$ و $(S_2^{`})$.

إذا كانت القياسات أكثر من قياسين ، عندها ، نرسم مستقيما بالعلاقة بين $(S^`)$ و (q) نحصل منه على قيمة كل من (D) و (S) ، الشكل رقم (1−7) ، أو نحصل عليهما من طريقة المربعات الصغرى .



الشكل(1−7): الظاهرة السطحية بالعلاقة مع الانتاجية

للحصول على (C) و (n) ، ثوابت المعادلة (1−23) ، نرسم العلاقة المذكورة بالإحداثيات اللوغاريتمية فنحصل على مستقيم ، الشكل رقم (1−8) ، وتصبح العلاقة (1−23) كما يلي :

$$\log q = \log c + n \log(P_K^2 - P_C^2) \qquad (35-1)$$

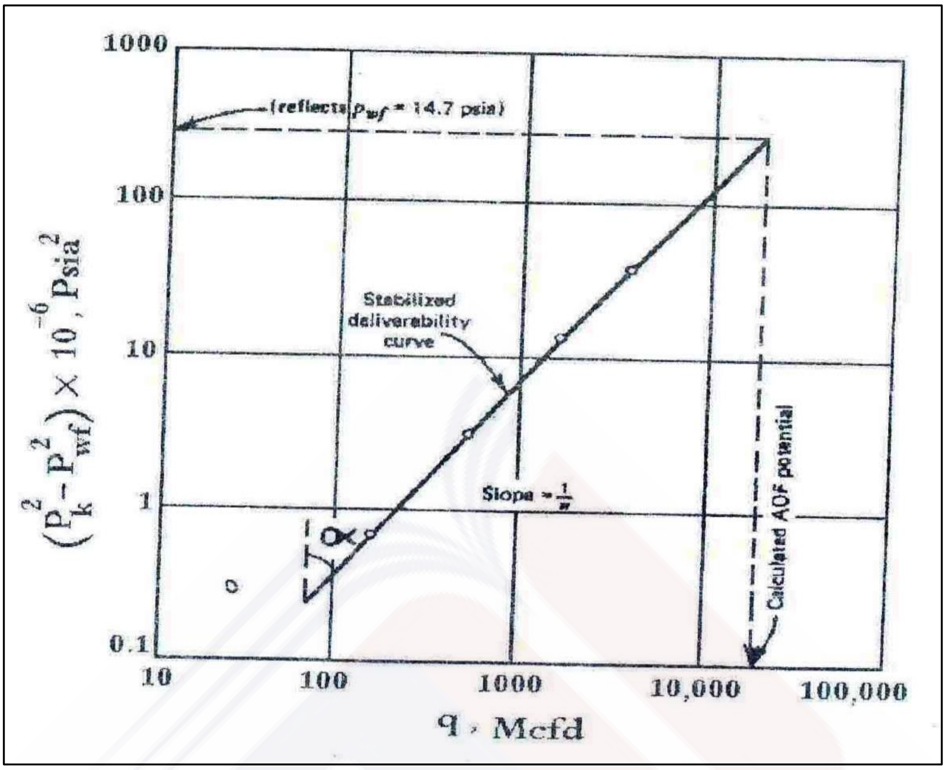
نحسب (n) من ميل هذا المستقيم ، وذلك بأخذ نقطتين عليه :

$$n = \tan\alpha = \frac{\log q_2 - \log q_1}{\log(P_K^2 - P_{C_1}^2) - \log(P_K^2 - P_{C_2}^2)} \qquad (36-1)$$

وبالتالي فإن قيمة (C) تحسب من المعادلة (1−23) :

$$C = \frac{q}{(P_K^2 - P_C^2)^n} \qquad (37-1)$$

تعتمد قيمة (C) على الواحدات المطبقة على (q) .



الشكل(8−1): الدليل البياني بالاحداثيات اللغاريتمية

في الشكل رقم (8−1) :

- عندما يكون $(P_K^2 - P_C^2 = 1)$ يمكن الحصول على قيمة (C) بيانيا ، في هذه الحالة تقرأ قيمة (q) التي تعادل قيمة (C) ، لكن قيمة (C) من المنحني أدق منها حسابيا .
- عندما يكون (P_C = 14.7 Psia) يمكن الحصول على قيمة (AOF) من هذا المستقيم ، لكن هذه القيمة تقريبية ، إذ تبتعد عن مجال استخدام هذه المعادلة التجريبية التي لا يجوز استخدامها عند الضغوط المرتفعة .
- يزداد ميل المستقيم باتجاه المحور (ΔP^2) كلما ازداد الاضطراب في منطقة قاع البئر ، بالإضافة إلى التغير في الظاهرة السطحية التي تعتمد على زيادة معدلات الجريان .
- يمكن لـ (C) أن تتغير مع الزمن بتغير المؤشرات التي تعتمد على تغير الضغط مثل $(\mu.Z)$ وكذلك النفوذية والظاهرة السطحية والحجم النوعي للارتشاح . ومن المعروف أن $(\mu.Z)$ يعتبر ثابتا مبدئيا :

1. عند درجة الحرارة $(100F^{O})$ وضغط أقل من (1200 Psia) .

2. عند درجة الحرارة ($200F^O$) وضغط أقل من (1750 Psia) .

3. عند درجة الحرارة ($300F^O$) وضغط أقل من (2200 Psia) .

- إذا كانت قيمة (n>1) ظاهريا ، فيعود ذلك إلى تحرك السائل في البئر خلال الاختبار ، أو بسبب تنظيف التشكيلة حول البئر وبالتالي تحرك موائع الحفر أو موائع التحسين .

كما أن الاختبار الذي يجري في آبار المكامن بطيئة الاستقرار بالانخفاض المتتابع لمعدل التدفق ، يمكن أن يسجل قيمة لـ (n) أكبر من الواحد .

تجد هذه الطريقة تطبيقا واسعا لها ، في التشكيلات ذات النفوذيات الكبيرة .

أما في التشكيلات ذات النفوذيات الضعيفة فتحتاج قياساتها إلى زمن أطول للاستقرار في الآبار.

ويحسب هذا الزمن من العلاقة ($38-1$) :

$$t_s = 1000 \frac{\emptyset . S_g . \mu_g . r_K^2}{K_g . P_K} \qquad (38-1)$$

حيث أن :

t_s : الزمن بالساعة .

$\emptyset$: المسامية كجزء من الواحد .

S_g : درجة التشبع بالغاز كجزء من الواحد .

r_K : مسافة التأثير بـ (ft) .

K_g : النفوذية بـ (mD) .

P_K : الضغط الطبقي الوسطي بـ Psia .

تطبق هذه العلاقة في حالة السحب من حجم أسطواني ويطول الزمن في الأشكال الأخرى .

نهاية المحاضرة التاسعة