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:

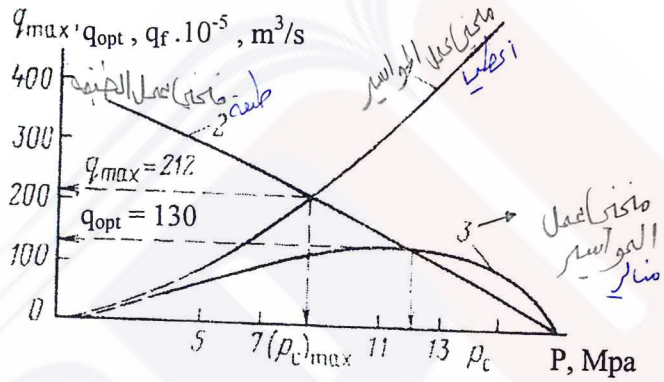
$$K\left[P_{f\cdot}-P_{cL}-(H-L)\rho.g\right]^{n}=55.d^{3}.\left(\frac{P_{cL}-P_{y}}{\rho.g.L}\right)^{1,5}.\left(1-\frac{P_{cL}-P_{y}}{\rho.g.L}\right) \quad , \quad (5\text{-}66)$$

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:

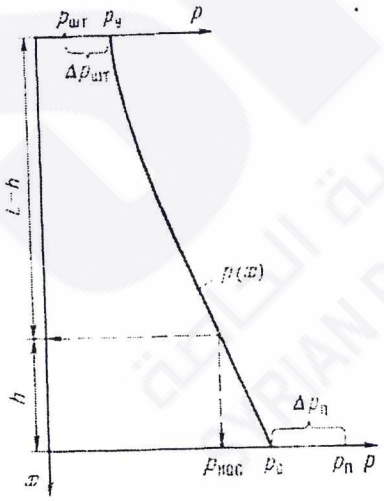
**حالة أولى:** وهي عندما تكون إنتاجية البئر $(Q_2)$ معطاة أو معروفة ويكون ضغط القاع الموافق أو المطابق لهذه الإنتاجية المعلومة معلوم أيضاً.

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.

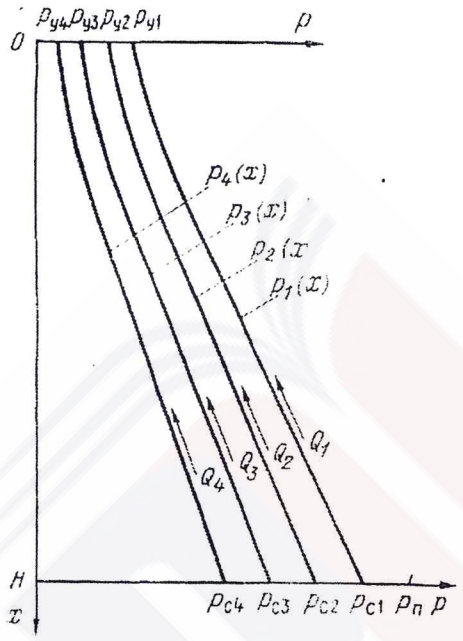
**حالة ثانية:** أي حساب هندسي يصبح غير ممكن إذا لم يتحدث عن قيم مفترضة وممكنة لمؤشرات عمل البئر، وهكذا إذا أعطيت الإنتاجية، فإنه بواسطة الدليل البياني أو بواسطة معادلة الجريان (الارتشاح)، يمكن تحديد ضغط قاع البئر الموافق أو المطابق لهذه الإنتاجية المعروفة أو المعطاة.

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.




الشكل (6-5) – يوضح منحنيات توزع الضغط ضمن مواسير الإنتاج لأربعة أنظمة عمل.

وأثناء ذلك يمكن أن تظهر شروط حساب مختلفة لابد من أخذها بعين الاعتبار هذه الظروف هي التالية:

أ- حذاء مواسير الإنتاج يقع مباشرة عند قاع البئر (أي مواسير الإنتاج منزلة حتى قاع البئر) وهكذا يكون: $P_c = P_{cl}$ أي أن ضغط القاع = ضغط حذاء المواسير.

ب- حذاء مواسير الإنتاج يقع فوق القاع بمسافة معينة $(a)$ مساوية لـ $a = H - L$ وهكذا يكون $P_{cL} \langle P_c$ أي أن ضغط القاع أكبر من الضغط عند حذاء المواسير .

ج- الضغط عند القاع $(P_c)$ (ضغط القاع) أو الضغط عند حذاء المواسير $(P_{cl})$ أكبر من ضغط الإشباع $(P_s)$ أي : $P_c = P_{cl} \rangle P_s$ .

د- ضغط القاع $(P_c)$ أصغر من ضغط الإشباع $(P_s)$ أي أن $P_c \langle P_s$ .

يمكن أيضاً أن يجتمع الشرطين (أ و ج) أو (أ و د) مع بعضهما، أيضاً يمكن أن تجتمع الشروط ب مع ج أو ب مع د .

نفترض مبدئياً أن لدينا أبسط حالة أي: اجتماع الشرطين (أ و د) في هذه الحالة يتحرك المزيج (سائل – غاز) من حذاء المواسير (المنزلة حتى قاع البئر) إلى الفوهة ونفترض

أيضاً أن الحساب ينجز على مراحل متتالية باستخدام العلاقات المطابقة لحركة المزيج (سائل – غاز) وذلك بدءاً من حذاء مواسير الإنتاج من النقطة ذات الضغط المساوي لضغط القاع $(P_c)$ وحتى الفوهة أي أن الحساب سينجز (من الأسفل إلى الأعلى) من القاع حتى الفوهة، في هذه الحالة نحصل على قيمة ضغط الفوهة بجمع قيم تغير الضغط أو هبوط الضغط للمراحل المتتالية رياضياً يعبر عن ذلك بالعلاقة التالية:

$$P_y = P_c - \sum_{1}^{n} \Delta pi \qquad (5\text{-}67)$$

إذا توفرت أو سادت الشروط (أ و ج) فإن انفصال الغاز سيبدأ على ارتفاع أو مسافة معينة ضمن مواسير الإنتاج أي على ارتفاع معين من القاع. أي اعتباراً من النقطة المقابلة لضغط الإشباع، وهذا يعني أنه حتى النقطة المقابلة لضغط الإشباع سوف يتم الحساب باستخدام العلاقات العادية المستخدمة في حالة الجريان ضمن المواسير أو الأنابيب، بمساعدة هذه العلاقات يتم تحديد ضياع الضغط بالاحتكاك ضمن المواسير.

نرمز لطول الجزء من مواسير الإنتاج اعتباراً من القاع حتى نقطة انفصال الغاز عند الضغط $(P_s)$ (ضغط الإشباع) بالرمز $(h)$ وعلى هذا الجزء سوف يتحرك أو يتم جريان سائل وحيد الطور (انظر الشكل 5-5) عندئذ لهذا الجزء الممثل بالمسافة $(h)$ ستكتب العلاقة العامة للضغط بالشكل التالي:

$$P_c = P_\ell + P_{fr} + P_s \qquad (5\text{-}68)$$

حيث :

$P_l$ الضغط الهيدروستاتيكي لعمود السائل ويساوي $P_\ell = \rho_\ell . g . h$.

$\rho_\ell$ كثافة السائل.

$h$ ارتفاع عمود السائل.

$P_{fr}$ ضياع الضغط بالاحتكاك ضمن الجزء ذو الارتفاع $h$ وهو يعطى بالعلاقة التالية:

$$P_{Fr} = \lambda . \frac{h}{d} . \frac{c^2}{2.g} . \rho_\ell . g \qquad (5\text{-}69)$$

حيث:

$c$ سرعة جريان السائل $m/\sec$ ضمن الماسورة.

بتعويض قيمة $P_t$ و $P_{fr}$ في العلاقة (5-68) وحل العلاقة السابقة (5-68) بالنسبة لـــ $h$ نجد أن :

$$h = \frac{P_c - P_s}{\rho_\ell . g\left(1 + \lambda . \frac{c^2}{2.g.d}\right)} \qquad (5\text{-}70)$$

عادة القيمة بين القوسين في المقام صغيرة جداً لذلك يتم إهمالها.

بالنسبة للجزء المتبقي والممثل بـــ $(L-h)$ (انظر الشكل 5-5) من مواسير الإنتاج أي من نقطة إنفصال الغاز الموافقة لضغط الإشباع وإلى الأعلى سوف يتم جريان مزيج (سائل – غاز) ثنائي الطور لذلك فإن ضغط الفوهة هنا في هذا الجزء سيحدد بالعلاقة التالية:

$$P_y = P_s - \sum_{i=1}^{n} \Delta pi \qquad (5\text{-}71)$$

إذا توفر أو ساد الشرط (ب) هذا يعني عندما يكون حذاء المواسير أعلى من القاع أو فوق القاع بقيمة أو بمسافة قدرها $a$ ومساوية $a = H - L$ على هذا الجزء يستخدم قطر مواسير التغليف مكان قطر مواسير الإنتاج عند حساب توزع أو تدرج الضغط. في هذه الحالة هنا يمكن إهمال ضياع الضغط بالاحتكاك لأنه صغير (عند استخدام أو استبدال قطر مواسير التغليف بقطر مواسير الإنتاج) وذلك بسبب القطر الكبير لمواسير التغليف.

يحدد ضغط الفوهة $P_y$ في هذه الحالة إما بالعلاقة (5-67) أو بالعلاقة (5-71) وذلك تبعاً لانفصال الغاز اعتباراً من القاع عندها نستخدم العلاقة (5-67) أو انفصاله ضمن مواسير الإنتاج عندها نستخدم العلاقة (5-71). بعد حساب منحني توزع الضغط وتحديد ضغط فوهة البئر الموافق أو المطابق لنظام عملها، نقارن قيمة ضغط الفوهة المحسوب $P_y$ مع ضغط خط الطرد $P_t$ الذي يمكن منتجات البئر من الوصول إلى نظام تجميع النفط والغاز أي يمكنها من الوصول إلى محطات تجميع النفط والغاز.

إذا كان $P_y \rangle P_t$ فإن عمل البئر ممكن بالنظام المحسوب (إنتاج الذاتي) والضغط الإضافي أو الزائد على الفوهة $\left(\Delta P_{wt} = P_y - P_t\right)$ يمكن أن يخفض أو يقلل بتشكيل ضغط هيدروستاتيكي إضافي معاكس في تجهيزات رأس البئر ويتم ذلك بتركيب صمامات أو فالات تحكم خاصة في تجهيزات رأس البئر السطحية من خلالها يتم

التحكم بجريان المزيج (سائل – غاز) وتقليل كميته وقيمة ضغط الفوهة $P_y$ حتى القيمة المساوية لضغط خطر الطرد.

إذا أظهر الحساب أن: $P_y \langle P_\ell$ فإن عمل البئر بنظام الإنتاج الذاتي المخطط له غير ممكن، في هذه الحالة من الضروري إعطاء قيم أقل للإنتاجية البئر $(Q)$ ومن خلال ذلك فإن ضغط القاع سيزداد، وهذا سيؤدي بدوره إلى زيادة ضغط فوهة البئر بشكل كبير. عند تغيير الإنتاجية وبالنتيجة تغيير ضغط القاع يمكن الحصول على العلاقة بين ضغط الفوهة وضغط خط الطرد أو النقل أو التجميع $(P_\ell)$التي يتحقق عندها الإنتاج الذاتي أي يمكن الوصول إلى الشرط اللازم لحدوث الإنتاج الذاتي أي: $P_y \geq P_\ell$ عندها فقط سيكون الإنتاج الذاتي ممكناً.

عند إنشاء منحنيات توزع الضغط إذا لم تحقق أية ثنائية الإنتاجية $(Q)$ والقيمة الموافقة لضغط القاع $(P_c)$ العلاقة التالية: $P_y \geq P_\ell$ فإن الإنتاج الذاتي من تلك البئر غير ممكن إطلاقاً أي لا يمكن لهذه البئر أن تنتج ذاتياً على الإطلاق.

نظام حساب عملية الإنتاج الذاتي الموضوع سابقاً يمكن أن يكرر أو يعاد من أجل مواسير إنتاج ذات قطر أصغر أو أكبر وذلك من أجل تحديد الأنظمة الممكنة لعملية الإنتاج الذاتي وتحديد إنتاجية البئر باستخدام مواسير إنتاج بأقطار أخرى.

نتطرق الآن إلى الحالة الأخرى الأكثر شيوعاً عندما تظهر ضرورة تحديد الظروف الممكنة وغير الممكنة لحدوث عملية الإنتاج الذاتي للبئر المنتجة عند ذلك سوف نفترض أن كل من المعدلات المنتجة من السوائل أو المخطط لإنتاجها من الطبقة هي مفترضة وهي لا تتناقض مع مبادئ الاستثمار المنظم للممكن.

أ- نعطي عدد من ضغوط القاع $(P_{cl})$ والتي تقع ضمن المجال التالي: $P_{\min} \langle P_{cl} \langle P_F$

حيث :

$P_F$ الضغط الطبقي .

$P_{\min}$ ضغط القاع الأصغري أو أصغر ضغط قاع لا تحدث عنده عملية الإنتاج الذاتي للبئر.

ب- نحدد قيم الإنتاجية $(Q_i)$ من السوائل المطابقة أو الموافقة لقيم ضغوط القاع $(P_{cl})$ السابقة الذكر وذلك باستخدام معادلة الارتشاح أو باستخدام الدليل البياني للبئر.

ج- نحسب منحنيات توزع الضغط بعد أن نعطي قيمة محددة أو معينة لقطر مواسير الإنتاج $P(X)$ وذلك بطريقة من الأسفل إلى الأعلى من أجل قيم ضغوط القاع المأخوذة $(P_{cl})$ وقيم الإنتاجية الموافقة لها $(Q_i)$. في النهاية نحصل على عدد من المنحنيات $P(X)$ كما في الشكل (6-5) .

د- بواسطة أو عن طريق المنحنيات السابقة $P(X)$ نحدد $(i)$ قيمة لضغط الفوهة أي نحدد عدد من ضغوط الفوهة $P_{yi}$ .

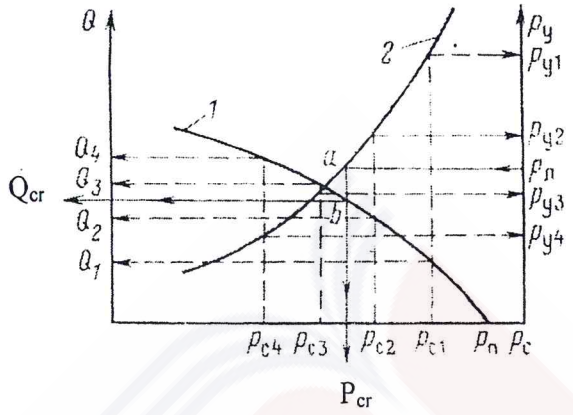
هـ- من المنحنيات السابقة نحصل على مجموعة من المعطيات تتضمن عدد من قيم ضغط القاع $P_{ci}$ و عدد من قيم ضغط الفوهة $P_{yi}$ وعدد من قيم الإنتاجية $(Q_i)$.

كل ضغط قاع محدد $P_{ci}$ يوافق أو يطابق إنتاجية محددة للبئر $(Q_i)$ وضغط فوهة محسوب $P_{yi}$، وطالما أن الزيادة في قيمة ضغط القاع $P_{ci}$ تؤدي إلى أو تترافق مع انخفاض في قيمة الإنتاجية $Q_i$، وكقاعدة زيادة في قيمة ضغط الفوهة $P_{yi}$ فإن نظام المعطيات الذي يتم الحصول عليه سوف يقع ضمن العلاقات التالية:

$$\left.\begin{array}{l} P_{c1} \rangle P_{c2} \rangle P_{c3} \rangle \ldots\ldots \rangle P_{ci} \\ Q_1 \langle Q_2 \langle Q_3 \langle \ldots\ldots \langle Q_i \\ P_y \rangle P_{y2} \rangle P_{y3} \rangle \ldots\ldots \rangle P_{yi} \end{array}\right\} \qquad (5\text{-}72)$$

بواسطة المعطيات السابقة التي يتم الحصول عليها (5-72) يمكن إنشاء أو تمثيل العلاقتين التاليتين : $Q = F_1(P_c)$ و $P_y = F_2(P_c)$

بيانياً بالشكل (5-7). التمثيل البياني السابق يمثل نظام العمل المشترك للطبقة ومصعد المزيج (سائل - غاز) أي يمثل نظام العمل المشترك للطبقة ومواسير الإنتاج التي يتم ضمنها حركة المزيج (سائل - غاز) .




شكل (7-5) – يوضح تطابق الدليل البياني (1) مع ضغط الفوهة بالعلاقة مع ضغط قاع البئر $(P_c)$ (2). النقاط (a و b) تبين أنظمة الإنتاج الذاتي الممكنة وغير الممكنة.

يسمى ضغط قاع البئر $(P_c)$ بالنقطة المشتركة لنظام عمل الطبقة ومواسير الإنتاج. ننوه إلى أن نقصان أو انخفاض قيمة ضغط القاع $(P_c)$ لا تؤدي دوماً إلى نقصان أو انخفاض قيمة ضغط الفوهة $(P_y)$ أي أنه ليس بالضرورة أن يترافق انخفاض ضغط القاع مع نقصان أو انخفاض ضغط الفوهة كما هو موضع بالشكل (7-5). تغير ضغط القاع $(P_c)$ المترافق مع التغير المطابق لقيم الإنتاجية $(Q)$ يقود إلى تغير نظام عمل مصعد المزيج (سائل – غاز) (مواسير الإنتاج) ، الذي بظروف أو بشرط محددة يمكن أن يتوافق أو يتطابق مع نظام الإنتاجية الأمثل أو مع نظام الإنتاجية الأعظمي أو يملك نظام ما يقع ضمن المجالين الأمثل والأعظمي.

معامل المردود لهذه الأنظمة السابقة الذكر مختلف، وهذا يمكن أن يقود إلى علاقات مختلفة لضغط الفوهة بضغط القاع، وبالتحديد يقود إلى علاقات ذات قيم عظمى أو صغرى، وهذا يظهر عند حساب منحنيات توزع الضغط. يمكن وضع قيمة الضغط في خط الطرد $(P_t)$ على المحور $(P_y)$، تقطع قيمة الضغط $(P_t)$ الموجودة على المنحني الممثل بالشكل (7-5) الأنظمة الممكنة لعملية الإنتاج الذاتي لشروط هذه البئر. النقطة $(a)$ توافق ضغط الفوهة الأصغري المفترض $P_y = P_t$، أما مسقطها على محور السينات فيحدد ضغط القاع الحرج $(P_{cr})$ الموافق لهذا النظام. تقاطع العمود مع منحني الإنتاجية $Q(P_c)$ (النقطة b) يعطي الإنتاجية الحرجة للبئر $Q_{cr}$ والتي تؤدي زيادتها

عن القيمة $Q_{cr}$ إلى ضغط فوهة أصغر من الضغط $(P_\ell)$ أي ستؤدي إلى كون: $P_y \langle P_\ell$، وبهذا الشكل فإن منطقة أنظمة الإنتاج الذاتي للبئر المتوضعة يسار العمود المار عبر النقاط a و b هي غير حقيقية، أما المنطقة أنظمة الإنتاج المتوضعة إلى يمين العمود المذكور فهي حقيقية وواقعية، وهكذا بالشروط $P_c$ ، $Q$، $P_y$ فإن الطاقة الطبقية تزيد أو تكون أكبر من الطاقة الطبقية الضرورية لرفع السائل هذه الزيادة في الطاقة الطبقية تسبب ضغط فوهة $(P_y)$ أعلى أو أكبر من الضغط في خط الطرد $(P_\ell)$. من أجل امتصاص أو ابتلاع هذه الطاقة الزائدة تستخدم الفالات أو الصمامات التي يتشكل فيها فرق ضغط مساوي لـ : $\Delta P_{wl} = P_y - P_\ell$.

يمكن تلخيص حساب عملية الإنتاج الذاتي باستخدام منحنيات توزع الضغط (باستخدام الطريقة البيانية) بالشكل التالي:

تستند الطريقة البيانية لحساب مؤشرات عملية الإنتاج الذاتي إلى استخدام المنحنيات التالية :

1- منحنيات الأدلة البيانية للآبار والمعبر عنها بالعلاقة : $Q = F(P_c)$ يتم الحصول على هذه المنحنيات أثناء معالجة معطيات بحث الآبار بالشروط النظامية هذه المنحنيات موضحة بالشكل (8-5).

2- المنحنيات المميزة لعمل مواسير الإنتاج (المصعد) والمعبر عنها بالعلاقة $Q = F(P_{cL})$ وذلك من أجل قيم مختلفة وثابتة للقطر وضغط الفوهة والأماهة وعمق الإنزال أي من أجل : $P_y, B, H, d = const$ و $d_3 \rangle d_2 \rangle d_1$.

يحدد عمق إنزال المواسير بإحدى العلاقتين التاليتين:

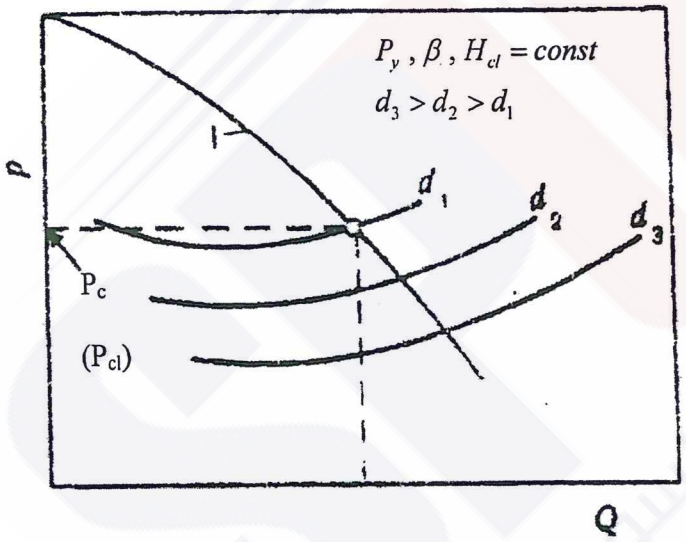
$$H_{cL} = L_c - \frac{P_c - P_s}{\rho_\ell \cdot g} \qquad (5\text{-}73)$$

$$H_{cL} = L_c \qquad (5\text{-}74)$$

كما أن المنحنيات المميزة لعمل مواسير الإنتاج يمكن أن تحسب بالعلاقات التي تحدد $d_{opt}$ و $d_{\max}$ وذلك عند قيم مختلفة لضغط الفوهة $P_y$ والأماهة $\beta$ وعمق الإنزال $H_{cL}$. هذه المنحنيات المميزة لعمل مواسير الإنتاج موضحة بالشكل (8-5) .

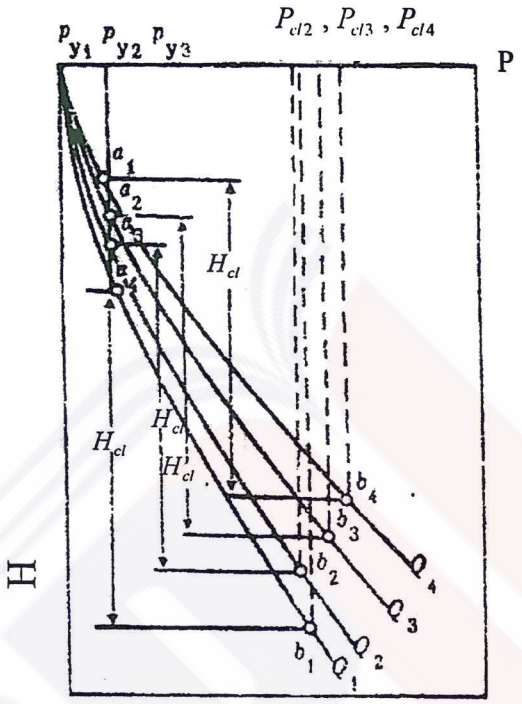
3- منحنيات تدرج أو توزع الضغط على طول مواسير الإنتاج والمعبر عنها بالعلاقة: $P = f(H)$ والتي يتم إنشاؤها بطريقة خاصة موضحة في القسم العملي (انظر الفصل الأول من كتاب هندسة الإنتاج 1+2 القسم العملي)، هذه المنحنيات يتم إنشاؤها من أجل قيم مختلفة للإنتاجية $Q$ وقيم مختلفة لأقطار مواسير الإنتاج والأماهة، الشكل (5-9) يوضح منحنيات توزع الضغط على طول مواسير الإنتاج.

4- منحنيات مميزة لعمل مواسير الإنتاج من أجل قيم مختلفة لضغط الفوهة $P_y$ وقيم مختلفة للقطر والأماهة وعمق الإنزال هذه المنحنيات موضحة بالشكل رقم (5-10).

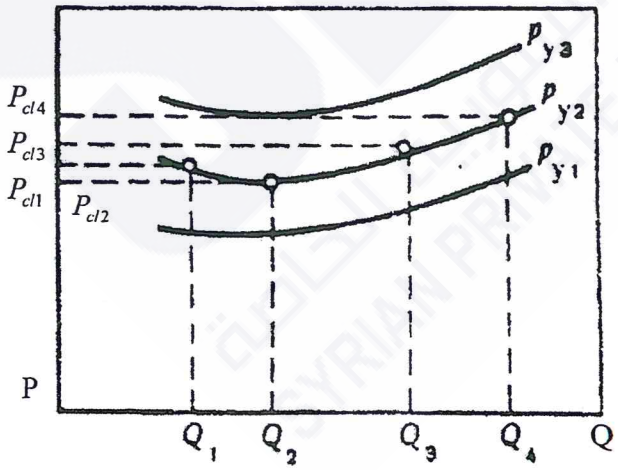



شكل رقم (5-8) – يوضح الدليل البياني والمنحنيات المميزة لعمل لمواسير الإنتاج

$d_3; d_2; d_1$ ، حيث: $d_3 \rangle d_2 \rangle d_1$ و $(P_y; \beta; H_{cl}) = const$




شكل رقم (9-5) – يوضح منحنيات تدرج الضغط على طول مواسير الإنتاج عند قيم مختلفة للإنتاجية وبالشروط $d;\beta = const$ و $Q_1 \langle Q_2 \langle Q_3 ..... \langle Q_4$




شكل رقم (10-5) – يوضح المنحنيات المميزة لعمل مواسير الإنتاج في حالة كون $P_{y3} \rangle P_{y2} \rangle P_{y1}$ و .