

هندسة إنتاج الغاز



جامعة بابل
كلية الهندسة الكيميائية
والبتروكيمياوية
قسم الهندسة البتروكيمياوية

هندسة إنتاج الغاز

تأليف

الأستاذ الدكتور
محمود كابر

الدكتور المهندس
إدمون سلوم

الفصل الأول

مكامن الغاز الطبيعي

الفصل الثاني

الصفات الفيزيا - كيميائية للغازات الطبيعية

مثال 2-1: احسب معامل انضغاط الغاز z للمزيج (غاز . كوندسات) بطريقة (Katz – Braon) وطريقة (Cvonka – Redlek) إذا علمت أن النسب المئوية في المزيج هي:

CH ₄	82.55	n-C ₄ H ₁₀	1.26
C ₂ H ₆	9.01	i-C ₅ H ₁₂	0.32
C ₃ H ₈	4.62	n-C ₅ H ₁₂	0.225
i-C ₄ H ₁₀	0.74	C ₆ H ₁₄	0.38
		CO ₂	0.90

وأن $T = 310.9K^\circ$, $P = 13.6Mpa$ ، علماً أنه تم تحديد z تجريبياً وكانت $. z = 0.7495$

الحل: المعطيات اللازمة لحساب قيم المؤشرات الحرجة لمركبات المزيج ومن ثم

حساب قيمها المصغرة موضحة أدناه:

المركب	M _i	P _{cri}	T _{crik}	V _{cri} CM ³ /mol	Z _{cri}	ω _i	النسبة المئوية y _i	y _i · P _{cri}	y _i · T _{cri}
CH ₄	16.04	45.80	190.7	99.5	0.290	0.013	0.8255	37.900	157.50
C ₂ H ₆	30.07	48.60	306.0	148.0	0.285	0.105	0.0901	4.380	27.55
C ₃ H ₈	44.09	43.40	369.8	200.0	0.277	0.152	0.0462	2.050	17.06
i-C ₄ H ₁₀	58.12	37.20	407.2	263.0	0.283	0.192	0.0074	0.275	3.02
n-C ₄ H ₁₀	58.12	35.70	425.2	255.0	0.274	0.201	0.0126	0.450	5.35
i-C ₅ H ₁₂	72.15	32.80	461.0	308.0	0.268	0.208	0.0032	0.105	1.47
n-C ₅ H ₁₂	72.15	33.00	470.4	311.0	0.269	0.252	0.0022	0.073	1.03

C ₆ H ₁₄	86.17	29.60	508.0	368.0	0.264	0.290	0.0038	0.113	1.93
C ₇ H ₁₆	100.20	27.00	540.3	426.0	0.259	0.352	-	-	-
N ₂	28.02	34.60	126.1	90.1	0.291	0.040	-	-	-
CO ₂	44.01	74.96	304.2	94.0	0.274	0.420	0.0090	0.676	2.74
H ₂ S	34.08	88.90	373.6	95.0	0.268	0.100	-	-	-
H ₂ O	18.02	225.65	647.45	56.0	0.230	0.348	-	-	-
المجموع							1.0000	46.022	217.65

$$T_r = \frac{310}{217.65} = 1.43 \quad , \quad P_r = \frac{136}{46} = 2.95$$

باستخدام طريقة (Katz – Braon). من الشكل رقم (2-2) نلاحظ أن $z = 0.749$ وبتطبيق طريقة (Cvonka – Redlek):

$$a^2 = 0.4278 \frac{217.65^{2.5}}{46 \times 310.9^{2.5}} = 3.8 \times 10^{-3}$$

$$b = 0.0867 \frac{217.65}{46 \times 310.9} = 1.32 \times 10^{-3}$$

$$(a^2 - b^2 p - b)p = 0.305 \quad , \quad a^2 b p^2 = 0.0926$$

$$z^3 - z^2 + 0.305z - 0.926 = 0 \quad , \quad z = 0.754$$

مثال 2-2: يطلب تحديد كثافة المزيج (غاز-كوندسات) اعتماداً على القيم المصغرة للضغط والحرارة مستخدماً علاقة الكثافة المصغرة مع معامل انضغاط الغاز الحرج علماً أن التركيب بالنسبة المولية عند الضغط $P = 7\text{Mpa}$ ودرجة الحرارة $T = 399.8\text{K}$ كما هو مبين أدناه: $M_{c7+} = 295$ ، $\rho_{c7+} = 0.8838$

المركب	x_i	$x_i P_{cri}$	$x_i T_{cri}$	$x_i V_{cri}$	$x_i z_{cri}$	$x_i M_i$
CH ₄	0.22006	10.08	41.90	21.90	0.0640	3.52
C ₂ H ₆	0.02130	1.03	6.51	3.15	0.0061	0.64
C ₃ H ₈	0.01270	0.54	4.70	2.54	0.0035	0.56
i-C ₄ H ₁₀	0.01240	0.46	5.04	3.26	0.0035	0.72
n-C ₄ H ₁₀	0.00815	0.47	3.47	2.08	0.0022	0.47
i-C ₅ H ₁₀	0.00770	0.25	3.55	2.37	0.0021	0.56
n-C ₅ H ₁₀	0.00446	0.15	2.10	1.39	0.0012	0.32
C ₆ H ₁₄	0.00783	0.23	4.00	2.88	0.0021	0.67

C ₇ H ₁₆ +	0.70523	9.41	546.00	705.23	0.1480	208.00
N ₂	0.00017	0.06	0.02	0.01	0.0001	0
المجموع	1.00000	22.68	617.29	744.81	0.2328	215.47

الحل: اعتماداً على العلاقتين (2-20) و (2-21) نجد:

$$P_{cr.c7+} = 0.1 \left(\frac{3750}{295} \right) \left(\frac{0.8838}{0.8} \right) = 1.335 \text{ Mpa}$$

$$T_{cr.c7+} = \left(353.5 + 22.35 \cdot 295^{\frac{1}{2}} \right) \left(\frac{0.8838}{0.8} \right)^{\frac{1}{2}} = 775 \text{ k}$$

وحسب العلاقة (2-16):

$$\frac{T_{cr.c7+}}{T_{b0}} = 2.1898 - 0.1735 \left(\frac{775}{100} \right) + 0.006854 \left(\frac{775}{100} \right)^2 = 1.26$$

$$\omega_{c7+} = \frac{3}{7} \left[\frac{\lg 13.35}{(1.26 - 1)} \right] - 1 = 0.855$$

$$z_{cr.c7+} = 0.2918 - 0.0928 \times 0.855 = 0.21$$

$$V_{cr.c7+} = \frac{0.21 \times 82.057 \times 775}{13.35} = 1000 \text{ CM}^3 / \text{mol}$$

$$T_r = 399.8 / 617.29 = 0.647$$

$$\rho_r = 1.20 + (5.563 - 11.03 \times 0.2328)(1 - 0.647)^{0.8 \cdot 0.2328 + 0.31} = 2.99$$

$$\rho_{(p,t)} = 215.46 \times 2.99 / 744.81 = 0.863 \text{ gr} / \text{cm}^3 = 0.863 \times 10^3 \text{ kg} / \text{M}^3$$

مسألة:

احسب السعة الحرارية المولية وقيمة مفعول جول وتومسن لمكمن غاز كوندسات من أجل القيم التالية للضغط والحرارة:

$$P = 156 , 80 , 60 , 40 , 20 , 10 \text{ kgf} / \text{cm}^2$$

$$t = 50 , 10 , -20 \text{ C}^\circ$$

علماً أن تركيب الغاز الحجمي بالنسبة المئوية على الشكل التالي:

CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	CO ₂	N ₂
92.5	4.0	1.1	0.52	0.26	0.12	2

الحل:

من أجل قيم الضغط والحرارة $P = 156 \text{ kgf / cm}^2$ ، $t = 50 \text{ C}^\circ$

$$M_{\text{mix}} = \sum X_i M_i = 19.88$$

$$\rho = \frac{M_{\text{mix}}}{M_a} = \frac{17.56}{29}$$

$$P_{\text{cr}} = 47.2 \text{ kgf / cm}^2 \quad T_{\text{cr}} = 197 \text{ k}^\circ$$

$$P_r = 3.3 \quad T_r = 1.64$$

بتطبيق العلاقة (2-51) نجد:

$$C_p = 3.15 + 0.022 \times 323 - 0.149 \times 10^{-4} \times 323^2 + \frac{0.238 \times 17.56 \times 156^{1.124}}{(323/100)^{5.08}} = 11.88$$

لحساب معامل جول وتومسون نطبق العلاقة (2-54):

$$F(d_i) = 3.15 + 0.022 \times 1.64^{-2.04} - 0.071(3.3 - 0.8) = 0.72$$

$$d_i = \frac{0.72 \times 197}{11.88 \times 47.2} = 0.253 \text{ C}^\circ / \text{kgf} = 2.53 \text{ k / M.p.a}$$

يقوم الطالب بإجراء بقية الحسابات من أجل القيم الأخرى للضغط والحرارة.

مسألة:

عُرِّضَ غاز أحد المكامن الغازية لانخفاض ضغط والمطلوب:

1- أحسب درجة الحرارة t_2 بعد الانفلات.

2- القيمة الوسطية لمعامل جول وتومسن.

إذا علمت أن:

$$P_1 = 8 \text{ Mpa} \quad , \quad T_1 = 318.3 \text{ k}^\circ \quad , \quad P_2 = 6, 4, 3, 2, 1 \text{ Mpa}$$

والتركيب الحجمي بالنسبة المئوية على النحو التالي:

CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄	CO ₂
82.76	9.68	3.23	1.29	0.42	0.14	2.48

الحل:

$$M_{\text{mix}} = 19.88 \quad , \quad P_{\text{cr}} = 4.67 \text{Mpa} \quad , \quad T_{\text{cr}} = 208.5 \text{k}^\circ$$

$$\bar{P} = \frac{(8+6)}{2} = 7 \text{Mpa} \quad , \quad \bar{P}_r = \frac{7}{4.67} = 1.5$$

$$C_p = 3.15 + 0.022 \times 318.3 - 0.149 \times 10^{-4} \times 318.3^2 + \frac{0.238 \times 19.88 \times 70^{1.124}}{(318.3/100)^{5.08}} = 10.2$$

$$\frac{1}{318.3} - \frac{1}{T_2} = \frac{3.57 \times 1.5^{0.25}}{10.2 \times 1.53} \times$$

$$\left[0.005 \times 10^{-3} \times 2.3 \ln \frac{80}{60} + 0.29 \times 10^{-7} (80^2 - 60^2) - 209 \times 10^{-7} (80 - 60) \right]$$

$$= -1/11750$$

$$T_2 = 318.3 \times 11750 / 12068 = 310 \text{k}^\circ = 37 \text{C}^\circ$$

$$\Delta T_p = t_1 - t_2 = 45.3 - 37 = 8.3 \text{C}^\circ$$

$$\bar{d}_i = \frac{\Delta T}{\Delta P} = \frac{8.3}{(8-6)} = 4.15 \text{C}^\circ / \text{Mpa}$$

الفصل الثالث

منظومات الغاز - المكثف

Gas - Condensate Systems

مثال (3-1):

احسب كمية وتركيب طور كل من الغاز والسائل الناتجين عن عملية فصل لمائع عند ضغط 200 Psia ودرجة حرارة 150° F.

المركب	z_i	K_i	$\frac{n_g = 0.5}{x_i}$	$\frac{n_g = 0.4}{x_i}$	$\frac{n_g = 0.42}{x_i}$	y_i
C_3	0.61	1.520	0.464	0.505	0.501	0.761

n-C ₄	0.28	0.595	0.351	0.334	0.337	0.201
n-C ₅	0.11	0.236	0.178	0.158	$\frac{0.162}{1.000}$	$\frac{0.038}{1.000}$

بما أن $\sum x_i = 1$ بالنسبة لـ $n_g = 0.42$ فإن هذا يعني أن 0.42% من المائع سيكون في الطور الغازي و 0.58% في طور السائل.

يمكن استخدام المعادلات السابقة لتحديد ضغط نقطة الفقاعة P_b وضغط نقطة الندى P_d لخليط عند درجة حرارة معينة. عند نقطة الفقاعة وتكون كمية الغاز مهملة أي $z_i = x_i$ عندئذ يمكن كتابة:

$$y_i = x_i K_i = z_i K_i \quad (3-15)$$

$$\sum y_i = \sum z_i K_i = 1$$

عند ضغط نقطة الندى تكون كمية السائل مهملة أي $z_i = y_i$ وبشكل مشابه يمكن كتابة:

$$\sum x_i = \sum \frac{z_i}{K_i} = 1 \quad (3-16)$$

يمكن تحديد ضغوط نقطة الفقاعة والندى بطريقة التجربة والخطأ، وذلك بافتراض قيماً متعددة للضغوط وتحديد الضغط الذي يقابله قيم (K) التي تحقق المعادلات (3-15) و (3-16) وأن المعايير التي تساعد في تحديد P_d و P_b هي:

- إذا كانت القيم $\sum z_i K_i$ و $\sum \frac{z_i}{K_i}$ أكبر من الواحد فإن قيمة الضغط

المفترضة P تكون واقعة بين القيمتين P_d و P_b .

- إذا كان $\sum z_i K_i < 1$ فإن $P < P_b$.

- إذا كان $\sum \frac{z_i}{K_i} < 1$ فإن $P < P_d$.

مثال (3-2):

احسب ضغط نقطة الفقاعة للخليط الوارد في المثال السابق عند درجة الحرارة

150°F.

الحل:

من المثال السابق يتضح أن ضغط نقطة الفقاعة أكبر من 200 Psia وكافتراض أولي نستخدم $P_b = 250 \text{ Psia}$.

المركب	z_i	K_i	$z_i K_i$
C_3	0.61	1.270	0.775
n- C_4	0.28	0.500	0.140
n- C_5	0.11	0.203	$\frac{0.022}{0.937}$

إن الضغط المفروض هو أكبر من ضغط نقطة الفقاعة حيث $\sum z_i K_i < 1$.
المحاولة الثانية: $P_b = 220 \text{ Psia}$.

المركب	z_i	K_i	$z_i K_i$
C_3	0.61	1.490	0.909
n- C_4	0.28	0.580	0.162
n- C_5	0.11	0.230	0.025

الواقع أن $\sum z_i K_i > 1$ يعني أن القيمة 220 Psia هي أدنى من ضغط نقطة الفقاعة لذلك تم المحاولة الثالثة: $P_b = 230 \text{ Psia}$.

المركب	z_i	K_i	$z_i K_i$
C_3	0.61	1.370	0.824
n- C_4	0.28	0.534	0.150
n- C_5	0.11	0.223	$\frac{0.025}{0.999}$

بناءً عليه سيكون ضغط نقطة الفقاعة 230 Psia عند درجة الحرارة 150° F .

الفصل الرابع

تجهيزات ومعدات الآبار الغازية

الفصل الخامس

أنظمة عمل الجملة (طبقة - بئر)

مثال:

بالمعطيات التالية، أحسب ضغط قاع البئر اللازم لتحقيق معدل تدفق 3900 ألف قدم مكعب قياسي في اليوم بافتراض النظام المستقر للجريان إذا كانت لدينا المعطيات التالية:

$$k = 1.5 \text{ mD} \quad , \quad p_f = 4625 \text{ psia} \quad , \quad T = 252 \text{ F}^\circ \quad , \quad r_e = 550 \text{ f t}$$

$$h = 30 \text{ f t} \quad , \quad \bar{\mu} = 0.027 \text{ c.p} \quad , \quad \gamma_g = 0.76 \quad , \quad r_w = 0.333 \text{ f t}$$

خلال استعراض حالة الجريان المستقر، ثم افتراض عدم وجود جريان مضطرب وعدم وجود تأثير للظاهرة الجلدية حول تجويف البئر. لذلك إذا أُدخل تأثير الاضطراب على معادلة الجريان تأخذ الشكل التالي:

$$p_f^2 - p_w^2 = \frac{1422 T \bar{\mu} \bar{z} q_{sc} \ln \frac{r_e}{r_w}}{kh} + \frac{3.161 \times 10^{-12} \beta \gamma_g \bar{z} q_{sc}^2 T}{h^2} \left(\frac{1}{r_w} - \frac{1}{r_e} \right) \quad (5-7)$$

إن الحد الأول يمثل هبوط الضغط الناتج عن جريان دارسي، بينما يعطي الحد الثاني الانخفاض الإضافي للضغط بسبب الاضطراب. إن قيم معامل السرعة β يمكن الحصول عليها لقيم مختلفة من النفوذية من المعادلة:

$$\beta = \frac{2.33 \times 10^{10}}{k^{1.2}} \quad (5-8)$$

حيث أن قيمة k بالملي دارسي.

الفصل السادس

تعيين عناصر الإنتاج من الآبار الغازية

مثال:

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

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

- درجة حرارة رأس البئر $T_t = 280k^\circ$.

- درجة حرارة قاع البئر $T_w = 320k^\circ$.

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

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

مثال:

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

- عمق البئر $L = 2000 m$

- قطر مواسير الإنتاج $D = 63 mm$

- الضغط على رأس البئر $100 kgf/cm^2$

- الإنتاجية $Q = 150000 m^3/day$

- درجة الحرارة الوسطية $\bar{t} = 27 c^\circ$.

- كثافة الغاز النسبية $\bar{\rho} = 0.57$.

- خشونة الأنابيب المطلقة $L_k = 0.12 mm$

مثال:

يطلب تعيين التوزيع (التدرج) الحراري في بئر غازية إنتاجيتها

$Q = 1200.000 m^3 / day$ إذا علمنا ما يلي:

- درجة حرارة الطبقة $t_f = 137 C^\circ$.

- الضغط الطبقي $p_f = 261.6 kgf / cm^2$.

- ضغط القاع $p_w = 221.4$

- السماكة المنتجة $H = 50m$

- قطر الكونتر $R_r = 500m$

- قطر البئر $R_w = 0.1m$

- 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 $\lambda_r = 2.3 \text{ kcal} / \text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{C}^\circ$.
- الكتلة المولية للغاز $17.43 \text{ kg} / \text{kmol}$.
- يتم إجراء الحسابات على الأعماق التالية المقاسة من منتصف المجال المثقب.
(قوهة 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:

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

تركيب الغاز الحجمي:

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

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

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

الفصل السابع

اختبار الآبار الغازية

مثال:

تم تنفيذ اختبار معدلات الجريان المتعاقبة لبئر يقع ضمن مكنن ذو ضغط منخفض ونفوذية عالية وكانت نتائج الاختبار:

N_o	$q, \text{ MSCfd}$	p_w
0	0	201 (p_f)
1	2730	196

2	3970	195
3	4440	193
4	5550	190

والمطلوب:

- 1- أحسب قيم (C) و (n) لمعادلة الجريان.
- 2- حدد أقصى معدل للجريان المفتوح (AOF).
- 3- أحسب الإنتاجية المقابلة لقيمة ضغط قاع البئر $p_w = 160 \text{ psia}$.

مثال:

تم تنفيذ اختبار الفترات الزمنية المتساوية لبئر يقع ضمن مكن، معدل الضغط فيه 1952 Psia. وتم الجريان في البئر على أربع فتحات مختلفة للفاة وقياس الإنتاجية وضغط جريان قعر البئر عند 3 ساعات و 6 ساعات لكل فتحة فالة. ومن أجل نقطة الاستقرار تحت المراقبة لفترة 72 ساعة حيث كانت الإنتاجية 6.0 مليون قدم مكعب في اليوم وقيمة ضغط قاع البئر $p_w = 1151 \text{ psia}$. نتائج القياسات هي التالية:

t = 3 hr		t = 6 hr
q , MSCfd	p_w	p_w
2600	1793	201 (p_f)
3300	1757	196
5000	1623	195
6000	Extended flow. t =72 hr	1151

والمطلوب:

- 1- معادلة الجريان المستقرة.
- 2- أقصى معدل للجريان المفتوح (AOF).
- 3- ارسم منحنى أدائية التدفق (العلاقة بين q و p_w)

الفصل الثامن

تحسين إنتاجية الآبار الغازية

مثال: المطلوب تحضير $35M^3$ من محلول حمض كلور الماء بتركيز 12% علماً أن كثافة الحمض التجاري $1150kg/M^3$.

لتحضير محلول حمض كلور الماء نقوم عملياً بوضع كمية الماء المطلوبة في السعة المخصصة، ثم تُضاف كمية الحمض التجاري المحسوبة ويحرك المزيج بشكل جيد. بعد ذلك وحسب الضرورة يضاف حمض الخل أو كلور الباريوم كمواد لمنع حدوث ترسبات من جهة، ولتلاعب دور مؤخر تفاعل (حمض الخل) من جهة أخرى.

وأخيراً تضاف المواد المقللة للتوتر السطحي ويترك المحلول فترة كافية لترسب كبريتات الباريوم. وهكذا يصبح المحلول الحمضي جاهزاً للاستخدام.

لتحضير المحلول الحمضي (مزيج حمض الفلور والكلور)، يتم تفريغ الماء في السعة المخصصة ولكن بكمية أقل من القيمة الحسابية بحدود (100-200) ليتر لكل $1M^3$. تضاف كمية حمض الكلور المحسوبة وجميع الإضافات المطلوبة، وبعد ذلك يضاف حمض الفلور وأخيراً كمية الماء المتبقية ويحرك المزيج ليصبح جاهزاً للاستخدام.

بعد تحضير المحلول الحمضي يتم إتباع خطوات التنفيذ بترتيب معين حسب الهدف من عملية التحميض. فمثلاً عندما تهدف المعالجة للتأثير على المنطقة المجاورة للبئر التي يمكن أن يصلها سائل الحفر أو فاقد الرشح يتم تنفيذ ما يلي:

- 1- تنظيف قاع البئر بشكل جيد من خلال إجراء دوران باستخدام أحد السوائل (مياه عذبة أو مالحة . محلول مائي لمقلل توتر سطحي . محلول مائي خفيف التركيز بحمض كلور الماء . محلول مائي لكلور الكالسيوم . كوندسات . وقود ديزل).
- 2- إجراء حمام حمضي لتفنيث البقايا الطينية (الكعكة الطينية) وتنظيف فتحات الشقوق.
- 3- يغسل قاع البئر بشكل جيد لإزالة نواتج التفاعل.
- 4- تضخ كمية الحمض المخططة في البئر ومن ثم تحقن تحت الضغط في الطبقة.

5- إحياء البئر ووضعها في الإنتاج.

الفصل التاسع

هيدرات الغازات الطبيعية

الفصل العاشر

معالجة الغازات الطبيعية

الفصل الحادي عشر

منحنيات انخفاض (هبوط) إنتاجية الآبار
الغازية
وطرائق تحليلها