

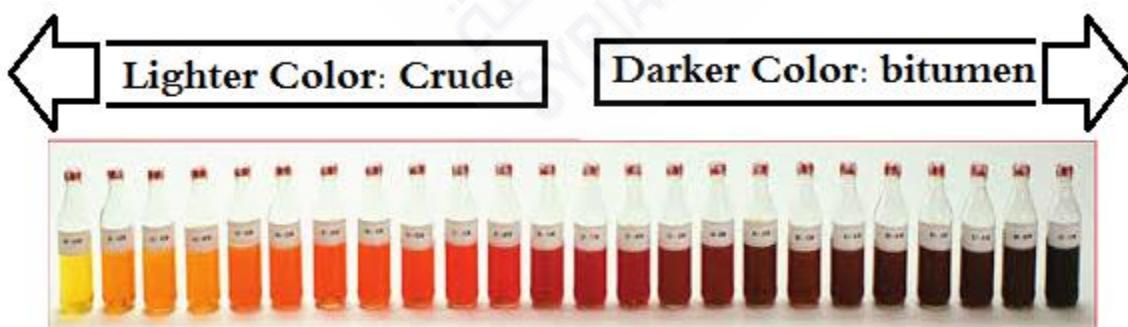
□ خصائص المركبات الهيدروكربونية السائلة والغازية

سوف يتم في هذا البحث عرض ومناقشة جميع الخصائص والمؤشرات الهاامة ذات الصلة بالمسائل التصميمية والتشغيلية المتعلقة بخطوط أنابيب نقل المركبات الهيدروكربونية السائلة والغازية. وعلاوة على ذلك سوف يتم وصف مختلف المصطلحات المرتبطة بخصائص السوائل والغازات وعرضها إما على شكل بيانات بغية الاستخدام أو على شكل معادلات بغية التنبؤ أو حساب هذه الخصائص.

1- المركبات الهيدروكربونية السائلة:

المنتجات البترولية [Petroleum Products] هي عبارة عن مزيج من المركبات الهيدروكربونية [ذات الكثافة واللزوجة المتفاوتة]، أو هي عبارة عن المركبات الجزيئية [Molecular Compounds] لعنصرى الكربون والهيدروجين. وتتراوح هذه المنتجات من الغازات الطبيعية [Natural Gases] إلى النفط الخام [Crude Oil]. ويعزى السبب الرئيسي للاختلاف بين المنتجات النفطية إلى تغيرات خصائص كل من الكربون والهيدروجين المشكلة لجزيء النفط. ففي الغازات الطبيعية تكون نسبة الهيدروجين إلى الكربون [H/C] مرتفعة في جزيئات القطافات الخفيفة. ومن جهة أخرى تكون نسبة [bitumen] في البيتومين [H/C] أقل بكثير في القطافات الثقيلة.

يختلف لون النفط الخام من الشفاف تقريرياً إلى الأصفر الضارب إلى الحمرة، أو الأخضر أو النبي أو الأسود كما هو موضح في الشكل [1.1].



الشكل (1.1)، تدرج لون النفوط الخام.

تصنف النفوط الخام حسب معهد النفط الأمريكي [American Petroleum Institute] أو باختصار [API] إلى نفط خام خفيف [Light Crude] و خام متوسط [Intermediate Crude] أو خام ثقيل [Heavy Crude] أو خام ثقيل جداً [Extra Heavy Crude] أو بيتومين [والذي تتراوح فيه درجة API بين 8 و10]. يمكن أن يكون النفط الخام حلواً [Sweet] أو مرّاً [Sour] وذلك وفقاً لمحتوى الكبريت [S] وذلك على النحو التالي:

- حلو [Sweet]: وفيه يكون محتوى الكبريت $[S < 0.5\% \text{ wt}]$,
- متوسط [Intermediate]: ويتراوح فيه محتوى الكبريت $[0.5\% < S < 1.0\% \text{ wt}]$,
- مر أو مرتفع [Sour or high]: وفيه $[S > 1.0\% \text{ wt}]$.

يمكن للنفط الخام عند إنتاجه من المكمن أن يحتوي على كمية من المياه المالحة والشوائب [الرواسب أو الطين] بالإضافة إلى الغاز المرافق [Associated Gas]. يمكن أن يختلف محتوى الماء في النفط الخام وذلك اعتماداً على الحقل المنتج. حيث يمكن للنفط الخام أن يحتوي على كميات كبيرة من الماء في حال تطبيق طرق الاستثمار المدعّم باستخدام تقنية حقن الماء [Water Injection Technology]. تتطلب المنتجات النفطية المنتجة من رؤوس الآبار العاملة إجراء عمليات المعالجة الالزمة عليها بغية تحقيق متطلبات عملية نقلها عبر شبكات خطوط الأنابيب. حيث تستدعي متطلبات النقل عبر خطوط الأنابيب الحد من من المنتجات التالية وبشكل خاص إلى المستوى الذي يؤمن جودة المنتج من جهة، ومن جهة أخرى تحقيق معايير السلامة التشغيلية:

- الرواسب والمياه،

- غاز الكبريت الهيدروجين $[H_2S]$ ،

- الشوائب الأخرى.

صفات الموائع النفطية

يمكن تصنيف المنتجات البترولية السائلة باستخدام العديد من الطرق، حيث تعتبر طريقة التصنيف التي تعتمد على الكثافة من أكثر الطرق شيوعاً واستخداماً في هذا المجال^١، وبناء عليه يمكن تقسيم المنتجات البترولية السائلة وفقاً لكتافتها إلى المجموعات التالية:

- السوائل الهيدروكربونية ذات الكثافة الخفيفة [Light Density Hydrocarbon Liquids]: وت تكون بشكل رئيسي من السوائل النفية، الايثيلين، البروبيلين، مزيج من المكونات الخفيفة مثل الإيثان والبروبان ونظامي البوتان وإيزو البوتان. وقد تحتوي هذه السوائل على كميات قليلة من السوائل الهيدروكربونية الأخرى على سبيل المثال تيار الإيثان [$< 90\%$] من الإيثان وكميات قليلة من البروبان وثنائي أوكسيد الكربون، ... الخ.
- المنتجات متوسطة الكثافة [Medium Density/Mixed Light Products]: وتتضمن سوائل الغاز الطبيعي [Natural Gas Liquids] أو باختصار [NGL] ومتکاثفات الغاز الطبيعي [Liquid Natural Gasoline]، والغازولين الطبيعي [Gas Condensate] أو باختصار [LPG] أو باختصار [Petroleum Gas].
- المنتجات الهيدروكربونية الثقيلة [Heavy Hydrocarbon Products]: وتحتوي على النفط الخام التقليدي والخام الثقيل والخام الشمعي والببتومين [القار].

يتحلى استخدام خصائص المنتج البترولي بشكل واضح وصريح في عملية تصميم وتشغيل أنظمة خطوط أنابيب النقل.

في السوائل الهيدروكربونية متوسطة الكثافة، يعتبر [NGL] مزيج هيدروكربوني خفيف مستخرج من الغاز الطبيعي ويحتوي بشكل رئيسي على البروبان والبوتان والبستان^٢، وكما يمكن أن يشمل آثار من الإيثان. وعموماً يمكن تصنيف سوائل الغاز الطبيعي [NGL] وفقاً لضغطها البخاري إلى ما يلي:

- متکاثفات الغاز الطبيعي [Natural Gas Condensate]: وت تكون من البستان والهكسان والمبيتان وكمية قليلة من المركبات الهيدروكربونية الأقل.
- الغازولين الطبيعي [Natural Gasoline]: وي تكون من البستان^٣ وكمية قليلة من البوتان.

صفات الموائع النفطية

- الغاز البترولي المسال [Liquid Petroleum Gas]: ويكون من البروبان والبوتان بنوعيه النظامي والإيزو.

تتمتع متکاثفات الغاز الطبيعي بضغط بخاري منخفض، في حين يكون الضغط البخاري لـ [LPG] عالي، وبالمقابل يكون للغازولين الطبيعي ضغط بخاري منوسط يتراوح بين الضغط البخاري لـ كل من الـ [LPG] ومتکاثفات الغاز الطبيعي.

عادة ما يتم استرداد المتکاثفات في وحدات الفصل الحقلية [والتي تتمتع بدرجة API حوالي 80°] ولها ضغط بخاري منخفض في حين أن كثافتها هي الأعلى بين أنواع [NGL] الثلاثة. في حين أن الضغط البخاري للمتکاثفات هو أقل مقارنة من ذلك الذي يتمتع به الغازولين الطبيعي. وبالمقابل فإن كثافة المتکاثفات تشبه ولكن تميل لأن تكون أكبر من الغازولين الطبيعي.

يتم الحصول على الـ [LPG] –والذي يتمتع بدرجة API حوالي 120° من خلال إسالة مكوناته الأساسية عند ضغط أعلى من ضغطها البخاري. يمكن استخراج الـ [LPG] من الـ [NGL] وغالباً ما يستخدم كوقود أو كغاز تغذية في الوحدات الكيميائية.

يمكن أن تشمل المنتجات ذات الكثافة المتوسطة الخامات الخفيفة أو المتوسطة والمنتجات المكررة مثل الغازولين والديزل والنفاثا والمتکاثفات الخ. ومن المهم الإشارة إلى أن تغييرات كثافة ولزوجة هذه المنتجات غير حساسة للتغيرات الضغط ودرجة الحرارة.

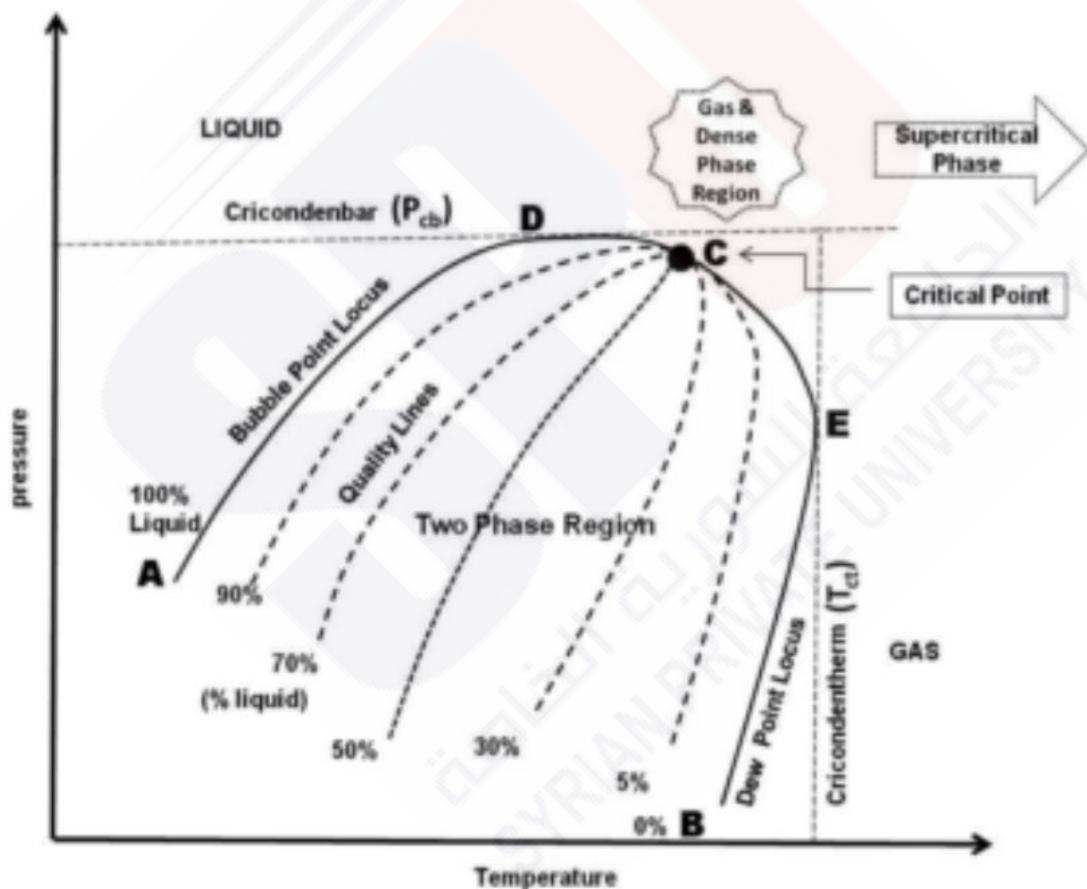
1.1- السلوك الطوري للمركبات الهيدروكربونية السائلة [Hydrocarbon Liquids Phase]

: [Behavior]

بغية فهم خصائص المركبات الهيدروكربونية السائلة، يجب إدراك وإيضاح المبادئ الأساسية للسلوك الطوري للنظام الهيدروكربوني. حيث يؤثر السلوك الطوري للمركبات الهيدروكربونية السائلة بشكل مباشر على تصميم وتشغيل منظومة خطوط أنابيب نقل السائل [Liquid Pipeline System].

صفات المائع النفطي

اعتماداً على الضغط ودرجة الحرارة [كثافة المائع أو تغييرات الحجم]، يمكن أن تتوارد المركبات الهيدروكربونية إما على شكل سائل أو غاز أو مزيج من كليهما [مزيج ثانوي الطور]. حيث يمكن أن تكون العلاقة بين كثافة المائع أو تغييرات الحجم مع الضغط والحرارة معقدة جداً وعندئذ يمكن التعبير عنها من خلال معادلة الحالة [Equation Of State] أو اختصاراً بـ [EOS]. لتسهيل فهم السلوك الطوري، فإنه عادة ما يتم عرض العلاقة بين المؤشرات السابقة بشكل بياني. حيث يطلق على التمثيل البياني لهذه العلاقة بالمخطط الطوري [Phase Diagram]. من الضروري في سياق أنواع سوائل المركبات الهيدروكربونية تحديد وتعريف النقاط المفتاحية [Key Points] التالية على المخطط الطوري النموذجي كما هو موضح في الشكل [2.1].



الشكل (2.1)، المخطط الطوري النموذجي.

- **نقطة الفقاعة [Bubble Point]**: وهي النقطة التي تبدأ عندها قطرة الأولى من المزيج السائل بالتبخر. حيث يمثل الخط [AC] الموقع الهندسي لنقاط الفقاقيع.

صفات الموائع النقطية

• **نقطة الندى [Dew Point]**: وهي النقطة التي تبدأ عندها الفقاعة الأولى من المزيج الغازي بالتكلف، حيث يمثل الخط $[BC]$ الموقع الهندسي لنقطة الندى.

• **النقطة الحرجة [Critical Point]**: ويرمز لها بـ $[C]$ وهي تصف حالة الضغط ودرجة الحرارة التي تتساوى عندها خصائص كل من الطور السائل والطور الغازي. عند النقطة الحرجة يطلق على كل من الضغط ودرجة الحرارة بالضغط الحرجة $[Critical Pressure]$ أو اختصاراً بـ $[P_c]$ ودرجة الحرارة الحرجة $[Critical Temperature]$ أو اختصاراً بـ $[T_c]$ على التوالي للمزيج.

وتجدر الإشارة بأنه يمكن تحديد الطور الكثيف $[Dense Phase]$ ضمن المنطقة المقصورة بين درجة الحرارة الحرجة والكريكونديشم وذلك إذا كان الضغط أكبر من الكريكونديبار. ومن الناحية العملية ليس هناك خط واضح [على سبيل المثال درجة الحرارة الحرجة] يفصل الطور الكثيف عن الطور السائل أو خط وحيد آخر [على سبيل المثال الكريكونديشم] يفصل الطور الكثيف عن الطور الغازي. ومن الجدير بالذكر أن شكل المخطط الطوري سوف يتغير تبعاً للمكونات الهيدروكربونية الموجودة في المائع.

وعموماً، فبالنسبة للمركبات الهيدروكربونية السائلة يتم تعريف المنطقة ثنائية الطور بأنها المنطقة المقصورة بين منحني نقطة الندى ومنحني نقطة الفقاعة في المخطط الطوري.

وعلاوة على ذلك، فإنه يجب تعريف الحدود التي يمكن أن يتواجد عندها المزيج الثنائي الطور [سائل-غاز] والتي يمكن تعينها بالكريكونديشم والكريكونديبار كما هو موضح في الشكل (2.1).

• **الكريكونديشم [Cricondentherm]**: ويرمز لها بـ $[T_{ct}]$ وهي درجة الحرارة العظمى التي يمكن أن يتعايشه عندها الطور السائل والطور البخاري معاً. وبالتالي فإن الكريكونديشم هي أقصى قيمة لدرجة الحرارة والتي لا يمكن للسائل فوقها أن يتشكل بعض النظر عن الضغط [النقطة E]. ويسمى الضغط المقابل لها بالكريكونديبار.

• **الكريكونديبار [Cricondenbar]**: ويرمز له بـ $[P_{cb}]$ هو القيمة العظمى للضغط التي يمكن أن يتعايشه عندها الطور السائل والطور البخاري معاً. وبالتالي فإن الكريكونديبار هو أقصى قيمة للضغط والتي

صفات الموائع النفطية

لأيمكن للغاز فوقها أن يتشكل بعض النظر عن درجة الحرارة [النقطة D]. وتسمى درجة الحرارة المقابلة له بالكريكونديثرم.

• خطوط النوعية [Quality Lines]: وهي الخطوط المنقطة المبينة في الشكل (2.1)، الموجودة داخل المخطط الطوري. وهي تصف شروط الصغط ودرجة الحرارة وذلك من أجل نسبة مئوية ثابتة من حجم السائل. وبحدر الإشارة إلى أن جميع خطوط النوعية تتلاقى عند النقطة الحرجة [C].

وبحدر الإشارة إلى أن معظم السوائل الهيدروكربونية مثل النفوط الخام تحافظ على حالتها الفيزيائية السائلة عند نقلها بينما يمكن نقل المركبات الهيدروكربونية الخفيفة مثل الإيتان بالطور الكثيف. كما نوهنا سابقاً أن المدف من هذه الدراسة هو استعراض المبادئ الأساسية للسلوك الطوري لمنظومة المركبات الهيدروكربونية وتطبيقاتها الخاصة في تصميم وتشغيل منظومة خطوط أنابيب نقلها.

في المخطط الطوري تتوضع منطقة الطور الكثيف فوق النقطة الحرجة وإلى اليمين. حيث تتمتع السوائل في الطور الكثيف بخصائص فизائية ما بين تلك التي يتمتع بها كلا الطورين [السائل والغاز] تقريباً. حيث يكون لها كثافة السائل ولزوجة الغاز. عند زيادة الضغط على السائل مع بقاء درجة الحرارة ثابتة فإنه لا يوجد أي تغير طوري بحيث يدخل السائل إلى منطقة الطور الكثيف. في مجال الضغوط ودرجات الحرارة الشائعة الاستعمال في تطبيقات خطوط الأنابيب يمكن مصادفة الطور الكثيف في المنتجات ذات الضغوط البخارية العالية مثل الإيثان والاثيلين وبعض الغازات مثل غاز ثنائي أوكسيد الكربون [CO₂] والغاز الطبيعي عند الضغوط العالية جداً. حيث يمكن معاملة الموائع التي تتمتع بطور كثيف باستثناء الغاز الطبيعي كسائل في الحسابات الهيدروليكيه للسوائل.