

# المحاضرة 6

## الفصل السادس

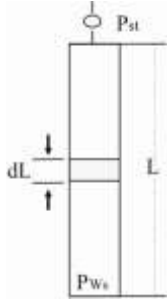
### تعيين عناصر الإنتاج من الآبار الغازية

إن جميع العمليات التكنولوجية التي تحصل في الطبقة المنتجة والآبار الغازية ونظام التجميع والمعالجة تتطلب مراقبة ومعرفة تغييرات المؤشرات الأساسية لعملية الإنتاج ومهلي ضغط والحرارة والإنتاجية، حيث أن هذه المؤشرات تعطي صورة عن احتياطي المكنم الغازي وإمكانية انفصال المكثفات الغازية والتغيير الذي يطرأ على تركيب الغاز المنتج

يمكن تحديد قيم الضغط في الطبقة وفي الآبار الغازية إما بالقياس المباشر أو بالطرق التحليلية، حيث أن أغلب الطرق الحسابية تعتمد على قيم الضغط والحرارة المقاسة على فوهة البئر . إن تفاصيل الطرق الحسابية ترتبط بنظام الجريان وبوجود المواد السائلة والشوائب الصلبة في الغاز المنتج.

#### 6-1- تحديد ضغط قاع البئر السكوني:

يتم التحيين الأكثر دقة لضغط قاع البئر الغازية المغلقة، من خلال إنزال مقياس ضغط جوفي وفي حالة عدم إمكانية القيام بذلك يمكن أن يتم حساب ضغط قاع البئر من خلال قيم الضغط السكوني على رأس البئر. عملياً، تعتبر قيمة ضغط القاع في البئر المغلقة بعد الوصول إلى حالة الاستقرار التام مساوية للضغط الطبقي ويتم حسابها كما يلي



$$\text{الضغط الناتج عن عمود من الغاز ارتفاعه } d_L:$$
$$d_p = \gamma_g \cdot d_L \quad (6-1)$$

$\gamma_g$  - الوزن الحجمي للغاز .

من أجل كمية من الغاز  $d_G$ ، تستطيع كتابة المعادلة العامة للغازات على الشكل التالي:

$$p \cdot d v = z \cdot d G \cdot R \cdot T \quad (6-2)$$

حيث أن:

$p$  - ضغط الغاز . Pa

$d v$  - الحجم الذي تشغله كمية الغاز  $d G$ .

$R$  - ثابت الغازات العام

$T$  - حرارة الغاز  $K$ .

-z معامل انضغاط الغاز.

نأخذ النسبة:

$$\frac{d_G}{d_v} = \frac{p}{zRT} = \rho_g \quad (6-3)$$

$$\gamma_g = \rho_g \cdot g$$

وبالتالي تستطيع كتابة العلاقة (6-1) على الشكل التالي:

$$dp = \gamma_g \cdot dL = \rho_g \cdot g \cdot dL = \frac{P \cdot g}{zRT} \cdot dL \quad (6-4)$$

بشكل عام وأثناء الحسابات نستخدم مفهوم الكثافة النسبية والوزن الحجمي النسبي، ومع العلم بأن قيمة الثابتة العامة للغازات من أجل وزن حجمي لعدة غازات تتناسب عكساً مع قيمة الأوزان الحجمية لهذه الغازات، فلننا نستطيع كتابة:

$$\bar{\gamma} = \frac{\gamma_g}{\gamma_a} = \frac{\rho_g \cdot g}{\rho_a \cdot g} = \bar{\rho} = \frac{R_a}{R_g} \quad (6-5)$$

$$R_g = R_a \frac{\gamma_a}{\gamma_g} = \frac{R_a}{\bar{\gamma}} = \frac{R_a}{\bar{\rho}} \quad (6-6)$$

حيث:

$\gamma_a$  - الوزن الحجمي للهواء.

$\gamma_g$  - الوزن الحجمي للغاز.

$\bar{\gamma}$  - الوزن الحجمي النسبي للغاز.

$\rho_g$  - كثافة الغاز.

$\bar{\rho}$  - الكثافة النسبية للغاز.

$R_a$  ,  $R_g$  - ثابت الغازات التام من أجل 1 kg من الهواء والغاز.

مع الأخذ بالاعتبار العلاقة (6-5)، نستطيع كتابة المعادلة (6-4) على الشكل التالي:

$$d_p = \frac{P \cdot g \cdot \bar{\rho}}{z \cdot R_a \cdot T} \cdot d_L \quad (6-7)$$

وبتكامل العلاقة من ضغط فوهة البئر  $p_{st}$  وحتى ضغط قاع البئر  $p_{ws}$  المقابل للعمق L نحصل

على:

$$\int_{p_{st}}^{p_{ws}} \frac{d_p}{p} = \int_0^L \frac{g \cdot \bar{\rho}}{z \cdot R_a \cdot T} \cdot d_L$$

$$\int_{p_{st}}^{p_{ws}} \frac{d_p}{p} = \frac{g \cdot \bar{\rho}}{R_a} \int_0^L \frac{d_L}{z \cdot T} \quad (6-8)$$

إذا أخذنا بعين الاعتبار أن قيم  $T$  .  $z$  ثابتة على طول البئر ولهما قيم وسطية فالعلاقة السابقة تأخذ الشكل التالي:

$$\ln \frac{p_{ws}}{p_{st}} = \frac{\bar{g} \cdot \bar{\rho} \cdot \bar{L}}{R_a \cdot \bar{z} \cdot \bar{T}} \quad (6-9)$$

$$p_{ws} = p_{st} \cdot e^{\frac{\bar{g} \cdot \bar{\rho} \cdot \bar{L}}{R_a \cdot \bar{z} \cdot \bar{T}}}$$

قيمة  $R_a$  من أجل 1 kg هواء هي:

$$\text{نجد: } R_a = \frac{8314}{29} = 287 \text{ j/kg} \cdot \text{k}^\circ$$

$$p_{ws} = p_{st} \cdot e^{\left(\frac{9.81 \cdot \bar{\rho} \cdot \bar{L}}{287 \cdot \bar{z} \cdot \bar{T}}\right)} \quad (6-10)$$

$$p_{ws} = p_{st} \cdot e^s \quad \text{وبشكل مختصر:}$$

$$s = 0.03415 \cdot \frac{\bar{\rho} \cdot \bar{L}}{\bar{z} \cdot \bar{T}} \quad (6-11)$$

$$p_{ws} = p_{st} \cdot e^{0.03415 \cdot \frac{\bar{\rho} \cdot \bar{L}}{\bar{z} \cdot \bar{T}}}$$

$\bar{z}$  - عامل انضغاط الغاز عند القيم الوسطية للضغط والحرارة ( $\bar{p}$ ,  $\bar{T}$ ).

تُحسب الحرارة الوسطية بالعلاقة:

$$\bar{T} = (T_w - T_t) / \ln \frac{T_w}{T_t} \quad (6-12)$$

$T_t - T_w$  - درجة حرارة قاع ورأس البئر على الترتيب.

إن حساب قيم ضغط القاع  $p_{ws}$  حسب العلاقة (6-10) يتم وفق الترتيب التالي:

1 - تحدد القيم الحرجة للضغط والحرارة  $T_{cr}, p_{cr}$ .

2 - بمعرفة الضغط والحرارة على رأس البئر نجد القيم المصغرة  $p_r = \frac{p_{ts}}{p_{cr}}$  و  $T_r = \frac{T_{ts}}{T_{cr}}$ .

3 - تعيين قيمة عامل الانضغاط المقابلة للقيم المصغرة  $T_r, p_r$ .

4 - حسب قيمة  $S$  من العلاقة (6-11) ومن ثم نحدد القيمة التقريبية للمقدار  $e^s$  ومن ثم القيمة

$$\cdot \bar{p}_0 = p_t \left( \frac{1 + e^s}{2} \right) \quad \text{التقريبية للضغط الوسطي}$$

5 - حسب الضغط المصغر المقابل لـ  $\bar{p}_0$  أي  $\bar{p}_{r0} = \frac{\bar{p}_0}{p_{cr}}$

6 - تعيين قيمة  $\bar{z}$  المقابلة لـ  $\bar{T}$  و  $\bar{p}_{r0}$ .

7 - حسب قيمة  $S$  المقابلة لقيمة  $\bar{z}$  المحسوبة في الخطوة (6) ومن ثم  $p_{ws} = p_{st} e^s$

$$8 \text{ - بعد ذلك القيمة الوسطية للضغط } \bar{p} = \frac{(p_t + p_w)}{2}$$

تعتبر نتائج الحساب صحيحة عندما تطابق القيمة التقريبية للضغط الوسطي مع القيمة الوسطية المحسوبة بالخطوة رقم (8) ويظهر ذلك من خلال عدم اختلاف قيمة  $\bar{z}$  المقابلة. إذا لم تتطابق النتائج نعيد الحساب من أجل قيمة تقريبية جديدة.

مثال:

أحسب الضغط السكوني في قاع بئر غازية عمقها 2000M إذا علمت ما يلي:

$$\text{- الكثافة النسبية للغاز } \bar{\rho} = 0.57$$

$$\text{- درجة حرارة رأس البئر } T_t = 280 \text{ k}^\circ$$

$$\text{- درجة حرارة قاع البئر } T_w = 320 \text{ k}^\circ$$

$$\text{- الضغط السكوني لرأس البئر } p_{st} = 180 \text{ kg / cm}^2$$

في الحالات التي لا نحصل فيها على تطابق قيم معامل تلامغاط من أجل القيم المحسوبة، فإن الضغط السكوني لقاع البئر يحدد بأسلوب آخر (راجع الجزء العملي).

6-2- حساب ضغط قاع البئر العاملة:

يمكن تعيين ضغط القاع في الآبار الغازية العاملة إما باستخدام مقاييس جوفية أو بالطريقة الحسابية التي نأخذ بالاعتبار الضياعات التلجة عن حركة الغاز (الاحتكاك).

نفترض أن حركة الغاز في البئر الغازية تتم دون إنجاز أي عمل خارجي، وفي هذه الحالة تأخذ معادلة جريان الغاز الشكل التالي:

$$dh + \frac{wdw}{g} + v \cdot dp + \lambda \left( \frac{w^2}{2g_D} \right) dh = 0 \quad (6-13)$$

حيث أن:

-h عمق البئر.

-w سرعة الغاز.

-g تسارع الجاذبية

-v الحجم النوعي للغاز

-p الضغط

-λ معامل المقاومة الهيدروليكية

-D قطر البئر.

تتناقص درجة حرارة الغاز من القاع وحتى السطح بسبب التبادل الحراري مع الطبقات الصخرية التي يخترقها البئر، وحيث أن احتساب مثل هذه التغييرات في درجة الحرارة معقلاً جداً، فإنه يتم اعتماد

قيمة وسطية لدرجة حرارة الغاز الصاعد على طول محور البئر، كما أن قيمة الحد الثاني في العلاقة (6-13) والذي يأخذ بالاعتبار تغير سرعة الغاز ليست كبيرة ويمكن إهمالها . عندئذ تأخذ المعادلة (6-13) الشكل التالي:

$$dh + v \cdot dp + \lambda \cdot \frac{w^2}{2g_D} dh = 0 \quad (6-14)$$

انطلاقاً من المعادلة العامة للغازات، ومع الأخذ بالاعتبار أن  $T \approx \bar{T} = \text{const}$  و  $z \approx \bar{z} = \text{const}$  فإن:

$$v = \frac{1}{\rho_g} = \frac{zRT}{p} = \frac{zR_a \cdot T}{\bar{\rho} \cdot p} \quad (6-15)$$

$$\frac{wp}{zT} = \frac{w_s \cdot p_s}{T_s}$$

$$w = \frac{w_s \cdot p_s \cdot T \cdot z}{T_s \cdot p} \quad (6-16)$$

حيث أن:

$w_s$  - سرعة الغاز في الشروط النظامية  $p_s, T_s$ .

بتعويض قيم  $w, v$  في المعادلة (6-14) نحصل:

$$dh + \frac{zR_a \cdot T}{\bar{\rho} \cdot g} \cdot \frac{dp}{p} + \frac{\lambda}{2g_D} \left( \frac{w_s \cdot p_s \cdot T \cdot z}{T_s} \right)^2 \frac{dh}{p^2} = 0 \quad (6-17)$$

باعتداد القيم الوسطية لـ  $T, z$  وبفرض أن:

$$\alpha = \frac{\bar{z} R_a \cdot \bar{T}}{\bar{\rho} \cdot g}$$

$$B = \frac{\lambda}{2g_D} \left( \frac{w_s \cdot p_s \cdot \bar{T} \cdot \bar{z}}{T_s} \right)^2 = 1.377 \lambda \frac{\bar{T}^2 \cdot \bar{z}^2 \cdot \bar{Q}^2}{D^5} \quad (6-18)$$

Q - إنتاجية البئر. ألف متر مكعب في اليوم في الشروط  $T=293^\circ$  والضغط الجوي  
D - القطر الداخلي لمواسير الإنتاج cm.

بتبديل العلاقة (6-18) في العلاقة (6-17) نحصل:

$$dh + a \frac{dp}{p} + \beta \frac{dh}{p^2} = 0 \quad (6-19)$$

$$\left( 1 + \frac{B}{p^2} \right) dh = -a \frac{dp}{p} \quad (6-20)$$

$$-\frac{2}{a} \cdot dh = \frac{2p dp}{p^2 + B} \quad (6-21)$$

نكامل طرفي العلاقة (6-21) من  $p_{wf} - p_{wf}$  و  $0 - L$  فنجد:

$$\text{أو: } \ln \frac{p_{wf}^2 + B}{p_{tf}^2 + B} = \frac{2}{a} \cdot L$$

$$p_{wf}^2 = p_{tf}^2 \cdot e^{\frac{2L}{a}} + B \left( e^{\frac{2L}{a}} - 1 \right) \quad (6-22)$$

بإدخال قيم  $a, B$  تأخذ الصيغة الشكل التالي

$$p_{wf} = \sqrt{p_{tf}^2 \cdot e^{\frac{0.0683\bar{\rho} \cdot L}{\bar{T} \cdot z}} + 1.377 \frac{\lambda \cdot \bar{T}^2 \cdot z^{-2} \cdot Q^2}{D^5} \left( e^{\frac{0.0683\bar{\rho} \cdot L}{\bar{T} \cdot z}} - 1 \right)} \quad (6-23)$$

$$p_{wf} = \sqrt{p_{tf}^2 \cdot e^{2s} + \theta Q^2}$$

تتعلق قيمة معامل المقاومة الهيدروليكية بعدد رينولدز  $R$  والخشونة النسبية لجدران الأنابيب  $\varepsilon$ .

يتم حساب  $R$  و  $\varepsilon$  من الصيغ التالية:

$$Re = k \cdot \frac{Q \cdot \bar{\rho}}{D \cdot \mu} \quad (6-24)$$

$$\varepsilon = \frac{2L_k}{10D} \quad (6-25)$$

حيث أن:

$L_k$  - الخشونة المطلقة mm، وهي تتعلق بمعادن المواسير وطريقة صنعها وعمرها في العمل.

$Q$  - إنتاجية البئر ألف متر مكعب باليوم.

$D$  - القطر الداخلي للمواسير cm.

$\mu$  اللزوجة الديناميكية للغاز c.p.

$k$  - معامل له واحدة القياس  $kg \cdot s^2/m^4$ . تعتمد قيمة  $k = 1777$  عند الدرجة  $20^\circ C$  والضغط

الجوي و  $k = 1910$  عند الدرجة  $0^\circ C$  والضغط الجوي.

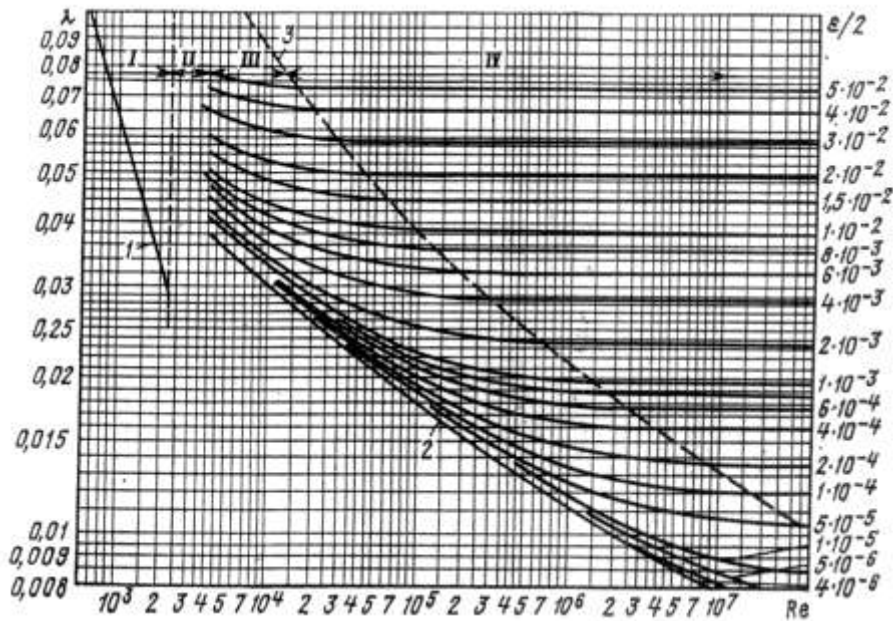
في حالة الجريان الخطي فإن قيمة  $\lambda$  لا تتعلق بخشونة المواسير وتحسب بالعلاقة:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (6-26)$$

أما عند الجريان المضطرب فإن قيمة  $\lambda$  تتعلق بـ  $Re$  و  $\varepsilon$  وتحسب بالصيغة:

$$\lambda = \frac{1}{4 \left[ \text{Lg} \left( \frac{5.62}{\text{Re}^{0.9}} + \frac{\varepsilon}{7.41} \right) \right]^2} \quad (6-27)$$

بيانياً، تُحدد قيم معامل المقاومة الهيدروليكية  $\lambda$  بالعلاقة مع  $\text{Re}$  و  $\varepsilon$  من الشكل (6-1).



الشكل (6-1) عامل المقاومة الهيدروليكية  $\lambda$  بالعلاقة مع عدد رينولدز  $\text{Re}$  والخشونة  $\varepsilon$ .  
 I- منطقة الجريان الخطي. II- المنطقة الحرجة  
 III- المنطقة الانتقالية للجريان المضطرب. IV- المنطقة التي لا يتعلق  $\lambda$  بـ  $\text{Re}$

مثال:

أحسب ضغط قاع البئر المنتجة من خلال أنابيب الإنتاج إذا علمت:

- عمق البئر  $L = 2000 \text{ m}$

- قطر مواسير الإنتاج  $D = 63 \text{ mm}$
- الضغط على رأس البئر  $100 \text{ kgf/cm}^2$
- الإنتاجية  $Q = 150000 \text{ m}^3/\text{day}$
- درجة الحرارة الوسطية  $\bar{t} = 27 \text{ c}^\circ$
- كثافة الغاز النسبية  $\bar{\rho} = 0.57$
- خشونة الأنابيب المطلقة  $L_k = 0.12 \text{ mm}$

### 6-3- التدرج الحراري في الآبار الغازية:

تُعتبر معرفة التوزيع الحراري في الآبار الغازية أمراً مهماً من أجل إنجاز مختلف الحسابات المتعلقة بوضع مخططات استثمار المكامن الغازية.

تتعلق درجة حرارة الغاز في البئر بمجموعة من الأمور منها : درجة حرارة الطبقة المنتجة ودرجة حرارة الطبقات المتوضعة أعلاها، ظروف استثمار البئر، الإنتاجية، تدرج الضغط ما بين الطبقة والبئر وحرارة الهواء المحيط، حيث أن هذه الأخيرة تؤثر على حرارة الطبقات السطحية من الأرض حتى العمق  $L_d$  وهو عمق الطبقة التي تتميز بدرجة حرارة ثابتة خلال ساعات اليوم الواحد، وتتراوح قيمة  $L_d = (1-2)m$ . تحت هذا العمق تتوضع طبقة تسمى الطبقة ذات درجة الحرارة الطبيعية، وتتميز بنبات حرارتها طيلة أيام العام ويتراوح عمقها  $(10-40)m$ . بشكل عام يحدد عمق هذه الطبقة بالعلاقة مع  $L_d$ :  $L_n = 19.1 L_d$

### 6-3-1- التدرج الحراري في البئر المتوقفة:

يتم تحديد الحرارة على أعماق مختلفة في البئر الغازية بالقياس المباشر . ولكن من أجل الحسابات العملية فإن تغيرات درجة الحرارة مع العمق يحسب بالعلاقة:

$$t_x = t_f - \gamma(L_f - x) \quad (6-28)$$

حيث أن:

$t_x$  - درجة الحرارة عند العمق  $x$ ,  $C$ .

$t_f$  - درجة حرارة الطبقة المنتجة عند العمق  $L$ ,  $C$ .

$\gamma$  - متوسط التدرج الحراري الجيولوجي.  $C/M$  ويحدد بالعلاقة:

$$\delta = \frac{t_f - t_n}{L_f - L_n} \quad (6-29)$$

$t_n, L_n$  - درجة حرارة وعمق الطبقة الطبيعية.



### 6-3-2- التدرج الحراري في البئر العاملة:

أثناء الإنتاج من البئر الغازية، ونتيجة لوجود فارق ضغط بين الطبقة وقاع البئر فإنه يحدث انخفاض في درجة الحرارة  $\Delta t$  وذلك بتأثير فعل جول وتومسون. تُعين قيمة  $\Delta t$  بالعلاقة:

$$\Delta t = t_f - t_w = D_i (p_f - p_w) \frac{\text{Lg} \left[ 1 + \frac{G \cdot C_p \tau}{\pi \cdot H C_r \cdot R_w^2} \right]}{\text{Lg} \frac{R_e}{R_w}} \quad (6-30)$$

حيث أن:

$t_f, t_w$  - درجة حرارة الطبقة وقاع البئر على الترتيب  $^{\circ}C$ .

$D_i$  - معامل جول وتومسون في الطبقة  $(kgf/cm^2) \cdot C$ .

$R_e, R_w$  - قطر الكونتور والبئر على الترتيب  $m$ .

$p_f, p_w$  - الضغط الطبقي وضغط قاع البئر  $(kgf/cm^2)$ .

$H$  - سماكة الطبقة  $m$ .

$G$  - الإنتاجية الوزنية للغاز  $kg/h$  وتحدد بمعرفة الإنتاجية الحجمية:

$$G = 54 \cdot \bar{\rho} \cdot q \quad (6-31)$$

$q$  - الإنتاجية. ألف متر مكعب باليوم.

$C_p$  - السعة الحرارية للغاز في الشروط الطبقيّة  $^{\circ}C \cdot k.cal/m^3$ .

$C_r$  - السعة الحرارية للصخور، وقيمتها للصخور الجافة  $^{\circ}C \cdot k.cal/kg$  (0.18-0.2). وتعتبر قيمتها

في الحسابات العملية  $^{\circ}C \cdot k.cal/kg$  0.3 من أجل الصخور المشبعة بالرطوبة.

$\tau$  - زمن عمل البئر منذ بداية الإنتاج بالساعة.

تُحسب درجة الحرارة على العمق  $x$  في البئر الغازية العاملة من الصيغة:

$$t_x = t_f - \gamma x - \Delta t e^{-\alpha x} + \frac{1 - e^{-\alpha x}}{\alpha} \left[ \gamma - \frac{D_i (p_w - p_x)}{x} - \frac{A}{C_p} \right] \quad (6-32)$$

$p_x$  - الضغط عند العمق  $x$   $kgf/cm^2$ .

$A$  - المعادل الحراري للعمل  $1/427 kcal/kgm$ .

$C_p$  - السعة الحرارية الوسطية للغاز عند الضغط الوسطي  $\bar{p} = \frac{(p_w + p_x)}{2}$

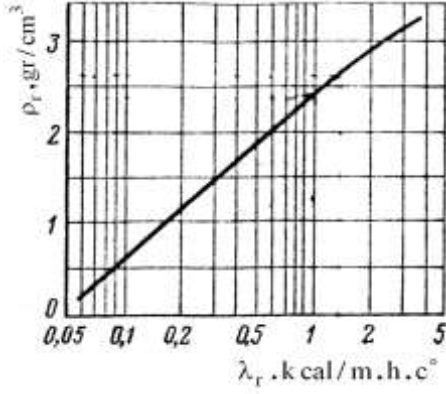
$\alpha$  - معامل يعطى بالعلاقة:

$$\alpha = 2\pi\lambda_r / G \cdot C_p f(\tau)$$

$f(\tau)$  - تابع للزمن وبدون واحدة:

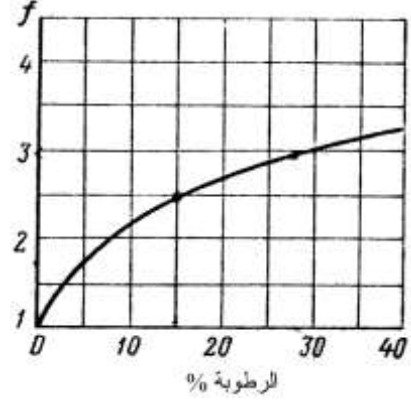
$$f(\tau) = \ln \left( 1 + \sqrt{\frac{\pi\lambda_r \cdot \tau}{C_r \cdot R_w^2}} \right)$$

تتعلق الناقلية الحرارية لـصخور الطبقات بمواصفات الصخور ودرجة تشبعها بالرطوبة وتحدد قيمتها للصخور الجافة من الشكل (6-2). أما معامل التصحيح  $f$  الذي يأخذ بالاعتبار تأثير الرطوبة فيحدد من الشكل (6-3). وتنتج القيمة الحقيقية للناقلية بضرب قيمة  $f$  بـ  $\lambda_{r0}$ .



الشكل (6-2)

الناقلية الحرارية للصخور الجافة  
بالعلاقة مع كثافتها



الشكل (6-3)

معامل التصحيح لتحديد الناقلية الحرارية  
للصخور الرطبة

مثال:

يطلب تعيين التوزع (التدرج) الحراري في بئر غازية إنتاجيتها  $Q = 1200.000 \text{ m}^3 / \text{day}$  إذا علمنا ما يلي:

- درجة حرارة الطبقة  $t_f = 137 \text{ C}^\circ$
- الضغط الطبقي  $p_f = 261.6 \text{ kgf} / \text{cm}^2$
- ضغط القاع  $p_w = 221.4$
- السماكة المنتجة  $H = 50 \text{ m}$
- قطر الكونتر  $R_r = 500 \text{ m}$
- قطر البئر  $R_w = 0.1 \text{ m}$
- الكثافة النسبية  $\bar{\rho} = 0.6$
- زمن عمل البئر  $\tau = 8700 \text{ h}$
- التدرج الحراري الجيولوجي  $\delta = 0.0325 \text{ C}^\circ / \text{m}$
- السعة الحرارية للصخر  $C_r = 700 \text{ kcal} / \text{m}^3 \cdot \text{C}^\circ$
- الناقلية الحرارية للصخور  $\lambda_r = 2.3 \text{ kcal} / \text{m.h.C}^\circ$
- الكتلة المولية للغاز  $17.43 \text{ kg} / \text{kmol}$
- يتم إجراء الحسابات على الأعماق التالية المقاسة من منتصف المجال المتقب . (فوهة البئر )  
 $L = 0 , 3400 , 2400 , 1400 , 400$

## مسألة:

أحسب درجة الحرارة النهائية للغاز  $t_2$  في نهاية انفلاته ومتوسط قيمة معامل جول وتومسن إذا علمت ما يلي:

$$p_1 = 80 \text{ kgf/cm}^2 \quad t_1 = 45.3^\circ \text{C} \quad , \quad p_2 = 60, 40, 30, 20, 10 \text{ kgf/cm}^2$$

تركيب الغاز الحجمي:

$$\text{CH}_4 : 82.76 \quad , \quad \text{C}_2\text{H}_6 = 9.68 \quad , \quad \text{C}_3\text{H}_8 = 3.23 \quad , \quad \text{C}_4\text{H}_{10} = 1.29$$

$$\text{C}_5\text{H}_{12} = 0.42 \quad , \quad \text{C}_6\text{H}_{14} = 0.14 \quad , \quad \text{CO}_2 = 2.48 \quad , \quad M_{\text{mix}} = 19.88$$

$$p_{\text{cr}} = 46.7 \text{ kgf/cm}^2 \quad , \quad T_{\text{cr}} = 208.5 \text{ K}^\circ$$

### 6-4- قياس إنتاجية الآبار الغازية:

#### 6-4-1- الدراسة التحليلية لجريان الغاز عبر الفالة:

عند الإنتاج من بئر غازية، فإن الغاز يجري عبر الفالة ووصلة تمرير تتصل بها . ومن أجل معرفة القواعد النظرية لهذا الجريان ننطلق من معادلة الطاقة العامة، التي تعبر عن التوازن أو حفظ الطاقة بين نقطتين من النظام المدروس.

إن موازنة الطاقة للحلقة المستقرة تنص ببساطة على أن طاقة المائع الداخل إلى حجم معين إضافة إلى العمل المطبق على المائع أو المنجز من قبل المائع والطاقة الحرارية المضافة أو المأخوذة من المائع يجب أن تكون مساوية إلى الطاقة الخارجة من نفس الحجم

تكتب معادلة توازن الطاقة للحالة المستقرة كما يلي:

$$x_1 + \frac{w_1^2}{2g} + u_1 = x_2 + \frac{w_2^2}{2g} + u_2 + p_2 v_2 - p_1 v_1 - E_p \quad (6-33)$$

حيث يشير الرمز 1 إلى حالة ما قبل الفالة، أما الرمز 2 فيشير إلى حالة ما بعد الفالة

$x$  - الطاقة الكامنة لواحد كيلو غرام من الغاز تقدر بـ  $\text{J/kg}$ .

$\frac{w^2}{2g}$  - الطاقة الحركية لواحد كيلو غرام من الغاز تقدر بـ  $\text{J/kg}$ .

$u$  - الطاقة الداخلية لواحد كيلو غرام من الغاز تقدر بـ  $\text{J/kg}$ .

$v$  - الحجم النوعي للغاز .  $\text{M}^3/\text{kg}$ .

$E_p$  - الطاقة الحرارية الناتجة من تحول طاقة الجريان لـ  $\text{kg}$  1 من الغاز عند مروره عبر

الفالة.

$p$  - ضغط الغاز في الأنبوب  $\text{pa}$ .

عملياً يمكن اعتبار جريان الغاز من خلال الفالة عملية أديباتية (Adiabatic) أي دون تبادل

حراري مع الوسط الخارجي ( $E_p = 0$ ). وعلى اعتبار أن الجريان أفقي فإن  $x_1 = x_2$ .

من المعلوم أن  $pv + u = i$  حيث تمثل  $i$  إنتالبية النظام الغازي.

من خلال ما ذكر أعلاه يمكن أن نكتب المعادلة (6-33) على الشكل التالي:

$$i_1 + \frac{w_1^2}{2g} = i_2 + \frac{w_2^2}{2g} \quad (6-34)$$

$$\frac{w_2^2}{2g} - \frac{w_1^2}{2g} = i_1^2 - i_2^2 \quad (6-35)$$

ولكن معادلة جريان الغاز بين مقطعين يمكن أن تكتب على الشكل التالي:

$$E = i_2 - i_1 - \int_1^2 v \cdot dp \quad (6-36)$$

حيث  $q$ : كمية الحرارة الكلية المتحررة عند جريان  $1\text{kg}$  من الغاز من المقطع (1) إلى المقطع (2).

يمكن التعبير عن كمية الحرارة  $E$  المقابلة لوحد كيلو غرام من الغاز على الشكل:

$$E = E_p + E_{fr} \quad (6-37)$$

حيث أن:

$E_{fr}$ : كمية الحرارة الناتجة عن الاحتكاك لوحد كيلو غرام عند مروره خلال الفالة.

لقد اعتمدنا في الاستنتاجات السابقة على أن جريان الغاز هو من النوع الأديباتي أي أن  $E_p = 0$ . وإذا اعتبرنا أن قوى الاحتكاك مهملة، عندئذ يمكن كتابة ما يلي:

$$E = E_p + E_{fr} = 0 \quad (6-38)$$

$$i_2 - i_1 - \int_1^2 v \cdot dp = 0 \quad (6-39)$$

بتعويض المعادلة (6-39) في المعادلة (6-35) ينتج:

$$\frac{w_2^2}{2g} - \frac{w_1^2}{2g} = - \int_1^2 v \cdot dp = \int_2^1 v \cdot dp \quad (6-40)$$

تكتب معادلة الحالة للغازات المثالية في عملية التحول الأديباتي على الشكل التالي:

$$pv^{\aleph} = p_1 v_1^{\aleph} \quad (6-41)$$

حيث  $\aleph$ : الأس الأديباتي.

$$v = \frac{p_1^{\frac{1}{\gamma}} \cdot v_1}{p^{\frac{1}{\gamma}}} \quad (6-42)$$

بتعويض قيمة  $v$  من المعادلة (6-42) في العلاقة (6-40) نحصل:

$$\begin{aligned} \int_2^1 v \cdot dp &= \int_2^1 \frac{p_1^{\frac{1}{\gamma}} \cdot v_1}{p^{\frac{1}{\gamma}}} dp = p_1^{\frac{1}{\gamma}} \cdot v_1 \frac{\gamma}{\gamma-1} \left( p_1^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - p_2^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right) \\ &= \frac{\gamma}{\gamma-1} p_1 v_1 \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \end{aligned} \quad (6-43)$$

وبتوحيد العلاقتين (6-40) و(6-43) نجد:

$$w_2 = \sqrt{w_1 + \frac{2g \gamma}{\gamma-1} p_1 v_1 \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]} \quad (6-44)$$

على اعتبار أن سرعة الغاز قبل الفالة صغيرة جداً بالمقارنة مع السرعة بعد الفالة، فيمكن أن

نعتبر  $w_1 = 0$  عندئذ نأخذ المعادلة (6-44) الشكل التالي:

$$w_2 = \sqrt{\frac{2g \gamma}{\gamma-1} p_1 v_1 \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]} \quad (6-45)$$