

تأثير المركبات غير الهيدروكربونية على الخصائص شبه الحرجة للمتكثفات الغازية

المشرفة على الأعمال. هالة ابراهيم - د. محسن حسين - د. غادة الخضور

كلية الهندسة الكيميائية والبترولية جامعة البعث

المخلص

تتكون المتكثفات الغازية بشكل أساسي من نوعين من المركبات وهما : مركبات هيدروكربونية ومركبات غير هيدروكربونية تتكون غالباً من CO_2 , H_2S , N_2 , H_2O . وبالرغم من أن النسبة التي تشكلها المركبات غير الهيدروكربونية تعتبر صغيرة جداً، إلا أنها تؤثر على العديد من خصائص المتكثفات الغازية. يدرس هذا البحث تأثير هذه المركبات على الضغط شبه الحرج ودرجة الحرارة شبه الحرجة للمتكثفات الغازية حيث أن هذه الخصائص تلعب دوراً هاماً في دراسة السلوك الطوري للمتكثفات الغازية بالإضافة إلى تحديد مجال وقوع الظواهر العكسية التي تحدث في مكامن المتكثفات الغازية. تمت الدراسة من خلال استعراض بعض طرق حساب هذه الخصائص و التصحيحات التي يجب إجراؤها في حال احتواء المتكثفات الغازية على هذه المركبات . تم اعتماد طريقة Stewart لإجراء الحسابات ووضع برنامج حاسوبي يتم من خلاله حساب الخصائص شبه الحرجة قبل التصحيح وبعده والمقارنة فيما بينها من خلال رسم المنحنيات البيانية التي تربط بين الكسور المولية لهذه المركبات والضغط شبه الحرج من جهة ودرجة الحرارة شبه الحرجة من جهة أخرى .

The Effect of Nonhydrocarbon Components on the Pseudocritical Properties of Gas Condensate

Summary

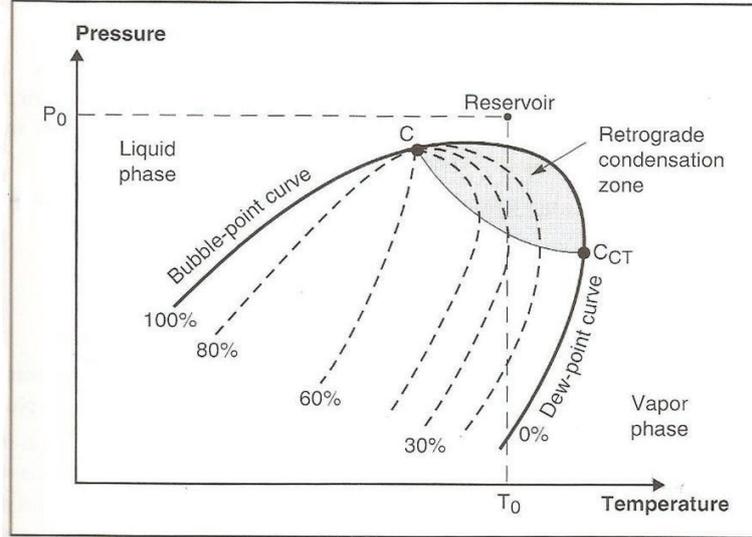
Gas condensate consists essentially of two kinds of compounds: hydrocarbon compounds and nonhydrocarbon compounds such as (CO_2 , H_2S , N_2 , H_2O). Nonhydrocarbon compounds form a very small rate in gas condensate, but it effect on many properties of gas condensate. This research studies the effect of these components on the pseudocritical pressure and pseudocritical temperature of gas condensate which are very important to study the phase behaviour of gas condensate and to determine the region of retrograde phenomena which happen in gas condensate reservoirs. The study was done by presenting some methods to calculate these properties and the correcting of these values if there are nonhydrocarbon components in the condensate. The calculations were made by Stewartt method and we put a computed program to calculate the correcting pseudocritical properties and noncorrecting ones, then we compare the two values by drawing many diagrams between the mole fraction of the component and the calculated pseudocritical temperature and pressure.

مقدمة :

من المعروف أن التركيب الكيميائي للموائع النفطية والغازية يلعب دوراً أساسياً في تحديد قيم الخصائص الفيزيائية والترموديناميكية للموائع لذلك لابد من الأخذ بعين الاعتبار وجود مركبات أخرى غير المركبات الهيدروكربونية في الخليط كمركبات (CO_2 , H_2S , N_2 , H_2O بالرغم من نسبتها الصغيرة جداً . إن لمكان المتكثفات الغازية أهمية اقتصادية كبيرة نظراً للمواصفات الجيدة لمائع هذه المكامن ، لذلك لابد من محاولة استثمار هذه المكامن بالشكل الأمثل والتقليل من ضياع المتكثفات ضمن المكامن نتيجة الظواهر العكسية التي تحدث فيه كظاهرة التكثف العكسي والتي تحدث في المجال الواقع بين النقطة الحرجة والكريكونديتيرم عند انخفاض الضغط تحت ضغط التكثف ومن هنا كان هدف هذا البحث هو معرفة تأثير المركبات غير الهيدروكربونية على النقطة الحرجة للمتكثفات الغازية وكيفية الاستفادة من ذلك في تحسين استثمار هذه المكامن.

1 - مكان المتكثفات الغازية:

هي مكان غازية عالية الضغط ذات مواصفات مادية مختلفة عن المكامن الغازية الجافة . يعتبر غاز الميثان من أهم المركبات المسيطرة على تركيب المائع إلا أن نسبة المركبات الثقيلة فيها تكون أعلى منها عما هي عليه في المكامن الغازية ويسمى مائع المكامن بشكل عام متكثف غازي. توجد عدة ميزات خاصة لمكامن المتكثفات الغازية ، حيث يكون مائع المكامن عند درجة الحرارة والضغط الأوليين (ضمن المكامن) موجوداً في طور واحد ويتصرف كأنه غاز، و يمكن استخدام قوانين الغاز من أجل التنبؤ عن سلوكية المائع وذلك إذا أمكن تحديد قيمة Z (ثابت انحراف الغازات) كما يبدى مائع المتكثف الغازي ظاهرة معروفة بالتكثف العكسي . تقع درجة حرارة المكامن بين درجة الحرارة الحرجة والكريكونديتيرم .



الشكل (1) يمثل المخطط الطوري لمكمن المتكثفات الغازية

2 - التركيب الكيميائي لمكامن المتكثفات الغازية :

تتشكل مكامن المتكثفات الغازية بسبب وجود كمية كبيرة من الغازات وطبقة غير سميكة من النفط الخفيف وعند ازدياد الضغط بشكل كبير ينحل النفط في الغاز ويشكل محلولاً غازياً وينفصل النفط عن الغاز عند الشروط الطبيعية لذلك لا نستطيع تحديد صفات المتكثفات بشكل دقيق كما هو الحال في حالة النفط أو الغاز . يتوقف التركيب الكيميائي للمتكثفات على عدة عوامل أهمها - التركيب الكيميائي للنفط المذاب في الغاز .

- نسبة كمية الغاز إلى النفط .

- درجة الحرارة الطبقة والضغط الطبقي .

ويعتبر التركيب الكيميائي لها قريب جداً من التركيب الكيميائي للنفط لكن دون أن تحتوي على المركبات النفطية الثقيلة .

إذاً المركب الغالب على تركيب مائع مكمن المتكثفات الغازية هو الميثان حيث يشكل

نسبة تتراوح بين 75-85% والإيثان والبروبان والبوتان من أجزاء النسبة المئوية حتى (11-12%) كذلك تحتوي على C_5 والمركبات هيدروكربونية الأثقل بنسبة قد تصل إلى (9%).

يدخل في تركيب المتكثفات الغازية أيضاً مركبات غير هيدروكربونية من أهمها:

- غاز الآزوت N_2 .
- غاز كبريت الهيدروجين H_2S .
- غاز ثاني أوكسيد الكربون CO_2 .
- نسب ضئيلة من غاز الهيدروجين H_2 وغاز أحادي أكسيد الكربون CO .
- كميات قليلة جداً من الأوكسجين O_2 والمياه H_2O وبعض الغازات النادرة كالهيليوم He والأرغون Ar .

اسم المركب	الكسر المولي (مول %)
C_1	50-85
C_2	5-15
C_3	2-14
C_4	1-10
C_5	0-5
C_6	0-3
C_7^+	0-15
CO_2	0-4
H_2S	0-6
N_2	0-10
He	0

الشكل (2) يمثل التركيب الكيميائي للمتكثفات الغازية

3 - تأثير المركبات غير الهيدروكربونية على الخصائص شبه الحرجة للغاز:

من المعروف أنه عند دراسة السلوك الطوري لأي مائع لابد من تحديد الشروط الحرجة لهذا المائع، وبما أن تركيب الموائع يؤثر بشكل أساسي على السلوك الطوري و كون المركبات غير الهيدروكربونية تتصف بسلوك مغاير للمركبات الهيدروكربونية كان هدفنا تحديد الشروط شبه الحرجة لخليط المتكثفات الغازية وتصحيح هذه الشروط عند وجود المركبات غير الهيدروكربونية وذلك باستخدام نماذج رياضية ستشرح لاحقاً. هناك عدة طرق لحساب الضغط ودرجة الحرارة شبه الحرجين للمزائج الغازية الهيدروكربونية ، هذه الخصائص شبه الحرجة تشكل وسيلة ربط بين الخصائص الفيزيائية للمزائج ومبدأ الحالة التوافقية الذي يقول : إن الغازات النقية المتشابهة لها نفس معدل الانحراف (العامل Z) عند القيم ذاتها من الضغط ودرجة الحرارة المصغرين . كما تم ربط باقي خواص الغاز الفيزيائية مع مبدأ الحالة التوافقية وتم ربط مزائج الغازات المتشابهة كيميائياً مع الضغط المصغر ودرجة الحرارة المصغرة . سنقوم بعرض طريقتين لحساب هذه الخصائص. إن الطريقة الأولى هي مجموعة من القواعد مطورة من قبل Stewart et al وتعتمد على معرفة تركيب الغاز ،وعلى الرغم من أن هذه الطريقة تتطلب حسابات أكثر من الطرق الأخرى (مثل طريقة Kay) إلا أنها أكثر دقة .

أما الطريقة الثانية فقد طورها (Sutton) لحساب الخصائص شبه الحرجة لمزيج غازي غير محدد التركيب . إن طريقة (Sutton) تعتمد على علاقات رياضية أقل من تلك التي تحتاجها طريقة Stewart et al و تستخدم عندما تكون السرعة في العمل أكثر أهمية من دقة الجواب وعلى الرغم من أن طريقة (Sutton) تستخدم فقط الوزن النوعي للغاز عوضاً عن التركيب الهيدروكربوني المفصل إلا أنها أكثر دقة من طريقة (Kay) . عند حساب الخصائص شبه

الحرجة للغاز يجب الأخذ بعين الاعتبار وجود مركبات غير هيدروكربونية ضمن تركيب الغاز مثل N_2 , CO_2 , H_2S ... وأثر هذه المركبات على قيم هذه الخواص حيث هناك علاقات تصحح الضغط والحرارة شبه الحرجين بسبب وجود هذه المركبات. 4-حساب الخواص شبه الحرجة عند معرفة التركيب الغازي (قواعد Stewart et al): [7,1] قارن Stewart et al بين 21 قاعدة مختلفة واستنتج أن الطريقة الأفضل معطاة ضمن مجموعة معادلات ستوضح لاحقاً. بما أن مجموعة المعادلات ذات دقة كبيرة في النتائج فإن درجة الحرارة والضغط شبه الحرجين المحسوبين وفق هذه الطريقة يستخدمان لتعيين القيم التالية :

العامل Z - انضغاطية الغاز -
لزوجة الغاز . - خطوات الطريقة :

1 - في حال

وجود كمية هامة من المركبات الثقيلة (C_7 وما فوق) في مزائج الغازات الطبيعية لا بد من إجراء قياسات مخبرية لحساب الوزن الجزيئي لـ C_7^+ وكثافته وذلك لحساب الوزن النوعي للمزيج وخواصه شبه الحرجة ولا بد من تطبيق معادلات *kessler-lee* و *whitson* لحساب الخواص الحرجة لـ C_7^+ .

- حساب درجة حرارة غليان C_7^+ :

$$T_{bc7} = (4.5579 \cdot M_{C7}^{0.15178} \cdot \gamma_{C7}^{0.15427})^3$$

حيث: M_{C7} : الوزن الجزيئي للمركب C_7^+ .

γ_{C7} : كثافة المركب C_7^+ .

-حساب الضغط شبه الحرج لـ C_7^+ :

$$P_{pcC7} = \exp \left[8.3634 - \frac{0.0566}{\gamma_{C7}} - \left(0.24244 + \frac{2.2898}{\gamma_{C7}} + \frac{0.11857}{\gamma_{C7}^2} \right) \cdot \frac{T_{bcC7}}{1.000} + \left(1.4685 + \frac{3.648}{\gamma_{C7}} + \frac{0.47227}{\gamma_{C7}^2} \right) \cdot \frac{T_{bcC7}^2}{10^7} - \left(0.42019 + \frac{1.6977}{\gamma_{C7}^2} \right) \cdot \frac{T_{bcC7}^3}{10^{10}} \right]$$

- حساب درجة الحرارة شبه الحرجة لـ C_7^+ :

$$T_{pcC7} = (341.7 + 811. \gamma_{C7}) + (0.4244 + 0.1174. \gamma_{C7}). T_{bcC7} + (0.4669 - 3.2623. \gamma_{C7}). \frac{10^5}{T_{bcC7}}$$

- تحديد معاملات التصحيح F_J, ξ_J, ξ_K للمركبات ذات الوزن الجزيئي العالي باستخدام طريقة Sutton :

$$F_J = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{Y_{C7} \cdot T_{C7}}{P_{C7}} \right) + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{Y_{C7}^2 \cdot T_{C7}}{P_{C7}} \right)$$

$$\xi_J = 0.6081. F_J + 1.1325. F_J^2 - 14.004. F_J. Y_{C7} + 64.434. F_J. Y_{C7}^2$$

$$\xi_K = \left(\frac{T_{C7}}{\sqrt{P_{C7}}} \right) \cdot (0.3129. Y_{C7} - 4.8156. Y_{C7}^2 + 27.3751. Y_{C7}^3)$$

- حساب البارامترات K, J :

$$J = \frac{1}{3} \cdot \sum_{i=1}^{n_c} \left(\frac{Y \cdot T_C}{P_C} \right)_i + \frac{2}{3} \cdot \left[\sum_{i=1}^{n_c} \left(Y \cdot \sqrt{\frac{T_C}{P_C}} \right)_i \right]^2$$

$$K = \sum_{i=1}^{n_c} \left(\frac{Y \cdot T_C}{\sqrt{P_C}} \right)_i$$

حيث: T_C, P_C درجة الحرارة والضغط الحرجين لمركبات المزيج والتي تؤخذ من جداول خاصة .

- تصحيح المعاملات K, J للمركب C_7^+ :

$$J' = J - \xi_J$$

$$K' = K - \xi_K$$

- حساب الضغط و درجة الحرارة شبه الحرجين للمزيج :

$$T_{Pc} = \frac{K'^2}{J'}$$

$$P_{Pc} = \frac{T_{Pc}}{J'}$$

ولكن هذه المعادلات ستعطي قيم غير صحيحة إذا لم تأخذ بعين الاعتبار وجود المركبات غير الهيدروكربونية .

5- تصحيح الخواص شبه الحرجة عند تواجد H_2S, CO_2 :

لقد طور Aziz و Wichert علاقة لحساب تأثير H_2S, CO_2 على الخواص شبه الحرجة ، و يجب تطبيق هذه العلاقة عند استخدام T_{pc}, P_{pc} لمعرفة قيمة العامل Z وكثافة الغاز وانضغاطية الغاز وهذه العلاقة هي التالية:

$$\xi = 120. (A^{0.9} - A^{1.6}) + 15. (B^{0.5} - B^4)$$

كما يمكن الحصول على قيمة العامل ξ من منحنى بياني.

$$A = Y_{H_2S} + Y_{CO_2}$$

$$B = Y_{H_2S}$$

حيث تحسب كل من P'_{pc}, T'_{pc} عند وجود H_2S, CO_2 كما يلي :

$$T'_{Pc} = T_{Pc} - \xi$$

$$P'_{PC} = \frac{P_{PC} \cdot T'_{PC}}{[T_{PC} + B \cdot (1-B) \cdot \xi]}$$

حيث A: مجموع الكسرين الموليين لـ H_2S ، CO_2 في المزيج الغازي .

B : الكسر المولي لـ H_2S في المزيج الغازي .

هذه العلاقة تطبق على الغازات الواقعة تحت الشروط التالية :

$$154 < P(\text{psia}) < 7.026$$

$$40 < T(F^\circ) < 300$$

$$0 < CO_2(\text{mol } \%) < 45.56$$

$$0 < H_2S(\text{mol } \%) < 73.85$$

6- تصحيح الخواص شبه الحرجة نتيجة تواجد N_2 وبخار الماء :

يوجد علاقات خاصة لحساب تأثير تواجد N_2 وبخار الماء على الخواص شبه الحرجة للمزيج الغازي ولكنها تعتبر علاقات شبه تجريبية ولا تعتبر دقيقة إلا في الحالة التي تعطي نتائج جيدة أفضل من النتائج التي نحصل عليها عند تجاهل وجودها وهذه العلاقات هي :

$$T_{PC}^{cor} = -246.1 \cdot Y_{N_2} + 400 \cdot Y_{H_2O}$$

$$P_{PC}^{cor} = -162 \cdot Y_{N_2} + 1270 \cdot Y_{H_2O}$$

وتكون الخواص المصححة هي :

$$T''_{PC} = \frac{T'_{PC} - 227.2 \cdot Y_{N_2} - 1165 \cdot Y_{H_2O}}{1 - Y_{N_2} - Y_{H_2O}} + T_{PC}^{cor}$$

$$P''_{PC} = \frac{P'_{PC} - 493.1 \cdot Y_{N_2} - 3200 \cdot Y_{H_2O}}{1 - Y_{N_2} - Y_{H_2O}} + P_{PC}^{cor}$$

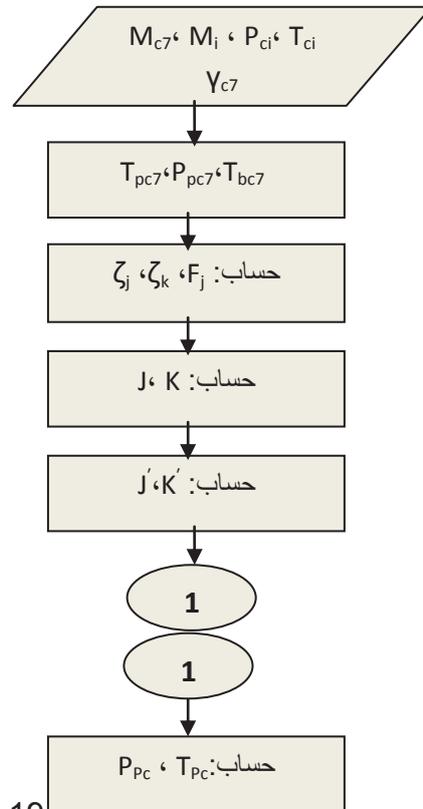
حيث T'_{pc}, P'_{pc} الخواص شبه الدرجة المصححة لوجود H_2S, CO_2 حسب Aziz و Wichert. في حال عدم وجود H_2S أو CO_2 في المزيج الغازي عندها يكون :

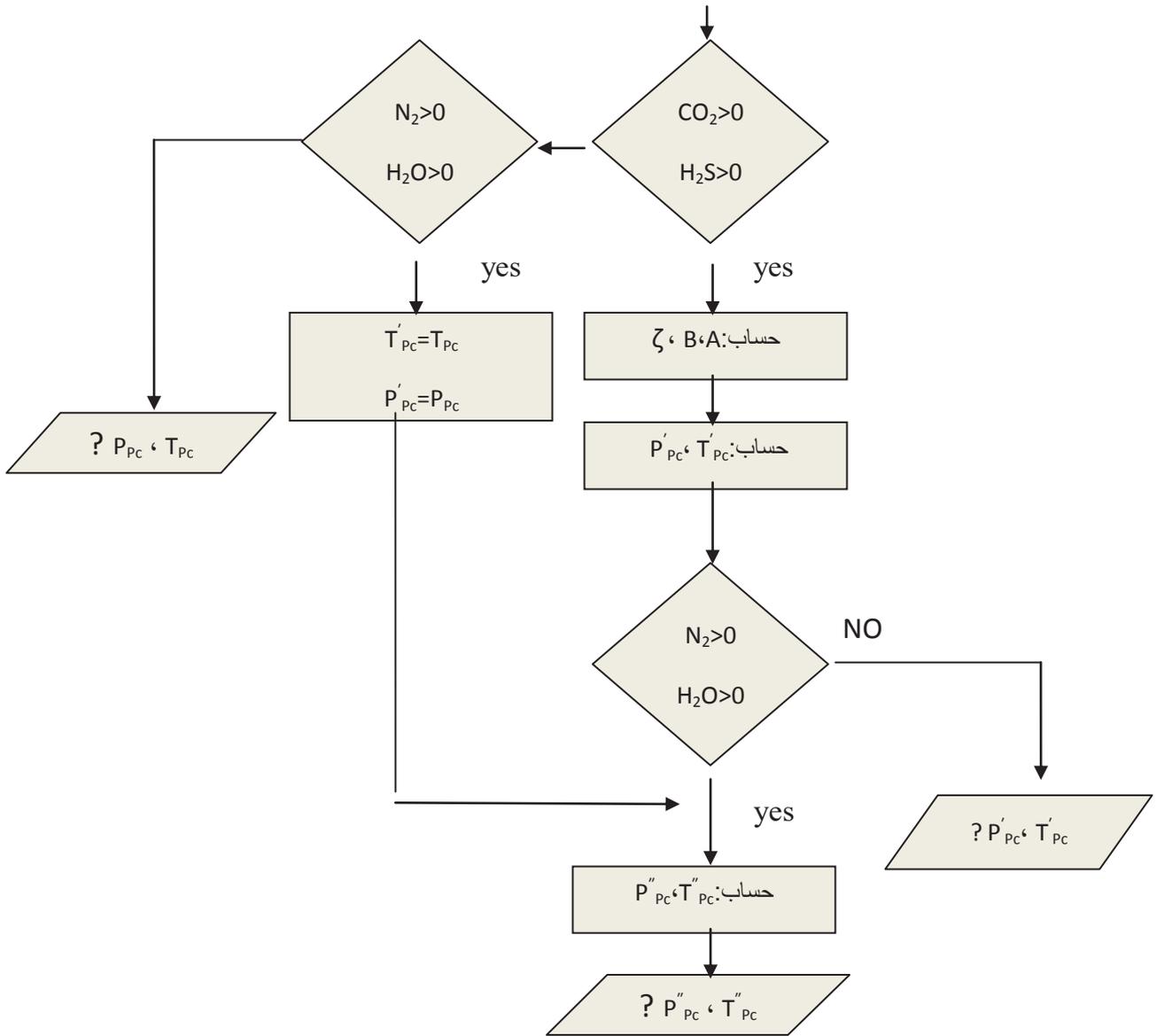
$$P'_{pc} = P_{pc}$$

$$T'_{pc} = T_{pc}$$

الجزء العملي

تم وضع برنامج حاسوبي يمكن من خلاله حساب درجة الحرارة شبه الدرجة والضغط شبه الحرج قبل التصحيح (دون الأخذ بعين الاعتبار وجود المركبات غير الهيدروكربونية) وبعده وذلك اعتماداً على طريقة (Stewart et al)، والشكل (3) يبين المخطط الخوارزمي للبرنامج السابق، وقد تم اختبار هذا البرنامج على بعض العينات الواردة في المراجع العلمية .





الشكل (3) يبين المخطط الخوارزمي لبرنامج حساب الخواص شبه الحرجة وفق طريقة Stewart et al

العينة المبينة في الجدول (1) تمثل عينة غاز طبيعي حامضي مأخوذة من أحد المراجع

العلمية [1] ، والخصائص شبه الحرجة لها قبل التصحيح تساوي : $T_{pc}= 397.7 R^{\circ}$

$P_{pc}= 771.2 Psi$

وأما بعد التصحيح فهذه الخصائص تساوي : $T'_{pc}=372.2 R^{\circ}$ ، $P'_{pc}= 714.9 Psi$

عند تطبيق البرنامج على هذه العينة حصلنا على النتائج التالية:

$P_{pc}= 770.5844 Psi$ ، $T_{pc}= 397.6103 R^{\circ}$

$P'_{pc}= 714.2858 Psi$ ، $T'_{pc}=372.1113 R^{\circ}$

-حساب مقدار الانحراف:

$$\xi = \frac{\text{القيمة التجريبية} - \text{القيمة المحسوبة}}{\text{القيمة التجريبية}} . 100$$

تم حساب مقدار الانحراف بالنسبة لقيم الضغط ودرجة الحرارة شبه الحرجين المصححة

وغير المصححة وذلك بين القيم التجريبية والقيم التي حصلنا عليها باستخدام البرنامج

المذكور سابقاً.

	الضغط شبه الحرج غير المصحح	الضغط شبه الحرج المصحح	درجة الحرارة شبه الحرجة غير المصححة	درجة الحرارة شبه الحرجة المصححة
ξ	0.0798	0.0859	0.0226	0.0238

الجدول (1)

المر كبات	C ₁	C ₂	C ₃	iC ₄	n C ₄	iC ₅	n C ₅	C ₆	C ₇ +	H ₂ S	C O ₂	N ₂
الك	0. 77	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 18	0. 01	0. 02
سر المو	00	42	05	03	03	6	01	01	03	41	64	36

تأثير المركبات غير الهيدروكربونية على الخصائص شبه الحرجة للمتكثفات الغازية

لي													
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

الجدول (2)

بعد التأكد من صلاحية البرنامج تم تطبيقه على عينة متكثفات غازية نظيفة (لا تحتوي أي من المركبات غير الهيدروكربونية) [6] والتي يظهر تركيبها في الجدول (2)، ثم قمنا بإضافة المركبات CO_2 ، H_2S ، N_2 ، H_2O ، وفق نسب مختلفة وحساب قيم T_{pc} ، P_{pc} غير المصححة وبعد التصحيح، بعد ذلك تم رسم المنحنيات التي تقارن بين هذه القيم وفق المراحل التي سيتم شرحها لاحقاً.

المركبات	C_1	C_2	C_3	iC_4	nC_4	iC_5	nC_5	C_6	C_7^+	H 2 S	C O 2	H 2 O	N 2
الكسر المولي	0.8 23 8	0.0 42 8	0.0 35 1	0.0 16 1	0.0 30 3	0. 00 6	0.0 06 8	0.0 09 9	0.0 29 3	0	0	0	0

الجدول (3) يبين التركيب المولي لعينة الدراسة

حيث: الوزن الجزيئي للمركب C_7^+ : $M_{C_7^+} = 125 \text{ lbm/lbm.mol}$
كثافة المركب C_7^+ : $\gamma_{C_7^+} = 0.74$

نتائج تطبيق البرنامج:

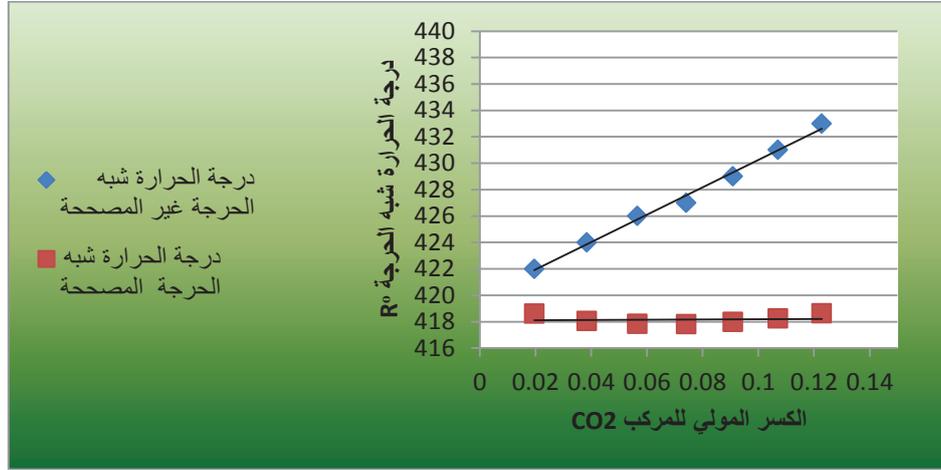
1- عند تطبيق البرنامج على عينة المتكثفات الغازية النظيفة، كانت قيمة درجة الحرارة شبه الحرجة و الضغط شبه الحرج على التوالي كما يلي: $T_{pc} = 418(R^\circ)$ ، $P_{pc} = 648(Psi)$ ،

2- دراسة تأثير كل مركب من المركبات (H_2S, CO_2, N_2, H_2O) عند اضافته بشكل منفرد.

2-1 عند إضافة المركب CO_2 وفق النسب التالية: 0.02 - 0.04 - 0.06 - 0.08 - 0.1 - 0.12 حصلنا على النتائج الموضحة في الجدول (4)، ومثلت النتائج على شكل منحنيات بيانية تربط بين الكسر المولي للمركب CO_2 وكل من درجة الحرارة والضغط شبه الحرجيين قبل التصحيح وبعده .

الكمية المضافة من المركب CO_2 (مول)	الكسر المولي للمركب CO_2 في الخليط	القيم شبه الحرجة غير المصححة		القيم شبه الحرجة المصححة	
		درجة الحرارة (R°)	الضغط (Psi)	درجة الحرارة (R°)	الضغط (Psi)
0.02	0.0196	422	654	418.61	649
0.04	0.0385	424	660	418.06	651
0.06	0.0566	426	666	417.83	654
0.08	0.0741	427	671	417.82	656
0.1	0.0909	429	677	417.97	659
0.12	0.1071	431	682	418.25	662

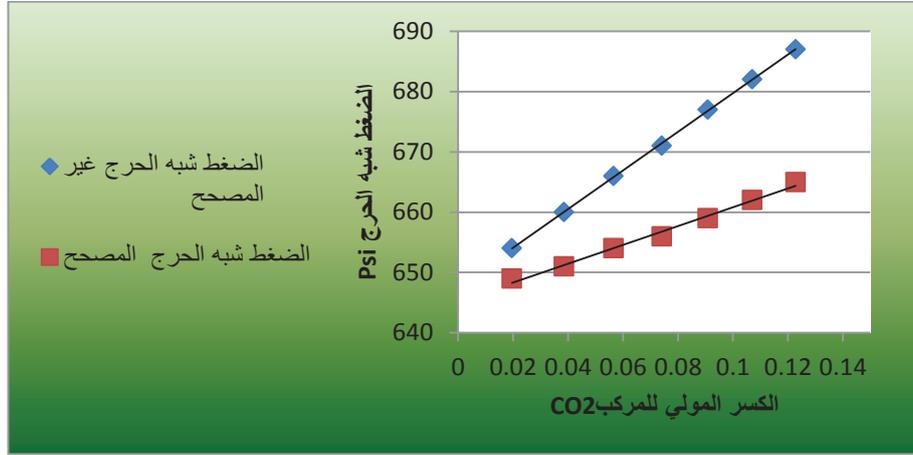
الجدول (4)



الشكل (4) يبين العلاقة بين الكسر المولي للمركب CO₂ ودرجة الحرارة شبه الحرجة قبل التصحيح وبعده

نلاحظ من الشكل ما يلي:

- تزداد درجة الحرارة شبه الحرجة غير المصححة مع ازدياد الكسر المولي للمركب CO₂.
- تنخفض درجة الحرارة شبه الحرجة بعد تصحيحها بالنسبة للمركب CO₂ ، ويزداد مقدار الانخفاض مع زيادة الكسر المولي للمركب CO₂ .
- تنخفض درجة الحرارة شبه الحرجة المصححة مع ازدياد الكسر المولي للمركب CO₂ في البداية ، ثم تعود للارتفاع بدءاً من القيمة 0.909.
- إن مقدار التغير في درجة الحرارة شبه الحرجة المصححة صغير جداً بحيث يمكن اعتبارها ثابتة تقريباً.



الشكل (5) يبين العلاقة بين الكسر المولي للمركب CO₂ الضغط شبه الحرج قبل التصحيح وبعده

نلاحظ من الشكل السابق ما يلي:

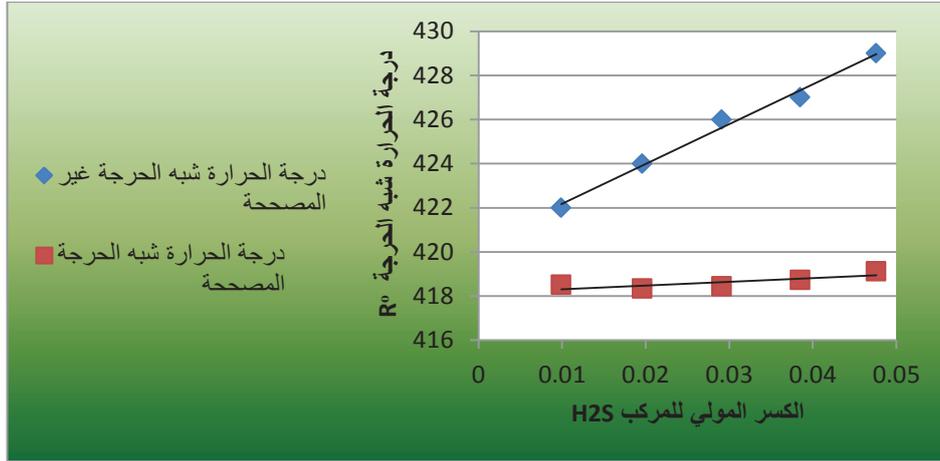
- يزداد الضغط شبه الحرج مع ازدياد الكسر المولي للمركب CO₂.
 - ينخفض الضغط بعد تصحيحه بالنسبة للمركب CO₂، ويكون مقدار الانخفاض أكبر عند النسب الأعلى من المركب CO₂.
- 2-2 عند إضافة المركب H₂S وفق النسب التالية: 0.01- 0.02- 0.03- 0.04- 0.05- حصلنا على النتائج الموضحة في الجدول (5)، والأشكال المرافقة.

الكمية المضافة من المركب H ₂ S (مول)	الكسر المولي للمركب H ₂ S في الخليط	القيم شبه الحرجة غير المصححة		القيم شبه الحرجة المصححة	
		درجة الحرارة (R ^o)	الضغط (Psi)	درجة الحرارة (R ^o)	الضغط (Psi)
0.01	0.0099	422	653	418.51	647.57
0.02	0.0196	424	657	418.34	648.62
0.03	0.0291	426	661	418.45	650.03
0.04	0.0385	427	666	418.73	651.64

تأثير المركبات غير الهيدروكربونية على الخصائص شبه الحرجة للمتكثفات الغازية

0.05	0.0476	429	670	419.12	653.39
------	--------	-----	-----	--------	--------

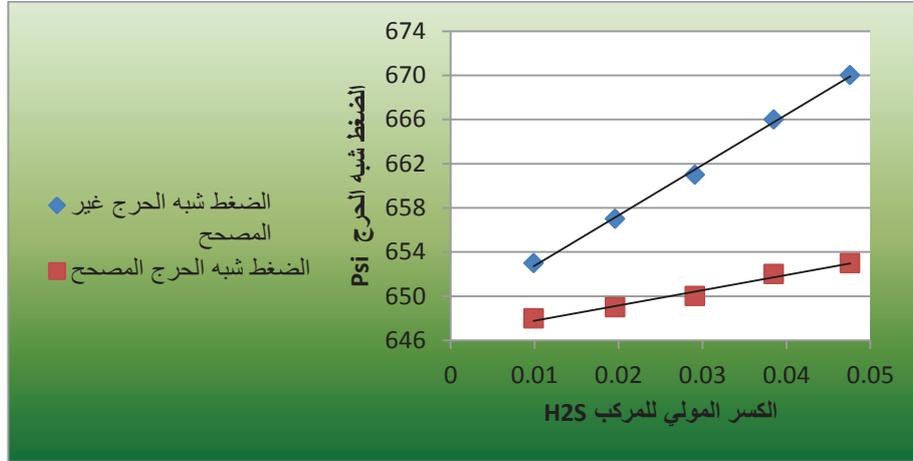
الجدول (5)



الشكل (6) يبين العلاقة بين الكسر المولي للمركب H₂S ودرجة الحرارة شبه الحرجة قبل التصحيح وبعده

نلاحظ من الشكل ما يلي:

- تزداد درجة الحرارة شبه الحرجة غير المصححة مع ازدياد الكسر المولي للمركب H₂S.
- تنخفض درجة الحرارة شبه الحرجة بعد تصحيحها بالنسبة للمركب H₂S ، ويزداد مقدار الانخفاض مع زيادة الكسر المولي للمركب H₂S .
- تنخفض درجة الحرارة شبه الحرجة المصححة عند القيمة 0.0196 للكسر المولي ، ثم تعود للارتفاع .
- إن مقدار التغير في درجة الحرارة شبه الحرجة المصححة صغير جداً بحيث يمكن اعتبارها ثابتة تقريباً.



الشكل (7) يبين العلاقة بين الكسر المولي للمركب H₂S والضغط شبه الحرج قبل التصحيح ويعدده

نلاحظ من الشكل السابق مايلي:

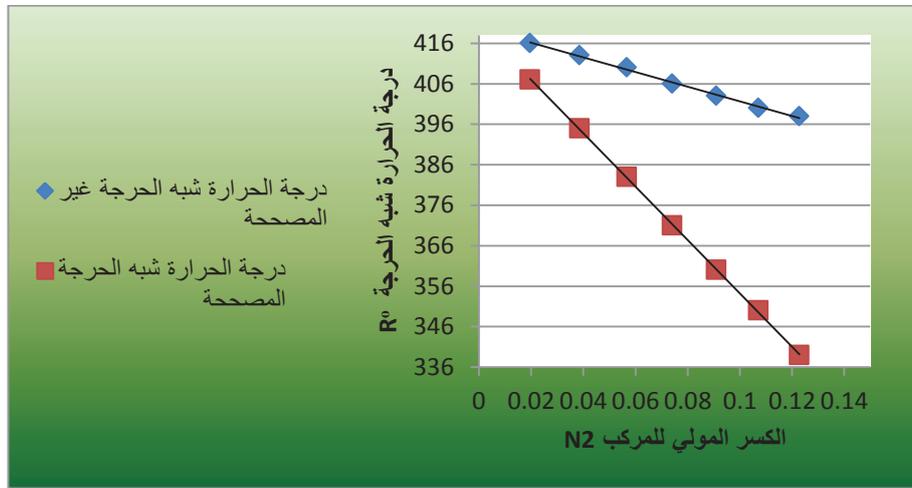
- يزداد الضغط شبه الحرج مع ازدياد الكسر المولي للمركب H₂S .
 - ينخفض الضغط شبه الحرج بعد تصحيحه بالنسبة للمركب H₂S، ويكون مقدار الانخفاض أكبر عند النسب الأعلى من المركب H₂S .
- 2-3 عند إضافة المركب N₂ وفق النسب التالية: -0.06 -0.08
- 0.02 -0.04 -0.1 -0.12 -0.14 حصلنا على النتائج الموضحة في الجدول (6)، والأشكال المرافقة.

الكمية المضافة من المركب N ₂ (مول)	الكسر المولي للمركب N ₂ في الخليط	القيم شبه الحرجة غير المصححة		القيم شبه الحرجة المصححة	
		درجة الحرارة (R ^o)	الضغط (Psi)	درجة الحرارة (R ^o)	الضغط (Psi)
0.02	0.0196	416	647	407	634

تأثير المركبات غير الهيدروكربونية على الخصائص شبه الحرجة للمتكثفات الغازية

0.04	0.0385	413	645	395	620
0.06	0.0566	410	643	383	606
0.08	0.0741	406	642	371	593
0.1	0.0909	403	640	360	580
0.12	0.1071	400	638	350	568
0.14	0.1228	398	637	339	556

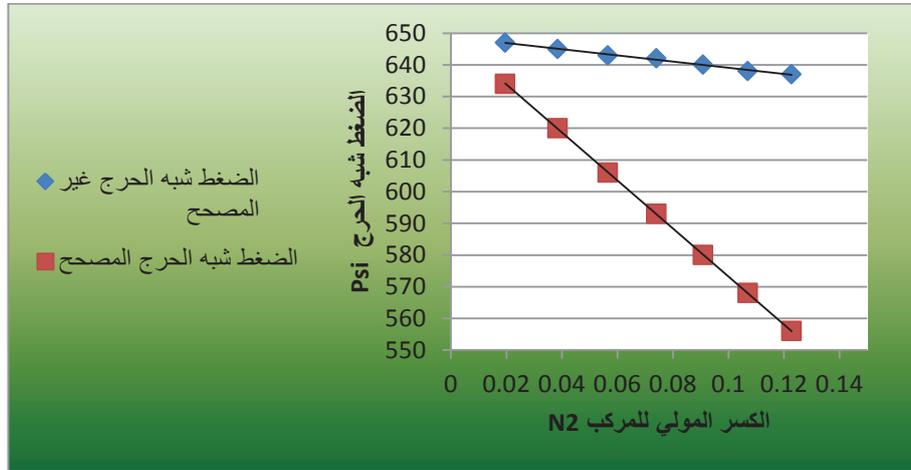
الجدول (6)



الشكل (8) يبين العلاقة بين الكسر المولي للمركب N₂ ودرجة الحرارة شبه الحرجة قبل التصحيح وبعده

نلاحظ من الشكل ما يلي:

- تنخفض درجة الحرارة شبه الحرجة بعد تصحيحها بالنسبة للمركب N₂، ويزداد مقدار هذا الانخفاض مع ازدياد الكسر المولي للمركب N₂.
- تنخفض درجة الحرارة شبه الحرجة مع ازدياد الكسر المولي للمركب N₂ ويكون معدل الانخفاض أكبر بالنسبة لدرجة الحرارة شبه الحرجة المصححة.



الشكل (9) يبين العلاقة بين الكسر المولي للمركب N₂ والضغط شبه الحرج قبل التصحيح وبعده

نلاحظ من الشكل السابق مايلي:

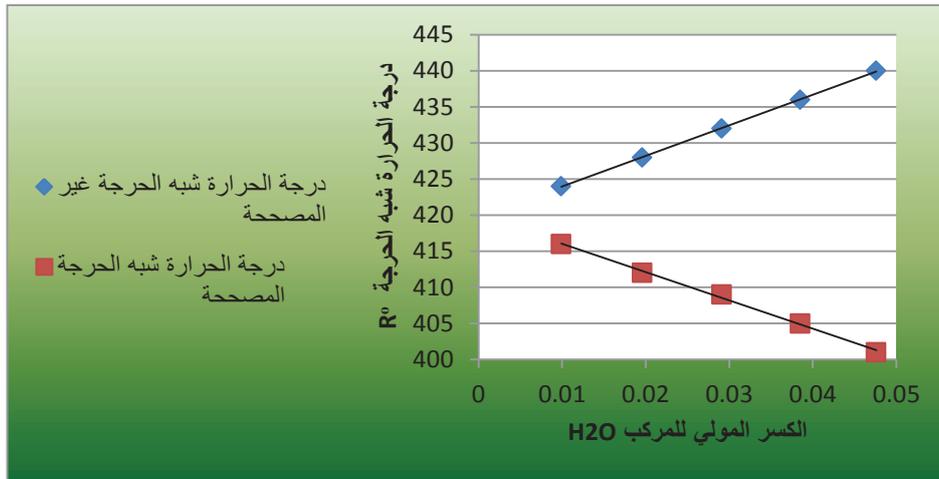
- ينخفض الضغط شبه الحرج مع ازدياد الكسر المولي للمركب N₂ ويكون معدل الانخفاض أكبر بالنسبة للضغط المصحح.
 - ينخفض الضغط شبه الحرج بعد تصحيحه بالنسبة للمركب N₂، ويزداد مقدار هذا الانخفاض مع ازدياد الكسر المولي للمركب N₂.
- 2 - 4 عند إضافة المركب H₂O وفق النسب التالية: -0.02 -0.03 -0.04 -0.05
0.01 حصلنا على النتائج الموضحة في الجدول (7)، والأشكال المرافقة.

الكمية المضافة من المركب H ₂ O (مول)	الكسر المولي للمركب H ₂ O في الخليط	القيم شبه الحرجة غير المصححة		القيم شبه الحرجة المصححة	
		درجة الحرارة (R ^o)	الضغط (Psi)	درجة الحرارة (R ^o)	الضغط (Psi)

تأثير المركبات غير الهيدروكربونية على الخصائص شبه الحرجة للمتكثفات الغازية

0.01	0.0099	424	658	416	638
0.02	0.0196	428	667	412	628
0.03	0.0291	432	676	409	617
0.04	0.0385	436	686	405	607
0.5	0.0476	440	695	401	596

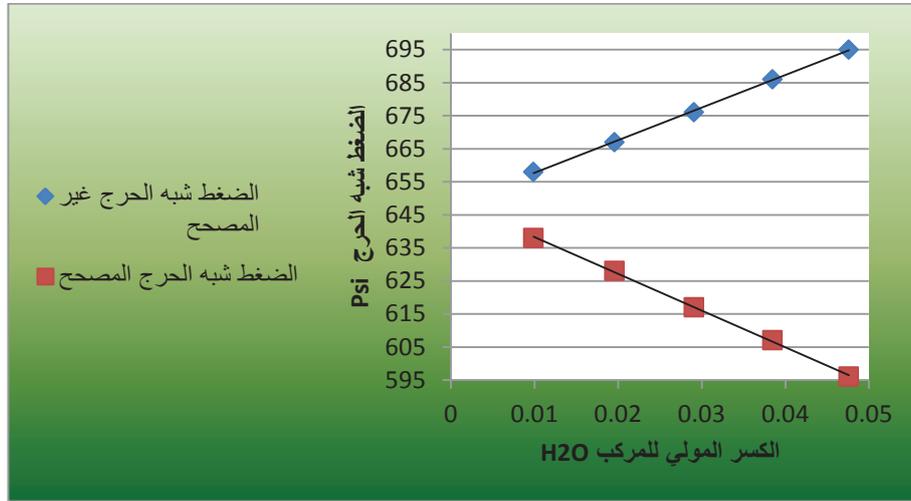
الجدول (7)



الشكل (10) يبين العلاقة بين الكسر المولي للمركب H_2O ودرجة الحرارة شبه الحرجة قبل التصحيح وبعده

نلاحظ من الشكل مايلي:

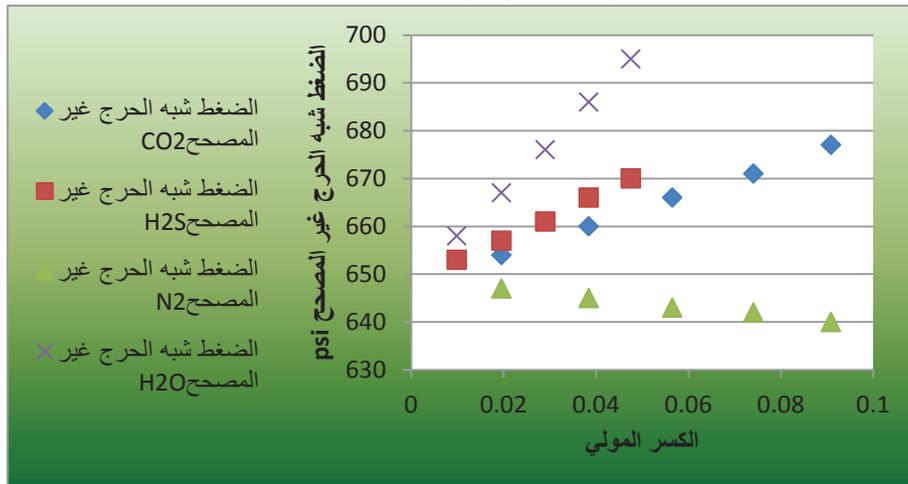
- تزداد درجة الحرارة شبه الحرجة غير المصححة مع ازدياد الكسر المولي للمركب H_2O .
- تنخفض درجة الحرارة شبه الحرجة بعد تصحيحها بالنسبة للمركب H_2O ، ويزداد مقدار هذا الانخفاض مع ازدياد الكسر المولي للمركب H_2O .
- تنخفض درجة الحرارة شبه الحرجة المصححة مع ازدياد الكسر المولي للمركب H_2O .



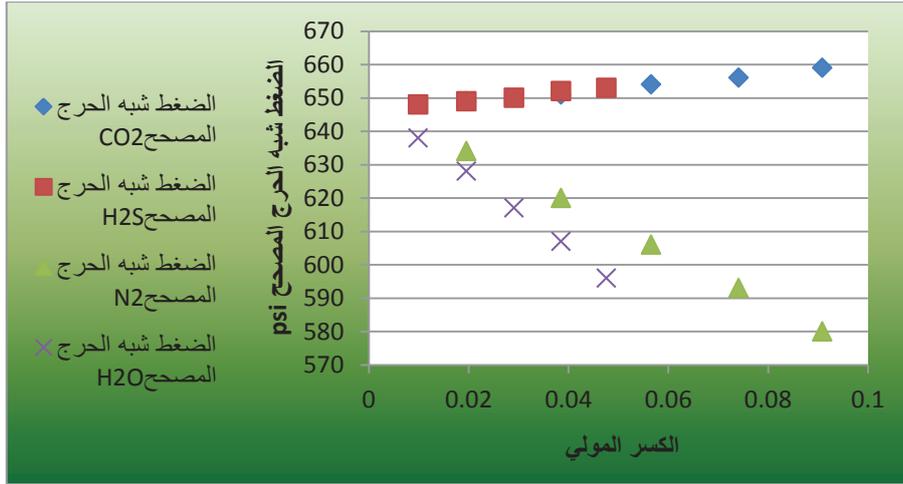
الشكل (11) يبين العلاقة بين الكسر المولي للمركب H₂O والضغط شبه الحرج قبل التصحيح وبعده

نلاحظ من الشكل ما يلي:

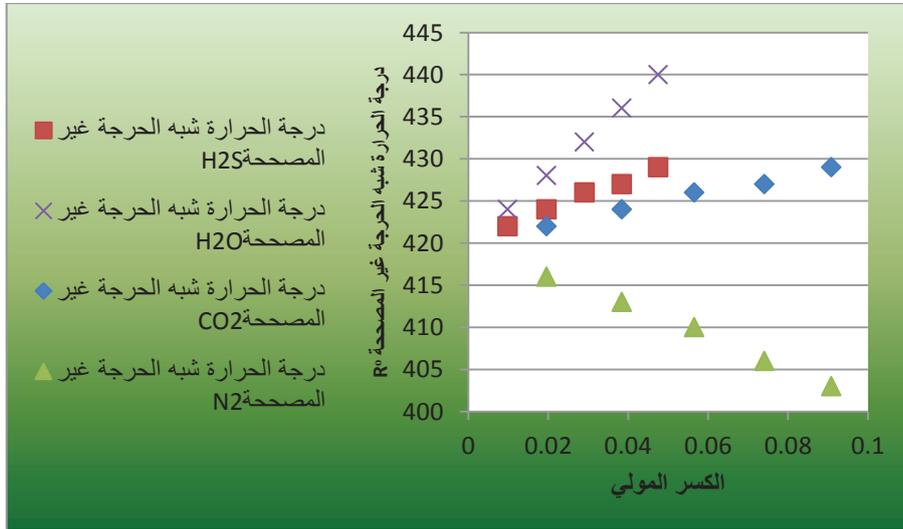
- يزداد الضغط شبه الحرج غير المصحح مع ازدياد الكسر المولي للمركب H₂O.
- ينخفض الضغط شبه الحرج بعد تصحيحه بالنسبة للمركب H₂O، ويزداد مقدار هذا الانخفاض مع ازدياد الكسر المولي للمركب H₂O.
- ينخفض الضغط شبه الحرج المصحح مع ازدياد الكسر المولي للمركب H₂O.



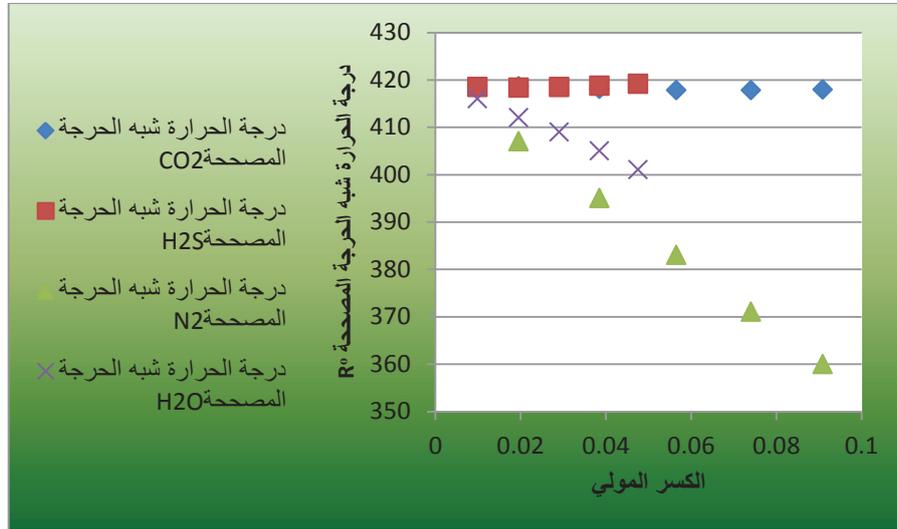
الشكل (12) يبين العلاقة بين الكسر المولي والضغط شبه الحرج غير المصحح للمركبات (H₂O،N₂،CO₂،H₂S)



الشكل (13) يبين العلاقة بين الكسر المولي والضغط شبه الحرج المصحح للمركبات (H₂O،N₂،CO₂،H₂S)



الشكل (14) يبين العلاقة بين الكسر المولي ودرجة الحرارة شبه الحرجة المصححة للمركبات (H₂O،N₂،CO₂،H₂S)



الشكل (15) يبين العلاقة بين الكسر المولي ودرجة الحرارة شبه المصححة للمركبات (H_2O, N_2, CO_2, H_2S)

نلاحظ من الأشكال السابقة ما يلي:

- يكون مقدار الزيادة في درجة الحرارة الضبط شبه الحرجين غير المصححين عند وجود المركب H_2O أكبر مما هو عليه عند وجود المركبين H_2S, CO_2 حيث تكون قيم الضبط متقاربة نوعاً ما .
- إن مقدار الانخفاض في الضبط ودرجة الحرارة عند وجود المركب N_2 يعادل تقريباً مقدار الزيادة عند وجود المركب CO_2 .
- يزداد مقدار الانخفاض في الضبط ودرجة الحرارة بعد التصحيح عند وجود المركب N_2 .
- تبقى قيم الضبط ودرجة الحرارة شبه الحرجين متقاربة حتى بعد التصحيح وذلك عند وجود المركبين CO_2, H_2S .

سنعرض فيما يلي نص البرنامج الحاسوبي:

```
REM"STEWART METHOD TO CALCULATE
PSEADOCRITICAL TEMPERATURE AND PRESSURE"
```

```

DIM Y(13)
DIM PC(13)
DIM TC(13)
DIM K(13)
DIM D(13)
DIM Q(13)
DIM I(13)
INPUT "MOLECULAR WEIGHT OF C7+ MC7="; MC7
INPUT "DENSITY OF C7+ GC7="; GC7
INPUT " MOLE FRACTION OF CH4 Y(1)="; Y(1)
INPUT " MOLE FRACTION OF C2H6 Y(2)="; Y(2)
INPUT " MOLE FRACTION OF C3H8 Y(3)="; Y(3)
INPUT " MOLE FRACTION OF i-C4H10 Y(4)="; Y(4)
INPUT " MOLE FRACTION OF n-C4H10 Y(5)="; Y(5)
INPUT " MOLE FRACTION OF i-C5H12 Y(6)="; Y(6)
INPUT " MOLE FRACTION OF n-C5H12 Y(7)="; Y(7)
INPUT " MOLE FRACTION OF C6H14 Y(8)="; Y(8)
INPUT " MOLE FRACTION OF C7+ Y(9)="; Y(9)
INPUT " MOLE FRACTION OF H2S YH2S="; YH2S
INPUT " MOLE FRACTION OF CO2 YCO2="; YCO2
INPUT " MOLE FRACTION OF N2 YN2="; YN2
INPUT " MOLE FRACTION OF H2O YH2O="; YH2O
PC(1) = 666.4: PC(2) =706.5: PC(3) = 616:
PC(4) = 527.9: PC(5)= 550.6:PC(6) = 490.4:
PC(7) = 488.6: PC(8)= 436.9: PC(N2) =507.5:
PC(H2S)=1306 : PC(CO2) = 1071:
PC(H2O)=3200
TC(1)= 343: TC(2)= 549.59: TC(3)= 665.73:
TC(4) = 734.13: TC(5) = 765.29: TC(6) =
828.77: TC(7) = 845.47: TC(8) = 913.27:
TC(N2) = 239.26:
TC(H2S) = 672.35: TC(CO2) = 547.58: TC(H2O) =
1164.85
Y(10) = YH2S: PC(10) = 1306: TC(10) = 672.35
Y(11) = YCO2: PC(11) = 1071: TC(11) = 547.58
Y(12) = YN2: PC(12) = 507.5: TC(12) = 239.26

```

```

Y(13) = YH2O: PC(13) = 3200.1: TC(13) =
1164.85
FOR I = 1 TO 13
M = Y(I) + M
PRINT "M="; M
NEXT I
FOR I = 1 TO 13
Y(I) = Y(I) / M
PRINT "Y(I)="; Y(I)
NEXT I
TBC7 = (4.5579 * MC7 ^ .15178 * GC7 ^ .15427)
^ 3
PPCC7 = EXP(8.3634 -.0566 /GC7 - (.24244 +
2.2898 / GC7 + .11857/GC7 ^ 2) * TBC7 / 1000
+ (1.4685 + 3.648 / GC7 + .47227 / GC7 ^ 2) *
((TBC7 ^ 2) / 10 ^ 7) - (.42019 + 1.6977 /
(GC7 ^ 2) * TBC7 ^ 3 / 10 ^ 10
TPCC7 = (341.7 + 811 * GC7) + (.4244 + .1174
* GC7) * TBC7 + (.4669 - 3.2623 * GC7) * 10 ^
5 / TBC7
PRINT "PSEADOCRITICAL TEMPERATURE OF C7+
TPCC7="; TPCC7
PRINT " PSEADOCRITICAL PRESSURE OF C7+
PPCC7="; PPCC7
FJ = 1 / 3 * (Y(9) * TPCC7 / PPCC7) + 2 / 3 *
(Y(9) ^ 2 * TPCC7 / PPCC7)
S = .6081 * FJ + 1.1325 * FJ ^ 2 - 14.004 * FJ
* Y(9) + 64.434 * FJ * Y(9) ^ 2
R = (TPCC7 / SQR(PPCC7)) * (.3129 * Y(9) -
4.8156 * Y(9) ^ 2 + 27.3751 * Y(9) ^ 3)
PC(9) = PPCC7
TC(9) = TPCC7
FOR I = 1 TO 13
PRINT "I="; I
PRINT "PC(I)="; PC(I)
PRINT "TC(I)="; TC(I)
PRINT "Y(I)="; Y(I)

```

```

K(I) = Y(I) * TC(I) / SQR(PC(I))
K(I) = K(I) + K(I -1)
D(I) = Y(I) * TC(I) / PC(I)
D(I) = D(I) + D(I -1)
Q(I) = Y(I) * SQR(TC(I)/PC(I))
Q(I) = Q(I) + Q(I -1)
PRINT "I="; I
NEXT I
Q = Q(13)
D = D(13)
K = K(13)
PRINT "Q="; Q
PRINT "D="; D
PRINT "K="; K
J = (1 / 3 * D) + (2 / 3 * Q ^ 2)
PRINT "J="; J
J1 = J - S
PRINT "J1="; J1
K1 = K - R
PRINT "K1="; K1
TPC = K1 ^ 2 / J1
PPC = TPC / J1
PRINT " PSEADOCRITICAL TEMPERATURE OF FLUID
TPC="; TPC
PRINT " PSEADOCRITICAL PRESSURE OF FLUID
PPC="; PPC
IF Y(10) > 0 GOTO 20
IF Y(11) > 0 GOTO 20
IF Y(12) > 0 GOTO 30
IF Y(13) > 0 GOTO 30
PRINT " PSEADOCRITICAL TEMPERATURE OF FLUID
TPC="; TPC
PRINT " PSEADOCRITICAL PRESSURE OF FLUID
PPC="; PPC
END
                20 A = Y(10) + Y(11)
PRINT "A="; A

```

```

B = Y(10)
PRINT "B="; B
L = 120 * (A ^ .9 - A ^ 1.6) + 15 * (B ^ .5 -
B ^ 4)
PRINT "L="; L
TPC1 = TPC - L
PPC1 = (PPC * TPC1) / (TPC + (B * (1 - B) *
L))
PRINT"CORRECTED PSEADOCRITICAL TEMPERATURE OF
FLUID TPC1="; TPC1
PRINT "CORRECTED PSEADOCRITICAL PRESSURE OF
FLUID PPC1="; PPC1
IF Y(12) > 0 GOTO 30
IF Y(13) > 0 GOTO 30
PRINT "YH2S="; Y(10)
PRINT "YCO2="; Y(11)
PRINT "YN2="; Y(12)
PRINT "YH2O="; Y(13)
END
          30 IF Y(11) > 0 THEN TPCC = TPC1
ELSE TPCC = TPC
IF Y(10) > 0 THEN PPCC = PPC1 ELSE PPCC = PPC
TPCcor = (-246.1 * Y(12)) + (400 * Y(13))
PPCcor = (-162 * Y(12)) + (1270 * Y(13))
TPC2 =(TPCC - (227.2 * Y(12)) - (1165 *
Y(13)))/(1 - Y(12)-Y(13)))+ TPCcor
PPC2 =(PPCC -(493.1 * Y(12)) -(3200 *
Y(13)))/(1 - Y(12) - Y(13)))+ PPCcor
PRINT "CORRECTED PSEADOCRITICAL TEMPERATURE
OF FLUID TPC2="; TPC2
PRINT "CORRECTED PSEADOCRITICAL PRESSURE OF
FLUID PPC2="; PPC2
PRINT " MOLE FRACTION OF H2S YH2S="; Y(10)
PRINT " MOLE FRACTION OF CO2 YCO2="; Y(11)
PRINT " MOLE FRACTION OF N2 YN2="; Y(12)
PRINT " MOLE FRACTION OF H2O YH2O="; Y(13)
END

```

النتائج والمقترحات :

- تم كتابة البرنامج السابق بلغة (QBASIC) .
- يأخذ هذا البرنامج بعين الاعتبار التصحيحات الواجب تطبيقها عند وجود مركبات غير هيدروكربونية في تركيب المتكثفات الغازية وذلك لحساب الخصائص شبه الحرجة للمتكثفات الغازية (الضغط ودرجة الحرارة).
- وجدنا من خلال الدراسة السابقة أن وجود المركبات غير الهيدروكربونية له تأثير على الضغط ودرجة الحرارة شبه الحرجين للمتكثفات الغازية .
- تتخفف درجة الحرارة شبه الحرجة بعد تصحيحها بالنسبة للمركبات غير الهيدروكربونية المضافة، حيث يصبح مقدار التعبير صغيراً مع زيادة الكسر المولي للمركب CO_2 والمركب H_2S
- أما عند وجود المركبين H_2O ، N_2 فنلاحظ أن مقدار الانخفاض في درجة الحرارة يزداد مع زيادة الكسر المولي لكل من المركبين .
- ينخفض الضغط شبه الحرج بعد تصحيحه بالنسبة للمركبات غير الهيدروكربونية المضافة، مع ملاحظة نفس التغيرات السابقة بالنسبة لدرجة الحرارة شبه الحرجة .
- تعاني مكامن المتكثفات الغازية من ظاهرة التكثف العكسي والتي تؤدي إلى ضياع كمية مهمة من المائع ضمن الطبقة والحيلولة دون انتاجه وهذا ما يؤثر سلباً على عملية الانتاج من جهة وعلى الناحية الاقتصادية من جهة أخرى نظراً للقيمة الاقتصادية العالية للمتكثفات الغازية ، ويتحدد مجال حدوث هذه الظاهرة بالنقطة الحرجة و الكريكونديتيرم ، وبالتالي فإن المركبات غير الهيدروكربونية سوف تؤثر في ظاهرة التكثف العكسي نتيجة لتأثيرها على الخصائص شبه الحرجة .

- تمت الدراسة السابقة عند وجود مركب واحد فقط من المركبات غير الهيدروكربونية في المتكثفات الغازية ،لذلك نقترح توسيع الدراسة لتشمل حالة وجود مركبين معاً أو أكثر ومعرفة التغير الذي يمكن أن يطرأ على كيفية تأثير هذه المركبات على الخصائص شبه الحرجة.

المراجع:

- 1- LEE, J & ROBERT,A, 1996-Gas Reservoir Engineering . Wattenbarger .
- 2-WILLIAM ,D. McCAIN,JR,1990 –The Properties Of Petroleum Fluids .
- 3-CARCOANA . A ,1992 – Applied Enhanced Oil Recovery.
- 4-DANESH ,A ,1998 – Pvt and Phase Behaviour Of Petroleum Reservoir Fluids . Elsevier Science & Technology Books. 388p
- 5-REV.IFO,Vol.57(2002),No.2,2002 - Oil And Gas Science And Technology.
- 6- ADEL M.Elsharkawy,2001-Predicting The Dew Point Pressure For Gas Condensate Reservoirs: Empirical Models And Equations of State.
- 7-Gulf polishing company,1969- Reservoir Engineering Manual.

