

الشكل (10-9) المخطط التكنولوجي لعملية تجفيف الغازات باستخدام الغليكول

- I- الغاز الرطب. II- الغاز الجاف. III- غاز للحرق. IV- ماء بارد. V- مدخنة
1- فاصل 2- برج امتصاص 3- خط انسياب الغليكول الملتقط 4- لاقط قطرات 5- منظم مستوى
6-10- مبرد 7- وعاء تحرير 8- طارد (قاذف) 9- فاصل 11- جهاز تنشيط 12- حشوة
13- غلاية 14- مضخة.

يدخل الغاز المنتج من الآبار إلى الفاصل 1 وذلك بهدف الفصل الأولي للماء الذي تشكل في طريق الغاز من البئر حتى محطة المعالجة نتيجة انخفاض الضغط ودرجة الحرارة . يتابع الغاز الخارج من الفاصل إلى أسفل برج الامتصاص 2 ويجري نحو الأعلى عبر الصواني المزودة بفناجين حيث يتلامس مع الغليكول المتدفق من أعلى البرج نحو الأسفل . يقوم الغليكول بامتصاص بخار الماء الموجود في الغاز ويزاد تشبعه من أعلى البرج باتجاه الأسفل . يغادر الغاز الجاف من أعلى برج الامتصاص (عبر شبك يلتقط أي قطرات من الغليكول) إلى خط النقل . أما محلول الغليكول المشبع ببخار الماء فيؤخذ من أسفل البرج عبر المبادل الحراري 6 إلى خزان تحرير 7 ثم إلى الفلتر 15، ويتابع طريقه إلى جهاز التقطير 11 الذي يتضمن مسخن (غلاية) 13 حيث يسخن الغليكول (DEG) حتى الدرجة 150C° و (TEG) حتى الدرجة 185C°، وبالنتيجة فإن بخار الماء سوف ينطلق مع بعض أبخرة الغليكول عبر المبرد 10 إلى الفاصل 9. يسخن الغليكول بعد تخليصه من بخار الماء بواسطة المضخة 14 عبر المبادل الحراري 6 والمبرد 16 (حيث تنخفض درجة حرارته إلى حدود 30C°) إلى أعلى برج الامتصاص وهكذا تتكرر دورته من جديد.
بهدف الحصول على تجفيف جيد للغاز، فإن معدل تدفق الغليكول يجب ألا يقل عن 25% من أجل كل 1 كغ ماء ممتص وأيضاً استخدام برج امتصاص بأكبر عدد ممكن من الصواني

تحديد كمية الغليكول النقي G(Ton/day) التي يجب ضخها إلى أعلى برج الامتصاص بالعلاقة

التالية:

$$G = \frac{W}{(1 - q_2) \frac{q_1}{q_2} - (1 - q_1)} \quad (10-5)$$

حيث أن:

q_1 - التركيز الوزني للغليكول عندما يكون مشبعاً ببخار الماء.

q_2 - التركيز الوزني للغليكول المنشط.

W - كمية بخار الماء الممتصة (Ton/day) وتحسب بالعلاقة:

$$W = V(W_1 - W_2)/10^6$$

حيث أن:

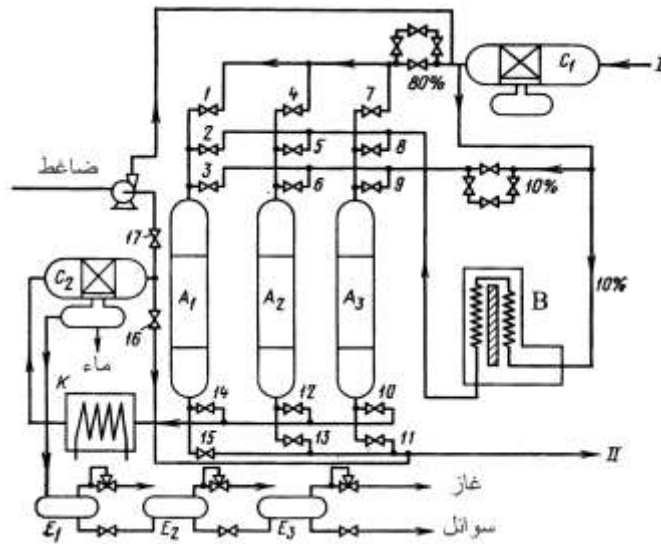
V - كمية الغاز الجاف في الشروط ($p = 0.1 \text{ Mpa}$, $T = 0 \text{ C}^\circ$) M^3/day .

W_1 - محتوى بخار الماء الأولي في الغاز gr/M^3 .

W_2 - محتوى بخار الماء النهائي في الغاز الجاف gr/M^3 .

10-3-3- تجفيف الغازات باستخدام المجففات الصلبة:

تعتمد هذه الطريقة على استخدام وسائط صلبة تقوم بامتزاز (ادمصاص) أبخرة الماء والمواد الهيدروكربونية الثقيلة حتى بدرجات الحرارة العادية ($15-40\text{C}^\circ$)، وتحقق هذه التكنولوجيا فصلاً شبيه تام لبخار الماء والامتكتات الغازية مما يستبعد احتمال تشكل الهيدرات ورسوبات المواد الهيدروكربونية السائلة في أنابيب النقل، حتى في درجات الحرارة السالبة (-50C°).
تتوفر في الوقت الحاضر العديد من المواد الصلبة الفعالة : السيليكا جل - الفحم الفعال - البوكسيت (Al_2O_3) - المناخل الجزيئية. يوضح الشكل (10-10) العمليات التكنولوجية باستخدام المجففات الصلبة:



الشكل (10-10) المخطط التكنولوجي لتجفيف الغاز وفصل المتكتات باستخدام المجففات الصلبة

I - الغاز الرطب. II - خط النقل. A_1, A_2, A_3 - أبراج امتزاز (ادمصاص).

C_1, C_2 - فواصل. B - سخان (فرن) لتسخين غاز التنشيط. K - مكثف.

E_1, E_2, E_3 - خزانات الهيدروكربونات السائلة. 1-17 - صمامات.

يدخل الغاز إلى الفاصل C_1 لفصل القطرات السائلة التي يحملها، ومن ثم عند مخرج الفاصل يجرأ تيار الغاز إلى ثلاثة أجزاء:

- 80% من الغاز يتجه إلى برج الادمصاص A_1 ، حيث يتم تخليص الغاز من بخار الماء

والبروبان والبوتان (C_3, C_4) والمركبات الأثقل C_5+ .

300- 10% من الغاز، وتسمى غاز التنشيط يتجه للسخان B، حيث يسخن للدرجة 350C ومن ثم يتابع طريقه إلى برج الامصاص A₂ من أجل تنشيط الوسيط .
- 10% من الغاز بدرجة حرارة 25-30C يتجه إلى برج الامصاص A₃ بهدف التبريد والتحضير لهورة جديدة.

k ينطلق الغاز الساخن المشبع ببخار الماء والمركبات الهيدروكربونية الثقيلة عبر المكثف إلى الفاصل C₂ لفصل الطور السائل عن الغاز الجاف الذي يتابع طريقه إلى خط النقل .
تجري المتكثفات المفصولة إلى الخزان E₃,E₂,E₁ حيث يتم تخفيض الضغط بشكل تدريجي لإيصالها إلى حالة الاستقرار.

بعد ذلك تتغير وضعية الصمامات بشكل أوتوماتيكي، بحيث يتم تحويل الجزء الأول من تيار الغاز (80%) إلى برج الامصاص A₃ وبالمقابل يخضع وسيط الامتزاز في البرج A₁ لإعادة التنشيط بواسطة الغاز الساخن القادم من السخان B ويخضع الوسيط في البرج A₂ إلى التبريد بواسطة الغاز لتجهيزه للعمل.

يعتبر استخدام هذه التكنولوجيا ناجحاً في الحالات التي يحتوي فيها الغاز الخارج من الفاصل C₁ على هيدروكربونات ثقيلة بنسبة لا تزيد عن 30cm³ في المتر المكعب الواحد وبغض النظر عن نسبة البروبان والبوتان.

الفصل الحادي عشر

منحنيات انخفاض (هبوط) إنتاجية الآبار الغازية وطرائق تحليلها

يعتبر تحليل منحنيات هبوط معدل الإنتاج أداة جيدة للتنبؤ المستقبلي للإنتاجية من خلال سعة الإنتاج من الآبار أو المكامن، وهي تدرس العوامل التي أثرت على الإنتاج في الماضي والتي ستستمر بالتأثير في المستقبل. تتحدد منحنيات انخفاض الإنتاج بثلاثة عوامل هي:

- معدل الإنتاج الأولي.
- شكل المنحني.
- معدل الانخفاض.

هذه العوامل تابعة لعدد من المؤشرات مثل قطر البئر، وسائل المعالجة السطحية، مؤشرات الطبقة (مسامية، نفوذية، سماكة التشكيل، لزوجة الماء، ع، حجم المكمن، تباعد الآبار، الانضغاطية)، آلية الإنتاج، عمليات التحسين (مثل التحميض والتشقيق)، إن كل ما ذكر سيساهم في مواصفات منحنى هبوط الإنتاجية. وإن العوامل التي تؤثر بشكل مباشر على الهبوط في معدل إنتاج الغاز انخفاض متوسط ضغط المكمن والزيادة في المياه الحقلية المنتجة في حقول الدفع المائي. أما الشروط التي يجب أن تتوفر حتى نستطيع تحليل منحنى هبوط معدل الإنتاج بشكل يمكن الوثوق به هي :

- يجب أن يكون معدل الإنتاج مستقراً خلال فترة الدراسة، أي يجب أن ينتج البئر بفاة محددة.
- يجب أن يعكس هبوط الإنتاج الملاحظ بشكل فعلي معدل إنتاج المكن، وليس ناتجاً عن ظروف خارجية مثل تغير شروط الإنتاج، أو تخريب البئر.
- يجب أن تسود شروط مستقرة بالممكن لكي نستقرئ منحنيات الهبوط بشكل يمكن الوثوق به وهذا الشرط سيكون محققاً عادة ما لم يتم تعديل الآلية التي يتم للإنتاج

يمكن أيضاً استخدام منحنى انخفاض معدل الإنتاج في التقييم الفني والاقتصادي للعمليات التي تجرى على البئر لتحسين مردود إنتاج الغاز مثل حقن الموائع والتشقيق والتحميض، وذلك بتحليل منحنى الانخفاض قبل وبعد عمليات التحسين هذه.

11-1- الحد الاقتصادي (Economic Limit):

إن الحد الاقتصادي هو النقطة الأخيرة في منحنى هبوط معدل الإنتاج ويعرّف بأنه معدل الإنتاج الذي بالكاد سيؤمن تكاليف التشغيل المباشرة للبئر، ويمكن أن يُعبر عن الحد الاقتصادي جبرياً كما يلي:

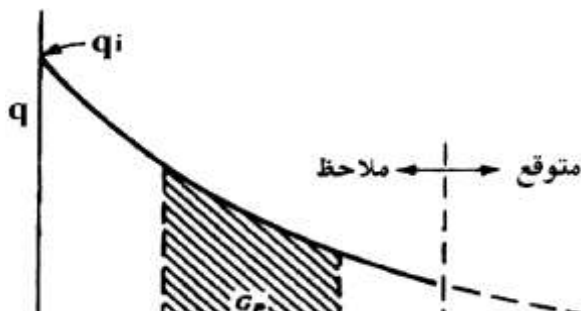
$$\text{الحد الاقتصادي} = \{\text{التكاليف المباشرة للتشغيل} / (\text{الدخل} - \text{حصة الجهة المالكة})\}.$$

فمن الواضح أن تخفيض التكاليف المباشرة للتشغيل والزيادة في سعر الغاز الطبيعي سيؤدي إلى زيادة الكميات المنتجة من الغاز والعكس بالعكس.

11-2- تصنيف منحنيات انخفاض معدل الإنتاجية:

في أغلب الحالات يتناقص معدل انخفاض الإنتاجية مع الزمن (dq/dt) الشكل (11-1)، حيث يتم اختيار النقطة التي تمثل زمن الإنتاج $(t = 0)$ بشكل عشوائي، والمساحة المحصورة بين الأزمنة (t_1, t_2) هي قياس للإنتاج التراكمي خلال هذه الفترة من الزمن، وبذلك نكتب :

$$G_p = \int_{t_1}^{t_2} q \cdot dt \quad (11-1)$$

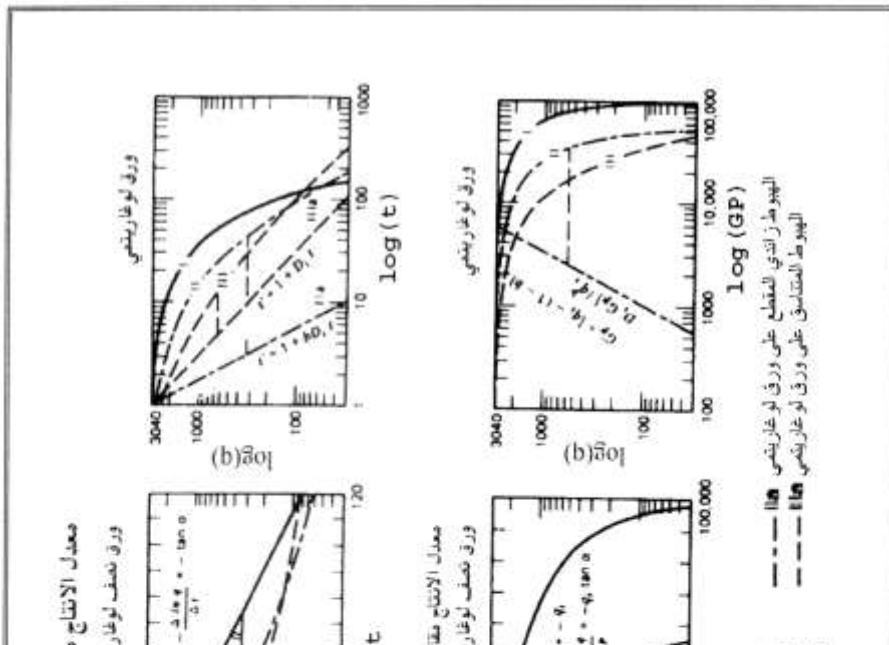


الشكل (11-1) المخطط البياني لمعدل الإنتاج مقابل الزمن

هناك ثلاثة أنماط مميزة لمنحنيات انخفاض الإنتاجية، ولكل منها معادلة رياضية تختلف عن الأخرى، ويُحدّد منحنى الهبوط بشكل انحنائه، وهذه الأشكال هي:

- 1 - الانخفاض ذو النسبة الثابتة: (Constant-Percentage Decline)
- 2 - الانخفاض المنتاسق: (Harmonic Decline)
- 3 - الانخفاض زائدي المقطع (بشكل قطع زائد): (Hyperbolic Decline)

فلكل نوع من هذه المنحنيات انحناء يختلف عن الآخر كما في الشكل (11-2)، حيث تم رسم منحنى لمعدل الإنتاج مقابل الزمن ولمعدل الإنتاج مقابل الإنتاج التراكمي وذلك على إحداثيات ديكارتية وإحداثيات نصف لوغاريتمية وإحداثيات لوغاريتمية.



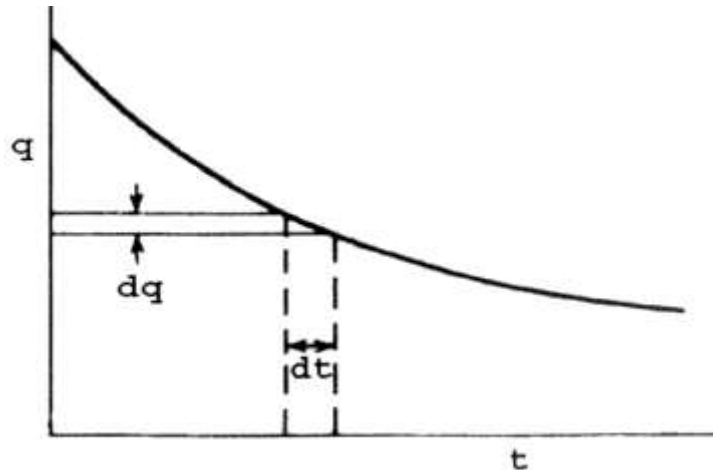
الشكل (11-2) الأنواع الثلاثة لمنحنيات انخفاض الإنتاج بالإحداثيات الديكارتية والنصف لوغاريتمية واللوغاريتمية

11-2-1- الهبوط الاسمي والفعلي:

(Nominal and Effective Decline)

يُعرف معدل الانخفاض الفعلي بوحدة الزمن (D') بأنه الهبوط بمعدل الإنتاج من (q_t) إلى (q_{t+1}) خلال فترة مساوية لوحددة الزمن (شهر واحد أو سنة واحدة) مقسوماً على معدل الإنتاج عند بداية هذه الفترة، الشكل (11-3)، أي أن:

$$D' = \frac{q_t - q_{t+1}}{q_t} = 1 - \frac{q_{t+1}}{q_t} \quad (11-2)$$



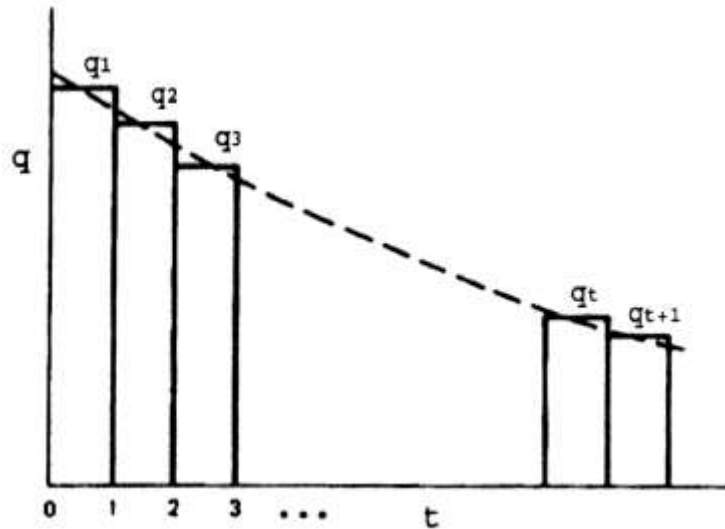
الشكل (11-3) منحنى انخفاض معدل الإنتاج، الانخفاض الفعلي

يمكن تبسيط المعالجة الرياضية لمنحنيات انخفاض معدل الإنتاج بشكل كبير بإدخال معدل الانخفاض الآني أو المستمر (The Instantaneous or Continuous Decline Rate). يُعرف معدل الانخفاض الآني أو (المستمر) (D)، بأنه الميل السالب للمنحنى الممثل للوغاريتم الطبيعي لمعدل الإنتاج (q) مقابل الزمن (t)، الشكل (11-4)، أي أن:

$$D = -\frac{d(\ln(q))}{dt} = -\frac{dq/dt}{q} \quad (11-3)$$

يُظهر الطرف الثاني من هذه المعادلة (11-3) بأن (D) هو التغير النسبي للإنتاجية (dq/dt) خلال واحدة زمن. وتم إدخال الإشارة السالبة كون dq و dt لهما إشارتين متعاكستين، ومن البديهي اعتبار (D) موجبة دائماً.

سيتمتع معدل الهبوط بشكل عام مع الزمن باستثناء الانخفاض ذو النسبة المئوية الثابتة، حيث أن (D) ثابت.



الشكل (11-4) منحنى انخفاض معدل الإنتاج، الانخفاض الاسمي

11-2-2- الهبوط ذو النسبة الثابتة:

(Constant-Percentage Decline)

إن الرسم البياني لمعدل الإنتاج مقابل الزمن ذو انحناء بشكل عام، بينما الرسم البياني لمعدل الإنتاج مقابل الإنتاج التراكمي بالإحداثيات الديكارتية هو خط مستقيم، الشكل (11-5)، ومعادلة هذا الخط هي:

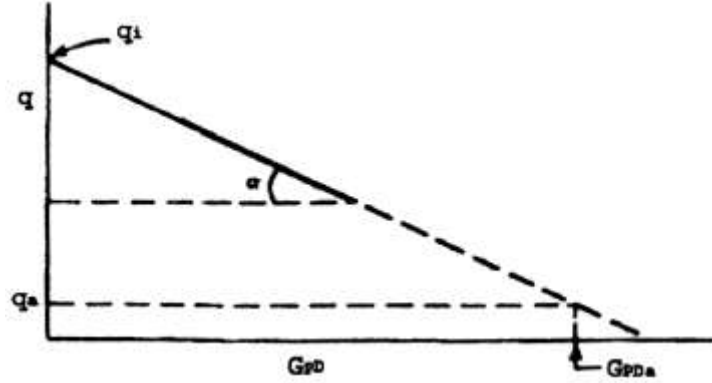
$$q = q_i - \alpha \cdot G_{PD} \quad (11-4)$$

حيث أن:

q_i - معدل الإنتاج في بداية الانخفاض.

G_{PD} - الإنتاج التراكمي عندما يساوي معدل الإنتاج q .

α - ميل الخط المستقيم.



الشكل (11-5) الرسم البياني لمعدل الإنتاج مقابل الإنتاج التراكمي

نفاضل المعادلة (11-4) مع الأخذ بعين الاعتبار حدود الزمن فنحصل على:

$$\frac{dq}{dt} = -\alpha \cdot \frac{dG_{PD}}{dt} \quad (11-5)$$

$$\frac{dG_{PD}}{dt} = q \quad (11-6) \quad \text{لكن:}$$

$$\frac{dq}{dt} = -\alpha \cdot q \quad (11-7) \quad \text{وبذلك:}$$

بتعويض المعادلة (11-3) في المعادلة (11-7) نحصل على معادلة معدل الانخفاض الاسمي

التالية:

$$D = -\frac{1}{q} \frac{dq}{dt} = \alpha \quad (11-8)$$

من هذه المعادلة نجد أنه إذا كان الرسم البياني لـ (q) مقابل (G_{PD}) خطاً مستقيماً، فإن معدل

الهبوط الاسمي المساوي لميل هذا المستقيم سيكون ثابتاً، ومن هنا تمت التسمية بالانخفاض ثابت

النسبة، وهو الأبسط والأكثر استعمالاً من بين معدلات انخفاض الإنتاج للأسباب التالية:

1- تتبع أكثر الآبار والحقول انخفاض النسبة الثابتة خلال فترة كبيرة من عمرها الإنتاجي، وبعد

ذلك سينحرف فقط بشكل ملحوظ من نهاية هذه الفترة.

2- إن الحساب الرياضي لانخفاض النسبة أسهل كثيراً للاستعمال من النموذجين الآخرين

لمنحنيات الانخفاض.

3 يحدث الاختلاف بين انخفاض النسبة الثابتة والنموذجين الآخرين لانخفاض بعد عدد كبير نسبياً من السنوات في المستقبل، ولكن عندما ينسب هذا الاختلاف إلى الوقت الحالي لن يكون عادة كبيراً.

المعادلة التفاضلية التي تصف منحنى انخفاض النسبة الثابتة هي:

$$D = -\frac{1}{q} \frac{dq}{dt} \quad (D = \text{constant}) \quad (11-9)$$

هذا يذكر بأن معدل الانخفاض اللحظي أو الاسمي هو نسبة مئوية ثابتة من معدل الإنتاج اللحظي، ويمكن الحصول على العلاقة بين معدل الإنتاج والزمن بمكاملة المعادلة (11-9):

$$\int_{q_0}^q \frac{dq}{q} = -D \int_0^t dt \quad (11-10)$$

$$q = q_i \cdot e^{-Dt} \quad (11-11)$$

إن المعادلة (11-11) هي تابع أسي، لهذا عادة ما يدعى انخفاض النسبة الثابتة بالانخفاض الأسي ويمكن الحصول على العلاقة بين معدل الإنتاج والإنتاج التراكمي بتكامل المعادلة (11-11):

$$G_{PD} = \int_0^t q \cdot dt = q_i \int_0^t e^{-D \cdot t} \cdot dt \quad (11-12)$$

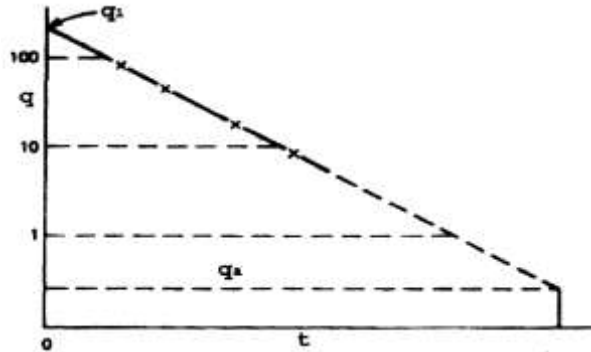
$$G_{PD} = \frac{q_i (1 - e^{-D \cdot t})}{D} = \frac{q_i - q}{D} \quad (11-13)$$

$$q = q_0 - D \cdot G_{PD} \quad (11-14)$$

بأخذ لوغاريتم المعادلة (11-11) للأساس (10) نحصل على:

$$\log q = \log q_i - \frac{D}{2.303} t \quad (11-15)$$

حيث أن $(\ln 10) = 2.303$. إن منحنى $(\log (q))$ مقابل (t) على ورق بإحداثيات ديكارتية أو (q) مقابل (t) على ورق بإحداثيات نصف لوغاريتمية أو لوغاريتمية ستعطي خطاً مستقيماً، الشكل (11-6).



الشكل (11-6) مخطط Lgq مقابل الزمن

وإنّ معدل الانخفاض الاسمي يساوي ميل الخط المرسوم على ورق بإحداثيات لوغاريتمية، وعند تمديد هذا الخط المستقيم (الجزء المنقط في الشكل (11-6)) سنحصل على معدلات الإنتاج المستقبليّة وصولاً إلى الحد الاقتصادي (q_a)، والرسم البياني الثاني المفيد هو رسم (q) مقابل (G_{PD}) الذي سيعطي خطوطاً مستقيمةً على إحداثيات ديكارتية، الشكل (11-5)، وتحدد قيمة معدل الانخفاض الاسمي من ميل هذا المنحني أي أن

$$D = \frac{q_i - q}{G_{PD}} = \tan \alpha \quad (11-16)$$

تفيد الرسومات البيانية لـ (q) مقابل (G_{PD}) بشكل خاص للتنبؤ بمعدلات الإنتاج عند قيم الإنتاج التراكمي المستقبلية، كما يمكن تحديد الاحتياطي فئوي وقت باستمداد الخط المستقيم حتى الحد الاقتصادي للإنجليزية (q_a) أو يحسب من العلاقة التالية

$$G_{PD\alpha} = \frac{q_i - q_a}{D} \quad (11-17)$$

يمكن الحصول على القيمة العظمى للغاز القابل للإنتاج بغض النظر عن الاعتبارات الاقتصادية وذلك باستمداد المستقيم حتى القيمة ($q = 0$) وهي تساوي (q_i / D)، وتدعى أحياناً بالغاز القابل للحركة.

إنّ واحدة معدل الانخفاض هي ($1/\text{time}$) حيث تتغير حسب واحدة الزمن المستعملة فإذا كان الزمن بالشهور ستكون واحدة معدل الانخفاض (D) هي ($1/\text{month}$) وهكذا..

من تعريف معدل الانخفاض الفعلي (المعادلة 11-2)، ومن أجل واحدة الزمن نكتب

$$q_1 = q_i (1 - D') \quad (11-18)$$

من المعادلة (11-11) ومن أجل واحدة الزمن نكتب:

$$q_1 = q_i \cdot e^{-D} \quad (11-19)$$

من المعادلتين (11-18) و(11-19) نجد:

$$\frac{q_1}{q_i} = 1 - D' = e^{-D} = \frac{q_2}{q_1} = \frac{q_3}{q_2} = \frac{q_i}{q_{i-1}} = r \quad (11-20)$$

$$q_i = q_{i-1} (1 - D') \quad (11-21)$$

حيث أن (r) هي نسبة معدلات الإنتاج في السنوات المتتالية، وبذلك نكتب:

$$D' = 1 - e^{-D} = 1 - r \quad (11-22)$$

$$D = \ln(1 - D') = -\ln(r) \quad (11-23)$$

من العلاقة بين معدل الهبوط الفعلي السنوي والشهري وبين معدل الانخفاض الاسمي السنوي والشهري نرى أنه إذا كانت (D'_m) هي معدل الانخفاض الفعلي الشهري عندئذ من المعادلة (11-

21) نجد أن معدل الإنتاج عند نهاية الشهر الأول هو $[q_i(1-D'_m)]$ وعند نهاية الشهر الثاني هو $[q_i(1-D'_m)^2]$ وهكذا... وبهذا الشكل يكون معدل الإنتاج عند نهاية الشهر الثاني عشر مساوياً لـ $[q_i(1-D'_m)^{12}]$ ، ولكن معدل الإنتاج عند نهاية الشهر الثاني عشر هو مساوياً أيضاً لـ $[q_i(1-D'_a)]$ ، حيث أن (D'_a) هو معدل الانخفاض السنوي الفعلي وبذلك نكتب:

$$1-D'_a = (1-D'_m)^{12} \quad (11-24)$$

إذا كانت (D_m) هي معدل الانخفاض الاسمي الشهري، (D_a) هي معدل الانخفاض الاسمي السنوي، يكون:

$$e^{-D_a} = (e^{-D_m})^{12} = e^{-12D_m} \quad (11-25)$$

$$D_a = 12D_m \quad (11-26)$$

في حال تقدير الاحتياطي القابل للإنتاج من الاعتبارات الحجمية، وحيث أن معدلات الإنتاج الأولية والنهائية معروفة، فإنه يمكن الحصول على العمر المتبقي حتى زمن هجر أو ترك الممكن وذلك بحل المعادلتين (11-11) و(11-13) بالنسبة للزمن ينتج:

$$t_a = \frac{1}{D} \ln\left(\frac{q_i}{q_a}\right) \quad (11-27)$$

$$t_a = \frac{G_{PDa}}{q_i - q_a} \ln\left(\frac{q_i}{q_a}\right) \quad (11-28)$$

11-2-3- استخدام معدل الانخفاض السنوي الفعلي:

إذا كان (\bar{q}_t) معدل الإنتاج السنوي الوسطي للسنة (t) ، عندئذ سيكون الإنتاج التراكمي لعدة سنوات على الشكل التالي:

$$G_{PD} = \bar{q}_1 + \bar{q}_2 + \bar{q}_3 + \dots + \bar{q}_t \quad (11-29)$$

من أجل انخفاض النسبة الثابتة مع معدل انخفاض فعلي سنوي (D') نكتب:

$$\bar{q}_t = \bar{q}_1(1-D')^{t-1} \quad (11-30)$$

بتعويض المعادلة (11-30) في المعادلة (11-29) ينتج:

$$G_{PD} = \bar{q}_1 \left[1 + (1-D') + (1-D')^2 + \dots + (1-D')^{t-1} \right] \quad (11-31)$$

بضرب المعادلة (11-31) بـ $(1-D')$ وبتعويض الناتج بالمعادلة (11-29) نجد:

$$G_{PD} [1 - (1-D')] = \bar{q}_1 [1 - (1-D')^t] \quad (11-32)$$

$$G_{PD} = \bar{q}_1 \left[\frac{1 - (1-D')^t}{D'} \right] = \frac{\bar{q}_1 - \bar{q}_{t+1}}{D'} \quad (11-33)$$

يجب ملاحظة أن معدل الإنتاج السنوي الوسيط للسنة الأولى (\bar{q}_1) سيكون أقل من معدل الإنتاج السنوي اللحظي في بداية السنة الأولى q_i ، وهناك علاقة بسيطة بين الاثنين

$$\bar{q}_1 = q_i \left(\frac{D'}{D} \right) \quad (11-34)$$