

الفصل الثاني

أساسيات سلوك الموائع الهيدروكرбونية

I - المفهوم الأساسي لسلوك أنظمة المواقع

يعتبر النفط والغاز حسب تركيبهما الكيميائي من الهيدروكربونات المعقدة الموجودة في الطبقة عند ضغوط وحرارة عالية .

لدى استثمار الطبقات المنتجة فإن الضغط الطبقي سيقل تدريجيا ، لذلك فالهيدروكربونات الباقية في الطبقة سوف تتعرض لتغيرات في صفاتها الفيزيائية من الضروري دراستها بالعلاقة مع الضغط والحرارة .

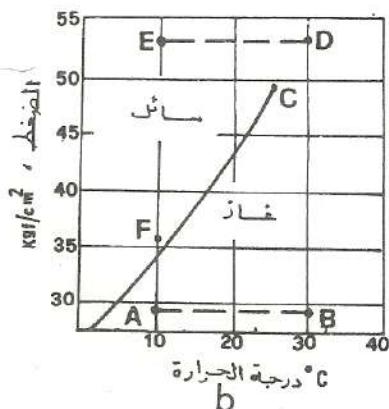
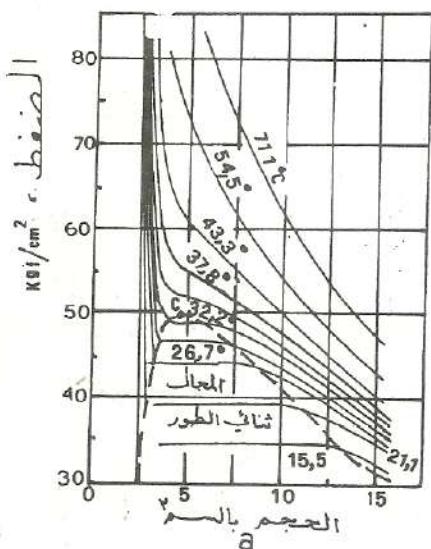
نتيجة لعمليات استثمار الحقول النفطية والغازية ستحدث تغيرات متواصلة على الضغط ونسبة كمية الغاز إلى النفط مما سيرافقه تغيرات في التركيب الطوري للغازات والسوائل وتحولات من طور إلى آخر . إن هذه التحولات ستحدث خاصة في أثناء حركة النفط من قاع البئر وإلى فوهرته وذلك نتيجة لهبوط سريع للضغط مما يؤدي إلى انفصال الغاز عندها وأحيانا قد يتكون عند فوهة البئر جريان غازي يحتوي على كميات قليلة من النفط . فيما بعد ولدى نقل النفط والغاز إلى المصانع فستحدث أيضا تحولات طورية بصورة مستمرة . فمثلا الغاز الذي يحتوي على كميات كبيرة من المركبات النفطية الطيارة في حالة غازية ، من الضروري معالجتها وتصفيتها لاستخلاص هذه المركبات منها . كذلك تستخلاص المركبات الطيارة من النفط الذي لا يحتوي على غاز وذلك لتخفيف كمية الفقدان في الخزانات الخاصة والمعدة له لتجنب التحولات الطورية في أثناء التخزين أو بالأحرى تحول المركبات الطيارة إلى حالة غازية مما يؤدي إلى زيادة كمية الفقدان من النفط .

لتوصيل إلى حلول تكنولوجية هامة ، علينا معرفة التحولات الطورية للمزيج المكون من النفط والغاز عند شروط مختلفة ، فمثلا واعتمادا على التحولات الطورية للهيدروكربونات توضع الخطط وال تصاميم الحقلية لاستثمار حقول المكتفات الغازية . كذلك تستخدم نظرية التحولات الطورية لحساب كمية وتركيب الغاز المنفصل عن

النفط عند ضغوط وحرارة مختلفة ، كمية وتركيب المركبات النفطية الطيارة الموجودة في الغاز .

I - I - الأنظمة ذات المركب الواحد :

من المعروف أن حجم الغازات الهيدروكربونية يتغير بالعلاقة مع الضغط والحرارة (انظر الشكل رقم 36) . من الشكل يتبين أن كل منحنٍ يمثل التغير الطوري للغاز المنفرد لدى ثبات درجة الحرارة ويتتألف من ثلاثة أجزاء . يمثل الطرف اليميني من الخط المنقط الحالة الغازية ، ويمثل الجزء الأفقي المجال الثاني الطور المكون من الغاز والسائل ، أما الجزء الكائن في الطرف الآخر من المنحنٍ المنقط فيمثل الحالة السائلة . الطرف اليميني للمنحنٍ المنقط من النقطة C يسمى بمنحنٍ نقاط التكثف ، بينما يمثل الطرف الآخر نقاط التبخّر . تسمى نقطة التقاء منحنٍ نقاط التكثف مع منحنٍ نقاط التبخّر بالنقطة الحرجة .



شكل رقم (36) منحنيات التحول الطوري للايتان

لدى اقتراب الضغط والحرارة من قيمها الحرجة فإن مواصفات الغاز والسائل ستصبح متساوية ويزول الحد الفاصل بينها وكثافتها ستكون متساوية .

وهكذا ولدى الاقتراب من النقطة الحرجة بالمنحنى الذي يمثل نقاط التبخر فإن كثافة السائل سوف تتحفظ باستمرار ، أما إذا اقتربنا منها بالمنحنى الذي يمثل نقاط التكثف فإن كثافة الغاز سوف تزداد باستمرار .

تصف التحولات الطورية للغاز المنفرد (وحيد الطور) بثبات الضغط في المجال المكون من غاز وسائل أو بالأحرى فإن الضغط بعد بدء الغاز بالتكثف سيبقى ثابتاً للفترة التي يتحول فيها إلى سائل ، بينما نلاحظ انخفاض الحجم من جراء التحول ، كذلك الأمر سيبقى الضغط بعد البدء بالتبخر ثابتاً حتى يتحول السائل إلى غاز لكل المجال الثنائي الطور . إن الغاز والسائل في المجال المذكور عند درجات حرارة معينة سيظلان في هذه الوضعية إذا كان الضغط متساوياً ضغط البخار المشبع لهذا السائل .

كذلك يمكننا تمثيل الحالة الطورية هذه بعلاقة الضغط مع الحرارة (انظر الشكل رقم b - 36) . عند هذه العلاقة فإن منحنى ضغط البخار المشبع في المخطط البياني الذي يمثل الضغط بالعلاقة مع درجة الحرارة ، يعتبر بنفس الوقت المنحنى الذي يصل نقاط التبخر ونقاط التكثف . أما عند الضغوط ودرجات الحرارة الأخرى فإن القيم سوف لا تتطابق على منحنى ضغط البخار المشبع وإنما ستكون إما أعلى منه وإما أخفض منه ، فإذا كان الضغط أعلى من منحنى ضغط البخار المشبع عند درجة حرارة معينة فإن المادة ستكون في حالة سائلية ، أما إذا كان الضغط عند نفس الدرجة من الحرارة أخفض منه فالمادة ستكون في حالة غازية .

يمثل المخطط البياني هذه الحالة الطورية للميدروكربونات المنفردة بالعلاقة مع الضغط والحرارة ويحدد بالنقطة الحرجة C . تعين هذه النقطة لأنظمة المركبات

الوحيدة الطور القيم الأعظمية للضغط والحرارة والتي عندها من الممكن تواجد طورين بنفس الوقت وضحت القيم الحرجة للضغط والحرارة في الجدول رقم (3).

من الشكل رقم (b - 36) يتبين أنه لدى تغير الضغط ودرجات الحرارة فإن الهيدروكربونات يمكنها التحول من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة مع تجاوز المجال الثاني الطور . إن الغاز الذي يتصف بالقيم الموجود عندها في النقطة A من الممكن نقله إلى القيم الموجودة بها عند النقطة B فيما إذا زدنا درجة الحرارة مع ثبات الضغط ومن ثم إلى النقطة D التي هي فوق النقطة الحرجة C فيما إذا زدنا الضغط مع ثبات درجة الحرارة ، وهكذا يتم الانتقال حتى النقطة F عن طريق النقطة E والتي تتصف المادة عندها بصفات السائل دون المرور بالمجال الثاني الطور .

I - 2 - الأنظمة ثنائية المركب ومتعددة المركبات :

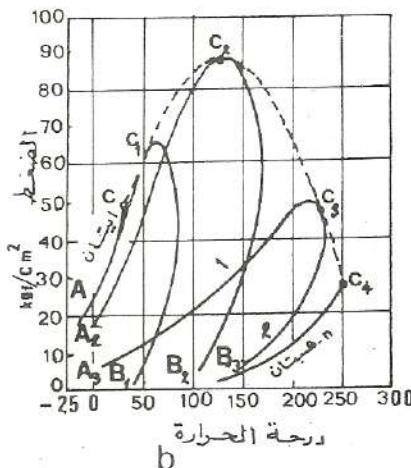
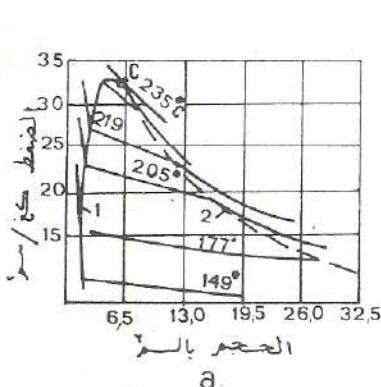
إذا وجد في النظام مركبتان أو أكثر من المركبات . الهيدروكربونية فالتحولات الطورية ستكون لها ميزاتها الخاصة . الشكل رقم (a-37) يوضح علاقة الحجم مع الضغط لمزيج البنتان والميتان حيث أن التركيز الوزني للأخير يساوي 52.4 % . يوضح الشكل المبين وبالمقارنة مع الشكل رقم (a-36) أن المجال الواقع على يمين المنحنى المنقط (منحني نقاط التكثف) يمثل المجال الغازي والتي تكون الخطوط الإزوتيرمية (خطوط تساوي الحرارة) لمركبتين أو أكثر مشابهة لخطوط تساوي الحرارة للمركب الوحيدة .

أما المجال الواقع فوق منحني نقاط التبخر فيمثل الحالة السائلية وخطوط تساوي الحرارة في هذا المجال سترداد بسرعة وهي أيضاً مشابهة لخطوط تساوي الحرارة للمركب الوحيدة . أما للمجال الثاني الطور فهناك اختلاف واضح . كنا قد وضحنا في الشكل رقم (a - 36) أن خطوط تساوي الحرارة للمجال الثاني

جدول رقم (3) الصفات الفيزيائية للمركبات الداخلة في ترکيب الغازات الطبيعية

المرشات الفازية	الرمز	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	$i-$	$n-$	$i-$	$n-$	CO_2	CO	H_2S	N_2	هراء
الموزن الجزيئي	M	16.04	30.06	44.06	58.08	58.08	72.15	72.15	44.01	28.01	34.08	28.02	28.97
الاختلاف بالنسبة للموزن	ρ	0.554	1.038	1.523	2.007	2.007	2.491	2.491	1.529	0.968	1.191	0.967	1.0
الاختلاف عند 760 مم زلبق	ρ'	0.717	1.344	1.967	2.598	2.598	3.046	3.046	1.977	1.250	1.539	1.250	1.293
وتصير درجة مئوية	kg/m^3												
الكتافة عند ρ_c و ρ_c'	kg/m^3	162	210	225.2	232.5	225.2	-	232	468	301	-	311	-
الحرارة الحرجة	T_c	-82.5	+33.0	+96.6	+134.0	152.0	187.8	197.2	+31.1	-140.2	100.4	-147.0	-140.7
الضغط المترجع	P_c	45.8	48.5	43.4	38.2	35.7	32.9	33.0	72.9	34.5	88.9	33.5	37.2
حجم الحفاز من المتر ³	M	22.4	1.4	0.74	0.51	0.39	0.39	0.31	0.31	0.51	0.80	0.66	0.80
كثافة $1m^3$ من الغاز	M^2	0.714	1.35	1.97	2.85	3.22	3.22	1.96	1.25	1.52	1.25	1.25	1.29

الطور للغاز المنفرد وتمثل خطوطاً أفقية أو بالأحرى فإن الضغط سيبقى ثابتاً للمجال الثاني الطور . أما الغازات الثنائية وما فوق كما يتبيّن من الشكل رقم (37 - a) فإن الضغط سوف لا يبقى ثابتاً للمجال الثاني الطور وإنما يجب رفعه كي تتم عملية تكثف الغاز بالشكل المطلوب ، لذلك فإن نقاط التبخر ستكون أعلى من نقاط التكثف . وعلى هذا الأساس يمكننا القول إن تركيب الغازات عند نقاط التبخر والتكثف سيكون غير متساوٍ . إن تركيب الغاز عند نقاط التكثف سيكون قريباً من تركيبه الأولي ، كذلك فإن تركيب السائل عند نقاط التبخر سيكون قريباً من تركيبه الأولي أيضاً أما للمجال الثاني الطور فإن تركيب الغاز والسائل يختلف عن التركيب الأولي للمزيج



شكل رقم (37) منحنيات التحولات الطورية للمركبات الثنائية

a - الضغط بالعلاقة مع الحجم لمزيج n - بنتان و n - هيبيتان والذي يتكون من 52.4 % من n - هيبيتان ، b - الضغط بالعلاقة مع درجة الحرارة لمزيج الایتان و n - هيبيتان ، (النقط C_1, C_2, C_3) تمثل النقط الحرجة لمزيج الذي يكون تركيزه 2.8 ، 50.25 ، 90.22 % من الایتان .

1 - المنحني الذي يصل نقاط التبخر ، 2 - المنحني الذي يصل نقاط التكثف .

ويتغير باستمرار بالعلاقة مع الضغط والحجم في النظام .

إن التحولات الطورية لنظام المركبات الثانية وما فوق لها خاصيتها المميزة في المجال القريب من قيم الضغط والحرارة الحرجة . لنظام الوحيد المركبة لا يمكن وجود مجال ثانٍ عند قيم للضغط والحرارة أكبر من القيم الحرجة أما عند الأنظمة للمركبات الثانية وما فوق فمن الممكن أن يوجد مجال لدى تقاطع منحنيات نقاط التكثف والتباخر يمثل طورين (سائل وغاز) عند قيم من الضغط ، الحرارة أكبر من القيم الحرجة .

ذلك يتبيّن وبظهور المركبة الثانية في النظام أن هناك اختلافاً كبيراً في المخططات البيانية للضغط بالعلاقة مع درجة الحرارة .

إن منحني نقاط التكثف والتباخر سوف لا تتطابق وستشكّل المنحني الطوري الذي سيكون شكله متأثراً ليس فقط بالضغط والحرارة ، وإنما بالتركيب الأولى لمزيج الغاز .

تمثل المنحنيات الأخيرة الواقعية في الطرفين منحنيات نقاط التباخر والتكثف للغازات المنفردة لليتان و n - هييتان ، حيث أن تركيز الابتان في المزيج هو بالشكل التالي $90.22\% , 50.25 , 9.8$ ذي النقاط الحرجة التالية C_1, C_2, C_3

يمثل الخط المنقط والموضع بالشكل رقم (37 - b) منحني النقاط الحرجة المتحركة لنظام إيتان و n - هييتان . تمثل الخطوط AC_1, AC_2, AC_3 نقاط التباخر لهذا المزيج (فوق ويسار هذه الخطوط فإن المزيج سيكون في حالة سائلة) . تمثل الخطوط BC_1, BC_2, BC_3 نقاط التكثف للمزيج (أسفل ويمين هذه الخطوط فإن المزيج سيكون في حالة غازية) .

بين منحنيات نقاط التكثف والتباخر يقع المجال الثاني للطور .

من الشكل (37 - b) يتبيّن أنه بزيادة احتواء المزيج على مركبة n - هييتان فإن النقطة الحرجة التي تقع في حالة توازن ستزاح نحو اليمين وإن منحنى نقاط التكثف والتباخر ستقترب من منحني ضغط البخار المشبع لمركبة الهييتان . كما أن قيم الضغط والحرارة الحرجة ستتغيّر إذا تغيّر تركيب المزيج وستكون آليّة بين القيم الحرجة للمركبات المتكوّن منها المزيج .

كذلك ومن الشكل (37 - b) يتبيّن أن أبعاد المجال الثنائي تتعلّق بتركيب المزيج وستكابر فيما إذا كان التوزيع بين المركبات المكوّنة للمزيج تقريباً متساوياً .

I - 3 - سلوكية أنظمة المركبات الثانية وما فوق في المجال الحراري :

الشكل رقم (38) يوضح خطوط تساوي الحرارة (إزوتيمر) لمزيج الهيدروكربونات قرب المجال الحراري .

ذكرنا سابقاً أن المؤشر الرئيسي للنقطة الحرجة هو تشابه صفات السائل والغاز أو بالأحرى هي النقطة C التي تمثل نقطة التقائه منحنى نقاط التكثف والتباخر . من هذا الشكل نستنتج أن قيمة الضغط والحرارة في النقطة الحرجة ليست القيمة الأعظمية لها وإنما هناك قيمة أكبر يوجد عندها مجال ثانوي للغاز والسائل . في الحقيقة إذا كان الضغط أصغر قليلاً من الضغط P' ولكنه أكبر من الضغط الحراري P ، ففي النظام سيظهر الغاز الموجود في حالة توازن مع السائل حيث أن المجال $ADCA$ يوضح ذلك . كذلك في المجال $CNBC$ يوجد بنفس الوقت مجال ثانوي بغض النظر عن أن درجة الحرارة في النظام عند هذا المجال ستكون أكبر من درجة الحرارة الحرجة .

الضغط الأعظمي P' (انظر الشكل رقم 38) والذي يوجد عنده الغاز والسائل في حالة توازن يسمى كريكوندينبار . أما الحرارة الأعظمية T' المبينة في الشكل ذاته والتي يتواجد عندها في النظام مجال ثانوي من الغاز والسائل في حالة توازن