أما تأثير قطر مواسير الإنتاج على معدل الاستهلاك النوعي للغازات فهو صغير جداً في حال ثبات بقية العوامل، ذلك أن هذا الاستهلاك النوعي للغازات يتناسب عكساً مع الجذر التربيعي لقطر مواسير الإنتاج كما يظهر في العلاقة , (4-42) (4-39) .

وكما يظهر من هذه العلاقات فإن الاستهلاك النوعي للغازات يتناسب طرداً مع زيادة طول مواسير الإنتاج.

**4-4 ارتفاع السائل في مواسير الإنتاج:**

في بعض الأحيان يكون الضغط ضمن مواسير الإنتاج أكبر من ضغط الإشباع للسائل وبالتالي فإن الغازات تبقى منحلة فيه، كذلك فإن السائل قد لا يحوي غازات منحلة أو يحوي على كميات قليلة مهملة.

في هذه الحالات فإن صعود السائل إلى السطح يتم فقط تحت تأثير الطاقة الكامنة في السائل.

معدل جريان السائل الذي يدخل البئر من الطبقة يعطى بالعلاقة التالية:

$$Q = IP\,(PC - P_f)^n \qquad (54-4)$$

حيث IP : معامل الإنتاجية.

n : معامل يعتمد على نظام الجريان.

إن جريان السائل داخل مواسير الإنتاج هو جريان منتظم أي أن معدل السائل الذي يخرج من الطبقة يساوي معدل السائل الذي يخرج من مواسير الإنتاج على السطح، إذن يمكن كتابة المعادلة التالية:

$$Pf = \frac{H.\gamma}{10} + P_{fr} + P_2 \qquad (55-4)$$

حيث: Pf: الضغط عند قعر البئر مقابل الطبقة المنتجة $kgf/cm^2$ .

PC: ضغط الطبقة $kgf/cm^2$

H : عمق المنطقة المثقبة m.

$\gamma$ : الوزن النوعي للسائل $gf/cm^3$

$P_{fr}$ : الضغط الضائع نتيجة الاحتكاك $kgf/cm^2$

$P_2$ : الضغط عند رأس البئر على السطح $kgf/cm^2$

Q : معدل إنتاج البئر $t/d$

وبما أن السائل يجري فقط ضمن مواسير الإنتاج فإن الضغط الضائع نتيجة الاحتكاك يمكن أن يحسب بالعلاقة التالية:

$$P_{fr} = \lambda \frac{H}{d} \frac{W^2}{2g} \frac{\gamma}{10} \qquad (56-4)$$

حيث $\lambda$: يمثل معامل المقاومة الهيدروليكية وهو يعتمد على نوعية الجريان بكونه خطياً أو غير مستقر وحيث أن:

$$F = \frac{\pi d^2}{4}$$

فإن السرعة تعطى بالعلاقة:

$$W = \frac{Q}{21600 .\pi.d^2 .\gamma} \qquad (57-4)$$

d: قطر مواسير الإنتاج m.

بتعويض قيمة كل من قيمة السرعة ومساحة المقطع في العلاقة (4-56) نحصل على ما يلي:

$$Pf = \frac{H.\gamma}{10} + \frac{\lambda.H.Q^2}{9.10^{11} d^5}\gamma + P_2 \qquad (58-4)$$

من هذه العلاقة نستطيع تعيين الضغط اللازم وجوده في رأس مواسير الإنتاج كي تنتج البئر بمعدل معين Q وهو :

$$P_2 = PC - \sqrt[n]{\frac{Q}{IP}} - \frac{H.\gamma}{10} - \frac{\lambda.H.Q^2}{g.10^{11} .d^5}\ \gamma \qquad (59-4)$$

من أجل قيم لعدد رينولد $R_e < 2320$ فإن:

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

$$\lambda = \frac{0.3167}{\sqrt[4]{Re}}$$ وعندما يكون $R_e > 232$ فإن

إن مرور المواسير n يعطى بالنسبة ما بين العمل الميكانيكي اللازم لرفع طن واحد من السائل إلى السطح والعمل الميكانيكي المستهلك لرفع هذا الطن من السائل أي:

$$\eta = \frac{\tau}{\tau c} = \frac{1000 \,.\, H.\gamma}{10^4 \,(P_f - P_2)} \qquad (60-4)$$

وإذا أخذنا بالاعتبار العلاقة (4-58) فإننا نحصل على:

$$\eta = \frac{1000}{1000 + \lambda \dfrac{Q^2}{9.10^7 \,.\gamma^2 \,.d^5}} \qquad (61-4)$$

نلاحظ من هذه المعادلة أن مرور المواسير لا يعتمد على عمق البئر بل على معدل الإنتاج وقطر مواسير الإنتاج فقط بحيث أن هذا المعدل يتناقص مع زيادة معدل الإنتاج ويتزايد مع زيادة القطر الداخلي لمواسير الإنتاج.

في العلاقتين (4-55) , (4-56) تم الافتراض بأن الوزن النوعي للسائل ثابت ولكن في الحقيقة فإن الوزن النوعي للسائل يتغير على طول مواسير الإنتاج نتيجة تغير الحرارة والضغط ولكن هذه التغيرات طفيفة نتيجة التأثير المختلف لكل من الحرارة والضغط ولهذا تؤخذ قيمة وسطية ثابتة له.

**4-5 الوزن النوعي للسائل الذي يحوي غازات بداخله:**

في بعض مسائل الإنتاج فإنه يلزم تعيين الوزن النوعي للسائل الذي يحوي غازات والذي يجري ضمن المواسير العمودية ذات القطر الكبير كما هو الحال عند جريان هذا السائل داخل مواسير التغليف.

وبما أن انحلال الغازات في السائل يكون تابعاً للضغط وطالما أن الغازات يمكنها أن تتسرب في كتلة السائل فإن الوزن النوعي لهذا السائل يعين من

قوانين ارتفاع السوائل في مواسير الإنتاج العمودية ذات القطر الكبير مع بعض التقريب.

في المواسير ذات القطر الكبير فإن الاحتكاكات يمكن إهمالها وبالتالي فإن العلاقة (4-17) يمكن كتابتها بالشكل التالي:

$$\bar{\gamma} = \frac{q + a}{V + q + a}\,\gamma \qquad (62-4)$$

حيث:

$$V = \frac{q[G_0 - \propto (P-1)]}{P}$$

باستخدام الواحدات المستعملة مع إهمال انحلالية الغازات في المياه فإن العلاقة السابقة يمكن كتابتها بالشكل التالي:

$$\bar{\gamma} = \frac{(Q + 43.2d^2.\gamma)\gamma}{\frac{Q_P[G_0 - \propto (P-1)]}{P}\frac{\gamma}{\gamma_P} + Q + 43{,}2.d^2.\gamma} \qquad (63-4)$$

$$\gamma = \frac{n_p\,\gamma_p + n_w\,\gamma_w}{100} \qquad (64-4)$$

أما $a = 0.785.d^2$

حيث: $\bar{\gamma}$ : الوزن النوعي الوسطي للمزيج $gf/Cm^3$

Q: التصريف الكلي للسائل (مياه + بترول) $t/d$

$Q_p$: تصريف البترول $t/d$

d : قطر مواسير الإنتاج بالبوصة.

P: ضغط مواسير الإنتاج.

$G_0$: نسبة الغازات إلى البترول $m^3/m^3$

$\propto$ : معامل الانحلالية للغازات في البترول $Nm^3/m^3, at.$

$\gamma_w, \gamma_p$ : الوزن النوعي للبترول والمياه المنتجة $gf/cm^3$

$n_w, n_p$ : نسبة البترول ونسبة المياه في السائل المستخرج %.

في العلاقة (624) أخذنا بعين الاعتبار أن تسرب الغازات في كتلة السائل لا تعتمد على طبيعة السائل (البترول).

الكثافة الوسطية للمزيج في شروط الطبقة يمكن الحصول عليها من العلاقة التالية:

$$\bar{\gamma} = \gamma_e \frac{q\ell}{qt} + \gamma_g \frac{qg}{qt} \qquad (65-4)$$

حيث: $\gamma_g, \gamma_L$: الوزن النوعي للسائل وللغاز $gf/cm^3$

$qt, q\ell, qg$ : معدل الإنتاج الكلي (للمزيج) وللسائل وللغازات.

وبفرض أن السائل غير انضغاطي وأن:

$$\frac{Po.To}{Z.T} \approx 1$$

نستنتج أن:

$$\bar{\gamma} = \frac{\gamma_L}{1 + \frac{(G_o - r_s)}{P}} + \gamma_{go} \frac{(G_o - r_s)}{1 + \frac{(G_o - r_s)}{P}} \qquad (66-4)$$

حيث $r_s$ : نسبة الانحلالية للغازات في السائل $Nm^3/m^3$

$\gamma_{go}$: الوزن النوعي للغازات في الشروط المثالية (Po,To) . $gf/Cm^3$.

وبشكل عام فإن:

$$q = \frac{Q}{86400.\gamma} \qquad (67-4)$$

بذلك نستطيع حساب الوزن النوعي الوسطي للمزيج المؤلف من البترول والغازات.

وهناك طريقة تحدد الوزن النوعي للخليط النفطي المائي بواسطة المعادلة التالية:

$$\gamma_m = \gamma_w .i + \gamma_p (1-i)$$

حيث $\gamma_m$: الوزن النوعي الوسطي للخليط.

$\gamma_w$: الوزن النوعي للمياه ا لمرافقة.

i: نسبة الماء في النفط (نسبة العكارة).

$\gamma_o$: الوزن النوعي للبترول.

# الفصل الخامس

# الإنتاج الذاتي

# (Natural Flow)

## 1-5 مقدمة

تعتبر طريقة الإنتاج الذاتي إحدى طرق إنتاج النفط الرئيسة، وتطبق في المرحلة الأولى لاستثمار المكمن النفطي ويتم إنتاج البئر ذاتياً بتأثير الطاقة الكامنة الموجودة في الطبقة ومنتجات البئر، حيث أنه في بداية الإنتاج من البئر تكون الطاقة الطبقية الناتجة عن دفع المياه أو عن دفع الغازات (تمددها) كافية لرفع منتجات البئر حتى السطح.

## 2-5 مبدأ الإنتاج الذاتي وأنواعه:

يحدث الإنتاج الذاتي في الحقول الجديدة عندما يكون احتياطي الطاقة الطبقية كبيراً، هذا يعني أن الضغط عند قاع البئر كبيرٌ جداً بشكل كاف للتغلب على الضغط الهيدروستاتيكي لعمود السائل (P) في البئر وضغط الفوهة (PY) والضغط الضائع الناجم عن قوى الاحتكاك (Pfr) رياضياً يمكن التعبير عن الكلام السابق بالشكل التالي:

$$P_C = P_\ell + P_{fr} + P_y \qquad (1\text{-}5)$$

تعبر العلاقة السابقة (1-5) عن الشرط الضروري كي تنتج البئر ذاتياً.

أنواع الإنتاج الذاتي : يوجد عادة نوعين من الإنتاج الذاتي هما :

## 3-5 الإنتاج الذاتي الارتوازي :

في هذا النوع لا يحوي السائل غازاً إطلاقاً أي هنا لا يوجد في السائل المرتشح إلى قاع البئر أي نسبة من الغاز. وهذا النوع من الإنتاج الذاتي نادر الحدوث في المكامن النفطية .

في حال الإنتاج الذاتي الارتوازي يكون:

$$P_\ell = \overline{\rho}.g.H \qquad (2\text{-}5)$$

حيث:

$P_\ell$ : الضغط الهيدروستاتيكي لعمود السائل.

$\overline{\rho}$ : الكثافة الوسطية للسائل في البئر.

نرط الانتاج الذاتي $P_c = P_p + P_f + P_y$

$H$ : المسافة الشاقولية بين القاع وفوهة البئر بالنسبة للآبار المائلة تحسب بالعلاقة التالية:

$$H = L.\cos\alpha$$

حيث:

$\alpha$ : زاوية ميلان محور البئر عن الشاقول.

$L$ : عمق البئر.

تحسب الكثافة الوسطية لسائل البئر بالعلاقة التالية :

$$\overline{\rho} = \frac{\rho_c + \rho_y}{2} \qquad (3\text{-}5)$$

حيث :

$\rho_c$ : كثافة السائل بالشروط الترموديناميكية للقاع (P.T).

$\rho_y$ : كثافة السائل بالشروط السطحية (شروط الفوهة)

أما إذا كانت البئر مماهة فإن الكثافة تحسب كالتالي:

أ- بشروط القاع :

$$\rho_c = (\rho_o)_c(1-n) + (\rho_w)_c.n \qquad (4\text{-}5)$$

ب- بشروط الفوهة :

$$\rho_y = (\rho_o)_y(1-n) + (\rho_w)_y.n \qquad (5\text{-}5)$$

حيث :

n : نسبة الماء في المزيج (نفط - ماء)

أما ضياع الضغط بالاحتكاك $p_{fr}$ فيعطى بالعلاقة التالية :

$$p_{fr} = \lambda.\frac{L}{d}.\frac{w^2}{2.g}.p \qquad (5\text{-}6)$$

حيث :

$L$ : طول مواسير الإنتاج.

$d$ : القطر الداخلي لمواسير الإنتاج .

$w$ : سرعة جريان السائل ضمن مواسير الإنتاج والتي تعطى بالعلاقة التالية:

$$w = \left(\frac{Q_o b_o}{\rho_o} + \frac{Q_w.b_w}{\rho_w}\right).\frac{1}{F} \qquad (5\text{-}7)$$

$K_p = \frac{Q}{P_F - P_c} \Rightarrow q_F = K_p(P_F - P_c)$

معامل الإنتاجية

حيث :

$F$ مساحة المقطع العرضي لمواسير الإنتاج .

$Q_w;Q_o$ الإنتاجية لكل من النفط والماء بالشروط السطحية القياسية.

$\rho_w;\rho_o$ كثافة النفط والماء بالشروط القياسية.

$b_w;b_o$ معامل حجم النفط والماء بالشروط الوسطية (السائدة) في مواسير الإنتاج.

لحساب $\lambda$ معامل الممانعة الهيدروليكية يجب حساب عدد رنيولدس Re .

وفي حال وجود مستحلب (نفط – ماء) فإنه يجب الأخذ بعين الاعتبار اللزوجة الديناميكية للمستحلب والتي يمكن تحديدها بالعلاقة التالية:

$$\mu_E = \frac{\mu_F}{1 - \sqrt[3]{\varphi}} \qquad (5\text{-}8)$$

حيث :

$\mu_F$ اللزوجة الديناميكية للوسط أو الطور الظاهري المبعثر، فمثلاً إذا كان المستحلب من النوع ماء في النفط (W:O) فإن اللزوجة $\mu_F$ تؤخذ مساوية للزوجة النفط والعكس صحيح.

$\varphi$ نسبة حجم الطور الداخلي (المتبعثر) إلى الطور الخارجي (المبعثر) .

فإذا كان : $R_e \langle 1200$ فإن : الجريان منتظم .

أما إذا كان: $R_e \rangle 2500$ فإن : الجريان مضطرب.

وإذا كان: $1200 \rangle R_e \langle 2500$ فإن : الجريان ما بين المنتظم والمضطرب أي جريان تحوي أو عابر أو انتقالي.

في حالة الجريان المنتظم فإن :

$$\lambda = \frac{64}{R_e} \qquad (5\text{-}9)$$

أما في حالة الجريان المضطرب فإن :

$$\lambda = \frac{0.3164}{R_e^{0.25}} \qquad (5\text{-}10)$$

وفي حالة الجريان الانتقالي أو التحولي فإن :

$$\lambda = \frac{0.342}{R_e^{0.21}} \qquad (5\text{-}11)$$

من المعلوم بأن إنتاجية الطبقة تعطى بالعلاقة العامة التالية:

$$Q = K(p_F - p_c)^n \qquad (5\text{-}12)$$

بحل هذه العلاقة بالنسبة لـ $P_c$ نجد أن :

$$P_c = P_F - \sqrt[n]{\frac{Q}{K}} \qquad (5\text{-}13)$$

أثناء العمل المشترك للطبقة ومواسير الإنتاج (في حالة الإنتاج الذاتي) يستقر أو يثبت ضغط قاع البئر ($P_c$) الذي يتم حسابه وفقاً للعلاقة (5-1) عند هذا الضغط $P_c$ فإن مواسير الإنتاج ستمرر كمية من السائل يمكن تحديدها من خلال المساواة بين العلاقتين (5-1) و (5-13) وتبديل $P_c$ بقيمتها أي :

$$P_\ell + P_{Fr} + P_y = P_F - \sqrt[n]{\frac{Q}{K}} \qquad (5\text{-}14)$$

من خلال هذه العلاقة نلاحظ أن $P_y$ و $p_{Fr}$ تتعلقان بالإنتاجية فمثلاً بزيادة الإنتاجية نلاحظ ازدياد قيم $p_y$ و $p_{Fr}$ ونلاحظ أيضاً أن قيمة $P_\ell$ لا تتعلق بقيمة الإنتاجية Q مما تقدم فإنه يمكن كتابة العلاقة السابقة كتابع للإنتاجية على الشكل التالي:

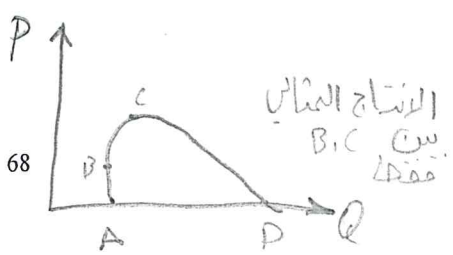
$$P_\ell + f(Q) = P_F - \sqrt[n]{\frac{Q}{K}} \qquad (5\text{-}15)$$

من هذه العلاقة (5-15) يجب الحصول على Q لذلك يجب إعطاء قيم مختلفة مفروضة للإنتاجية (Q) وحساب القسم الأيمن والأيسر من العلاقة (5-15).

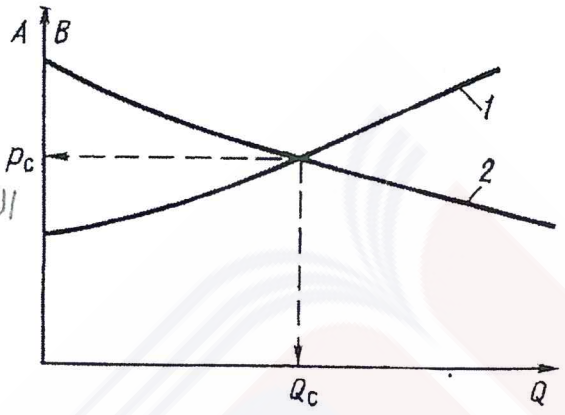
نفرض أن :

$$A = P_\ell + F(Q) \qquad (5\text{-}16)$$

$$B = P_f - \sqrt[n]{\frac{Q}{K}} \qquad (5\text{-}17)$$



ثم نمثل بيانياً العلاقة $A(Q)$ و $B(Q)$ كما هو واضح بالشكل البياني (1-5)




شكل (1-5) – يوضح الحل المشترك لمعادلة عمل المصعد (مواسير الإنتاج) $A(Q)$ ومعادلة إنتاجية الطبقة $B(Q)$.

من الشكل البياني السابق (1-5) يلاحظ أنه بزيادة الإنتاجية Q يجب أن تزداد قيمة A أما قيمة B فسوف تنقص. نقطة تقاطع المنحني الممثل للعلاقة A(Q) مع المنحني B(Q) هي النقطة التي تحدد نظام العمل المشترك للطبقة ومواسير الإنتاج الذاتي أي أنها تعطي قيمة الإنتاجية عند قاع البئر Qc وضغط القاع المقابل لهذه الإنتاجية Pc .

ملاحظة : يمكن أن تجرى حسابات مشابهة من أجل أقطار مختلفة لمواسير الإنتاج وأيضاً من أجل ظروف الإنتاج الذاتي من الفراغ الحلقي. ومن الحلول الناتجة يمكن اختيار الحل الأفضل والأمثل والذي يلبي الشروط التكنولوجية لاستثمار واستغلال الحقل النفطي.

**4-5 الإنتاج الذاتي غير الارتوازي (على حساب طاقة الغاز المنحل في النفط):**

في هذا النوع يلاحظ وجود الغاز المنحل في السائل المرتشح باتجاه قاع البئر. هذا الغاز المنحل (الفقاعات الغازية المنحلة) يساهم في عملية رفع السائل إلى السطح وهذا النوع هو الأكثر شيوعاً في الحقول النفطية.

في هذه الحالة تكون كثافة المزيج (سائل – غاز) ضمن مواسير الإنتاج أقل منها في الحالة الأولى (سائل فقط) لذلك فإن الضغط الهيدروستاتيكي لعمود المزيج (سائل – غاز) أقل منه في الحالة الأولى وبالنتيجة فإنه من أجل حدوث الإنتاج الذاتي

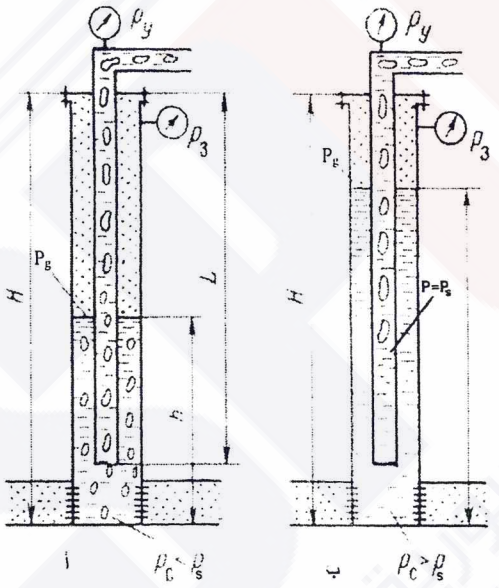
في هذه الحالة فإن ضغط القاع الأصغري الذي يحقق عملية الإنتاج الذاتي هو أصغر بكثير من الحالة السابقة (للإنتاج الذاتي الارتوازي).

في حالة الإنتاج الذاتي غير الارتوازي أي الإنتاج على حساب طاقة الغاز المنحل في السائل يمكن أن يكون:

أ- ضغط القاع أكبر من ضغط الإشباع أي : $P_c \rangle P_S$

ب- ضغط القاع أصغر من ضغط الإشباع أي : $P_c \langle P_S$

الرسم التوضيحي للحالتين (أ) و (ب) موضع بالشكل التالي:




شكل رقم (2-5) - يوضح أنظمة الآبار المنتجة ذاتياً على حساب طاقة الغاز (الإنتاج الذاتي اللاارتوازي)

من المعلوم بأن ضغط قاع البئر المنتجة ذاتياً يعطى بالعلاقة التالية:

$$P_c = P_{cl} + P \qquad (5\text{-}18)$$

حيث:

$P_{cl}$ : الضغط عند حذاء (نهاية) مواسير الإنتاج.

$P$ : الضغط الهيدروستاتيكي لعمود السائل ما بين نهاية مواسير الإنتاج وقاع البئر (عمود البئر).

ويعطى بالعلاقة التالية:

$$P = (H - L)\rho.g \qquad (5\text{-}19)$$

حيث:

$H$ : عمق البئر.

$L$ : طول مواسير الإنتاج .

$\rho$ : الكثافة الوسطية لمنتجات البئر.

$g$ تسارع الجاذبية الأرضية.

ولكن الضغط عند قاع البئر يمكن أن يعطى أيضاً بالعلاقة التالية:

$$P_c = P_1 + P_2 \qquad (5\text{-}20)$$

حيث :

$P_1$ الضغط الهيدروستاتيكي لعمود السائل في الفراغ الحلقي انظر الشكل رقم (5-2) ويعطى بالعلاقة التالية:

$$P_1 = \rho.g.h \qquad (5\text{-}21)$$

حيث :

$h$ ارتفاع عمود السائل في الفراغ الحلقي .

$\rho$ الكثافة الوسطية للسائل في الفراغ الحلقي.

$P_2$ ضغط الغاز الواقع ضمن الفراغ الحلقي (انظر الشكل رقم (5-2) وتعطى قيمته بالعلاقة التالية:

$$P_2 = P_z + \Delta P \qquad (5\text{-}22)$$

حيث:

$P_z$ ضغط الغاز الموجود ضمن الفراغ الحلقي وذلك عند فوهة البئر .

$\Delta P$ الضغط الهيدروستاتيكي لعمود الغاز من مستوى الغاز وحتى الفوهة ويعطى بالعلاقة التالية:

$$\Delta P = (H - h)\rho_g.g \qquad (5\text{-}23)$$

بتعويض قيم $P$ و $P_{cl}$ في العلاقة (5-20) نحصل على :

$$P_c = \rho.g.h + (H - h)\rho_g.g + P_z \qquad (5\text{-}24)$$

في الحالة التي يكون فيها : $P_c \langle P_s$ فإنه من الملاحظ توفر ظروف مناسبة لتجمع الغاز في الفراغ الحلقي وهذا ما يؤدي إلى زيادة قيمة الضغط $P_z$ في الفراغ الحلقي الأمر الذي يقود إلى انخفاض قيمة $h$ حتى قيمة محددة بحيث يصبح ضغط القاع محدد بالعلاقة التالية ثابتاً:

$$P_{cl} = P_z + (H-h)\rho_g.g \qquad (5\text{-}25)$$

هذه العملية ستستمر حتى اللحظة التي ينخفض فيها مستوى السائل إلى حذاء المواسير الإنتاجية، وبعد ذلك يتم الاستقرار ويصبح النظام مستقراً.

أما كثافة الغاز $\rho_g$ في العلاقة (5-24) فتعطى بالعلاقة التالية:

$$\rho_g = \rho_o \cdot \frac{P_z.T_o}{P_o.T_m.Z} \qquad (5\text{-}26)$$

حيث :

$\rho_o$ كثافة الغاز بالشروط القياسية السطحية.

$P_z - P_o$ الضغط الجوي القياسي والضغط في الفراغ الحلقي.

$Z$ معامل الانضغاطية للغاز.

$T_o.T_M$ درجة الحرارة القياسية ودرجة الحرارة الوسطية للغاز في الفراغ الحلقي.

أما كمية الغاز التي تتجمع في الفراغ الحلقي فهي تتعلق بما يلي:

1 – سرعة جريان المزيج (سائل – غاز) أي بإنتاجية البئر.

2 – قطر الفراغ الحلقي ما بين المواسير الإنتاجية ومواسير التغليف.

3 – بكمية الفقاعات الغازية ومقاييسها.

4 – بلزوجة السائل.

أما في الحالة التي يكون فيها: $P_c \rangle P_s$ فإن الغاز الحر في هذه الحالة لا يتجمع في الفراغ الحلقي طالما أن الظروف المناسبة لتجمعه غير محققة.

أما ضمن مواسير الإنتاج فإن الغاز سينفصل على ارتفاع معين من حذاء المواسير حيث أن الضغط يكون أقل من ضغط الإشباع.

وطالما أنه عند عمل البئر لا يحدث تجديد للسائل في الفراغ الحلقي، وبذلك لا تظهر الظروف المناسبة لوصول السائل إلى الفراغ الحلقي، بينما يتم انفصال جزء من الغاز المنحل في النفط الموجود في الفراغ الحلقي بعد ذلك يتم تعادل أو توازن النظام بشكل

$$L_{H\varphi} = L - \frac{P_c - P_g}{\rho.g}$$

عام. مستوى السائل في هذه الحالة سيقع على ارتفاع ما قدره $(h)$ ووفقاً للعلاقة (5-25) السابقة فإن القيم المختلفة لمستوى السائل $(h)$ سوف تتطابق أو تتوافق مع قيم مختلفة للضغط $P_z$. في هذه الحالة لا يمكن تحديد ضغط القاع $P_c$ بدلالة $P_z$ نتيجة عدم إمكانية تحديد قيمة الارتفاع $(h)$ (كونها غير محددة).

## 5-5 شرط حدوث الإنتاج الذاتي :

الإنتاج الذاتي يمكن فقط في حالة تساوي أو زيادة الطاقة التي يملكها السائل في القاع مع الطاقة اللازمة والضرورية لرفع السائل من القاع إلى السطح بشرط أن تعمل مواسير الإنتاج الذاتي بالنظام المثالي أي معامل مردود عملها أعظمي.

يمكن للسائل أن يرتفع إلى مسافة محددة وذلك على حساب ضغط القاع، هذه المسافة تكون موافقة لقيمة ضغط قاع البئر.

العمل المفيد الذي ينفذ أو ينجز عند رفع متر مكعب واحد من السائل هو عبارة عن جداء وزن السائل وارتفاع الرفع رياضياً يمكن التعبير عن ذلك بالعلاقة التالية:

$$W_1 = 1.m^3.\rho.g\left(\frac{P_c - P_o}{\rho g}\right)$$

$$W_1 = 1.m^3.(P_c - P_o) \qquad (5\text{-}27)$$

حيث :

$W_1$ العمل المفيد الذي يتحقق عند رفع متر مكعب واحد من السائل، يعطى هذا العمل بالعلاقة التالية:

$$W_1 = 1.m^3.\rho.g.\left(\frac{P_c - P_o}{\rho.g}\right) = 1.m^3(P_c - P_o) \qquad (5\text{-}28)$$

حيث :

$1.m^3.\rho.g$ تمثل وزن السائل.

$\left(\frac{P_c - P_o}{\rho.g}\right)$ يمثل الارتفاع الذي يرفع إليه السائل.

لكن يوجد مع النفط غاز حر، أيضاً هناك الغاز الذي ينفصل عن النفط عند انخفاض الضغط تحت ضغط الإشباع، لذا فإن الحجم الكلي للغاز (الحر والمنفصل) محولاً إلى

الشروط القياسية والخاص (العائد) لمتر مكعب واحد من النفط يسمى بالمعامل الغازي $G_o$.

عندما يتمدد الغاز فإنه يحقق عمل لكن كمية الغاز الحر على أعماق مختلفة ستكون مختلفة أيضاً كما أن العمل الناتج عن تمدد الغاز يتحقق فقط بواسطة الغاز الحر، لذلك وأثناء حساب العمل المذكور من الضروري الأخذ بعين الاعتبار ليس المعامل الغازي الكلي $G_o$ بل المعامل الغازي الفعال $G_{EF}$.

إن قيمة العمل الممكن إنجازه لهذا الغاز الحر أثناء تمدده وبالشروط الترموديناميكية الحرارية المتساوية أي (T=const) سوف تكون مساوية:

$$W_2 = G_o.P_o \ln\frac{P_c}{P_o} \quad (5\text{-}29)$$ ، (جول) ،

وهكذا فإن الطاقة الكلية القادمة إلى القاع مع كل متر مكعب نفط ستكون مساوية:

$$W_1 = W_1 + W_2 = P_c - P_o + G_o.P_o.\ln\frac{P_c}{P_o} \quad (5\text{-}30)$$

لكن من المعلوم أنه يوجد دائماً ضغط معاكس عند فوهة البئر مقداره $(P_y)$، لذلك فإن التيار (السائل والغاز) سوف يحمل معه كمية من الطاقة، هذه الكمية من الطاقة يمكن أن تحدد بالعلاقة التالية :

$$W_2 = P_y - P_o + G_o.P_o \ln\frac{P_y}{P_o} \quad (5\text{-}31)$$

وهكذا فان كمية الطاقة القادمة من الطبقة والطاقة المصروفة في البئر ذاتها أثناء عملية رفع السائل من القاع حتى الفوهة $(W_L)$ سوف تكون مساوية :

$$W_L = W_1 - W_2 \quad (5\text{-}32)$$

بتعويض قيم $W_1$ و $W_2$ من العلاقتين (5-30) و (5-31) في العلاقة (5-32) نحصل على :

$$W_L = P_c - P_y + G_o.P_o \ln\frac{P_c}{P_o} - G_o.P_o \ln\frac{P_y}{P_o} \quad (5\text{-}33)$$

يمكن كتابة العلاقة (5-33) بالشكل التالي:

$$W_L = P_c - P_y + G_o.P_o \ln\frac{P_c}{P_y} \quad (5\text{-}34)$$

إذا كانت مواسير الإنتاج الذاتي تعمل بالنظام المثالي، هذا يعني أنه سيعمل بالنظام ذي المردود الأعظمي، فإن الاستهلاك النوعي للغاز $(R)$ واللازم لرفع متر مكعب واحد $(1m^3)$ من السائل سيصل إلى القيمة الصغرى أي $(R_{opt})$، في هذه الحالة فإن كمية الطاقة الصغرى الضرورية للإنتاج الذاتي ستكون طبقاً للعلاقة (5-34) مساوية:

$$W_{\min} = P_c - P_y + R_{opt}.P_o \ln \frac{P_c}{P_y} \qquad (5\text{-}35)$$

وبالنتيجة فإن الإنتاج الذاتي سيتحقق أو يكون ممكناً إذا تحقق الشرط التالي:

$$W_L \geq W_{\min} \qquad (5\text{-}36)$$

$$G_o.P_o.\ln \frac{P_c}{P_y} \geq R_{opt}.P_o.\ln \frac{P_c}{P_y} \qquad (5\text{-}37)$$

أو

$$G_o \geq R_{opt} \qquad (5\text{-}38)$$

لتحديد قيمة الاستهلاك النوعي للغاز $(R_{opt})$ عند عمل المصعد (سائل – غاز) بنظام الإنتاجية العظمى $Q_{\max}$ نستخدم العلاقة التالية التي حصل عليها الباحث الروسي كريلوف نتيجة الأبحاث التجريبية التي قام بها ونتيجة معالجة المعطيات النظرية هذه العلاقة هي :

$$R_{\max} = \frac{2{,}769 \cdot 10^{-4}.\rho^2.L^2}{d^{0.5}\left(P_c - P_y\right)\ln \frac{P_c}{P_y}} \qquad (5\text{-}39)$$

هذا وقد وجد كريلوف أنه عند عمل مواسير الإنتاج بنظام الإنتاجية المثالية $(Q_{opt})$ فإن الاستهلاك النوعي للغاز $(R_{opt})$ مرتبط بقيمة الاستهلاك النوعي الأعظمي $(R_{\max})$ رياضياً عبر ذلك بالعلاقة التالية:

$$R_{opt} = R_{\max}(1-\varepsilon) \qquad (5\text{-}40)$$

حيث :

$\varepsilon$ هي الغمر النسبي وتعطى بالعلاقة التالية:

$$\varepsilon = \frac{P_c - P_y}{\rho.g.L} \qquad (5\text{-}41)$$

حيث : $L$ طول مواسير الإنتاج .

اكتب شرط الانتاج الذاتي مع شرح الرموز؟

بتعويض قيم $R_{max}$ و $\varepsilon$ في العلاقة (5-40) نحصل على :

$$R_{opt} = \frac{2,769 .10^{-4}.\rho^2.L^2}{d^{0.5}\left(P_c - P_y\right)\ln\frac{P_c}{P_y}}\left(1 - \frac{P_c - P_y}{\rho.g.L}\right) \qquad (5\text{-}42)$$

كما تعطى قيمة الضغط الوسطي بالعلاقة التالية:

$$P_m = \frac{P_c + P_y}{2} \qquad (5\text{-}43)$$

هذا وتعطى كمية الغاز الحر الوسطية أو الفعالة $G_m$ بالعلاقة التالية:

$$G_m = G_{EF} = G_o - \alpha\left(\frac{P_c + P_y}{2} - P_o\right) \qquad (5\text{-}44)$$

$G_m = G_{EF}$ = كمية الغاز المنحل في النفط – المعامل الغازي الكلي $(G_o)$

من شرط الإنتاج الذاتي نجد أن :

$$G_{EF} \geq R_{opt} \qquad (5\text{-}45)$$

بتعويض كل من $G_{EF}$ و $(R_{opt})$ بقيمتها نجد أن:

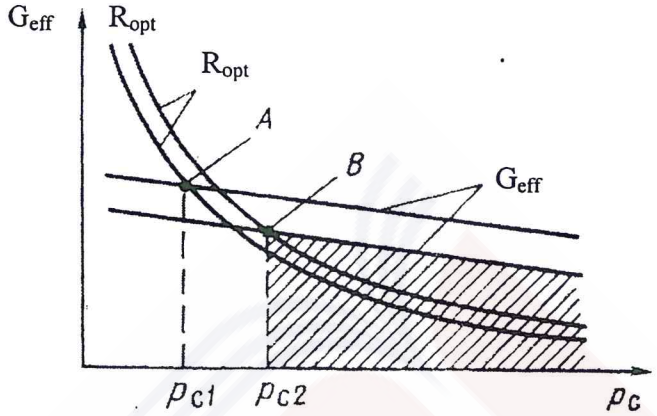
$$\left[G_o - \alpha\left(\frac{P_c + P_y}{2} - P_o\right)\right](1-n) \geq \frac{2,77.10^{-4}.\rho^2.L^2}{d^{0,5}\left(P_c - P_y\right)\ln\frac{P_c}{P_y}}\left(1 - \frac{P_c - P_y}{\rho.g.L}\right) \qquad (5\text{-}46)$$

أو

$$\left[G_o - \alpha\left(\frac{P_c + P_y}{2} - P_o\right)\right](1-n) \geq \frac{2,77.10^{-4}.\gamma^2.L^2}{g^2.d^{0,5}\left(P_c - P_y\right)\ln\frac{P_c}{P_y}}\left(1 - \frac{P_c - P_y}{\gamma.L}\right) \qquad (5\text{-}47)$$

يمكن من العلاقة (5-46) تحديد قيمة ضغط القاع الأصغري الذي يؤدي إلى حدوث الإنتاج الذاتي وذلك عند معرفة قيم $\rho$ و $P_y$ و $L$ و $d$ و $G_o$ .

من أجل تحديد ضغط القاع الأصغري $P_c$ لعملية الإنتاج الذاتي يجب حل المعادلة (5-46) بالنسبة لضغط القاع $P_c$ لكن ذلك مستحيل لأن العلاقة (5-46) متساوية بالنسبة لـــ $P_c$ (أي أن الحد $P_c$ موجود في طرفي العلاقة)، لذلك فإن حل العلاقة (5-46) يتم بانتقاء قيمة محددة لـــ $P_c$ والتي تحول المتراجحة السابقة (5-46) إلى متطابقة و إما بالطريقة البيانية التالية والموضحة بالشكل البياني التالي:




شكل (3-5) – يمثل الحل البياني للعلاقة (46-5)عند ضغط القاع الأصغري للإنتاج المثالي ولقيم أماهة مختلفة لمنتجات البئر.

الشكل (3-5) يوضح المنحنيات البيانية لكل من $G_{EF}$ و $R_{opt}$ بالعلاقة مع ضغط القاع $P_c$. النقطة A والتي هي نقطة تقاطع المنحني (1) $R_{opt}$ مع المنحني (2) $G_{EF}$ واللذين يوافقان القسم الأيمن والأيسر من العلاقة (46-5) هذه النقطة A تعطي القيم التي يكون عندها الطرف الأيسر والأيمن للعلاقة (46-5) متساويين. الضغط المقابل لهذه النقطة يكون هو ضغط القاع الأصغري الذي يحقق عملية الإنتاج الذاتي الذي يتم البحث عنه وبالشروط المعلومة.

عند زيادة نسبة الأماهة $n$ فإن المعامل الغازي الفعال $G_{EF}$ يتناقص بشكل تناسبي، أما الاستهلاك النوعي المثالي للغاز $R_{opt}$ فيزداد على حساب زيادة كثافة المزيج (نفط – ماء)، لهذا السبب فإن نقطة تقاطع المنحني $G_{EF}(P_c)$ والمنحني $R_{opt}(P_c)$ ومن أجل القيمة الجديدة الأكبر للأماهة $n$ تنزاح نحو اليمين (النقطة B). وهكذا فعند تزايد الأماهة فإن قيمة ضغط القاع الأصغري اللازم كي يتم الإنتاج الذاتي ستزداد وهكذا يمكن حساب ضغط القاع الأصغري للإنتاج الذاتي من أجل قيم مختلفة للإماهة $n$ والحصول على العلاقة $P_c(n)$ من أجل إمكانية التنبؤ بحدوث الإنتاج الذاتي.

مجال قيم $P_c$ الأكبر من ضغط القاع الأصغري اللازم لحدوث الإنتاج الذاتي هو المجال الذي يكون ضمنه $G_{EF} \rangle R_{opt}$ (المساحة المهشرة) على الشكل السابق (5-3) وضمنها فقط يمكن أن يحدث الإنتاج الذاتي.

إلى اليسار من النقطة B على الشكل (5-3) يقع المجال الذي لا يحدث عنده إنتاج ذاتي أي : $G_{EF} \langle R_{opt}$ .

**ملاحظة :**

عند حل المعادلة (5-46) فإننا نحصل على قيمة ضغط القاع الأصغري الذي يحقق عملية الإنتاج الذاتي فإذا كان:

أ- $P_{cl} \langle P_c$ أي ضغط حذاء المواسير الإنتاجية $P_{cl}$ أصغر من ضغط قاع البئر فإنه يجب استبدال ضغط القاع $P_c$ بالضغط في نهاية مواسير الإنتاج (حذاء المواسير) $P_{cl}$، هذا إذا كانت نهاية مواسير الإنتاج أعلى من القاع (حالة عدم إنزال مواسير الإنتاج حتى القاع) .

ب- إذا حدث انفصال غاز على مسافة قدرها $L_s$ فإنه يجب استبدال $P_c$ بـ $P_s$ و $L$ بـ $L_s$ .

يتم حساب العمق الحدي لانفصال الغاز $L_s$ من العلاقة (5-46) التي يمكن كتابتها في هذه الحالة بالشكل التالي:

$$G_{EF} = \frac{2,77.10^{-4}.\rho^2.L_s^{\,2}}{d^{0,5}\left(P_s - P_y\right)\ln\frac{P_s}{P_y}}\left(1 - \frac{P_s - P_y}{\rho.g.L_s}\right) \qquad (5\text{-}48)$$

كما أنه يمكننا كتابة العلاقة السابقة (5-48) بالشكل التالي:

$$G_{EF} = A.L_s^2\left(1 - \frac{B}{L_s}\right) \qquad (5\text{-}49)$$

هذا طبعاً بعد فرض أن :

$$A = \frac{2,77.10^{-4}.\rho^2}{d^{0,5}\left(P_s - P_y\right)\ln\frac{P_s}{P_y}} \qquad (5\text{-}50)$$

$$B = \frac{P_s - P_y}{\rho.g} \qquad (5\text{-}51)$$

كما أنه يمكننا كتابة العلاقة (5-49) بالشكل التالي:

$$L_s^2 - B.L_s - \frac{G_{EF}}{A} = o \qquad (5\text{-}52)$$

من المعادلة السابقة (5-52) نجد أن :

$$L_s = \frac{B}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{B}{2}\right)^2 + \frac{G_{EF}}{A}} \qquad (5\text{-}53)$$

لكن ضغط القاع يمكن أن يعطى بالعلاقة التالية:

$$P_c = P_s + (H - L_s).\rho.g \qquad (5\text{-}54)$$

حيث :

$\rho$ كثافة النفط المشبع بالغاز.

$P_s$ ضغط الإشباع .

$H$ عمق البئر.

$L$ عمق إنزال مواسير الإنتاج.

نعوض قيمة $L_s$ من العلاقة (5-53) في العلاقة (5-54) فنحصل على قيمة $P_c$ .

## 5-6 حساب مواسير الإنتاج الذاتي (حساب المصعد الذاتي)

يتراوح إنتاج الآبار الذاتية من ( $m^3/day$ ، 5-1000) فمن أجل تأمين الإنتاج الذاتي تجهز كل الآبار بمواسير إنتاج (Tubing)، التي تنزل عادة حتى قاع البئر المنتجة ذاتياً، كما يمكن بواسطة هذه المواسير الإنتاجية تحسين وبحث الآبار ورفع منتجات الآبار إلى السطح وإجراء عمليات الغسل والتأثير في المنطقة المجارة لقاع البئر (معالجات حمضية، التشقيق الهيدروليكي للطبقات الخ)، أيضاً يمكن استبدال سائل البئر بسائل آخر، كسح البئر بالغاز، قتل البئر عن طريق حقن سائل ثقيل وغيرها من العمليات الضرورية أثناء الإنتاج الذاتي أو أثناء عمليات الإصلاح.

مواسير الإنتاج المستخدمة في عملية الإنتاج الذاتي على الأغلب هي ذات قطر مساو 73,$mm$ وهذا النوع أكثر الأنواع استخداماً ويشكل 85% من النسبة الكلية لاستخدام المواسير الإنتاجية وأحياناً تستخدم المواسير ذات القطر 89,$mm$ عندما تكون إنتاجية البئر الذاتية حوالي عدة مئات من الأمتار المكعبة في اليوم.

غالباً في المرحلة الأولى من الإنتاج يكون أعظمي وفي المراحل اللاحقة يكون مثالي

يعتمد اختيار قطر مواسير الإنتاج الذاتي ليس على الإنتاجية فقط وإنما يعتمد أو يتوقف على الشروط أو الظروف التكنولوجية وسهولة الاستثمار الطبيعي لهذه الآبار وذلك لأنه كما هو معلوم وبشكل دوري فإنه يجب إنزال أجهزة في البئر وذلك بهدف بحث هذه البئر، وهذه الأجهزة مختلفة مثل مقاييس ضغط قاع البئر (المانومترات)، أو أجهزة قياس درجة حرارة القاع، وأجهزة قياس الإنتاجية الخ. كما تظهر أحياناً ضرورة إنزال أجهزة أخذ العينات من القاع، ومن المعلوم بأن كل الأجهزة المذكورة سابقاً هي ذات قطر خارجي حوالي $40,mm$ لذا ومن أجل إنزال هذه الأجهزة إلى قاع البئر بشكل حر وبدون إيقاف البئر عن العمل فإنه من الضرورة بمكان إنزال مواسير إنتاج بقطر داخلي ليس أقل من $73,mm$ كما أن الاستخدام الشائع للمواسير ذات القطر $73,mm$ مرتبط أيضاً بتوضع البارفينات (الشموع) على الجدران الداخلية لمواسير الإنتاج، الأمر الذي يتطلب استخدام الكاشطات الميكانيكية لإزالة هذه الشموع وهذه الكاشطات يجب أن تنزل ضمن مواسير الإنتاج عن طريق كبل من الفولاذ لهذا يجب أن تمر هذه الكاشطات عبر المواسير المذكورة .

تعمل مواسير الإنتاج المستخدمة في عملية الإنتاج الذاتي بإنغمار نسبي في السائل قيمة هذا الإنغمار تعطى بالعلاقة التالية:

$$\varepsilon = \frac{P_{cl} - P_y}{\rho.g.L} \qquad (5\text{-}55)$$

قيمة الانغمار النسبي محصورة ضمن المجال التالي: $[\varepsilon = 0,3 \div 0,65]$

عندما يكون : $0,3 \langle \varepsilon \langle 0,65$

فإن مردود مواسير الإنتاج أثناء عملها بالنظام المثالي والأعظمي لا يختلف في الحالتين كثيراً لذلك يجب السعي دوماً إلى أن تعمل مواسير الإنتاج ضمن المجالين المثالي والأعظمي.

يتميز عمل مواسير الإنتاج بالقرب من النظام الأعظمي $(q_{\max})$ باستقرار أو ثبات أعظمي وذلك لأنه يكون : $\frac{dq}{dv} \cong o$ وهذا يعني بأنه لا يحدث تغير للانتاجية $(dq)$ بتغير ترفق الغاز $(dv)$ (أو بتغير الاستهلاك النوعي للغاز)، وهذا الأمر موضح سابقاً

$q_{opt} \approx 0{,}75\ q_{max}$ في الحدس

في الفصل السابق أما نظام العمل بالقرب من النقطة $q_{opt}$ فيتميز بقليل من الثبات أو الاستقرار والذي يتجلى أو يظهر بتغير أو تأرجح نظام عمل مواسير الإنتاج وهذا يفسر بأن التغيرات القليلة وغير المقصودة لتدفق الغاز تتوافق أو تتطابق مع التغيرات الملموسة للإنتاجة أي : $dq\ /dv\ \rangle 0$ .

يجب الاعتماد على العلاقات البسيطة التي توصل إليها العالم الروسي كريلوف وذلك من أجل تحديد إنتاجية مواسير الإنتاج الذاتي (المصعد) في حالة إنتاج مزيج (سائل – غاز) وذلك لنظامي العمل الأعظمي والمثالي، هذه العلاقات يمكن إيجازها بالعلاقات التالية:

$$q_{\max} = 55.d^3.\left(\frac{P_{cl} - P_y}{\rho.g.L}\right)^{1,5},\ m^3/\sec \qquad (5\text{-}56)$$

$$q_{opt} = q_{\max}.(1-\varepsilon) \qquad (5\text{-}57)$$

لذا فإن الإنتاجية بالنظام الذي يعطي مردود أعظمي ستعطى بالعلاقة التالية:

$$q_{opt} = 55.d^3\left(\frac{P_{cl} - P_y}{\rho.g.L}\right)^{1,5}.\left(1 - \frac{P_{cl} - P_y}{\rho.g.L}\right) \qquad (5\text{-}58)$$

إذا كان: $P_{cl}\rangle P_s$ فإنه يجب تعويض $P_{cl}$ بـ $P_s$ وتعويض $L$ بـ $L_s$ .

يمكن حل هذه العلاقات (5-56) و (5-57) و (5-58) بالنسبة للقطر d فنحصل على القطر (d) كما هو موضح بالعلاقات التالية :

من العلاقة (5-56) نحصل على :

$$d_{\max} = \sqrt[3]{\frac{q_{\max}}{55}\left(\frac{\rho.g.L}{P_{cL} - P_y}\right)^{1,5}},\ \text{m} \qquad (5\text{-}59)$$

ومن العلاقة (5-58) نحصل على :

$$d_{opt} = \sqrt[3]{\frac{q_{opt}}{55}.\left(\frac{\rho.g.L}{P_{cl} - P_y}\right)^{1,5}.\left(\frac{1}{1 - \frac{P_{cL} - P_y}{\rho.g.L}}\right)},\ \text{m} \qquad (5\text{-}60)$$

من الملاحظ بأن العلاقات (5-56) و (5-58) تعطي الإنتاجية أو قدرة مواسير الإنتاج على تمرير كمية عظمى أو مثلى من السائل. من أجل حدوث التوافق أو التطابق

الصحيح بين نظام عمل مواسير الإنتاج مع نظام عمل الطبقة فإنه من الضروري حصول أو حدوث مساواة بين ارتشاح أو تدافق السائل من الطبقة (إنتاجية الطبقة) وقدرة المواسير الإنتاجية على تمرير السائل (إنتاجية مواسير الإنتاج) وذلك لنفس قيمة ضغط القاع $P_c$ أو الضغط عند نهاية (حذاء) مواسير الإنتاج $P_{cL}$.

إن حساب المصعد الذاتي (مواسير الإنتاج الذاتي) باستخدام الصيغ المدونة أعلاه يقود إلى تحديد الإنتاجية العظمى والمثالية المخطط لها للبئر، كما أن الإنتاجية المخطط لها للبئر والمحددة بعلاقة الإنتاجية يجب أن تتوضع في المجال الواقع ما بين الإنتاجية المثالية $q_{opt}$ والإنتاجية العظمى $q_{\max}$ وهذا ما يضمن معامل دور كبير لنظام عمل مواسير الإنتاج ونظام عمل مستقر لها.

هذه الطريقة للحساب (حساب مواسير الإنتاج) تحسن نظام عمل مواسير الإنتاج بالشروط الآنية، لكن لا تأخذ بعين الاعتبار التغيرات الممكنة لشروط الإنتاج الذاتي مع الزمن أو بالنسبة للزمن عادة مع مرور الزمن تسوء ظروف الإنتاج الذاتي فمثلاً تزداد الأماهة، ينخفض الضغط الطبقي، ينخفض المعامل الغازي الفعال، ينخفض معامل الإنتاجية، لذلك عند التخطيط للإنتاج الذاتي ينصح بحساب مواسير الإنتاج (المصعد) عند نظام الإنتاجية الأعظمي في بداية الإنتاج الذاتي وعند نظام الإنتاجية المثالية أيضاً ومن أجل شروط المرحلة النهائية للإنتاج الذاتي.

تحدد إنتاجية البئر المنتجة ذاتياً بإيجاد نظام العمل المشترك بين الطبقة ومواسير الإنتاج، علماً أن القوانين المسيرة لنظام عمل الطبقة واحدة، أما القوانين التي تتحكم بعملية حركة المزيج (سائل – غاز) في مواسير الإنتاج فهي مختلفة.

من الواضح أن زيادة ضغط القاع $P_c$ تؤدي إلى نقصان أو انخفاض جريان أو ارتشاح السوائل من الطبقة إلى البئر، من جهة أخرى فإن نفس الزيادة في ضغط القاع أو الزيادة في ضغط حذاء المواسير $P_{cL}$ تؤدي إلى زيادة إنتاجية مواسير الإنتاج، لذلك إذا كانت القدرة التمريرية لمواسير الإنتاج أصغر من إنتاجية الطبقة فإن كمية السائل الفائضة عن طاقة المواسير الإنتاجية على تمرير السائل ستتجمع في البئر وبالنتيجة فإن ضغط القاع سيزيد (سيرتفع). وهذا يقود إلى زيادة إنتاجية مواسير الإنتاج، من جهة أخرى يقود إلى نقصان إنتاجية الطبقة (المنطقة المجاورة لقاع البئر).

بشكل عام فإن الاستقرار أو الثبات في نظام عمل هذه المجموعة (الطبقة – البئر) يتم عادة عندما تتساوى أو تتعادل إنتاجية الطبقة (كمية السائل الذي تنتجه الطبقة) مع تصريف السائل من خلال مواسير الإنتاج (كمية السائل الذي يخرج عبر مواسير الإنتاج)، هذا التوازن أو التعادل في نظام عمل المجموعة (طبقة – بئر – مواسير إنتاج) سوف يتطابق أو يتوافق مع قيمة معينة لضغط قاع البئر، هذه القيمة يمكن إيجادها من خلال مساواة الإنتاجية للطبقة مع إنتاجية مواسير الإنتاج. رياضياً يمكن التعبير عن ذلك بالعلاقات التالية:

$$q_F = K(P_F - P_c)^n \qquad (5\text{-}61)$$

حيث :

$P_F$ الضغط الطبقي .

$P_c$ ضغط القاع .

$K$ معامل الإنتاجية .

$q_F$ إنتاجية الطبقة المنتجة .

$n$ ثابت.

ولكن قيمة ضغط القاع تعطى بالعلاقة التالية:

$$P_c = P_{cL} + (H - L).\rho.g \qquad (5\text{-}62)$$

إذا كان : $L \langle H$ فإن مواسير الإنتاج مثبتة على عمق $L$ أصغر من عمق البئر $H$ وضغط القاع مساو لضغط حذاء المواسير أي : $P_c = P_{cL}$ .

نعوض قيمة ضغط القاع من العلاقة (5-62) في العلاقة (5-61) فنحصل على :

$$q_F = K\left[P_F - P_{cL} - (H - L)\rho.g\right]^n \qquad (5\text{-}63)$$

لكن الإنتاجية الأعظمية لمواسير الإنتاج ($q_{\max}$) في هذه الحالة تعطى بالعلاقة التالية:

$$q_{\max} = 55.d^3.\left(\frac{P_{cL} - P_y}{\rho.g.L}\right)^{1,5} \qquad (5\text{-}64)$$

بمساواة العلاقتين (5-63) و (5-64) نحصل على قيمة القطر الأعظمي لمواسير الإنتاج $d_{\max}$ :

$$K\left[P_F - P_{cL} - (H - L)\rho.g\right]^n = 55.d^3.\left(\frac{P_{cL} - P_y}{\rho.g.L}\right)^{1,5} \qquad (5\text{-}65)$$

هذه العلاقة محققة عند قيمة محددة لضغط حذاء المواسير $P_{cL}$، طالما أن بقية القيم معلومة، أيضاً نلاحظ أن الطرف اليساري للعلاقة (5-65) ينقص بزيادة $P_{cL}$ بشكل غير خطي، أما الطرف الأيمن فإنه يزداد بشكل قطع مكافئ للقوة 1,5.

تقاطع هذين المنحنيين الممثلين لكل طرف من أطراف العلاقة السابقة يحدد أو يعطي قيمة الضغط عند حذاء المواسير $P_{cL}$ والتي تحقق العلاقة السابقة.

يتم حل العلاقة (5-65) باختيار قيمة معينة للضغط عند حذاء المواسير $P_{cL}$، أو يمكن أن يتم الحل باستخدام الطريقة البيانية المشابهة تماماً لما سبق ذكره أثناء تحديد ضغط القاع الأصغري الذي يحقق الإنتاج الذاتي. بعد الحصول على قيمة الضغط عند حذاء مواسير الإنتاج يتم تعويض هذه القيمة بإحدى العلاقات التي تعطى $(q_{\max})$ أو $(q_{opt})$ فنحصل على إنتاجية البئر الموافقة للضغط عند حذاء مواسير الإنتاج، هذه الإنتاجية التي يتم الحصول عليها بهذه الطريقة هي تلبي أو تحقق نظام العمل المشترك بين الطبقة ومواسير الإنتاج والذي يتوافق مع عمل مواسير الإنتاج عند نظام الإنتاجية الأعظمي لهذه المواسير، بشكل مشابهة يمكن إيجاد إنتاجية مواسير الإنتاج في أثناء عملها بنظام الإنتاجية المثالي، لذلك يجب مساواة الطرف الأيسر من العلاقة (5-65) مع العلاقة التي تحدد $(q_{opt})$ رياضياً يمكن التعبير عن ذلك كالتالي:

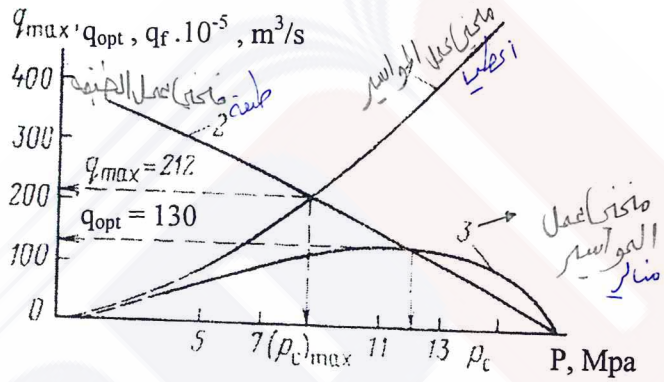
$$K\left[P_{f\cdot}-P_{cL}-(H-L)\rho.g\right]^{n}=55.d^{3}.\left(\frac{P_{cL}-P_{y}}{\rho.g.L}\right)^{1,5}.\left(1-\frac{P_{cL}-P_{y}}{\rho.g.L}\right) \quad , \quad (5\text{-}66)$$

يتم تحديد قيمة الضغط $P_{cL}$ من العلاقة السابقة (5-66) بإيجاد نقطة تقاطع المنحنيين الممثلين للطرفين الأيمن والأيسر من العلاقة السابقة وبعد ذلك يتم تعويض قيمة الضغط $P_{cL}$ التي تم الحصول عليها بمعادلة الإنتاجية $(q_{opt})$ فنحصل على إنتاجية البئر التي تلبي أو تحقق شرط العمل المشترك للطبقة ومواسير الإنتاج بالنظام المثالي.

إذا تم انفصال للغاز على ارتفاع ما $L_s$ في مواسير الإنتاج فإنه يجب استبدال $P_{cL}$ بـ $P_s$ و $L$ بـ $L_s$ إلا أنه في هذه الحالة من الخطأ استبدال $P_{cL}$ بـ $P_s$ لأن $P_s$ ثابتة لذلك هنا يجب أن نكتفي بتعويض $L=L_s$ وهذا يجعل الطرفين الأيمن والأيسر من العلاقة (5-66) متساويين. تعاد نفس الخطوات السابقة التي نفذت سابقاً عند حل المعادلة (5-65) أثناء الحصول على نقطة العمل المشترك للطبقة ومواسير الإنتاج عند

العمل بنظام الإنتاجية الأعظمية في الحالة التي يتم فيها انفصال الغاز ضمن مواسير الإنتاج على ارتفاع معين.

طريقة الحل البياني للمعادلتين (5-65) و (5-66) والمستخدمة في تحديد ضغوط القاع $P_c$ و الإنتاجيات المطابقة لهذه الضغوط وذلك عند توافق عمل الطبقة ومواسير الإنتاج أثناء العمل بنظام الإنتاجية الأعظمي والمثالي هي موضحة بالشكل التالي:




شكل رقم (5-4) – يمثل التحديد البياني لظروف العمل المشترك للطبقة ومواسير الإنتاج

1- يمثل علاقة إنتاجية مواسير الإنتاج بالضغط عند حذاء هذه المواسير $P_{cL}$ في أثناء العمل بنظام الإنتاجية الأعظمي $q_{max}$ أي : $q_{max}=F(P_{cL})$

2- يمثل علاقة إنتاجية الطبقة $q_F$ بضغط حذاء المواسير $P_{cL}$ أي: $q_F=F(P_{cL})$

3- يمثل علاقة إنتاجية مواسير الإنتاج بالضغط $P_{cL}$ في أثناء العمل بنظام الإنتاجية المثالي أي : $q_{opt}=F(P_{cL})$

**ونورد المسألة غير المحلولة التالية كتطبيق عملي لما تقدم ذكره في الفقرة 6-6:**

استخدم المعطيات التالية في سبيل الحصول على قيم ضغوط القاع والإنتاجيات المطابقة لها وذلك عند توافق نظام عمل الطبقة مع نظام عمل مواسير الإنتاج في أثناء نظام العمل المثالي والأعظمي، المعطيات هي التالية:

$P_y = 1{,}5.10^5 \quad ,Pa$ ، $P_F = 170.10^5 \quad ,Pa$

$L = H = 2000 \quad ,m$ ، $P_{cL} = P_c$

$d = 0{,}0503 \quad ,m$ ، $\rho_L = 900 \quad ,kg/m^3$

$m^3/Pa.\sec$ ، $K = 3{,}588.10^{-5}$

$P_{cl} = 50.10^5 - 150.10^5 \quad ,Pa$ ، $n = 0.92$

**الأجوبة :**

$P_{cl} = 8{,}55 \quad ,MPa$ (نقطة تقاطع المنحني 1 و 2) ، $q_{\max} = 212.10^{-5} \quad ,m^3/\sec$

$P_{c2} = 12{,}1 \quad ,MPa$ (نقطة تقاطع المنحني 3 و 2) ، $q_{opt} = 130.10^{-5} \quad ,m^3/\sec$

## 7-5 حساب عملية الإنتاج الذاتي باستخدام منحنيات توزع الضغط في البئر:

إن معرفة حساب وإنشاء منحنيات توزع أو تدرج الضغط على طول مواسير الإنتاج في أثناء جريان مزيج (سائل – غاز) ضمنها وبأية شروط معطاة أو بالشروط السائدة يسمح بحساب عملية الرفع الذاتي بطريقة جديدة، كما يسمح باختيار أو انتقاء قطر مواسير الإنتاج هذه، ويسمح أيضاً باختيار أو انتقاء النظام بشكل كامل .

استخدام منحنيات توزع الضغط $P(X)$ أثناء وضع خطط وتحليل الاستثمار أو أثناء الإنتاج الذاتي (أيضاً أثناء استخدام الطرق الأخرى لاستثمار الآبار) يسمح بحل مجموعة من المشاكل والمسائل الجديدة وغير ممكنة الحل عند استخدام الطرق الحسابية السابقة (الماضية أو القديمة) .

لاحقاً سوف ننطلق من الآتي: بأي شروط أو ظروف معروفة أو معطاة يكون منحني توزع الضغط $P(X)$ ضمن مواسير الإنتاج معروف ومحدد ويمكن إنشاؤه بأي من الطرف المعروفة أو الممكنة.

ننوه إلى أنه من أجل وضع الخطط ومن أجل تحليل عملية الإنتاج الذاتي لا حاجة لتوزع الضغط $P(X)$ على كل طول مواسير الإنتاج، وإنما يكفي معرفة ضغط القاع أو ضغط حذاء المواسير الموافق أو المطابق لضغط القاع المعروف أو المعطى ومعروفة ضغط الفوهة أيضاً عند مؤشرات عمل البئر المعروفة والمعطاة أو العكس أي معرفة ضغط الفوهة (رأس البئر) الموافق أو المطابق لضغط القاع عند معاملات أو مؤشرات عمل البئر المعروفة أو المعطاة، بما أنه لا توجد علاقات عديدة بسيطة وجيدة وفعالة – (عدا العلاقات كريلوف) – تربط بين ضغط القاع وضغط الفوهة عند الشروط المعروفة مسبقاً فإنه لابد من اللجوء إلى إجراء التكامل العددي لعملية حركة المزيج (سائل – غاز) ضمن مواسير الإنتاج هذا يعني إجراء الحساب على مراحل أو على خطوات. وعند اللجوء إلى إجراء التكامل المذكور لابد من معرفة قيمة الضغط في نقاط عديدة واقعة ضمن المجال من البئر المحصور بين الفوهة والقاع (استخدامها غير إلزامي اجباري) .

في البداية سوف نتطرق إلى أبسط حالة:

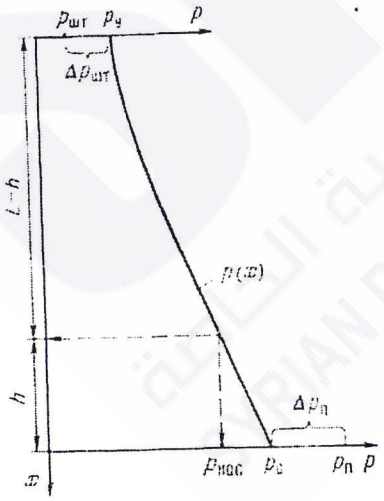
**حالة أولى:** وهي عندما تكون إنتاجية البئر $(Q_2)$ معطاة أو معروفة ويكون ضغط القاع الموافق أو المطابق لهذه الإنتاجية المعلومة معلوم أيضاً.

ننوه أيضاً أنه في كل حالات التخطيط لعملية استثمار البئر بأي طريقة من طرق الاستثمار من الضروري جداً معرفة علاقة الارتشاح (الإنتاجية) بضغط القاع أي من الضروري جداً معرضة الدليل البياني للبئر.

**حالة ثانية:** أي حساب هندسي يصبح غير ممكن إذا لم يتحدث عن قيم مفترضة وممكنة لمؤشرات عمل البئر، وهكذا إذا أعطيت الإنتاجية، فإنه بواسطة الدليل البياني أو بواسطة معادلة الجريان (الارتشاح)، يمكن تحديد ضغط قاع البئر الموافق أو المطابق لهذه الإنتاجية المعروفة أو المعطاة.

بالنسبة لأقطار مواسير الإنتاج الذاتي يتم اختيارها مع الأخذ بعين الاعتبار الشروط التقنية وإمكانية إنزال أجهزة القياس العميقة (من أجل بحث الآبار - أجهزة قياس الضغط والحرارة ألخ) من خلالها في البئر.

ويمكن القول بأنه في أغلب الحالات تستخدم مواسير إنتاج بقطر $d = 60mm$ أو بقطر $d = 73mm$ إلا أن في حالات نادرة تستخدم مواسير إنتاج بقطر $d = 89mm$ وذلك عندما يتوقع إنتاج كميات كبيرة يمكن أن تصل إلى عدة مئات من الأمتار المكعبة يوميا وعندها فقط يمكن التحدث عند استخدام مواسير الإنتاج بأقطار كبيرة $d = 89mm$ في كل الأحوال أو الحالات فإننا نعطى أقطار هذه المواسير لمتابعة الحسابات اللازمة أو تكون أقطار المواسير المستخدمة معروفة أو معطاة. عند معرفة الإنتاجية والمعامل الغازي وكثافة النفط والمياه والأماهة وبعض المعطيات الأخرى مثل درجة الحرارة وتدرجها في عمود البئر ومعامل حجم النفط ومعامل حجم المياه واللازمة لإنجاز حساب منحنيات توزع الضغط نحسب هذه المنحنيات ومن ثم نرسمها وفق قيم كل من $(P)$ الضغوط والأعماق $(X)$، وذلك بدءاً من نقطة معلومة للضغط (نقطة معلوم ضغطها) $(P_c)$ عند قاع البئر أي من النقطة التي ضغطها مساوي $(P_c)$ كما في الشكل (5-5) والشكل (6-5) التاليين:




الشكل (5-5) – يوضح منحنيات توزع الضغط ضمن مواسير الإنتاج بطريقة الحساب من القاع إلى الفوهة (من الأسفل إلى الأعلى) وكيفية تحديد ضغط الفوهة.