2-6 أنظمة الرفع الغازي (أنظمة مواسير الانتاج المستخدمة في عملية الرفع الغازي)

هناك أربعة أنظمة معروفة للرفع الغازي وهي :

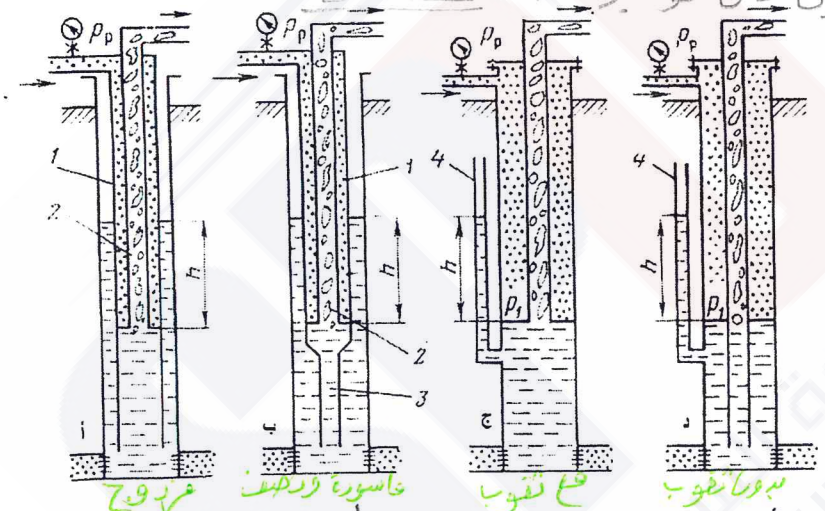
1- النظام المزدوج .

2- نظام منفرد بدون ثقوب تشغيل.

3- نظام منفرد مع ثقوب تشغيل.

4- نظام ماسورة ونصف الماسورة .

هذه الأنظمة السابقة موضحة بالأشكال التالية:



شكل رقم (أ-2-6) – يوضح النظام المزدوج. شكل رقم (ب-2-6) يوضح النظام المنفرد بدون ثقوب تشغيل في نهاية مواسير الإنتاج. شكل رقم (ج-2-6) يوضح النظام المنفرد مع ثقوب تشغيل في مواسير الإنتاج. شكل رقم (د-2-6) يوضح النظام الماسورة والنصف.

تنزل المجموعة الأولى لمواسير الإنتاج حتى المجال المثقب من الطبقة المنتجة، أما المجموعة الثانية فتنزل تحت المستوى الديناميكي للسائل على العمق الموافق لضغط عمل الغاز، وهكذا فإن مقدار انغمار حذاء مواسير الإنتاج (المجموعة الثانية) تحت المستوى الديناميكي يعبر عنه بواحدة الضغط، ويكون مقدار هذا الانغمار دائماً مساوياً لضغط عمل الغاز أي :

$$P_1 = \rho.g.h' + P_z \qquad (6\text{-}4)$$

$$h = h' + \frac{P_z}{\rho.g} \qquad (6\text{-}5)$$

حيث :

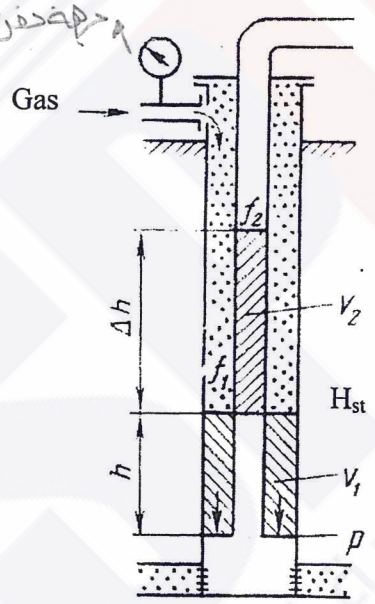
h – انغمار المواسير ضمن المستوى الديناميكي للسائل في البئر.

h' – ارتفاع عمود الغاز ضمن الفراغ الحلقي.

P_z – هي عبارة عن ضغط الفراغ الحلقي.

3-6 تشغيل البئر المنتجة بالرفع الغازي (حساب ضغط بداية التشغيل) :

عند بداية تشغيل البئر المنتجة بالرفع الغازي يكون مستوى السائل في وضعية معينة هذه الوضعية موضحة بالشكل التالي: شكل رقم (3-6)



شكل رقم (3-6) – يوضح وضع مستوى السائل في البئر عند بداية تشغيلها بطريقة الرفع الغازي.

من الشكل السابق نلاحظ أنه كي تبدأ البئر بالعمل يجب أن تحقق المساواة التالية:

$$V_2 = \alpha . V_1 \qquad (6\text{-}6)$$

V_2 : حجم السائل الموجود ضمن مواسير الإنتاج.

V_1 : حجم السائل المزاح من الفراغ الحلقي.

α : معامل إبتلاع السائل من قبل الطبقة.

ملاحظة: تم اهمال سماكة مواسير الانتاج وناخذ القطر الخارجي

وهذا المعامل يمكن أن يكون أصغر أو أكبر من الواحد أي :

$\alpha < 1$: هذا يعني أن قسماً من السائل يبتلع من قبل الطبقة المنتجة.

$\alpha = 1$: هذا يعني أنه لا يوجد ابتلاع للسائل يبتلع من قبل الطبقة المنتجة.

$\alpha > 1$: هذا يعني أن كل السائل يبتلع من قبل الطبقة المنتجة.

من الشكل السابق (3-6) نجد أن :

$$V_2 = F_\ell . \Delta h \qquad (6\text{-}7)$$

$$V_1 = F_g . h \qquad (6\text{-}8)$$

حيث :

F_ℓ : مساحة مقطع المواسير الإنتاجية التي يمر فيها المزيج (سائل – غاز) .

F_g : مساحة مقطع الفراغ الحلقي حيث يتم حقن الغاز.

من العلاقتين (6-7) و (6-8) وبعد التعويض في العلاقة (6-6) نجد أن:

$$\Delta h = \alpha . h . \frac{F_g}{F_\ell} \qquad (6\text{-}9)$$

في لحظة إطلاق البئر المنتجة بالرفع الغازي (بداية تشغيل البئر) أي عندما يزاح مستوى السائل في الفراغ الحلقي حتى نهاية حذاء مواسير الإنتاج فإن ضغط الغاز المؤثر على هذا المستوى للسائل سوف يتوازن أو يتعادل مع الضغط الهيدروستاتيكي لعمود السائل ذو الارتفاع $h + \Delta h$.

يسمى الضغط الأعظمي للغاز والذي تتم عنده إزاحة تامة لمستوى السائل في الفراغ الحلقي حتى حذاء مواسير الإنتاج بضغط بداية التشغيل وتعطى قيمته بالعلاقة التالية:

$$P_{st} = \rho . g (h + \Delta h) \qquad (6\text{-}10)$$

بتعويض Δh بقيمتها من العلاقة (6-9) نجد أن :

$$P_{st} = \rho . g . h \left(1 + \alpha \frac{F_g}{F_\ell} \right) \qquad (6\text{-}11)$$

العلاقة السابقة صالحة فقط للآبار العمودية أو الشاقولية، أما بالنسبة للآبار المائلة بزاوية β عن الشاقول فإن ضغط بداية التشغيل يعطى بالعلاقة التالية:

$$P_{st} = \rho . g . h . \left(1 + \alpha \frac{F_g}{F_\ell} \right) . \cos \beta \qquad (6\text{-}12)$$

تسمى العلاقة (6-12) بالعلاقة العامة لتحديد ضغط بداية التشغيل لجميع أنظمة الرفع الغازي المنفرد والمزدوج المحيطي والمركزي، وذلك بعد الأخذ بعين الاعتبار قيم F_g و F_ℓ الموافقة لكل نظام. بتحديد قيم F_g و F_ℓ لكل نظام نحصل على قيمة ضغط بداية التشغيل، فمثلاً من أجل النظام المنفرد الموضح بالشكل رقم (ج- 2-6) نجد أن :

أ- في حالة الرفع المنفرد المحيطي لدينا :

$$F_g = \frac{\pi}{4}\left(D_i^2 - d_E^2\right) \qquad (6\text{-}13)$$

$$F_\ell = \frac{\pi}{4}\left(d_i^2\right) \qquad (6\text{-}14)$$

بتعويض قيم F_g و F_ℓ السابقة في العلاقة P_{st} نحصل على:

$$P_{st} = \rho.g.h\left(1+\alpha\frac{D_i^2 - d_E^2}{d_i^2}\right) \qquad (6\text{-}15)$$

في حالة كون: $d_E = d_i = d$ و $\alpha = 1$ أي لا يوجد هناك إبتلاع للسائل من قبل الطبقة فإن العلاقة (6-15) تصبح على الشكل التالي:

$$P_{st} = \rho.g.h\,\frac{D_i^2}{d^2} \qquad (6\text{-}16)$$

ب- في حالة الرفع المنفرد المركزي لدينا :

$$F_g = \frac{\pi}{4}\left(d_i^2\right) \qquad (6\text{-}17)$$

$$F_\ell = \frac{\pi}{4}\left(D_i^2 - d_E^2\right) \qquad (6\text{-}18)$$

بتعويض قيم F_g و F_ℓ السابقة في العلاقة العامة نحصل على قيمة P_{st} :

$$P_{st} = \rho.g.h\left(1+\alpha\frac{d_i^2}{D_i^2 - d_E^2}\right) \qquad (6\text{-}19)$$

في حالة كون: $\alpha = 1$ و $d_E = d_i = d$ فإن العلاقة (6-19) يمكن أن تكتب بالشكل التالي:

$$P_{st} = \rho.g.h.\,\frac{D_i^2}{D_i^2 - d^2} \qquad (6\text{-}20)$$

بنفس الطريقة يمكن الحصول على قيمة P_{st} ضغط بداية التشغيل للنظام المزدوج المحيطي والمركزي، وذلك بعد تبديل قيم F_g و F_ℓ الموافقة في العلاقة (6-12).

إذا كان: $L\langle h+\Delta h$ فإن سائل البئر سيتدفق من الفوهة إلى خط التجميع مباشرة وضغط بداية التشغيل في هذه الحالة سيعطى بالعلاقة التالية:

$$P_{st.\max}=\rho.g.L.\cos\beta+P_{\ell} \qquad (6\text{-}21)$$

حيث :

P_{ℓ} : ضغط خط التجميع أو خط الطرد .

لكن قيمة ضغط بداية التشغيل المحسوبة سابقاً هي منسوبة إلى نهاية أو إلى حذاء مواسير الإنتاج، لكن قيمة ضغط بداية التشغيل الحقيقية عند فوهة البئر سوف تكون أصغر من القيمة المحسوبة سابقاً بمقدار قيمة الضغط الهيدروستاتيكي لعمود الغاز ضمن المواسير الإنتاجية، رياضياً يعبر عن ذلك بالشكل التالي.

$$P_{st.y}=P_{st}-\Delta P \qquad (6\text{-}22)$$

حيث :

ΔP – يمكن أن يعطى بالعلاقة التالية :

$$\Delta P=\rho_g.g.L.\cos\beta \qquad (6\text{-}23)$$

وكثافة الغاز ρ_g ستعطى في هذه الحالة بالعلاقة التالية :

$$\rho_g=\rho_o\frac{(P_{st}+P_o).T_o}{P_o.Z_m.T_m} \qquad (6\text{-}24)$$

حيث :

T_m و Z_m درجة الحرارة الوسطية ومعامل الإنضغاطية الوسطي للغاز .

P_o : الضغط الجوي القياسي أو النظامي

T_o : درجة الحرارة القياسية أو النظامية بعد التعويض تصبح العلاقة (6-22) بالشكل التالي:

$$P_{st.y}=P_{st}-\rho_o\frac{(P_{st}+P_o).T_o}{P_o.Z_m.T_m}.g.L.\cos\beta \qquad (6\text{-}25)$$

وهكذا نستنتج مما سبق أن ضغط بداية التشغيل يتعلق بمقدار انغمار نهاية مواسير الإنتاج تحت المستوى الستاتيكي للسائل في البئر وبالنسبة بين أقطار مواسير الإنتاج والتغليف، وبنظام عمل مواسير الإنتاج (نظام مركزي أو محيطي).

كما أنه يمكن القول بأن أية علاقة محددة لضغط بداية التشغيل يمكن إرجاعها إلى العلاقة المختزلة التالية:

$$P_{st} = \rho.h.g.m \qquad (6\text{-}26)$$

حيث :

m : معامل يحدد بالنسب ما بين أقطار المواسير مع الأخذ بعين الاعتبار سماكة جدرانها أو بدون الأخذ بعين الإعتبار هذه السماكة، تعطى قيم المعامل (m) في جدول خاص كما هو مدون أدناه.

المعامل (m)	نظام منفرد		نظام مزدوج	
	مركزي	محيطي	مركزي	محيطي
عند الأخذ بعين الاعتبار سماكة جدران مواسير الإنتاج	1.1335	8.49	1.1535	1.285
بدون الأخذ بعين الاعتبار سماكة جدران المواسير	1.1261	8.93	1.1261	1.308

جدول (1-6) – يوضح قيم المعامل (m) لكل نظام من أنظمة الرفع الغازي.

ملاحظة : الجدول السابق مأخوذ من أجل قيم أقطار المواسير الأكثر استخداماً حيث:

$$D_i = 150{,}3 \quad mm \quad ; \quad d_{1E} = 101{,}6 \quad mm \quad ; \quad d_{1i} = 88{,}9 \quad mm$$
$$d_{2E} = 60{,}3 \quad mm \quad ; \quad d_{2E} = 50{,}3 \quad mm \quad ; \quad \alpha = 1$$

في حالة ابتلاع الطبقة للسائل أي عندما يكون : $\alpha < 1$ فإن ضغط بداية التشغيل سيكون أقل. يتعلق معامل ابتلاع الطبقة للسائل بعدة عوامل مثل معامل إنتاجية البئر، وتخلخل الضغط المحدد بالمعامل (m) والفترة الزمنية لتشغيل البئر ولزوجة السائل ... الخ، لكن هذا المعامل (α) يمكن أن يحدد دائماً عن طريق معرفة ضغط بداية التشغيل الحقيقي.

عند مساواة الطرف الأيمن للعلاقة (6-12) مع ضغط بداية التشغيل الحقيقي المقاس ($P_{st.r}$) وحل المساواة بالنسبة للمعامل (α) نحصل على :

$$P_{st.r} = h.\rho.g.\left(1 + \alpha \frac{F_g}{F_\ell}\right)\cos\beta \qquad (6\text{-}27)$$

بحل العلاقة السابقة بالنسبة لـ (α) نجد أن:

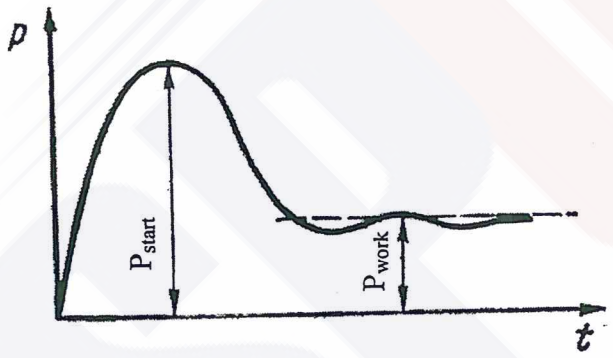
$$\alpha = \left[\frac{P_{st.r}}{\rho.g.h.\cos\beta} - 1\right].\frac{F_\ell}{F_g} \qquad (6\text{-}28)$$

من الواضح من خلال العلاقة السابقة بأن قيمة المعامل (α) غير ثابتة للبئر الواحدة وإنما تتعلق بسرعة وتيرة تشغيل البئر، فكلما كانت سرعة وتيرة تشغيل البئر أكبر كلما اقتربت قيمة المعامل (α) من الواحد الصحيح وبالتالي فالطبقة المنتجة لا تكون قادرة على امتصاص أو ابتلاع السائل، كما أنه يمكن كتابة العلاقة (6-6) بالشكل التالي:

$$\alpha = \frac{V_2}{V_1} \qquad (6\text{-}29)$$

$$\Delta V = V_1 - V_2 = V_1 - \alpha . V_1 = V_1(1-\alpha) \qquad (6\text{-}30)$$

إن ضغط بداية التشغيل يتغير تبعاً لزمن تشغيل البئر، ويمكن التعبير عن هذا التغير بالمخطط البياني التالي:



شكل رقم (6-4) – يوضح تغير ضغط بداية التشغيل بالعلاقة مع زمن تشغيل البئر.

من الشكل السابق نلاحظ أن ضغط بداية التشغيل يبلغ القيمة العظمى عند لحظة بداية تشغيل البئر وفي هذه اللحظة يكون نظام عمل البئر غير مستقر ومن ثم يبدأ الضغط بالانخفاض بشكل حاد ومفاجئ حتى يبلغ قيمة ثابتة محددة، تدعى هذه القيمة الثابتة بضغط العمل وعندها يصبح عمل البئر مستقراً .

يكون بين كل مرحلة 20% من الانزال

4-6 طرق إنقاص ضغط بداية التشغيل :

تستخدم عادة عدة طرق لإنقاص ضغط بداية التشغيل في الآبار المنتجة بالرفع الغازي وأهم هذه الطرق:

1- استخدام ضواغط إطلاق (بداية تشغيل) خاصة قادرة على توليد ضغط معادل لضغط بداية التشغيل واللازم لبدء عملية رفع منتجات البئر المنتجة بالرفع الغازي من القاع إلى السطح .

لهذه الضواغط مواصفات فنية وتقنية معينة تؤخذ عادة من الكاتالوكات الخاصة بهذه الضواغط.

2- الإنزال المتتالي لمواسير الإنتاج أو ما يسمى بزيادة عمق إنزال حذاء مواسير الإنتاج تحت المستوى الستاتيكي، تحدد المسافة (h) التي ستنزل إليها مواسير الإنتاج تحت المستوى الستاتيكي للسائل في البئر بالعلاقة التالية :

$$P_K = P_{st} = h_1.\rho.g\left(1+\alpha\frac{F_g}{F_\ell}\right).\cos\beta \qquad (6\text{-}31)$$

من العلاقة السابقة يمكن الحصول على قيمة انغمار حذاء مواسير الإنتاج تحت المستوى الستاتيكي :

$$h_1 = \frac{P_K}{\rho.g\left(1+\alpha\frac{F_g}{F_\ell}\right).\cos\beta} \qquad (6\text{-}32)$$

حيث :

P_k : الضغط الذي يولده الضاغط (ضغط الحقن).

h_1 : المسافة التي سينزل إليها حذاء مواسير الإنتاج تحت المستوى الستاتيكي للسائل في البئر.

يتم تغيير أعماق إنزال حذاء مواسير الإنتاج عدة مرات وذلك بعد رفع تجهيزات رأس البئر وإنزال حذاء مواسير الإنتاج تحت المستوى الستاتيكي للسائل لمسافة قدرها (h_1) وتكسح البئر بالغاز حتى يتم خروج الغاز النقي من فوهة البئر، وبذلك فإن قسم من سائل البئر سيخرج خارج البئر من الفوهة، تكرر العملية مرات عديدة مع مراعاة أن $h_i \langle h_1$ بمقدار (10-30%) في كل مرة، لكن لوحظ أن هذه العملية مرهقة جداً وذات فعالية محدودة وتستخدم فقط في الآبار ذات معامل الإنتاجية القليل.

3- تبديل نظام عمل مجموعة مواسير الإنتاج من النظام المحيطي إلى النظام المركزي: يؤدي هذا التبديل إلى تخفيض قيمة ضغط بداية التشغيل بحوالي 5 إلى 7 مرات في حالة النظام المنفرد، أما في حالة الرفع المزدوج فإن مثل هذا التبديل يؤدي إلى فعالية جيدة وينقص ضغط بداية التشغيل بمقدار (11%)، فمثلاً في حالة النظام المنفرد يكون مردود هذه الطريقة عالي جداً، ففي البداية يحول نظام عمل البئر إلى النظام المركزي وبعد تشغيل البئر يبدل نظام عملها إلى النظام المحيطي كي تتم عملية الإنتاج منها بشكل طبيعي .

4- حقن السائل المنتج في الطبقة: إذا كانت البئر تبتلع السائل بشكل جيد أثناء عملية الحقن أو الكسح بالغاز، فإن حقن الغاز مع إبقاء البئر مغلقة تحت ضغط معين لفترة زمنية طويلة، يمكن من تجميع السائل في الطبقة، وينخفض مستوى السائل في الفراغ الحلقي حتى يصل إلى حذاء مواسير الإنتاج، وتبدأ البئر أثناء ذلك بالإنتاج بالرفع الغازي أو بمعنى آخر يحين موعد بداية إطلاق أو تشغيل البئر. تتعلق الفترة الزمنية لإبقاء البئر مغلقة تحت ضغط عال أعظمي بقدرة البئر على ابتلاع السائل، فكلما كانت قدرتها على ابتلاع السائل كبيرة كلما كان زمن إبقاء البئر تحت الضغط الأعظمي صغيراً تطبق هذه الطريقة في حالة كون :

$$P_k \geq h_1.\rho.g \qquad (6\text{-}33)$$

أي تطبق في الحالة التي يكون فيها ضغط الضاغط (P_k) أكبر أو يساوي الضغط الهيدروستاتيكي عند حذاء المواسير الإنتاجية.

5- استخدام ثقوب التشغيل :

عادة تثقب مواسير الإنتاج تحت المستوى الستاتيكي بثقوب تدعى بثقوب التشغيل (ثقوب بداية التشغيل). عند حقن الغاز في الفراغ الحلقي فإن مستوى السائل ينخفض في الفراغ الحلقي تحت الثقب العلوي، ويبدأ بعدها الغاز بالدخول من هذا الثقب إلى مواسير الإنتاج، ونتيجة لذلك يتشكل مزيج (سائل – غاز) يرتفع إلى مسافة معينة ضمن مواسير الإنتاج نتيجة نقصان كثافته، هذه الظاهرة مشابهة لعمل البئر المنتجة بالرفع الغازي والمجهزة بمواسير إنتاج نهايتها أو حذاؤها متوضع أو واقع في مستوى الثقب الأول. بعد إنسكاب السائل أو ارتفاعه لمسافة معينة ضمن مواسير الإنتاج فإن توازن أو تعادل الضغط في الفراغ الحلقي ومواسير الإنتاج عند مستوى الثقب يختل،