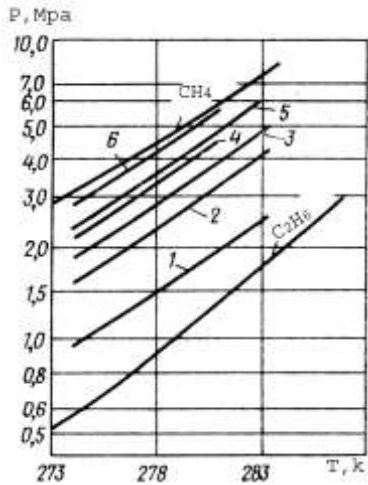


المحاضرة 10

هيدرات الغازات الهيدروكربونية الصرفة ومزائجها:

كانت أولى المحاولات لدراسة هيدرات الغازات الطبيعية في العام 1888، حيث تم الحصول على هيدرات غاز الميثان بدرجة الحرارة 12.5°C . استطاع العالم كاتز (Katz) الحصول على هيدرات غاز الميثان عند ضغوط تتراوح (33-76)Mpa في الدرجة 28.8°C . وفي الأعمال اللاحقة ضمن هذا المجال وجد أن درجة حرارة تشكل هيدرات الميثان تزداد حتى 47°C عند الضغط 390 Mpa.

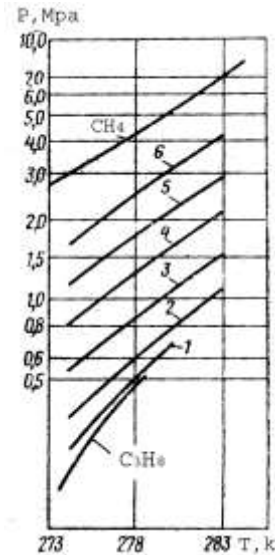
توضح الأشكال (9-15) و(9-16) التغييرات التي تطرأ على شروط تشكل الهيدرات عند مزجه مع الإيثان والبروبان.



الشكل (9-15) منحنيات تشكل الهيدرات

من أجل نسب مئوية مختلفة للإيثان في المزيج.

1-45.6 ، 2-9.6 ، 3-5
4-2.9 ، 5-2.2 ، 6-1.2



الشكل (9-16) منحنيات تشكل الهيدرات

من أجل نسب مئوية مختلفة للبروبان في المزيج.

1-63 ، 2-29 ، 3-12
4-5 ، 5-2.6 ، 6-1.0

من الأشكال التي توضح شروط تشكل هيدرات مزائج $(\text{CH}_4, \text{C}_3\text{H}_8)$ و $(\text{CH}_4, \text{C}_2\text{H}_6)$

نلاحظ ما يلي:

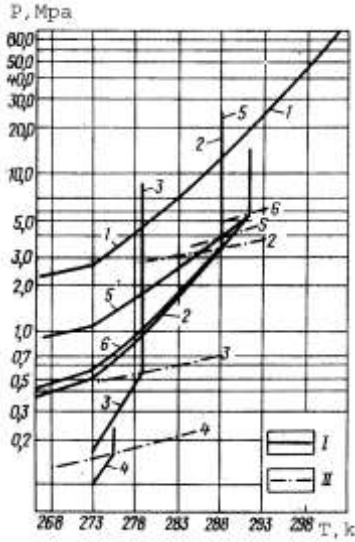
يلاحظ أنه بإضافة الإيثان والبروبان إلى الميثان، تتحسن شروط تشكل الهيدرات بحيث أنها تتشكل بضغط منخفضة نسبياً ودرجات حرارة أعلى من درجة حرارة تشكل هيدرات الميثان الصرفة.

أثبتت الدراسات، أن الايزوبوتان يلعب دوراً مشابهاً للإيثان والبروبان في رفع درجة حرارة تشكل الهيدرات أما بقية الغازات الهيدروكربونية فإنها تؤثر بشكل سلبي.

يوضح الشكل (9-17) القيم الحرجة لدرجة الحرارة التي يقابلها استقرار للهيدرات المشكلة، حيث يلاحظ أن هيدرات الميثان تكون مستقرة بدرجة الحرارة 0°C والضغط 2.8Mpa أو أكبر. ومن أجل بقية الغازات الهيدروكربونية البارافينية فإن قيم الحرارة الحرجة والضغط المقابل هي:

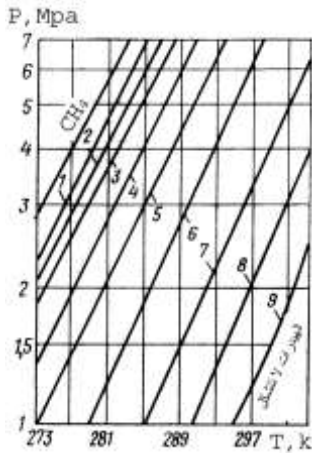
	C_2H_6	C_3H_8	$i - \text{C}_4\text{H}_{10}$
$T, ^{\circ}\text{C}$	14.5	5.5	1.5
P, Mpa	0.5	0.1	0.1

بالنسبة للمركبات الهيدروكربونية ذات الصيغة C_nH_{2n} فإن الإيثان (C_2H_4) والبروبان (C_3H_6) فقط قابلين لتشكيل الهيدرات، حيث أن هيدرات (C_2H_4) تتشكل في الدرجة 17°C ، وتعتبر مستقرة في الدرجة 0°C عند الضغط 0.5Mpa .



الشكل (9-17) منحنيات تشكل هيدرات المركبات الهيدروكربونية الصرفة
1- الميثان. 2- الإيثان. 3- البروبان.
4- ايزو البوتان. 5- الاستيلين. 6- الإيثيلين
I- خط تشكل الهيدرات. II- منحنى مرونة البخار

لقد تم التنويه مسبقاً، أن وجود المركبات اللاعضوية في المزائج الغازية يؤثر على شروط تشكل الهيدرات الغازية، فمثلاً يسبب غاز كبريت الهيدروجين إلى ارتفاع درجة حرارة تشكل الهيدرات وانخفاض الضغط المقابل بشكل يتناسب مع نسبته في المزيج، لاحظ الشكل (9-19).



الشكل (9-18)

علاقة ضغط تشكل الهيدرات بدرجة الحرارة
من أجل نسب مئوية مختلفة لوجود H_2S .
1-1 , 2-2 , 3-4 , 4-6 , 5-10
6-20 , 7-40 , 8-60 , 9-100

من الملاحظ أن وجود غاز H_2S بنسبة 20% مع الميثان سوف يؤدي لرفع درجة حرارة تشكل الهيدرات من $6C$ حتى $10C$ وذلك عند الضغط 5Mpa.

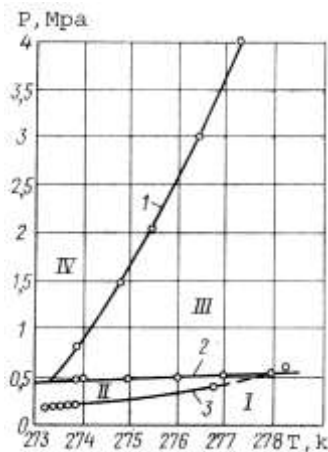
أما بالنسبة لوجود غاز CO_2 فإن تأثيره على تشكيل هيدرات الغاز الطبيعي موضح بالشكل (9-20)، حيث يلاحظ دوره في زيادة درجة حرارة تشكل الهيدرات.



الشكل (9-19) ضغط تشكل الهيدرات بالعلاقة مع درجة الحرارة من أجل نسب مئوية مختلفة لوجود CO_2 .
1-12.5 , 2-28 , 3-32 , 4-6 , 5-100

وعلى العكس يساهم غاز الآزوت في انخفاض الضغط المقابل لدرجة حرارة تشكل الهيدرات، فمثلاً تتشكل هيدرات غاز طبيعي كثافته النسبية 0.6 ولا يحتوي الآزوت عند درجة الحرارة $10C$ والضغط 3.4Mpa، بينما يصبح الضغط 3Mpa عندما يحتوي نفس الغاز على نسبة 18% من الآزوت.

من الضروري الإشارة إلى أن هيدرات المركبات الهيدروكربونية السائلة تتشكل في شروط تختلف عنها في الحالة الغازية كما هو واضح من المنحنيات (1 , 3) على الشكل (9-20)، حيث أنها تتطلب قيم أعلى للضغوط وأقل لدرجات الحرارة.



- I - البروبان في الحالة الغازية.
- II - هيدرات + بروبان (غاز).
- III - بروبان سائل + ماء.
- IV - هيدرات + بروبان سائل.

الشكل (9-20) علاقة الضغط بدرجة حرارة تشكل هيدرات الغازات الهيدروكربونية

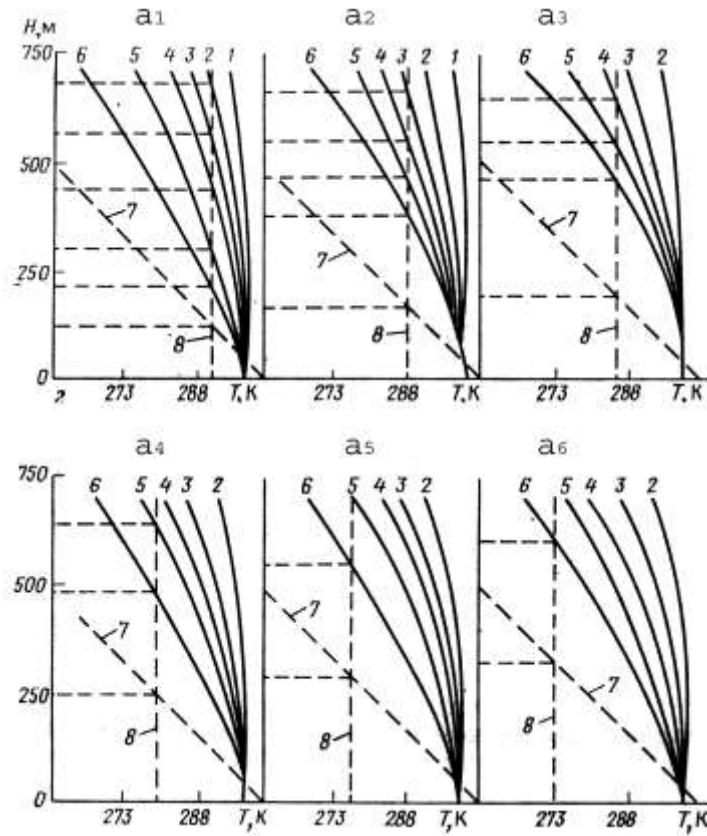
يمثل المنحني 2 مرونة البخار المشبع لمركب البروبان، وفي المنطقة الواقعة أعلاه يتواجد البروبان في الحالة السائلة أما أسفله فيتواجد في طور الغاز. لاحظ من الشكل (20-9)، أنه من أجل تشكل هيدرات البروبان في حالته الغازية عند الدرجة 3.8°C يجب أن يكون الضغط مساوياً 0.46Mpa بينما في حالته السائلة يصبح الضغط أكثر من 3Mpa .

9-6- تشكل الهيدرات في الآبار الغازية:

يرتبط تشكل الهيدرات في الآبار الغازية وأنابيب التجميع بشكل أساسي بدرجة حرارة الطبقة ودرجة حرارة الجو المحيط ونظام استثمار الآبار. فخلال جريان الغاز من قاع البئر حتى السطح، سوف تتغير درجة حرارته على طول البئر، فإذا انخفضت درجة الحرارة إلى ما دون درجة حرارة تشكل الهيدرات، فإن هذه الأخيرة سوف تتشكل مسببة تضيق مقطع الجريان داخل البئر.

لقد ذكرنا سابقاً، أنه يمكن تحديد تغير درجة الحرارة على طول البئر باستخدام أجهزة القياس العميقة أو اعتماداً على الطرق الحسابية.

يوضح الشكل (21-9) كيفية تغير درجة الحرارة على طول أحد الآبار الغازية بالعلاقة مع العمق ومن أجل قيم مختلفة لمعامل انتقال الحرارة، والمؤشرات التالية لعمل البئر:
 $q = 700 \times 10^3 \text{ M}^3 / \text{d}$, $t_w = 19^{\circ}\text{C}$, $D = 0.2\text{M}$, $H = 735\text{M}$



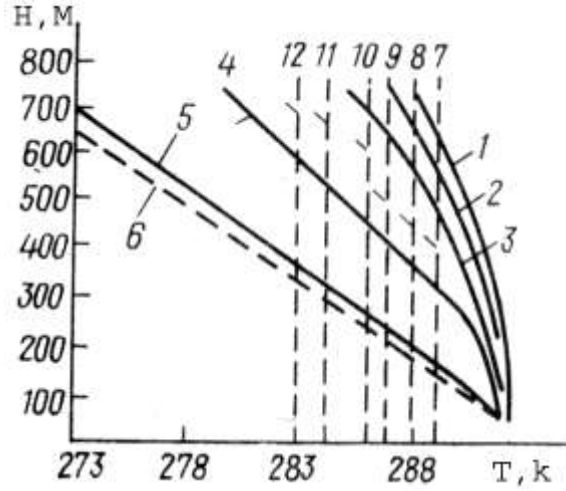
الشكل (21-9) تغير درجة الحرارة بالعلاقة مع عمق البئر من أجل قيم مختلفة لمعامل انتقال الحرارة $\Delta(W/M^2K^{\circ})$

1-1.2 , 2-2.6 , 3-12 , 4-7 , 5-23 , 6-29

7- التدرج الحراري الجيولوجي. 8- حرارة توازن تشكل الهيدرات

$a_1 \rightarrow a_6$ - سنوات الاستثمار: الأولى - الثانية - الثالثة - الرابعة - الخامسة - السادسة

إن تحليل العوامل المؤثرة على تغير درجة الحرارة مع عمق البئر تبين أن النظام الحراري خلال عملية الاستثمار سوف يتغير، بحيث يقابل نقصان معدل الإنتاج انخفاضاً في حرارة الغاز على طول البئر. يمكن ملاحظة ذلك بالنسبة للمثال المذكور أعلاه على الشكل (9-22).



الشكل (9-22) تغير درجة الحرارة على طول البئر بالعلاقة مع تغير الإنتاجية

من أجل قيمة ثابتة للمعامل $\Delta = 12 \text{ W/M}^2 \cdot \text{K}^\circ$

قيم الإنتاجية (ألف متر مكعب باليوم):

1-700 , 2-500 , 3-300 , 4-100 , 5-10

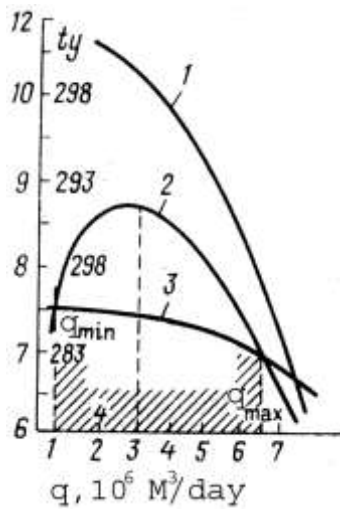
6- التدرج الحراري الجيولوجي. 7 → 12 منحنيات التوازن لتشكل الهيدرات

خلال سنوات الاستثمار: الأولى - الثانية - الرابعة - السادسة - الثامنة - العاشرة

يتضح مما ذكر أعلاه ومن الشكل (9-24)، أنه يمكن تحديد ظروف الإنتاج التي لا يرافقتها تشكل الهيدرات من خلال التحكم بمعدل إنتاج البئر الغازية، حيث أنه يمكن الحصول على تغيرات ضغط وحرارة الفوهة ودرجة حرارة التوازن لتشكل الهيدرات بالعلاقة مع معدل الإنتاج. فمثلاً من أجل المعطيات التالية:

$$P_w = 11.8 \text{ Mpa} , t_f = 32 \text{ C}^\circ , t_w = 31 \text{ C}^\circ , D = 180 \text{ mm}$$

$$\bar{\rho} = 0.56 , \Delta = 22 \text{ w/M}^2 \text{ k}^\circ , \frac{\Delta t}{\Delta H} = 0.0277 \text{ C}^\circ / \text{M}$$



الشكل (9-23) تغير درجة حرارة وضغط فوهة البئر

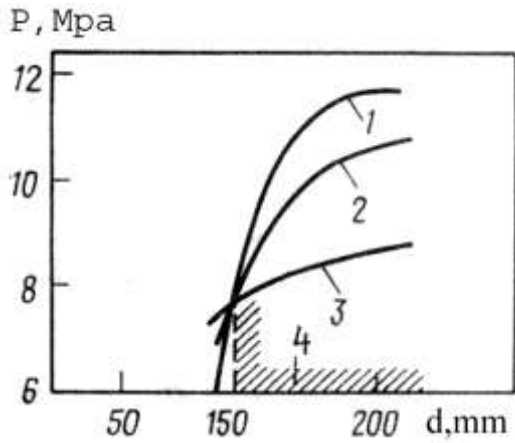
وحرارة تشكل الهيدرات

بالعلاقة مع معدل الإنتاجية

- 1- الضغط على فوهة البئر.
- 2- درجة حرارة فوهة البئر
- 3- حرارة تشكل الهيدرات.
- 4- المنطقة التي لا تتشكل فيها الهيدرات

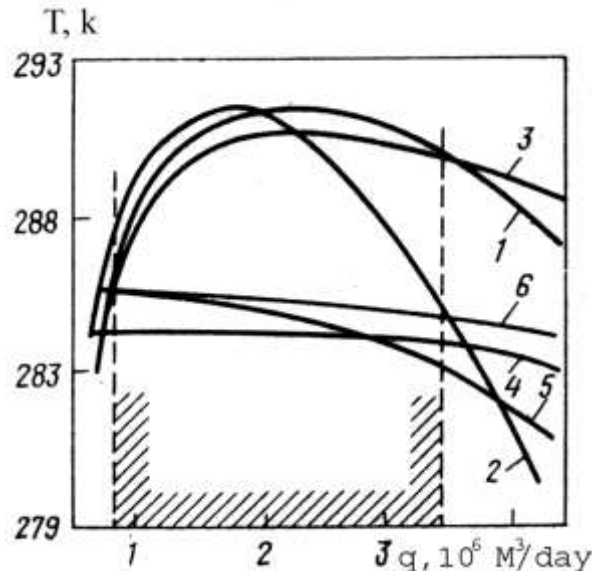
نلاحظ أن نظام الإنتاج الذي لا يرافقه تشكل هيدرات، يتم تحقيقه عند قيم إنتاجية تتراوح $0.75 - 6.5 \cdot 10^6 M^3/d$. والإنتاجية المثالية q_{opt} التي يقابلها أعلى قيمة لدرجة حرارة فوهة البئر هي $3 \cdot 10^6 M^3/day$.

بالطبع يمكن تحقيق الإنتاجية المثالية باستخدام مواسير إنتاج ذات أقطار مختلفة . ولكن قطر مواسير الإنتاج يؤثر على النظام الحراري أثناء عمل البئر، لذلك لابد من دراسة تغيرات درجة الحرارة والضغط بالعلاقة مع القطر. الشكل (9-25).



الشكل (9-24) تغير الضغط ودرجة الحرارة ودرجة حرارة تشكل الهيدرات
بالعلاقة مع قطر مواسير الإنتاج من أجل $q = q_{opt}$
1- حرارة الفوهة.
2- ضغط الفوهة.
3- درجة حرارة تشكل الهيدرات .
4- المنطقة التي لا تتشكل فيها الهيدرات

يلاحظ من الشكل، بأنه من أجل $q = q_{opt}$ فإن نظام الاستثمار بدون هيدرات يتحقق عند قيمة لقطر المواسير $D \geq 145 - 160 mm$. وبزيادة قطر المواسير فإن قيمة الإنتاجية المثالية q_{opt} ستتزايد باتجاه معدلات الإنتاج الأكبر. كما هو موضح على الشكل (9-25).



الشكل (9-25) تغير حرارة الغاز وحرارة تشكل الهيدرات
بالعلاقة مع الإنتاجية من أجل أقطار مختلفة لمواسير الإنتاج

منحنيات حرارة فوهة البئر:

1- $D = 220 \text{ mm}$ (العام الخامس للإنتاج).

2- $D = 180 \text{ mm}$ (العام الأول للإنتاج).

3- $D = 220 \text{ mm}$ (العام الأول للإنتاج).

منحنيات حرارة تشكل الهيدرات الغازية

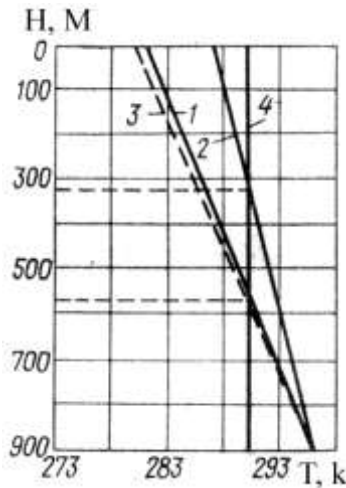
4- $D = 220 \text{ mm}$ (العام الخامس للإنتاج).

5- $D = 180 \text{ mm}$ (العام الأول للإنتاج).

6- $D = 220 \text{ mm}$ (العام الأول للإنتاج).

وبهذا الشكل يمكن القول: إن تحقيق نظام استثمار بدون تشكل الهيدرات يمكن من خلال التحديد المناسب لقطر مواسير الإنتاج ومعدل الإنتاجية.

يحدد مكان تشكل الهيدرات في البئر الغازية بالعمق المقابل لنقطة تقاطع منحنى تغير درجة الحرارة على طول البئر الغازية مع منحنى التوازن لتشكل الهيدرات أو مع العمود المقام من درجة حرارة تشكل الهيدرات للمركب الأكثر قابلية. الشكل (9-27).



الشكل (9-26) مخطط تحديد عمق تشكل الهيدرات

في أحد الآبار الغازية

1- $q = 20 \times 10^3 \text{ M}^3 / \text{day}$

2- $q = 30 \times 10^3 \text{ M}^3 / \text{day}$

3- التدرج الحراري الجيولوجي.

4- درجة حرارة توازن الهيدرات.

من خلال معالجة المعطيات الحقلية والمخبرية، توصل الباحثون إلى العلاقات الرياضية التي تربط بين قيم الضغط

والحرارة الملائمة لتشكل الهيدرات. فمن أجل الغازات الحلوة وضعوا العلاقة:

$$T_p = a(1 + Lg p) \pm b \quad (9-5)$$

حيث أن: a , b عوامل تتعلق بتركيب الغاز (نسبة الميثان) وتحدد تجريبياً لكل مكامن.

ومن أجل الغازات الحامضية:

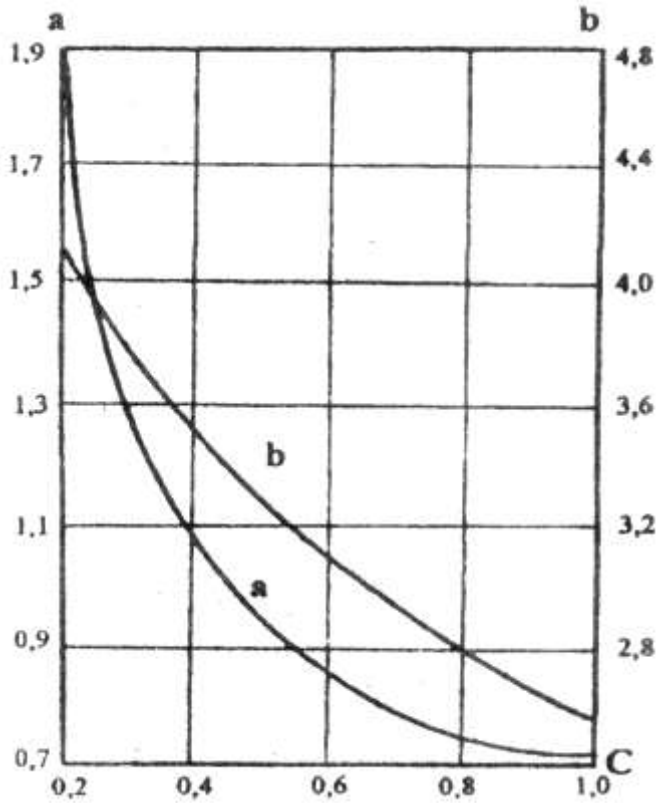
$$T_p = T_N + [T_N(\text{Lg } p - 0.415)] / [13.71 - \text{Lg } p] + X / (a + bX) \quad (9-6)$$

حيث أن: $T_N = 273.15 \text{ k}^\circ$

-b, a معاملات من الشكل (9-28) بالعلاقة مع القيمة C التي تعطى بالعلاقة:

$$C = X_{\text{H}_2\text{S}} / X \quad (9-7)$$

-X مجموع النسب الحجمية لـ CO_2 و H_2S في الغاز: $X = X_{\text{H}_2\text{S}} + X_{\text{CO}_2}$.



الشكل (9-27) علاقة المعاملات a, b بالمقدار C