معالجة الغاز الطبيعي

(NATURAL GAS PROCESSING)

✓ أشكال تواجد الغاز الطبيعي:

يتواجد الغاز الطبيعي بعدة أشكال:

1. **غازات حرة** (*Non-associated gases*): وتعرف أحياناً بالغازات غير المرافقة ويطلق عليها غالباً في الصناعة الغازية اسم الغازات الطبيعية وهي مركبات هيدروكربونية، تكون على شكل غازات حرة في الشروط الابتدائية للمكمن الغازي (الضغط الابتدائي، درجة الحرارة الابتدائية) حيث يشكل غاز الميتان النسبة العظمى في تركيب هذا النوع من الغازات ($CH_4 = 98,6 \div 99,4\%$) في حين تساهم المركبات الهيدروكربونية ($C_2 \div C_6$) بنسبة ضئيلة جداً في تركيبها، ويمكن لهذا النوع من الغازات أن يحتوي على كميات ضئيلة من غاز ثنائي أوكسيد الكربون (CO_2) وغاز الآزوت (N_2) وغاز كبريت الهيدروجين (H_2S)، وتقسم الغازات الحرة بدورها إلى نوعين:
   - **جافة** (*Dry*): وتتألف بشكل رئيسي من الميتان مع كميات قليلة من الإيتان.
   - **رطبة** (*Wet*): حيث تحتوي على كميات كبيرة من الفحوم الهيدروجينية الأثقل من الميتان.

2. **غازات مرافقة** (*Associated gases*): ويطلق عليها أحياناً غازات القبعة الغازية (*Gas- cap gas*) وهي مركبات هيدروكربونية ($C_1 \div C_6$) على شكل غازات حرة في الشروط الابتدائية للمكمن من ضغط وحرارة وتكون على شكل قبعة فوق النفط في المكامن النفطية.

3. **غازات منحلة** (*Solution gases*): هي مركبات هيدروكربونية غازية منحلة في النفط عند الشروط الابتدائية للمكمن النفطي، إذ تشكل المركبات الهيدروكربونية البارافينية (ميتان– إيتان– بروبان ومركبات أثقل) المكونات الرئيسية لهذا النوع من الغازات، وينفصل هذا الغاز عن النفط نتيجة لانخفاض الضغط عن ضغط الإشباع عند خروج المزيج (نفط – غاز) إلى سطح الارض، ويعتمد تركيب هذا الغاز بشكل رئيسي على:
   - شروط فصل الغاز من النفط.
   - التركيب الكيميائي للنفط المنتج.

✓ أنواع الغازات الصناعية والتجارية:

يمكن تصنيف العناصر الداخلة في تركيب الغاز الطبيعي من وجهة النظر الصناعية والتجارية إلى الأنواع التالية:

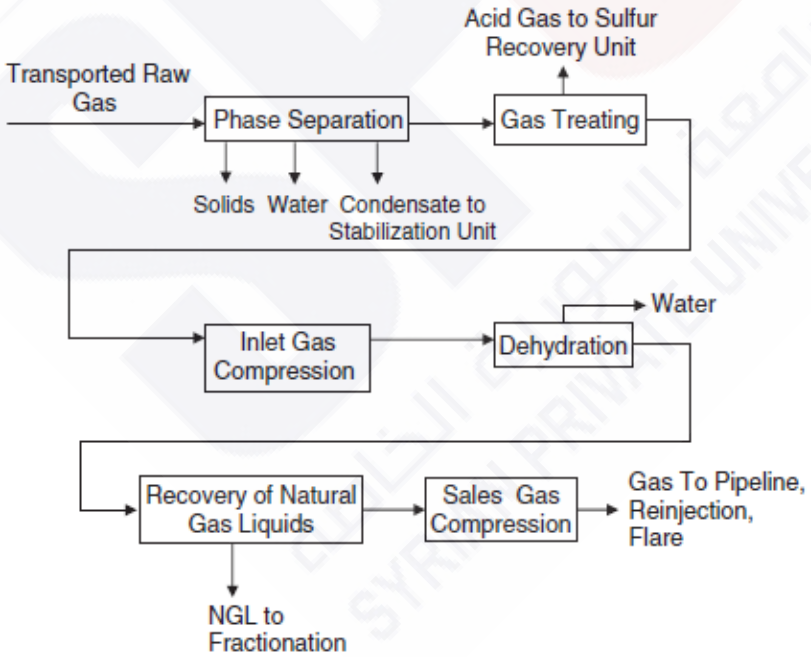
1. **الغازات الخاملة** (*Inert gas*): وهي بالتعريف الغازات التي لايمكن أن تتفاعل كيميائياً مع الوسط المحيط، ويعتبر غازا الآزوت والهليوم عملياً من أهم الغازات الخاملة الداخلة في تركيب الغازات الطبيعية.
2. **الغازات الحامضية** (*Acid gas*): وأهمها غازا كبريت الهيدروجين وثنائي أوكسيد الكربون.
3. **سوائل الغاز الطبيعي** (*Natural gas liquids*): وهي تلك المركبات الهيدروكربونية المتروعة على السطح إما في المحطات الحقلية أو في وحدات المعالجة الرئيسية وتشمل: الإيتان، والبروبان، والبوتان، والغازولين الطبيعي، ويرمز لها عادة بـــ (*NGLs*).
4. **الغازات الطبيعية المسالة** (*Liquefied natural gas*): وهي بالتعريف المركبات الهيدركربونية الخفيفة التي يمكن أن تتميع، حيث يشكل غاز الميتان النسبة العظمى فيها، ويرمز له عادة بـــ (*LNG*).
5. **الغازات النفطية المسالة** (*Liquefied petroleum gaS*): ويشكل غازا البروبان والبوتان (الموجودان بشكل منفصل أو على شكل مزيج غازي) النسبة العظمى في تركيبها، حيث تحافظ هذه الغازات على طورها السائل تحت ضغط معين في أوعية مغلقة، ويرمز له عادة بـــ (*LPG*) أو (*LP-Gas*).
6. **الغازولين الطبيعي** (*Natural gasoline*): وهو مزيج من البنتان ومركبات هيدروكربونية أثقل يمكن انتزاعها من الغاز الطبيعي.
7. **المتكاثفات** (*Condensate*): وهي عبارة عن المركبات الهيدروكربونية السائلة المفصولة عن الغازات الطبيعية عند انتقال التيار الغازي من المكمن إلى وحدات الفصل السطحية وذلك نتيجة لتغيرات شروط الضغط ودرجة الحرارة.

المفاهيم الأساسية في معالجة الغاز الطبيعي

(BASIC CONCEPTS OF NATURAL GAS PROCESSING)

مقدمة:

يجب أن يعالج تيار الغاز الطبيعي الخام بعد أن يتم نقله بواسطة شبكة خطوط أنابيب التجميع الحقلية (field-gathering network) وذلك قبل أن يتم نقله بواسطة نظام خطوط الأنابيب الرئيسية (long-distance pipeline systems) بغية استعماله من قبل المستهلكين. يتمثل الهدف الرئيسي لمعالجة الغاز الطبيعي بفصل الغاز الطبيعي، والمتكاثفات والغازات الحامضية والماء من تيار الأبار المنتجة للغاز وتهيئة هذه الموائع من أجل البيع أو التخلص منها. يوضح الشكل التالي وحدات عملية المعالجة النموذجية. حيث تتضمن كل وحدة قسم وحيد أو مجموعة من التجهيزات التي تقوم بتأدية وظيفة معينة (specific function).



ليس من الضروري أن تكون جميع الوحدات المعروضة في الشكل السابق موجودة في كل مصنع غاز (gas plant). في بعض الحالات يمكن أن تكفي معالجة بسيطة، وعلى أية حال تتطلب معظم الغازات الطبيعية تجهيزات معالجة في مصانع معالجة الغاز بهدف إزالة الشوائب والماء وسوائل المركبات الهيدروكربونية الزائدة وللتحكم بضغط التسليم. وقد لاتكون عمليات الوحدة المستعملة في التطبيق

المعطى مرتبة بنفس تتابع الشكل السابق، بالرغم من أن هذا التتابع مثالي. إن اختيار الوحدات التي سوف تستعمل وترتيب هذه الوحدات يحدد أثناء مرحلة تصميم (design stage)كل مشروع تطوير لحقل الغاز (gas-field development project).

لسوء الحظ، في الوحدات المستقلة قد يكون مستوى التصميم صحيحاً والعملية صحيحة لكن يمكن أن يؤدي إلى وسيلة معالجة غاز سيئة (poor gas processing facility). واسبب في ذلك أن كل وحدة تبدي خصائص متفاوتة تحت الأحمال المتغيرة الأمر الذي يؤدي نوع من عدم التوافق الداخلي (internal incompatibility). فعلى سبيل المثال قد تتطلب إحدى الوحدات المعطاة تركيب معين للغاز المعالج (particular inlet composition) لإنتاج الخرج المرغوب به (desired output). فإذا كانت الوحدة السابقة لاتدعم هذا فإن الوحدات اللاحقة لن تعمل بشكل مرضي.

- وحدات المعالجة (PROCESS MODULES):

تتمثل وحدة المعالجة الأولى بالفصل الفيزيائي للأطوار المتمايزة (distinct phases) التي هي عبارة عن غاز، مركبات هيدروكربونية سائلة وماء سائل و/أو مواد صلبة. حيث تنجز عمليات الفصل التيار الغازي المنتج عادة باستخدام أجهزة خاصة تدعى الفواصل (inlet separator). تعتبر عملية استلام الغاز الداخل من العمليات المعقدة وذلك بحقيقة أن خطوط الأنابيب التي تقوم بتزويد الغاز ٰلى الوحدة تعمل نموذجياً وفق أنظمة الجريان متعدد الأطوار (طوران أو ثلاثة أطوار) وهكذا فإن تدفق السائل على شكل دفقات يكون شائعاً. حيث يتشكل التدفق على شكل دفقات نتيجة لتغير ارتفاع أنابيب التزويد الداخلة، ونتيجة لتغير معدلات تدفق غاز التزويد وكذلك نتيجة لتغير الضغط ودرجة الحرارة أثناء عملية النقل. حيث يمكن مصادفة التدفق الدفقي (slug flow) في الأنابيب الأفقية (horizontal pipes) تحت شروط الجريان المستقر (steady-state conditions) وذلك إذا كان نظام الجريان مختاراً بشكل غير صحيح. إن بلوغ نظام الجريان الدفقي في تجهيزات الإنتاج أو المعالجة يؤثر سلبياً على وسائل عملية الإنتاج حيث يسبب مشاكل ميكانيكية (mechanical problems) بسبب السرع الكبيرة وقوى الدفع العالية كما يسبب مشاكل عملياتية (process problems) بسبب المستويات الزائدة للسوائل المتجمعة. وفي بعض الحالات يمكن أن يقلل مشغلو هذه الوحدات مستويات السوائل المتجمعة بواسطة إدارة الحقول وخطوط الأنابيب بطريقة تؤدي إلى خلق نظام تدفق مناسب تكون فيه سرعة الغاز عالية بما فيه الكفاية للمحافظة على السوائل مبعثرة

باستمرار. على الرغم من أنه من المفضل تصميم خطوط أنابيب لتلافي نظام الجريان الدفقي إلا أنه من الصعب تطبيق ذلك عملياً. في هذه الحالات يجب أن تعطى الأولوية للتزود بتجهيزات معالجة مناسبة للتقليل من تأثير التدفق الدفقي. حيث تستعمل خطوط أنابيب الغاز مصائد الدفقات (slug catchers) لتبديد طاقة الدفقات السائلة وللتقليل من الاضطراب ولضمان بأن معدلات تدفق الغاز والسائل منخفضة بشكل كاف بحيث تؤمن سيادة نظام الجريان الطبقي (stratified flow regime) وبالتالي حدوث عملية الفصل تحت تأثير الجاذبية (gravity segregation). حيث تصمم مصائد الدفقات لفصل الغاز والمتكاثفات الهيدروكربونية والماء الداخل. وبعد ذلك يتم إرسال التيار الغازي إلى الفواصل. تحتوي هذه الفواصل على عناصر تساعد على التحام جزئيات السائل مع بعضها البعض [مثل الريش، طرق ملتوي، شبكات معدنية....]. كما يمكن أن تحتوي على مرشحات لإزالة الجزئيات الصلبة ويمكن أن يعقبها أجهزة غسيل الغاز وذلك إذا كانت هناك حاجة لرفع ضغط الغاز من أجل عمليات المعالجة اللاحقة. تتدفق السوائل التي تتجمع في مصائد الدفقات إلى فاصل ثلاثي الطور (three-phase separator) حيث يخرج الطورين السائلين [المتكاثفات الهيدروكربونية وماء/ميثانول أوماء/غليكول] من أسفل الفاصل. في حين يخرج الغاز من أعلى الفاصل ويعاد ضغطه مرة ثانية إذا كانت هناك حاجة ملحة لاستعماله كوقود.

أما متكاثفات المركبات الهيدروكربونية المستردة من الغاز الطبيعي قد يتم نقلها بحراً بدون معالجة لاحقة حيث يتم تثبيتها لإنتاج سائل قابل للنقل بشكل آمن. تحتوي المتكاثفات غير المثبتة نسبة مئوية كبيرة من الميتان والإيتان اللذين يمكن أن يتبخرا بسهولة من الخزانات (storage tanks). فالتثبيت (stabilization) هو عملية تستخدم لإزالة القطفات الخفيفة (light fractions) من المتكاثفات وعملياً تجرى هذه العملية بالتقطير (distillation). يعبر عن السائل المثبت من خلال مواصفة الضغط البخاري (vapor pressure specification) [ضغط ريد البخاري (Reid vapor pressure)] بحيث يحقن المنتج بواسطة خطوط الأنابيب أو يتم نقله بواسطة السفن تحت ضغط (pressure vessel).

تتجلى الخطوة اللاحقة في معالجة الغاز الطبيعي بمعالجة الغاز الحامضي بالإضافة إلى المركبات الهيدروكربونية الثقيلة (heavy hydrocarbons) وبخار الماء، حيث يحتوي الغاز الطبيعي في أغلب الأحيان على ملوثات أخرى يجب إزالتها بطريقة أو بأخرى. يعتبر غاز ثنائي أوكسيد الكربون وغاز كبريت الهيدروجين والمركبات الأخرى الحاوية على الكبريت مثل المركبتانات من المركبات التي تتطلب

إزالة كاملة أوجزئية. يطلق على جميع هذه المركبات إجمالاً مصطلح (الغازات الحامضية). حيث يشكل غاز كبريت الهيدروجين عند اتحاده مع الماء حمض الكبريت الضعيف (weak sulfuric acid) بينما ينتج عن اتحاد غاز ثنائي أوكسيد الكربون مع الماء حمض الكربون. في حين يطلق على الغاز الطبيعي الحاوي على (H_2S) أو أي مركب آخر حاوي على الكبريت بـــ (sour gas) بينما يطلق على الغاز الحاوي فقط على (CO_2) اسم الغاز الحلو (sweet gas). يعتبر كلاً من (H_2S) و(CO_2) من الملوثات غير المرغوب بها نهائياً حيث يمكن أن تسبب التأكل كما أنها تبدي خطر رئيسي.

اعتماداً على الضغط عند بوابة مصنع الغاز (plant gate) تتجلى الخطوة اللاحقة في المعالجة إما برفع ضغط التيار الغازي (300–400 psig) أو بالسيطرة على نقطة الندى أو باسترداد سوائل الغاز الطبيعي. حيث أنه من الضروري التحكم بنقطة ندى الماء (water dew point control) للحصول على المواصفات المطلوبة وللمنع تشكل الهيدرات. تعتبر مشكلة تشكل هيدرات الغاز الطبيعي من المشاكل المقلقة الرئيسية التي تصادف مهندسي خطوط أنابيب نقل الغاز الطبيعي حيث يمكن أن تؤدي إلى انسداد خطوط الأنابيب ومشاكل ذات الصلة. تتضمن طرق تلافي تشكل الهيدرات في مصانع الغاز تخفيض درجة حرارة تشكل الهيدرات (hydrate formation temperature) باستخدام موانع كيميائية (chemical inhibition) أو بتجفيف الغاز الطبيعي (dehydration) لإزالة الماء.

تتضمن عملية التحكم بنقطة ندى المركبات الهيدروكربونية (hydrocarbon dew point) أو استعادة سوائل المركبات الهيدروكربونية تبريد الغاز ومن ثم تكثيف السوائل الناتجة. حيث يمكن التحكم بنقطة ندى المركبات الهيدروكربونية إما بالتجفيف المتبوعة بالتبريد/التكثيف أو بدمج عمليات الموانع/التبريد/ التكثيف. يمكن إنجاز عملية التبريد (refrigeration) إما باستخدام التبريد الذاتي (auto refrigeration) الناتج عن هبوط الضغط عبر صمام أو باستخدام عملية التبريد الميكانيكي الخارجي (external mechanical refrigeration process). تعتمد درجة الحرارة التي يبرد إليها الغاز فيما إذا كان من الضروري الحصول على مواصفات نقطة ندى المركبات الهيدروكربونية الغازية المعدّة للبيع (a sales gas hydrocarbon dew point specification) أو فيما إذا كان من المهم استعادة السوائل الأساسية. هناك ثلاث حالات رئيسية تحفز استعادة المتكاثفات إلى حد أقصى. الحالة الأولى تتمثل في الرغبة بزيادة إنتاج المتكاثفات عند معالجة الغاز المرافق (associated gas). أما الحالة الثانية تحدث عند معالجة غاز المتكاثفات الرجعية

(retrograde condensate gas) حيث يتجلى الهدف الرئيسي هنا باستعادة المتكاثفات وإعادة حقن الغاز إلى الطبقة. أما الحالة الثالثة فإنه في بعض الأسواق يمكن أن سوائل الغاز الطبيعي (NGLs) المنتجة من المتكاثفات ذات قيمة كبيرة كمنتجات سائلة أكثر من مكونات الغاز الطبيعي. لإذا كانت قيمة السائل المكافئة (equivalent liquid value) أخفض من قيمة الغاز فإنه من المفضل ترك (NGLs) في الغاز إلى الحد الممكن. وعلى أية حال، إذا كانت قيمة السائل المكافئة أعلى من قيمة الغاز فإنه من الضروري زيادة استعادة هذه السوائل.

أما إذا كان للغاز المنتج ضغوط أخفض من ضغط خط أنابيب الغازات المعّدة للبيع (تقريباً 700–1000 psia) فإنه من الضروري رفع ضغطه إلى قيمة ضغط الغاز المعدّ للبيع. حيث يتم نقل الغاز المعدّ للبيع عند ضغط عالٍ بغية تقليل قطر خط الأنابيب. قد تعمل خطوط الأنابيب عند ضغوط عالية جداً (أعلى من 1000 psig) لإبقاء الغاز في طور كثيف وبالتالي منع التكاثف والجريان ثنائي الطور. تتطلب عملية الانضغاط مرحلتين أو ثلاثة للوصول إلى ضغط الغاز المعدّ. وكما هو مذكور سابقاً فإن يمكن إنجاز عملية المعالجة بعد المرحلة الأولى أو الثانية ولكن قبل عملية ضغط الغاز المعدّ للبيع.

في الحالة التي تكون فيها خطوط أنابيب الغاز غير متوفرة، يتم توجيه الغاز المرافق المفصول إلى الشعلة. كما يمكن حقن الغاز المفصول بعد رفع ضغطه إلى الطبقة المنتجة. وأيضاً في مكامن المتكاثفات الغازية غالباً مايتم إعادة حقن الغاز لتحسين استعادة المركبات الهيدروكربونية ذات القيمة الاقتصادية من المكمن.

الهدف من معالجة الغاز الطبيعي (SCOPE OF NATURAL GAS PROCESSING):

تتضمن العوامل المهمة التي تحدد عادة درجة معالجة الغاز الطبيعي: أهداف المعالجة ونوع أو مصدر الغاز (the type or source of the gas) وموقع وحجم الحقول الغازية.

أهداف المعالجة (processing objectives):

إذا كان الغاز الطبيعي يتم نقله باستعمال خطوط الأنابيب، فإنه يجب تصميم تجهيزات عملية المعالجة بحيث تحقق متطلبات عملية النقل. يمكن أن يكون لعملية معالجة التيار الغازي أحد الأهداف الثلاثة الرئيسية التالية:

1. لإنتاج التيار الغازي المعدّ للبيع الذي يحقق مواصفات النوع المشار إليه في الجدول اللاحق. هذه المواصفات معّدة بشكل رئيسي للحصول على متطلبات خط الأنابيب وعلى حاجات المستهلكين الصناعيين والمحليين (industrial and domestic consumers).
2. لزيادة إنتاج (NGLs) من خلال إنتاج غاز فقير مجرّد من معظم المركبات الهيدروكربونية ماعدا الميتان.
3. لتوزيع الغاز التجاري، يجب أن يميز مثل هذا الغاز من خلال مجال معين للقيمة الحرارية القصوى (gross heating value).

Natural Gas Specifications in the Salable Gas Stream (Goar and Arrington, 1978)

Characteristic	Specification
Water content	4–7 lb/MMscf (max)
Hydrogen sulfide content	1/4 grain/100 scf (max)
Gross heating value	950 Btu/scf (min)
Hydrocarbon dew point	15°F at 800 psig (max)
Mercaptan content	0.2 grain/100 scf (max)
Total sulfur content	1–5 grain/100 scf (max)
Carbon dioxide content	1–3 mole percent (max)
Oxygen content	0–0.4 mole percent (max)
Sand, dust, gums, and free liquid	Commercially free.
Typical delivery temperature	120°F
Typical delivery pressure	714.7 psia