



جامعة البعث

كلية الهندسة الكيميائية والبتروولية

قسم الهندسة الكيميائية

اختصاص - هندسة تكرير

دراسة تصميمية لأبراج فصل الغاز الطبيعي السوري

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الكيميائية

إعداد

المهندس عمر الجاسم الحميدي

إشراف

د. سلام سلوم

د. سهام اليوسف

2020/1442



## جدول المحتويات

5.....	خلاصة البحث:
7.....	مقدمة
9.....	خطة البحث:
9.....	هدف العمل :
11.....	الفصل الأول الغاز الطبيعي و عمليات المعالجة
13 .....	1.1. مقدمة :
13 .....	2.1. الغاز الطبيعي :
13 .....	3.1. أنواع الغاز الطبيعي:
14 .....	4.1. خصائص الغاز الطبيعي :
14 .....	5.1. مكونات الغاز الطبيعي :
14 .....	6.1. المواصفات القياسية للغاز الطبيعي :
15 .....	7.1. أهمية الغاز الطبيعي :
16 .....	8.1. عمليات معالجة الغاز الطبيعي :
21.....	الفصل الثاني الدراسات المرجعية
23 .....	1.2. دراسة (1).....
28 .....	2.2. دراسة (2).....
31 .....	3.2. دراسة (3).....
35.....	الفصل الثالث التقطير
37 .....	1.3. مقدمة:
38 .....	2.3. مفاهيم ومصطلحات:
42 .....	3.3. حساب الضغط الجزئي:
43 .....	4.3. حساب درجة حرارة الغليان والتكثيف:
44 .....	5.3. تحديد درجة الحرية:
44 .....	6.3. الموزونات الحرارية والمادية و خصائص المنتجات:
47 .....	7.3. الطرائق المختصرة في إجراء حسابات التقطير:
50 .....	8.3. اختيار الضغط التشغيلي لبرج التقطير:
53.....	الفصل الرابع عملية تكرير الغاز الطبيعي
55 .....	1.4. عملية تكرير الغاز الطبيعي:

2.4.	مفهوم مرحلة التوازن (بخار – سائل):	56
3.4.	مواصفات المنتجات:	57
4.4.	البارامترات الرئيسية:	57
5.4.	الاعتبارات التصميمية لعملية تكرير الغاز الطبيعي:	58
6.4.	أبراج تكرير الغاز (أنواعها – خصائصها) :	60
7.4.	اعتبارات تصميم الطاقة الفعالة:	67
	الفصل الخامس نمذجة وحدات التكرير	73
1.5.	مقدمة	75
2.5.	برنامج محاكاة العمليات	75
3.5.	معادلة بينغ روبنسون :	80
4.5.	تركيب تيار التغذية:	82
5.5.	شروط العمل في معمل غاز الجنوب ومواصفات المنتجات المطلوبة:	83
6.5.	تصميم أبراج التكرير :	85
7.5.	حساب الكلف التشغيلية والإنشائية :	91
	الفصل السادس الحسابات التصميمية و المحاكاة	93
1.6.	مقدمة:	95
2.6.	منظومة تكرير الغاز الطبيعي في معمل غاز الجنوب (Unit 400) (الحالة I):	95
3.6.	وحدة تكرير الغاز الطبيعي المعدلة الجديدة (الحالة II):	117
4.6.	المقارنة بين الحالات المدروسة	136
5.6.	مناقشة النتائج:	139
6.6.	المقترحات و التوصيات:	140
	قائمة ببعض المصطلحات العلمية المستخدمة باللغة الإنكليزية	141
	المراجع	143



## دراسة تصميمية لأبراج فصل الغاز الطبيعي السوري

### خلاصة البحث:

رَكَزَ البحث بشكل أساسي على اقتراح مخطط جديد لتكرير الغاز الطبيعي في الجمهورية العربية السورية (Fractionation Process) بهدف تخفيض كلفة الاستثمار والتشغيل.

حيث تمت محاكاة إحدى وحدات تكرير الغاز الطبيعي الموجودة في الشركة السورية للغاز - معمل غاز الجنوب - باستخدام برنامج محاكاة العمليات الكيميائية (Aspen Hysys) بنفس شروط العمل والتراكيب في المعمل.

ثم تمّ تصميم وحدة تكرير معدّلة جديدة ذات جدوى اقتصادية تعطي نفس الكميات المستحصلة من الوحدة التقليدية.

تمّ حساب كلفة رأس المال المستثمر وكلفة التشغيل وكمية الطاقة المستهلكة لكل من وحدة تكرير الغاز الطبيعي في معمل الجنوب، والوحدة الجديدة المعدلة المقترحة فتبيّن أنّ هناك توفير حوالي 30 % من كلفة رأس المال و 14 % من كلفة خدمات التشغيل و 27 % من كمية الطاقة المستهلكة إذا ما تمّ استخدام الوحدة الجديدة المقترحة.

**كلمات مفتاحية :** عملية تكرير الغاز، الغاز البترولي المسال، محاكاة، تصميم، تقطير، كلفة .



## مقدمة

تشهد معظم دول العالم في السنوات الأخيرة تطوراً ملحوظاً في كافة مجالات الصناعة الغازية، فقد بدأ الغاز يأخذ دوره في الصناعة بصفته مصدراً لدعم الاقتصاد الوطني، ومصدراً للطاقة البديلة عن النفط الذي بدأ إنتاجه بالتراجع في الآونة الأخيرة، وأصبح ينظر إلى هذا المنتج (الغاز) على أنه وقود المستقبل.

أول من بدأ باستخراج واستخدام الغاز الطبيعي هم الصينيون، فمنذ أكثر من 1000 سنة قام الصينيون بنقل الغاز الطبيعي من مواقع إنتاجه إلى أماكن استخدامه بأنابيب من القصب، واستعملوه وقوداً في طهي الطعام وغيره، وفي منتصف القرن العشرين تطورت تقنية نقل ومعالجة الغاز الطبيعي تطوراً سريعاً في معظم دول العالم الغنية بالمكامن الغازية حتى وصلت إلى ما هي عليه اليوم.

إنّ تركيب الغاز الطبيعي الخام يعتمد على نمط وعمق وموقع الطبقة الخازنة والطبيعة الجيولوجية للمنطقة، ويتألف الغاز الطبيعي من مركبات هيدروكربونية، ومركبات غير هيدروكربونية كالماء وثنائي أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين... إلخ، ويعد الغاز الطبيعي غير صالح للاستخدام عندما يكون غازاً خاماً، فهو يحتاج إلى عمليات معالجة لفصل المركبات غير الهيدروكربونية عن الغاز، وفصل المركبات الهيدروكربونية إلى منتجات مفيدة كغاز التصدير والغاز البترولي المسال (الغاز المنزلي) والمنتجات الغازية.

يصنّف الغاز الطبيعي إلى غاز مصاحب وغاز غير مصاحب، فإذا تواجد الغاز الطبيعي مع النفط في نفس الحقل سمي بالغاز المصاحب. وإذا كان الحقل يحتوي فقط على الغاز الطبيعي دون النفط سمي بالغاز غير المصاحب.

تتم معالجة الغاز الطبيعي عبر عمليات كيميائية وفيزيائية مختلفة وذلك اعتماداً على تركيبة الغاز الطبيعي، وقد يحتوي الغاز على مركبات غير مرغوب فيها مثل مركبات الكبريت والزرنيق والماء وغيرها. وهذه المركبات يجب التخلص منها أو خفض تراكيزها إلى المستويات المحددة عالمياً

في مرحلة التنقية الأولى، يزال الماء وأي سوائل أخرى من الغاز في وحدة إزالة الماء . ثمّ يتم إزالة الغازات الحمضية من الغاز في وحدة إزالة الغازات الحمضية . وإذا احتوى الغاز على مركبات كبريتية يتم استخدام وحدات الادمصاص والمذيبات الفيزيائية للتخلص منها.

في المرحلة الأخيرة يتم فصل مكونات الغاز الطبيعي إلى قطفات نهائية (إيتان - بروبان - غاز منزلي مسال - متكاثفات غازية ) التي لها دور تجاري كبير كمنتجات نقية.

## خطة البحث :

1. تعريف الغاز الطبيعي وعمليات المعالجة التي تتم عليه، وموقع عملية فصل مكونات الغاز الطبيعي (Fractionation Process) ضمن عمليات المعالجة.
2. عرض الدراسات المرجعية المتعلقة بعملية فصل مكونات الغاز الطبيعي.
3. شرح عملية التقطير والمعادلات التصميمية اللازمة للعملية.
4. عملية فصل مكونات الغاز الطبيعي و مكونات أبراج الفصل والفرق بين أبراج ذات الحشوة و الأبراج ذات الصواني.
5. شرح مراحل وضع النموذج شرح النموذج الترموديناميكي المستخدم في إجراء الدراسة بالإضافة إلى لمحة عن البرنامج الذي تمت عليه عملية المحاكاة والتصميم.
6. عرض نتائج المحاكاة والتصميم، والمقارنة بين النموذج المحاك لوحدة الفصل الحالية في الشركة السورية للغاز ( معمل غاز الجنوب ) والنموذج الذي تمّ تصميمه من حيث الطاقة المستهلكة والكلف التشغيلية وكلفة رأس المال ثمّ ناقشنا النتائج.
7. ختمت الدراسة بالمقترحات والتوصيات.

## هدف العمل :

تتضمن الأهداف الأساسية للدراسة الحالية مايلي :

- دراسة عملية فصل مكونات الغاز الطبيعي باستخدام عملية التكرير .
- إنشاء نموذج محاكٍ لوحدة الفصل المستخدمة في الشركة السورية للغاز ( معمل غاز الجنوب ) .
- تصميم وحدة فصل (Fractionation Unit) ذات كفاءة اقتصادية وتشغيلية.
- إجراء حسابات الطاقة المستهلكة وكلفة رأس المال والكلف التشغيلية للحالتين المدروستين.
- المقارنة بين الحالتين وتحديد الحالة الأكثر جدوى
- مناقشة وتفسير النتائج.



## الفصل الأول

### الغاز الطبيعي و عمليات المعالجة





### 1.1. مقدمة :

يعدّ الغاز الطبيعي عنصراً حيوياً في إمدادات الطاقة، وهو من أنظف مصادر الطاقة وأكثرها أماناً وفائدةً على مدى العقود القليلة الماضية، وتحولت صناعة النفط والغاز الطبيعي إلى واحدة من أكثر الصناعات تطوراً من الناحية التكنولوجية. وقد عملت الابتكارات الجديدة في مجال تكنولوجيا الغاز الطبيعي إلى إعادة تشكيل الصناعة على مستوى العالم.

### 2.1. الغاز الطبيعي :

هو مزيج غازي هيدروكربوني وغير هيدروكربوني يتألف بشكل أساسي من الميثان، ونسب متباينة من ثاني أكسيد الكربون والأكسجين و كبريتيد الهيدروجين و الهيليوم. يتشكل الغاز الطبيعي عندما تتعرض الطبقات المتحللة من النباتات والحيوانات بباطن الأرض إلى درجات شديدة من الضغط والحرارة على مدى ملايين السنين.

ويوجد الغاز الطبيعي في بالاشكال الآتية:

- الغاز الحر : ويوجد في آبار حرة تحت أعماق الأرض، ويكون على الأغلب من النوع الذي يحتوي على الإيثان والميثان بصورة أساسية.
- الغاز المصاحب: ويظهر مصاحباً للنفط عند استخراجه من أعماق الأرض ويفصل في محطات عزل الغاز (تثبيت المتكاثفات).
- الغاز الفقير: يوجد مصاحباً للنفط الثقيل ويتميز بعدم احتوائه على متكاثفات.

### 3.1. أنواع الغاز الطبيعي: [1]

يمكننا تمييز عدة أنواع من الغاز الطبيعي بحسب الحموضة والرطوبة :

- الغاز الجاف (Dry gas) : هو الغاز الطبيعي مع نسبة قليلة من البترول أو الماء (1% - 2%).
- الغاز الرطب (Wet Gas) : يكون مصاحب بالبترول الخفيف وغازات LPG
- الغاز الحامض (Sour gas): هو الغاز الذي يحوي على الغازات الحامضية مثل ثاني أكسيد الكربون أو كبريتيد الهيدروجين.

○ الغاز الحلو (Sweet gas) : هو الغاز الخالي من الغازات الحامضية.

#### 4.1. خصائص الغاز الطبيعي :

يعدّ الغاز الطبيعي في الوقت الراهن الوقود المثالي لما يتصف به من خصائص عدة نوجزها فيما يلي :

- توفره بكميات كبيرة جداً ولسهولة استخراجه ونقله.
- تمتعه بتركيب كيميائي بسيط نسبياً وطاقة حرارية عالية وهذا بسبب خاصية الاحتراق السهل والكامل له.
- يتطلب عمليات معالجة بسيطة جداً قبل استعماله مقارنة مع الفحم الحجري والبتروال خام.
- ذو احتراق نظيف ( لا يعطي عند احتراقه أي رماد ) وذلك لعدم إحتوائه على شوارد معدنية.

#### 5.1. مكونات الغاز الطبيعي :[1]

يوجد الغاز الطبيعي في مكامن صخرية تحت سطح الأرض ، ويكون إما مترافق ومنحل في النفط والماء أو لوحده ، ويتكون الغاز الطبيعي من مجموعة من المواد الهيدروكربونية، يأتي غاز الميثان في مقدمتها اذ تزيد نسبته عن 80% بالإضافة إلى الهيدروكربونات البارافينية، كالايثان والبروبان والبوتان، كما يحتوي الغاز الطبيعي على جزء صغير من البنتان والبارافينات الاثقل، التي تشكل المتكاثفات بعد فصلها عن الغاز الطبيعي، وتحتوي بعض الغازات الطبيعية على المركبات غير الهيدروكربونية، كالنتروجين وكبريتيد الهيدروجين وثنائي أكسيد الكربون، ويمكن للغاز الطبيعي أن يحتوي على آثار من غاز الهيليوم والهيدروجين والارغون.

#### 6.1. المواصفات القياسية للغاز الطبيعي :[2]

الغاز الطبيعي يجب أن يكون مطابقاً لمواصفات قياسية عالمية علماً أنّ هناك مواصفات معينة تتبع هذه المواصفة للبلد الذي تتم فيه عملية استخراج ومعالجة الغاز، ويتم تحديدها على وضع الحد الأعلى لمحتوى الغازات الحامضية والأوكسجين وثنائي أكسيد الكربون

والكبريت وبخار الماء و الهيدروكربونات القابلة للتسييل. بالإضافة الى بعض المواصفات التي تتطلب الحد الأدنى مثل القيمة الحرارية.

إنَّ أهم معيارين للمواصفات القياسية المطلوبة في السوق العالمية للغاز هي درجة الحرارة والضغط حيث يتم قياس أغلب المواصفات القياسية تحت ظرفين قياسيين من الحرارة و الضغط وهما في درجة حرارة 0 °C وضغط 700 mmHg.

تحت هذه الظروف أيضاً يجب أن يحقق الغاز الطبيعي الأمور الآتية:

- أن يكون الغاز خالياً من الرمل، الغبار، الشمع، الشوائب والملوثات أو أي مواد أخرى قد تجعله غير مجدٍ اقتصادياً أو قد يسبب ضرراً للمعدات والأشخاص
- أن تكون قيمته الحرارية  $36 \text{ MJ/m}^3$ .

يظهر الجدول ( 1-1 ) الحد الأعلى المسموح به لبعض المكونات كالكبريت وثاني اوكسيد الكربون والماء.

الجدول ( 1-1 ) الحد الأعلى المسموح به لبعض المكونات الغازية.

المكون	H <sub>2</sub> S	Tot Sulphate	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
الحد الأعلى المسموح	16.5 ppm	115mg/m <sup>3</sup>	2 % V	65 mg/m <sup>3</sup>

#### 7.1. أهمية الغاز الطبيعي :

تكمُن أهميته في كونه واحداً من أنظف أنواع الوقود والأكثر وفرة عالمياً لامتلاكه فوائد عديدة تتمثل في:

- يعدّ ثروة اقتصادية حيث يوفر دخلاً مادياً عالياً للفرد، ويزيد المستوى المعيشي، ويعود على الدولة في تحسين اقتصادها وتعزيز قوتها.
- إنَّ بناء مصانع لإنتاج الغاز لا يستغرق زمناً طويلاً وتتمتع بمرونة تشغيلية كبيرة.
- القدرة على تقليل انبعاث الغازات الدفيئة بـ 25% في مجال النقل مقارنة بوقود الناقلات التقليدية.

كما أشارت وكالة الطاقة الذرية العالمية إلى أن الغاز يمكن أن يساعد في تنويع إمدادات الطاقة ويحسن من أمنها، كما أنّ هناك نوعان من الاستخدامات الأساسية للغاز الطبيعي: كوقود، أو في الصناعات البتروكيمياوية. وبناءً على ذلك هناك ثلاثة أسباب لمعالجة الغاز الطبيعي:

- التنقية : إزالة بعض المكونات سواء كانت ثمينة أو لا، التي تمنع استخدام الغاز في الصناعة.
- الفصل : فصل المكونات من الغاز مثل : البروبان - الأيثان - الهليوم.
- التسييل: زيادة الكثافة لأغراض النقل والخرن.

ولذلك فإن أية عملية معالجة يجب أن تندرج تحت أحد العمليتين: الفصل أوالتنقية بحيث إنّ أهم إستغلال للغاز الطبيعي هو استخدامه في الصناعات البتروكيمياوية لكونه المادة الخام الأساسية في تلك الصناعة، ويتوقع أن تمتد قائمة السلع التي يدخل الغاز في تركيبها إلى أكثر من 70 ألف مادة.

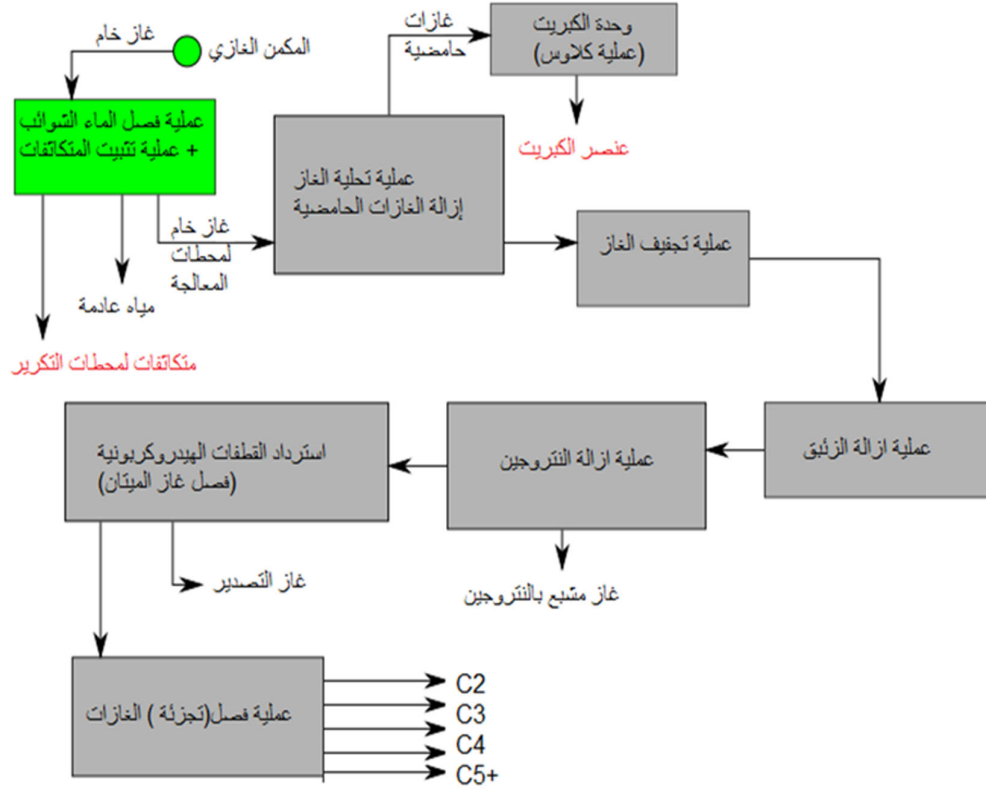
### 8.1. عمليات معالجة الغاز الطبيعي : [3]

تتكون الغازات الطبيعية المنتجة من معظم الآبار الغازية أو النفطية من فحوم هيدروجينية مشبعة (بارافينات  $C_nH_{2n+2}$ ) و غازات غير هيدروكربونية ( $H_2S, N_2, CO_2$ ) و قليل من الغازات النادرة كالهليوم و كميات متفاوتة من بخار الماء ( $H_2O$ ) بالإضافة إلى كمية من الشوائب الميكانيكية الصلبة (رمل، فتات صخري.....الخ) و السائلة (مياه مالحة، مياه عذبة.....) وهذا المزيج المعقد يتعرض عند خروجه من المكمن إلى السطح إلى تغييرات كبيرة في الضغط و درجة الحرارة و بالآتي فإن بعض مكوناته تتعرض إلى تغييرات في الخصائص الفيزيائية و الحالة الطورية.

تستدعي الضرورات التكنو - اقتصادية التخلص من هذه الملوثات للأسباب الآتية:

- يؤدي وجود الشوائب الصلبة في التيار الغازي إلى اضطراب في عمل أجهزة القياس والتجهيزات السطحية حيث تسيئ إلى عمل الصمامات و تؤدي إلى تآكل أجزاء الضواغط، كما أنّ تراكمها في المناطق المنخفضة في الأنبوب يؤدي إلى تناقص المقطع الحي للجريان و بالآتي تناقص استطاعة الخط.

- يؤدي تجمع المياه في حنايا الأنبوب المنخفضة إلى تآكل المعدن لا سيما إذا كانت حمضية أو قلوية.
  - يعدّ غاز كبريت الهيدروجين من الغازات السامة جداً كما أنه يعمل على تسميم الوسائط المستعملة في عمليات المعالجة اللاحقة وهو ذو تأثير تآكلي ولاسيما أنّ وجوده في تماس مع التجهيزات السطحية والأنابيب يمكن أن يجعل البنية المعدنية لهذه التركيب أكثر هشاشة، كما أنّ وجود كبريت الهيدروجين في الغاز يشكل مع الماء هيدرات صلبة عند درجات الحرارة المنخفضة الأمر الذي يؤدي إلى انسداد الأنابيب.
  - يشكل غاز ثنائي أوكسيد الكربون بوجود الماء مركبات حمضية تعمل على تآكل معدن الأنابيب والتجهيزات السطحية، كما أنه يخفض الطاقة الحرارية للغاز.
  - يؤدي وجود بخار الماء في الغاز وعند شروط معينة من الضغط ودرجة الحرارة إلى تشكل هيدرات صلبة.
  - يؤدي وجود المركبات الهيدروكربونية الثقيلة ( $C_2 - C_6$ ) إلى اضطرابات في عمل أجهزه القياس والتجهيزات السطحية.
  - يؤدي وجود غاز الأزوت إلى تخفيض الطاقة الحرارية للغاز الطبيعي.
- ومن الجدير بالذكر أنه ليس من الضروري إجراء جميع عمليات الفصل والمعالجة في المحطات الحقلية، ولكن بالمقابل لابد من إجراء العمليات الآتية:
- إزالة الشوائب الميكانيكية.
  - تثبيت المتكاثفات الغازية.
  - إزالة الغازات الحامضية.
  - إزالة المياه الحرة الآتية من الطبقة المنتجة.
  - فصل القطفات الهيدروكربونية ( $C_2 - C_{5+}$ ).
  - المحافظة على قيمة معينة لضغط الغاز بهدف نقله.
  - قياس تدفق و ضغط و درجة حرارة الغاز قبل إدخاله في خطوط أنابيب النقل.
- يشير الشكل (1-1) إلى المخطط الصندوقي لعمليات المعالجة التي تتم على الغاز الطبيعي



الشكل (1-1) مخطط عمليات معالجة وتكرير الغاز الطبيعي

### 1.8.1. عملية إزالة الشوائب الميكانيكية :

من أكثر العمليات شيوعاً وأهمية في محطات المعالجة الحقلية، حيث تتم هذه العملية في فواصل مخصصة لهذا الغرض (عمودية، أفقية، كروية) .

### 2.8.1. عملية تثبيت المتكاثفات :

متكاثفات الغاز الطبيعي هي الجزء السائل الذي يتكثف من الغاز الطبيعي القادم من الآبار الغازية نتيجة انتقال الحرارة أو انخفاض الضغط، ويضم بشكل أساسي الهيدروكربونات التي تكون بالحالة السائلة في الضغط الجوي مثل البنتان والهكسان والمركبات الأثقل، ويرمز لها بـ (C<sub>5</sub>+)، ولكنه يضم أيضاً هيدروكربونات خفيفة تكون منحلة فيه عند الضغوط العالية، لذلك يجب فصل هذه المكونات الخفيفة من المتكاثفات قبل نقلها إلى الخزانات وأنباب التصدير. تدعى عملية فصل هذه المكونات الخفيفة بعملية تثبيت المتكاثفات.

### 3.8.1. عملية تحلية الغاز الطبيعي :

تسمى عملية نزع غازي ( $\text{CO}_2$ ) و ( $\text{H}_2\text{S}$ ) من الغاز الطبيعي بعملية تحلية الغاز.

### 4.8.1. إزالة المياه الحرة الآتية من الطبقة المنتجة (تجفيف الغاز الطبيعي) :

الهدف العام من التجفيف هو إزالة كمية كافية من الماء من الغاز الطبيعي بحيث يتم استيفاء مواصفات الحد الأقصى لمحتوى الماء المسموح به في الغاز المعالج. أهم التقنيات المستخدمة لتجفيف الغازات الطبيعية والمكثفات المرافقة وسوائل الغازات الطبيعية مايلي:

- الامتصاص باستخدام مجففات سائلة.
- الامتزاز باستخدام مجففات صلبة.
- التجفيف بكلور الكالسيوم.
- التجفيف بالتبريد.
- التجفيف باستخدام الأغشية النفوذة.
- التجفيف بالتقطير.

### 5.8.1. عملية إزالة الزئبق :

يمكن أن يحتوي الغاز الطبيعي على نسبة من الزئبق تتراوح بين  $10 \text{ mg/m}^3 - 1$  لكن في بعض الحالات تم تسجيل قيم للزئبق أكبر من  $100 \text{ mg/m}^3$ .

لذلك تتم عملية إزالة الزئبق إن وجد.

تكمّن خطورة الزئبق بأنه يسبب تآكل في خلائط الألمنيوم المستخدمة في صناعة المبادلات الحرارية ذات الزعانف المستخدمة في معظم المبردات الحديثة، لكن هذا الهجوم يمكن تثبيطه عند جعل درجة حرارة التيار أقل من  $-40^\circ \text{C}$  لكن هذه الطريقة ليست عملية جداً في إزالة الزئبق.

هناك تقنيات أكثر فائدة لإزالة الزئبق مثل استخدام سرير يحتوي على مادة ذات أساس كبريتي تتفاعل مع الزئبق يتم التخلص منها لاحقاً باستخدام الكربون النشط أو الزيوليت أو الألومينا.

### 6.8.1. عملية إزالة النتروجين :

الغرض الاساسي من عملية إزالة النتروجين هو تلبية متطلبات خطوط نقل الغاز و الحصول على غاز بمواصفات عالية الجودة بالإضافة إلى أنّ النتروجين الذي يتم إزالته يستخدم في تعزيز استخراج النفط من مكامنه بعملية ( EOR ) ( Enhanced Oil Recovery ).

يمكن فصل النتروجين من الغاز الطبيعي بثلاث تقنيات :

1- بالتبريد 2- بالامتزاز 3- الفصل باستخدام الأغشية.

العملية الأكثر انتشاراً لفصل النتروجين هي التبريد فإذا كانت نسبة النتروجين في الغاز أدنى من 20% يستخدم برج تبريد واحد، أما إذا كانت النسبة أعلى من ذلك فيفضل استخدام برجين.

### 7.8.1. عملية فصل القطفات الهيدروكربونية :

تتألف الغازات الطبيعية بشكل رئيسي من مركبات هيدروكربونية مشبعة ذات كتل مولية صغيرة مثل (الميثان، الإيثان، البروبان) ولكن بشكل عام يمكن أن يختلف محتوى هذه المركبات من غاز طبيعي إلى آخر كما يمكن أن تتفاوت نسبة غاز الميثان إلى باقي المركبات الهيدروكربونية الأخرى تبعاً لطبيعة المكنم الجيولوجي. لذا لابد من فصل المركبات الهيدروكربونية الخفيفة من الغازات الطبيعية وذلك قبل استخدامها كوقود أو كمادة أولية في العمليات الكيميائية المختلفة.

### 8.8.1. عملية تكرير الغاز الطبيعي:

إنّ الغرض الأساسي من عملية التكرير هي فصل السوائل الغازية إلى مكونات عديدة (إيثان - بروبان - ايزوبوتان - نظامي البوتان - غازولين ) التي لها دور تجاري كبير كمنتجات نقية. سيتم التركيز في هذا البحث على عملية تكرير الغاز الطبيعي



## الفصل الثاني

### الدراسات المرجعية



سيتم في هذا الفصل دراسة مرجعية عن أهم الدراسات حول عملية تكرير الغاز الطبيعي، التي تركز على أهم التقنيات الحديثة المستخدمة في هذا المجال.

## 1.2 دراسة (1)

**(M. M. Mostafa, N. A. EL-Emam, M. A. EL-Shafie and T. M. Aboul-Fotouh, 2018)**

قام الباحثون (M. M. Mostafa, N. A. EL-Emam , M. A. EL-Shafie and T. M. Aboul-Fotouh, 2018) [4] بنشر بحث - في جامعة الأزهر في القاهرة، مصر - مؤلف من جزئين في عامي 2018 و 2019، مضمون هذا البحث هو إضافة آلية جديدة لتكرير الغاز الطبيعي مختلفة عن الآلية التقليدية.

هذه الآلية الجديدة عبارة عن برج أحادي مقسم الجدران داخلياً Divided Wall Column (DWC) وهو من أهم التقنيات الحديثة المتبعة في تكرير الغاز الطبيعي يعتمد مبدأ عمله على وجود حواجز داخل البرج تقسم جسم البرج طولياً وتسمح بتدوير التيار داخلياً، وركزت الدراسة على المقارنة العملية مابين طريقة الفصل التقليدية وطريقة الفصل باستخدام (DWC) وتبعت الدراسة الفنية دراسة اقتصادية لآلتي الفصل معاً باستخدام برنامج المحاكاة Aspen Hysys.

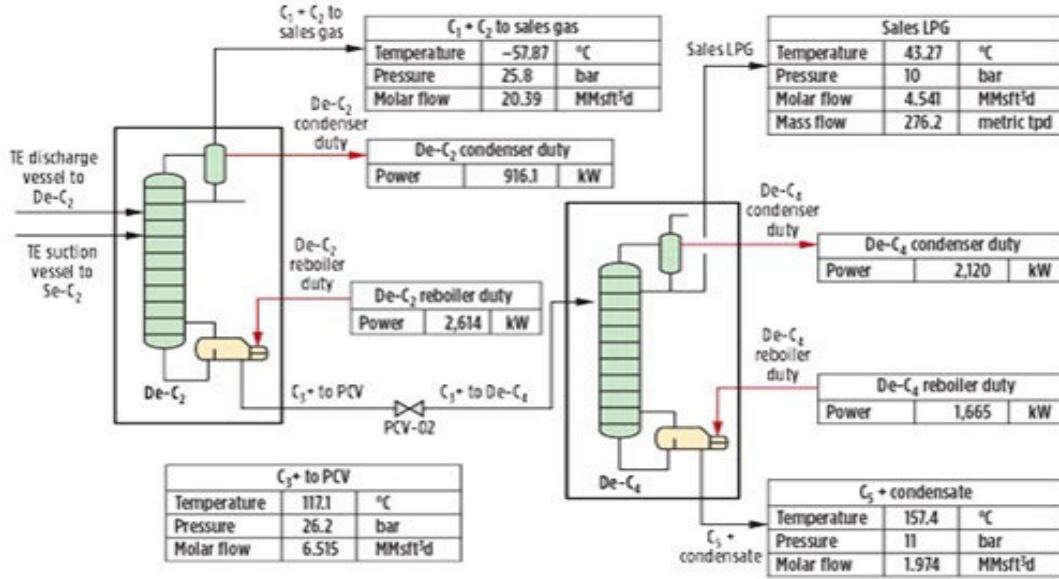
### 1.1.2 الحسابات التصميمية :

#### 1.1.1.2 الطريقة التقليدية : يبين الجدول (1-2) الحسابات التصميمية لطريقة

الفصل باستخدام برجى فصل

الجدول (2-1) الحسابات التصميمية لطريقة الفصل باستخدام برجى فصل

Debutanizer	Deethanizer	
36	22	عدد المراحل العملية
18	6	موقع صينية التغذية
LPG	$C_1 + C_2$	المنتجات العلوية
$C_5^+$	$C_3^+$	المنتجات السفلية
11 bar	26.2 bar	ضغط الغلاية
10 bar	25.8 bar	ضغط المكثف



الشكل (2-1) محاكاة طريقة الفصل التقليدية

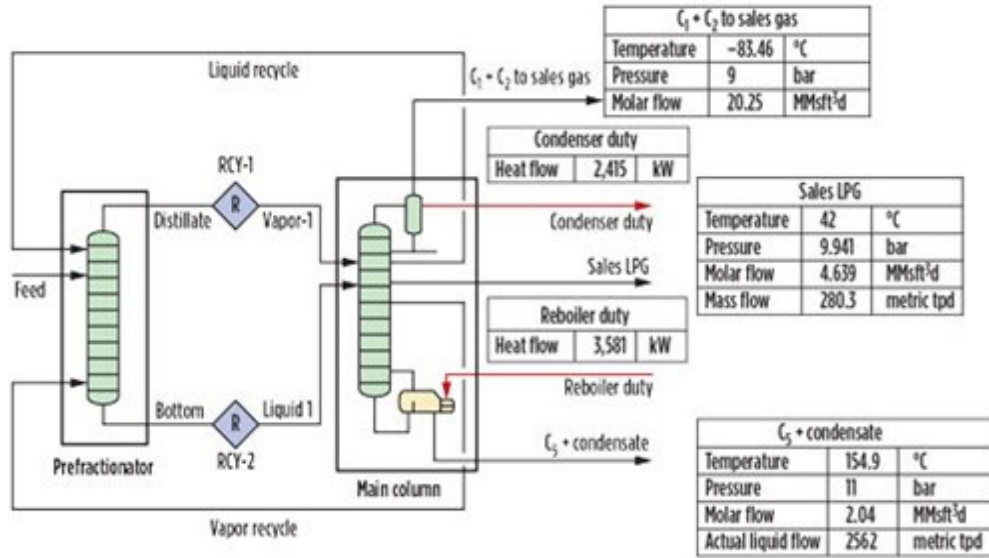
2.1.1.2 طريقة الفصل باستخدام البرج مقسم الجدران (DWC) : يبين الجدول

(2-2) المدرج الحسابات التصميمية لطريقة الفصل باستخدام برج مقسم الجدران

:(DWC)

الجدول \* ( 2-2 ) الحسابات التصميمية لطريقة الفصل باستخدام برج مقسم الجدران (DWC)

9	موقع صينية التغذية في برج الفصل المبدئي	52	عدد المراحل العملية الكلية
32	موقع التغذية بالسائل في برج الفصل الرئيسي	28	عدد الصواني في برج الفصل المبدئي
5	موقع التغذية بالبخار في برج الفصل الرئيسي	$C_1 + C_2$	المنتجات العلوية
5	موقع تدوير تيار السائل في برج الفصل المبدئي	$C_5^+$	المنتجات السفلية
32	موقع تدوير تيار البخار في برج الفصل المبدئي	LPG	المنتجات الجانبية



الشكل (2-2) محاكاة طريقة الفصل باستخدام البرج مقسم الجدران

\* تم الحصول على النتائج باستخدام الطرائق الدقيقة في الحساب

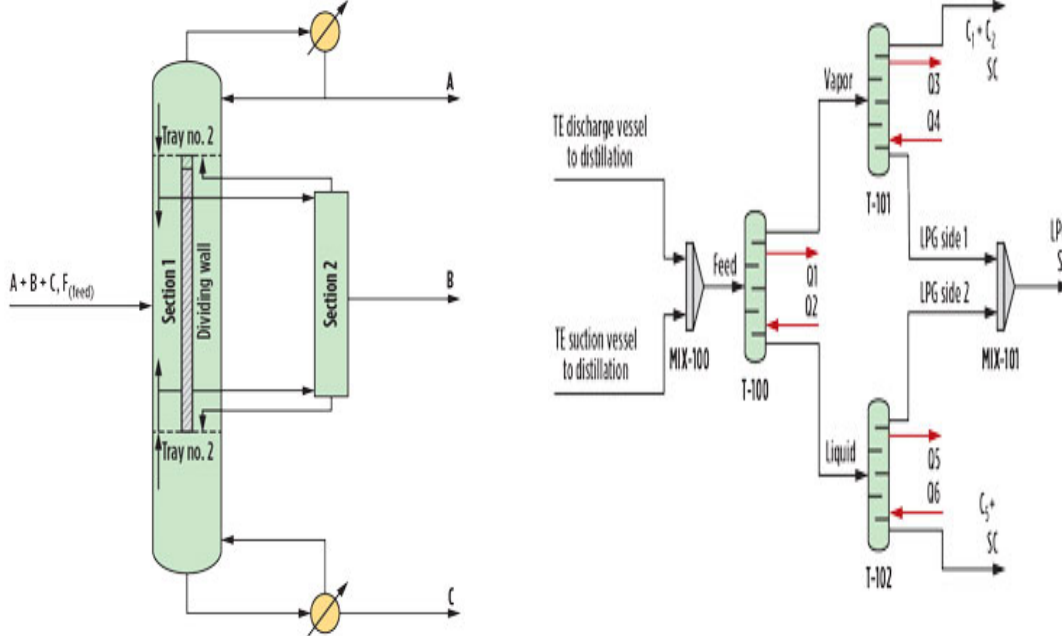
### 3.1.1.2 المقارنة بين الطريقتين : الجدول ( 2-3 ) المدرج أدناه يبين المقارنة

ما بين طريقة الفصل باستخدام برج مقسم الجدران (DWC) و الطريقة التقليدية:

الطريقة التقليدية		DWC	
Debutanizer	Deethanizer		
1	1	1	عدد الأبراج
36	22	52	عدد المراحل
1	1	1	عدد الغلايات
1	1	1	عدد المكثفات
24.888	14.64	36.6	ارتفاع العمود (m)
1.524	1.981	1.829	قطر العمود (m)
1665	2614	3581	طاقة الغلاية (Kw)
2119	916.2	2415	طاقة المكثف (Kw)
3784	3530.2	5996	مجموع الطاقة في البرج (Kw)
2		1	عدد الأبراج الكلي
58		52	عدد المراحل الكلية
39.528		36.6	الارتفاع الكلي (m)
3.504		3.048	القطر الكلي (m)
4279		3581	مجموع طاقة الغلاية (Kw)
3035.2		2415	مجموع طاقة المكثف (Kw)
7314.2		5996	مجموع الطاقة في البرج (Kw)

دلت نتائج الدراسة الفنية و الاقتصادية على أن :

1. استخدام البرج منفصل الجدران (DWC) سيقوم بتوفير أكثر من 18% من استهلاك الطاقة، وذلك من خلال عملية التكرير التي ستتم داخل البرج لاعطاء أكثر من منتجين.



الشكل (2-3) الطريقة المختصرة لحسابات DWC      الشكل (2-4) مقطع من DWC

2. استخدام البرج منفصل الجدران (DWC) سيوفر أكثر من 20% من رأس المال المطلوب وذلك لأن استخدام برج واحد بدلاً من استخدام برجين سيوفر من حجم و طاقة الغلايات والمكثفات المطلوبة لعملية الفصل وكذلك ستكون كلف الصيانة الوقائية والشاملة أقل بكثير مما هو عليه في الطريقة التقليدية.

## 2.2. دراسة (2)

(A. B. Raheem, A. Hassan, S. A. Samsudin, Z. Z. Noor, A. Adebobajo, 2015) [5]

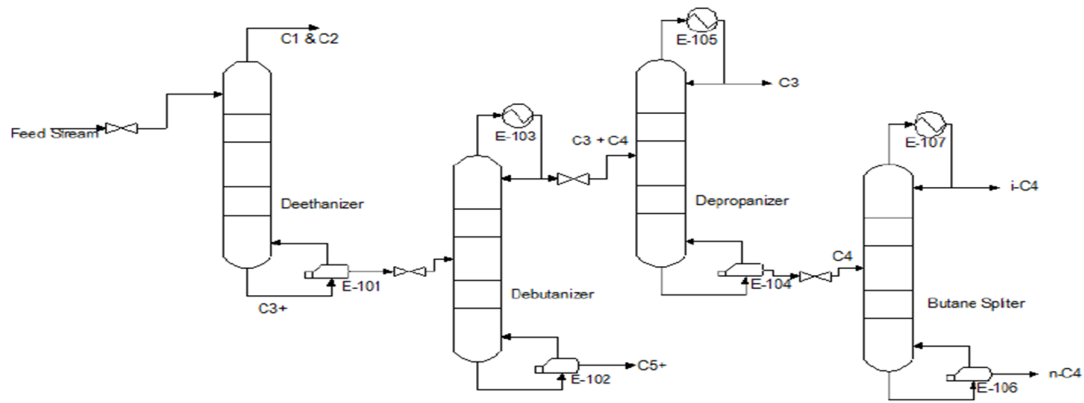
نشر الباحثون في عام 2015 في الجامعة الماليزية للعلوم و التكنولوجيا بحث بعنوان (خيارات الاستقصاء الاقتصادي المقارن لإنتاج غاز LPG انطلاقاً من سوائل الغاز الطبيعي (NGL)).

ركزت الدراسة بشكل رئيسي على المقارنة الاقتصادية بين الطريقة التقليدية والطرائق الحديثة المتبعة لفصل غاز LPG عن سوائل الغاز الطبيعي ، لما لهذا المنتج من أهمية بالغة في الصناعة.

ووجدوا أن فصل غاز LPG هي عملية سهلة وممكنة، لكن مايشكل التحدي الأكبر هو تكلفة بناء الوحدات بالإضافة للكلف التشغيلية. لذا يجب أن تكون كلفة إنتاج LPG أقل مايمكن لتوسيع الهوامش بين كلف التشغيل وسعر السوق العالمي لتحقيق الربح الأكبر. تمت الدراسة باستخدام برنامج المحاكاة HYSYS وعملت على المحاور التي تهم عملية فصل LPG والطاقة اللازمة للعملية ورأس المال المطلوب لذلك.

**1.2.2. عملية الفصل التقليدية :** هناك أربع أبراج فصل مستخدمة في الطريقة التقليدية، المرحلة الأولى هي نزع الميثان والايثان معاً كقطعة علوية على شكل بخار متكاثف في برج نزع الايثان  $De-C_2$ . يتم إدخال القطعة السفلية ( $C_3+$ ) على شكل سائل إلى المرحلة الآتية التي تتمثل بفصل البروبان والبوتان كقطعة علوية في برج نزع البوتان  $De-C_4$  و يتم إدخال القطعة السفلية على شكل سائل إلى المرحلة الآتية التي تتمثل بفصل البروبان عن البوتان في برج نزع البروبان  $De-C_3$ . وأخيراً يتم فصل نظامي البوتان عن آيزو البوتان في فاصل البوتان للحصول على المركبات المطلوبة كما هو موضح بالشكل (2-5).





الشكل (2-5) عملية الفصل بالطريقة التقليدية

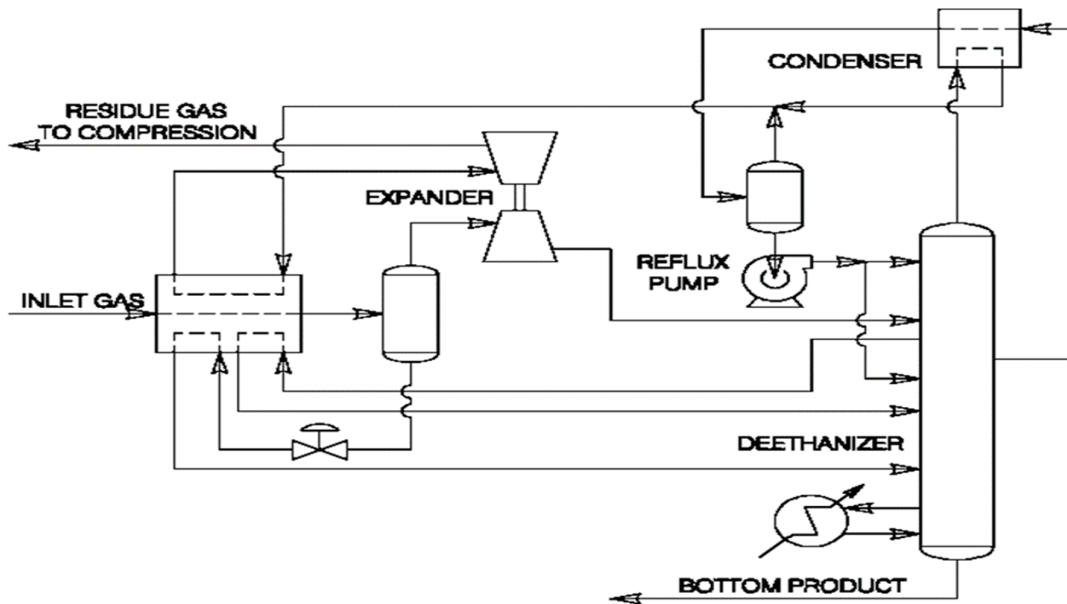
### 2.2.2. التقانات الحديثة في فصل LPG : منذ عام 1970 وحتى الآن وشركة

Ortloff تقوم بتطوير الكثير من العمليات التي تعزز من عملية فصل قطفة LPG وهذه العمليات تتمتع بكفاءة ونقاوة منتجات عالية.

بعض من هذه العمليات :

Gas sub-cooled process (GSP), Overhead recycle Process (ORH),  
Recycle split-vapor process (RSV), Single Column overhead recycle  
process (SCORE) .....

يبين الشكل (2-6) عملية تكرير الغاز باستخدام تقنية (SCORE)



الشكل (2-6) Single Column overhead recycle process (SCORE)

### 3.2.2. الحسابات والنتائج :

1. عملية فصل القطفات : يبين الجدول (2-4) المدرج أدناه النسب المئوية لفصل كل من القطفات  $C_3, iC_4, n-C_4$  في كل من طريقتي الفصل التقليدية والفصل باستخدام SCORE :

الجدول (2-4) النسب المئوية لفصل قطفات LPG

نسبة الفصل (%)		تدفق المركبات [MMSCFD]		
الطريقة التقليدية	SCORE process	الطريقة التقليدية	SCORE process	
79.8695	99.9981	11.1650	20.0414	$C_3$
90.0005	98.9988	4.7939	10.6055	$i-C_4$
95.6441	92.5056	6.1188	18.6623	$n-C_4$

2. تكلفة المعدات : يبين الجدول (2-5) المدرج أدناه كلفة المعدات في كل من طريقتي الفصل التقليدية والفصل باستخدام SCORE :

الجدول (2-5) كلفة المعدات في كل من طريقتي الفصل التقليدية والفصل باستخدام SCORE

المعدة	العدد المطلوب		التكلفة (\$) عام 2015	
	الطريقة التقليدية	SCORE process	الطريقة التقليدية	SCORE process
أبراج فصل	4	3	425571	319178.25
صواني	109	30	60651.54	16693.1
مبادلات حرارية	7	6	29157889.63	24992476.83
فواصل	-	2	-	136000.9
ضواغط	-	1	-	105377.44
توربينات	-	1	-	105377.44
التكلفة الاجمالية			29644112.17	25675104.21

دلت نتائج الدراسة على أنه:

1. يمكن باستخدام برج الفصل (SCORE) Single column overhead recycle

المصمم من قبل شركة Ortloff الحصول على نسبة فصل لقطعة LPG تصل إلى

97.2% في حال يتم فصل 88.5% فقط باستخدام الطريقة التقليدية.

2. يتم توفير 38.9% من الطاقة المستهلكة في طريقة الفصل التقليدية في حال استخدام

برج (SCORE) وبآلاتي فإن كلفة رأس المال الثابت ستكون أقل بكثير مما هي عليه

في السابق.

### 3.2. دراسة (3)

(Haili Hu, Hong Jiang and others, 2018) [6]

نشر مجموعة من الباحثين في عام 2018 في جامعة ساوثويست في جمهورية الصين الشعبية

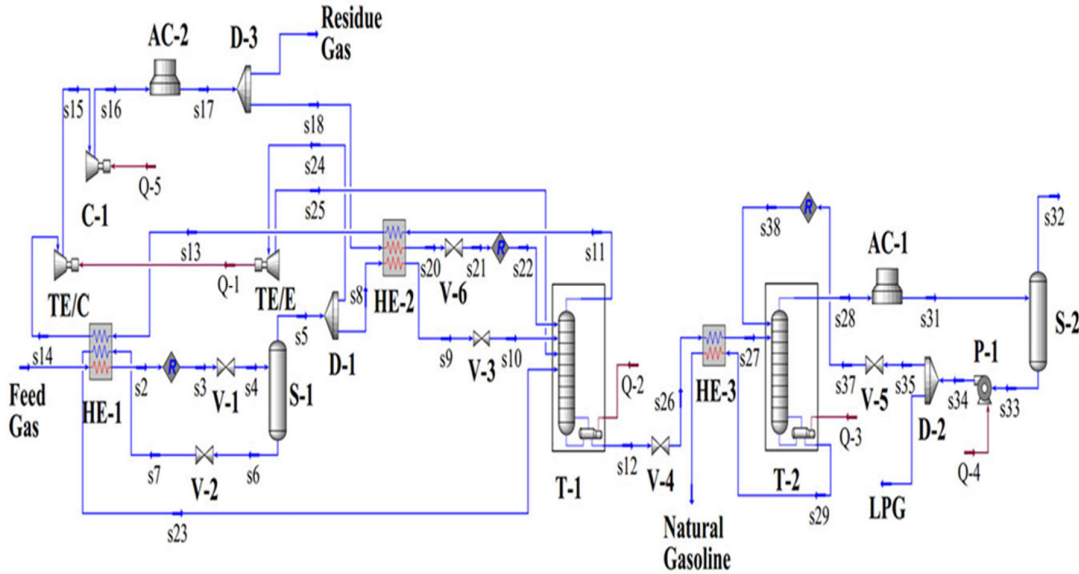
بحث بعنوان (التحليل والاختيار الأمثل للطاقة المستخدمة لعملية فصل سوائل الغاز الطبيعي

لزيادة أرباح المعمل) كان الهدف من الدراسة زيادة نسبة فصل السوائل الغازية وتقليل الطاقة

المستهلكة وزيادة الربح الناتج عن هذه العملية.

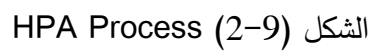
قامت الدراسة بمقارنة وتحليل خطط ثلاث عمليات مختلفة لفصل السوائل الغازية NGL :

### 1.3.2. r (RSV)



الشكل (2-7) RSV Process

الشكل (2-8) SCORE Process



تمت الدراسة باستخدام برنامج المحاكاة Aspen HYSYS. كان أداء HPA الأفضل وذلك بسبب الضاغط الإضافي واستخدام التبريد بدرجة معقولة. تم تحسين HPA بشكل أكبر من خلال تحديد وضبط المتغيرات الرئيسية بناءً على خوارزمية تحسين جديدة. كان فصل البروبان من HPA الأمثل 98.8 %، وزيادة ربحية بنسبة 3.352 مليون دولار في السنة. كما أوضح تحليل الطاقة للعملية المثلى أنّ العمود ومبرد الهواء ساهما أكثر في تقليص الطاقة الإجمالية. كما تم تقديم اقتراحات لتقليص الطاقة في العملية.

الجدول (2-6) المبين أدناه يبين المقارنة بين العمليات الثلاث المقترحة :

الجدول (2-6) المقارنة بين العمليات الثلاث المقترحة

HPA	SCORE	RSV	
-	-	$670 \times 10^4$	معدل تدفق غاز التغذية $[m^3 d^{-1}]$
-	-	323.8	معدل إنتاج LPG $[t d^{-1}]$
-	-	192.5	معدل إنتاج NGL $[t d^{-1}]$
89.17	89.33	89.15	نسبة فصل البروبان %
5560.2	6453.8	7640	الطاقة الحرارية المقدمة $[kW]$
5842	10060	11670	استهلاك الطاقة (turbo-expander and compressors) $[kW]$
75656	1193427	139013	استهلاك الطاقة الشامل $[10^4 MJ t^{-1}]$
7010	11057	12884	استهلاك الطاقة الشامل LPG $[MJ t^{-1}]$
11791	18599	21664	استهلاك الطاقة الشامل NGL $[MJ t^{-1}]$



## الفصل الثالث

### التقطير





### 1.3. مقدمة:

التقطير هو عملية فصل المكونات أو المواد من خليط سائل باستخدام الغليان الانتقائي (selective boiling) والتكثيف. قد يؤدي التقطير إلى فصل كامل بشكل أساسي (مكونات نقية تقريباً)، أو قد يكون فصلاً جزئياً يزيد من تركيز المكونات المحددة في الخليط. في كلتا الحالتين، تستغل عملية التقطير التمايز (الاختلاف) في درجة تطاير مكونات الخليط.

أدى الاستخدام الواسع لعملية التقطير في الصناعة إلى تنوع كبير فيها، وتصنف عمليات التقطير وفقاً لطريقة التنفيذ المستخدمة؛ التقطير الومضي (flash distillation)، التقطير النفاذلي المتقطع (differential batch distillation)، التقطير التجزيئي (fractional distillation) ....

في التقطير الومضي، والمعروف أيضاً باسم التقطير المتوازن (equilibrium distillation) أو التبخير الومضي المتوازن (equilibrium flash vaporization)، يتم إحضار تيار التغذية إلى أسطوانة وميض أو خزان حيث يتم تبخير التغذية جزئياً عندما ينخفض الضغط فجأة، ينتج عن هذا الانخفاض في الضغط منتج مكون من طورين في الحالة السائلة والبخارية، وتكون هذه المنتجات في حالة توازن مع بعضها البعض. قد يكون التقطير الومضي متقطعاً أو متواصلاً. وهو أبسط وأرخص شكل من أشكال التقطير، ويستخدم بشكل متكرر كعملية فصل مسبق قبل بعض المعدات.

نوع آخر من التقطير هو التقطير النفاذلي المتقطع، أو ببساطة التقطير النفاذلي في تقنية الفصل هذه يوضع السائل المراد فصله في وعاء يتم تسخينه، حيث يبخر المكون الأقل درجة غليان أولاً وهكذا بالتتابع بينما لا يزال الوعاء الحاوي على تيار التغذية في حالة تسخين مستمر يتم تجميع الأبخرة الناتجة على شكل متكاثفات في وعاء نواتج التقطير وتستمر هذه العملية حتى الحصول على المنتج المطلوب بالكمية والجودة المطلوبة.

أما التقطير التجزيئي أو التقطير التجزيئي المتواصل، الذي يتكون بشكل أساسي من برج تقطير، مكثف و غلاية. في هذا النوع من التقطير يتم فصل تيار التغذية إلى مكونين أو أكثر حيث يدخل تيار التغذية إلى صينية (صفيحة) التغذية التي تقع في مكان ما بين الصينية العليا والصينية السفلى.

## 2.3. مفاهيم ومصطلحات: [7]

### 1.2.3. ضغط البخار:

يُسمى تركيز بخار سائل عندما يكون في حالة تلامس مع السائل عند وجودهم في حالة الاتزان بضغط البخار. وقد يكون بخار السائل ضغطاً جزئياً في حالة وجود غازات أخرى بالإضافة إلى بخار السائل. وتوازن ضغط البخار مع السائل يعتمد على درجة الحرارة. وفي حالة وجود مزيج من السوائل يعتمد تركيز أبخرة السوائل في الحالة الغازية على تركيز مكونات المزيج ودرجة الحرارة. وعادة يختلف تركيز البخار في الحالة الغازية عن تركيز السائل، ولكنها ترتبط بعضها البعض بعلاقات محددة دقيقة. ويمكن تعيين تلك النسب بالوسائل التجريبية لمزائج المواد التي تهتم بها. كما يمكن حسابها بالاستعانة ببعض النظريات العلمية التي تهتم بمزائج المواد مثل قانون دالتون أو قانون هنري.

### 2.2.3. ثابت التوازن الطوري سائل - بخار K: وهي مقياس لميل المكون للتبخر.

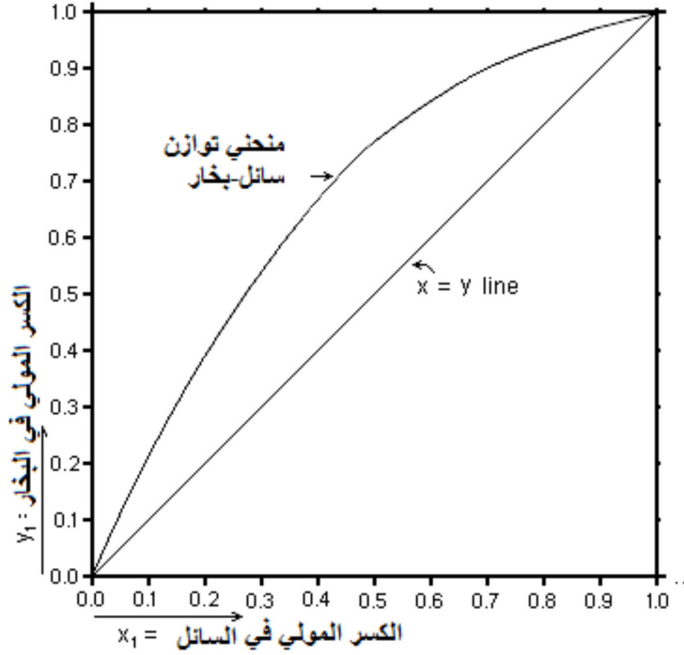
$$K = \frac{y_1}{x_1} \quad \dots\dots (1)$$

$y_1$  الكسر المولي في البخار للمكون.

$x_1$  الكسر المولي في السائل للمكون.

- إذا كانت قيمة K عالية فإن المكون يميل إلى التركيز بالحالة البخارية، أما إذا كانت منخفضة فإن المكون يميل إلى التركيز في الحالة السائلة.
- إنَّ قيمة الثابت K هي تابع لدرجة الحرارة والضغط والتركيب في حالة التوازن.

يوضح الشكل ( 3-1 ) علاقة التوازن بين الطور السائل وطور البخار.



الشكل ( 3-1 ) علاقة التوازن بين الطور السائل و طور البخار .

### 3.2.3. التطاير النسبي (Relative volatility) [7]:

هي مقياس لمقارنة ضغط البخار لكل سائل في مزيج من السوائل ، وهذا المقياس يعبر عن سهولة عملية التقطير أو صعوبتها.

إنّ التقطير هو عبارة عن تقنية في فصل المزائج التي تعتمد على التطاير النسبي للمكونات وإن قيمة التطاير النسبي بالتعريف هي نسبة قيمة ثابت التوازن لمركب i إلى قيمتها للمركب j وهي مقياس لسهولة فصل المكونين، هذا التعريف يجعل من التطاير النسبي يعطي نسبة الميلان للتبخر بين مكونين. ويحسب التطاير النسبي للمكونين i و j من العلاقة :

$$\alpha_{ij} = \frac{K_i}{K_j} \quad \dots\dots\dots (2)$$

إذا كانت قيمة التطاير النسبي عالية فإن أحد المكونات لديه أكثر ميلاناً للتبخر (أكثر تطايراً) من المكون الآخر وسيكون من السهل فصل المكونين بعملية التقطير أما في حالة أخرى عندما يتساوى ميل المكونات للتبخر فسيكون من الصعب فصل المكونات بعملية تقطير.

يسمح تعريف التطاير النسبي بالتمييز بين المكونات الأكثر تطايراً والأقل تطايراً. لنظام ثنائي المكون يمكن الحصول على المعادلة (3) من المعادلات (1) و (2) .

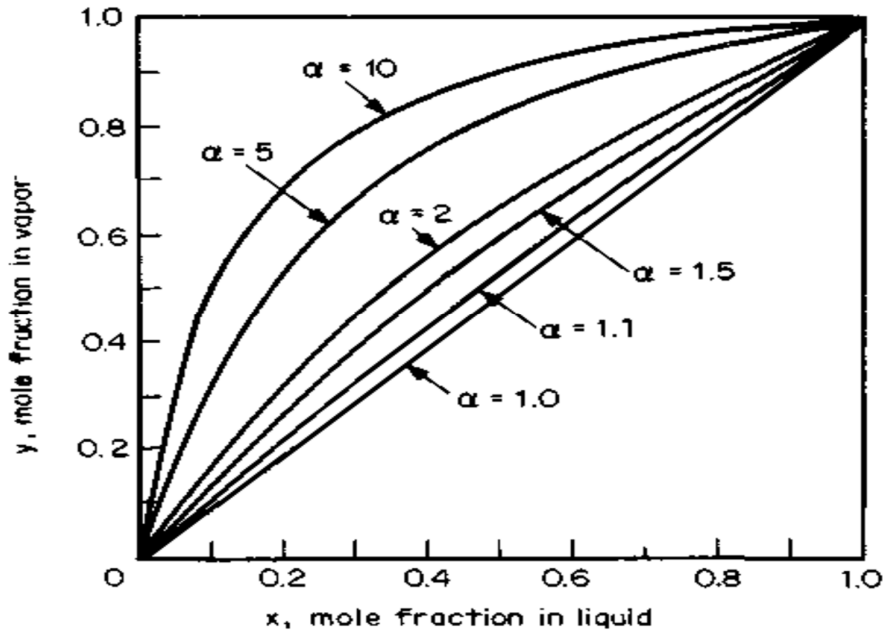
$$\alpha_{ij} = \frac{K_i}{K_j} = \frac{y_i(1-x_i)}{x_i(1-y_i)} \dots \dots (3)$$

يمكن إعادة ترتيب المعادلة لتعطي :

$$y_i = \frac{\alpha_{ij} * x_i}{1 + (\alpha_{ij} - 1) * x_i} \dots \dots (4)$$

هذه المعادلة تعبر عن الكسر المولي في البخار مرتبطة بالكسر المولي في السائل للمكون الأكثر تطايراً.

هذه العلاقة تمّ تمثيلها بالشكل رقم ( 3-2 ) .



الشكل (3-2) علاقة الكسر المولي في البخار مرتبطة بالكسر المولي في السائل للمكون الأكثر تطايراً.

<sup>1</sup> الخط المائل بزاوية 45 درجة يمثل النقاط التي يكون فيها تركيب السائل والبخار متساوي.

### 4.2.3. المنظومة المثالية وغير المثالية:

في المنظومة المثالية يحقق الغاز قانون الغاز المثالي وكذلك السائل يحقق قانون راؤول.

المزيج الغازي المثالي يحقق قانون دالتون :

$$P_i = y_i * P \dots (5)$$

المزيج السائل المثالي يحقق قانون راؤول :

$$P_i = x_i * P \dots (6)$$

من المعادلتين نحصل على قيمة  $K_i$  :

$$K_i = \frac{y_i}{x_i} = \frac{p_i^o}{P} \dots\dots\dots (7)$$

للمنظومة غير المثالية فإن حالة العبور للمكون  $i$  من الغاز والسائل تلعب نفس الدور كذلك الضغط الجزئي للمكون في الحالة الغازية والضغط الغازي للمكون في الحالة السائلة.

حالة العبور يمكن عدّها ضغط ترموديناميكي عند التوازن، وبآلاتي فإن حالة العبور في الطور الغازي تساوي إلى حالة العبور في الطور السائل :

$$f_i^L = f_i^V \dots\dots (8)$$

حالة العبور في الطور الغازي يمكن عدّها كضغط جزئي مصحح :

$$f_i^V = \phi_i^V (P y_i) \dots\dots (9)$$

بشكل مشابه بالنسبة لحالة العبور في الطور السائل فيمكن عدّها كضغط غازي مصحح:

$$f_i^L = \phi_i^L \gamma_i \psi_i (x_i p_i^o) \dots\dots (10)$$

$\phi_i^V$  معامل حالة العبور في الطور الغازي ويمثل تأثير الغاز غير المثالي على حالة العبور الغازية، يمكن الحصول عليه من معادلة الحالة ويعتمد على درجة الحرارة وضغط المنظومة وكذلك الكسر المولي للغاز.

$\phi_i^L$  معامل حالة العبور في الطور السائل ويمثل تأثير الغاز غير المثالي على حالة العبور السائلة، يمكن الحصول عليه من معادلة الحالة ويعتمد على درجة حرارة الجملة والضغط الغازي للمكون النقي.

$\gamma_i$  معامل نشاط السائل، يصحح حالة عبور السائل حسب تأثير المكونات، قيمة هذا المعامل تعتمد على مدى تشابه المكونات. بالنسبة لمكونين متشابهين مثل خليط مكون من أيزو البوتان و نظامي البوتان فإن معامل النشاط يكون قريب من الواحد.

$\psi_i$  معامل تصحيح بوينتنغ يمثل تأثير الضغط على حالة عبور السائل، عندما  $\phi_i^L$  يتم تقييمه على أساس الضغط الغازي للمكون النقي فإن  $\psi_i$  يستخدم للتمييز بين الضغط الغازي للمكون النقي وضغط المزيج. هذا التأثير هو بسيط ويمكن إهماله عند الضغوط المنخفضة ولكنه مهم في الضغوط المرتفعة.

من المعادلات السابقة يمكن الحصول على قيمة  $K_i$  وفق مايلي :

$$K_i = \frac{y_i}{x_i} = \frac{\phi_i^L}{\phi_i^V} \gamma_i \psi_i \frac{p_i^\circ}{P} \dots \dots (11)$$

### 3.3. حساب الضغط الجزئي:

يمكن حساب الضغط الجزئي للمكونات بعدة طرائق منها معادلة انطوان Antoine ومعادلة هارلاشر - براون [8] Harlacher – Braun.

#### 1.3.3. معادلة انطوان Antoine :

$$\log_{10} p_i^\circ = A - \frac{B}{C + T} \dots \dots (12)$$

T درجة حرارة غليان المكون مقدرة بالكالفن ، A, B, C ثوابت متعلقة بالمكون،  $p_i^\circ$  مقدرة بال mmHg.

T: درجة الحرارة بالكلفن التي تكون محددة بمجال صلاحية  $T_i^{\min} \leq T_i \leq T_i^{\max}$  من أجل ضغوط منخفضة  $P \leq 1500 \text{ mmHg}$ .

### 2.3.3. معادلة هارلاشر – براون Harlacher – Braun:

عند ضغوط مرتفعة تصل إلى النقطة الحرجة يتم تطبيق القانون

$$\ln p_i^\circ = A - \frac{B}{T} + C \ln(T) + \frac{Dp_i^\circ}{T^2} \dots (13)$$

T: درجة الحرارة بالكلفن التي تكون محددة بمجال صلاحية  $1 \leq P \leq P_c \text{ (atm)}$

### 4.3. حساب درجة حرارة الغليان والتكثيف (bubble point and dew point): [7]

يتطلب حساب عدد مراحل التقطير ودرجات حرارة التبخير والتكثيف معرفة نقطتي الندى والفقاغة.

#### 1.4.3. نقطة الفقاغة:

هي درجة الحرارة عند ضغط معين حيث تتشكل الفقاغة الأولى من البخار عند تسخين سائل يتكون من مكونين أو أكثر، وتحسب نقطة الفقاغة من المعادلة الآتية :

$$\sum_{i=1}^n y_i = \sum_{i=1}^n K_i x_i = 1.0 \dots (14)$$

#### 2.4.3. نقطة الندى:

هي درجة الحرارة التي تظهر عندها أول نقطة سائلة عند التبريد (التكثيف). وتحسب نقطة الندى من المعادلة الآتية :

$$\sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{K_i} = 1.0 \dots (15)$$

طريقة الحساب :

لحساب نقطتي الفقاغة والندى (عند ضغط ثابت) يتطلب القيام بالخطوات الآتية :

1. افتراض قيمة لدرجة الحرارة.
2. حساب قيمة ثابت التوازن  $K$ .
3. حساب المقدار  $K_i x_i$ ،  $\frac{y_i}{K_i}$  لكل مكون ثمّ تجمع النواتج، اذا كانت القيمة الناتجة أصغر من الواحد نقوم برفع درجة الحرارة المفروضة، أما إذا كانت القيمة الناتجة أكبر من الواحد نقوم بتخفيض درجة الحرارة المفروضة.
4. تكرر الخطوات حتى الحصول على قيمة مساوية للواحد الصحيح.

### 5.3. تحديد درجة الحرية: [9]

يقصد بدرجة الحرية عدد المتحولات التي يجب تثبيتها أولاً من أجل الحصول على حل وحيد لجملة المعادلات التي تصف منظومة التقطير، وتعدّ مسألة تحديد درجة الحرية من أولى المسائل التي يجب حلها عند تصميم أبراج التكرير.

تحدد قاعدة Gibbs درجة الحرية بالفرق بين عدد المتغيرات التي تعين حالة المنظومة وعدد المعادلات المستقلة التي تربط بين هذه المتحولات.

درجة الحرية = عدد المتغيرات - عدد المعادلات

$$N_d = N_v - N_r$$

### 6.3. الموزونات الحرارية والمادية و خصائص المنتجات: [9]

تمثل الموازنة المادية حول عمود التقطير الخطوة الأولى في حسابات فصل المنتجات، ومن أجل إجراء هذه الموازنة يجب افتراض تركيب التيار الناتج. هنالك ثلاث طرائق لتحديد المنتج المطلوب من برج التقطير :

1. النسبة المئوية لفصل العناصر في التيار العلوي أو السفلي.
  2. تركيب أحد المكونات في النواتج.
  3. خاصية فيزيائية محددة لأحد المنتجات مثل الضغط البخاري.
- في المزيج متعدد المكونات يوجد عادة مكونان يعدّان المكونان الرئيسيان للفصل، المكون الخفيف ويعدّ المكون الأخف في التيار السفلي ويكون بكمية غالبية في التيار العلوي،



والمكون الثقيل ويعدّ المكون الأثقل في التيار العلوي ويكون بكمية غالبية في التيار السفلي.

### 1.6.3. خصائص المنتجات:

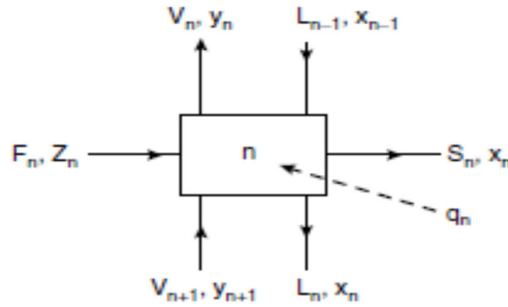
هنالك ثلاث طرائق لتحديد المنتج المطلوب من برج التقطير:

1. النسبة المئوية لفصل العناصر في التيار العلوي أو السفلي.
  2. تركيب أحد المكونات في النواتج.
  3. خاصية فيزيائية محددة لأحد المنتجات مثل الضغط البخاري .
- في المزيغ متعدد المكونات يوجد عادة مكونان يعدّان المكونان الرئيسيان للفصل، المكون الخفيف الرئيسي، والمكون الثقيل الرئيسي.

### 2.6.3. الموازنات المادية والحرارية (الطريقة الدقيقة في حسابات التقطير):

معادلات التوازن الحراري والمادي يمكن كتابتها لأي مرحلة من مراحل نظام متعدد المراحل.

يمثل الشكل ( 3-3 ) تدفق المادة والطاقة لمركب يحتوي على  $N$  مكون لمرحلة نموذجية  $n$  من برج تقطير، تكون معادلات هذه المرحلة موضحة أدناه لأي مكون  $i$ .



الشكل (3-3) تدفق المادة والطاقة لمرحلة نموذجية  $n$  من برج تقطير.

معادلة موازنة الكتلة :

$$V_{n+1}y_{n+1} + L_{n-1}x_{n-1} + F_nz_n = V_ny_n + L_nx_n + S_nx_n \dots \dots (16)$$

معادلة موازنة الطاقة :

$$V_{n+1}H_{n+1} + L_{n-1}h_{n-1} + F_n h_f + q_n = V_n H_n + L_n h_n + S_n h_n \dots \dots (17)$$

حيث :  $V_n$  = تيار البخار الناتج عن المرحلة  $n$

$V_{n+1}$  = تيار البخار الداخل إلى المرحلة  $n$  من المرحلة الأدنى

$L_n$  = تيار السائل الناتج عن المرحلة  $n$

$L_{n-1}$  = تيار السائل الداخل إلى المرحلة  $n$  من المرحلة الأعلى

$F_n$  = تيار التغذية الداخل إلى  $n$

$S_n$  = التيار الجانبي الناتج عن المرحلة  $n$  (إن وجد)

$q_n$  = كمية الحرارة الداخلة أو الناجمة عن المرحلة  $n$

$n$  = رقم المرحلة من برج التقطير

$z$  = الكسر المولي للمركب  $i$  في تيار التغذية

$x$  = الكسر المولي للمركب  $i$  في تيار السائل

$y$  = الكسر المولي للمركب  $i$  في تيار البخار

$H$  = الانتالبية النوعية لتيار البخار

$h$  = الانتالبية النوعية لتيار السائل

$h_f$  = الانتالبية النوعية لتيار التغذية (سائل + بخار)

يعبر عن تيارات الكتلة بوحدة (mole /unit time)

ويعبر عن الانتالبية النوعية بوحدة ( J / mole ).

في مرحلة الاتزان (الصينية النظرية)، يعدّ كل من تيار السائل والغاز الخارج من المرحلة في حالة توازن، ويتم تحديد تركيباتها بواسطة علاقة توازن سائل - غاز للمنظومة لكل مركب  $i$  :

$$y_i = K_i x_i \dots \dots (18) \quad i = 1 \rightarrow N$$

بالإضافة إلى المعادلات الناتجة عن موازنة المادة والطاقة خلال مرحلة ما، وعلاقات التوازن، هناك معادلة الجمع للتركيبات السائلة والبخرية:

$$\sum_{i=1}^N x_{i,n} = \sum_{i=1}^N y_{i,n} = 1.0 \dots \dots (19)$$

هذه المعادلات الأربعة هي ما يسمى معادلات MESH للمرحلة: موازنة المادة، التوازن، الجمع والموازنة الحرارية (الطاقة). يمكن كتابة معادلات MESH لكل مرحلة وكذلك بالنسبة للغلاية والمكثف.

يمثل حل هذه المجموعة من المعادلات أساساً للطرائق الدقيقة التي تم تطويرها لتحليل عمليات التقطير الجزئي (المرحلي).

### 7.3. الطرائق المختصرة في إجراء حسابات التقطير: [7]

قبل ظهور الكمبيوتر الرقمي، تم تطوير عدة طرائق "مختصرة" لتبسيط مهمة تصميم أعمدة تقطير المزائج متعددة المكونات، وعلى الرغم من أن برامج الكمبيوتر تكون متاحة عادةً للحل الدقيق لمعادلات MESH، إلا أن الطرائق المختصرة لا تزال مفيدة في أعمال التصميم الأولية، وكأداة مساعدة في تحديد المشكلات الخاصة بحل الكمبيوتر. يمكن أن يؤدي الاستخدام الذكي للطرائق المختصرة إلى تقليل وقت الكمبيوتر وتكاليفه.

#### 1.7.3. تحديد المركبات الرئيسية:

قبل البدء في تصميم الأعمدة، يجب على المصمم تحديد المكونين "الأساسيين" المطلوب الفصل بينهما. يكون المكون الخفيف الرئيسي (light key component) هو العنصر الذي يُفضل إبقاؤه خارج المنتج السفلي، و المكون الثقيل الرئيسي (heavy key component) الذي يجب إبقاؤه خارج المنتج العلوي.

مواصفات التيارات يتم ضبطها على أساس التركيز الأعلى للمركبات الرئيسية في التيارات العلوية والسفلية الناتجة. تُعرف المركبات الرئيسية باسم "المكونات المتجاورة" إذا كانت "متجاورة" درجة الفصل أو التطاير، و هناك أيضاً "المكونات الفاصلة" التي تقع بين مركبتين متجاورين بدرجة التطاير.

### 2.7.3. حساب نسبة الراجع الأدنى (معادلة أندروود) (Underwood):

يتم استخدام معادلة أندروود لحساب الراجع الأدنى المطلوب، يتم تطبيق المعادلة على نظام تقطير لمزيج متعدد المكونات وفق مايلي :

$$\sum \frac{a_i x_{i,d}}{a_i - \theta} = R_{min} + 1 \dots \dots (20)$$

حيث :

$a_i$  = التطاير النسبي للمركب  $i$  بالنسبة للمركب الثقيل الرئيسي.

$x_{i,d}$  = تركيز المركب  $i$  في القسم العلوي للراجع الأدنى.

$R_{min}$  = نسبة الراجع الأدنى.

$\theta$  هي جذر المعادلة :

$$\sum \frac{a_i x_{i,f}}{a_i - \theta} = 1 - q \dots \dots (21)$$

$x_{i,f}$  = تركيز المركب  $i$  في تيار التغذية.

$q$  = الكمية المولية للسائل المشبع المتشكل فوق صفيحة التغذية من أجل مول واحد من التغذية.

الاختيار المستحسن لإيجاد قيمة الراجع الأدنى الفعلي  $R$  هو  $R = 1.1 - 1.5 * R_{min}$

### 3.7.3. حساب عدد الصواني النظرية (معادلة فينسكي):

يتم استخدام معادلة فينسكي (Fenske) لحساب عدد الصواني الأدنى المطلوبة عند الراجع الكلي، يتم تطبيق المعادلة على نظام تقطير لمزيج متعدد المكونات وفق مايلي :

$$N_{min} = \frac{\log \left[ \frac{x_{LK}}{x_{HK}} \right]_d \left[ \frac{x_{HK}}{x_{LK}} \right]_b}{\log \alpha_{LK}} \dots \dots (22)$$

حيث :

$x_{LK}$  = تركيز المكون الخفيف الرئيسي.

$x_{HK}$  = تركيز المكون الثقيل الرئيسي.

$\alpha_{LK}$  = نسبة تطاير المكون الخفيف الرئيسي بالنسبة إلى المكون الثقيل الرئيسي.

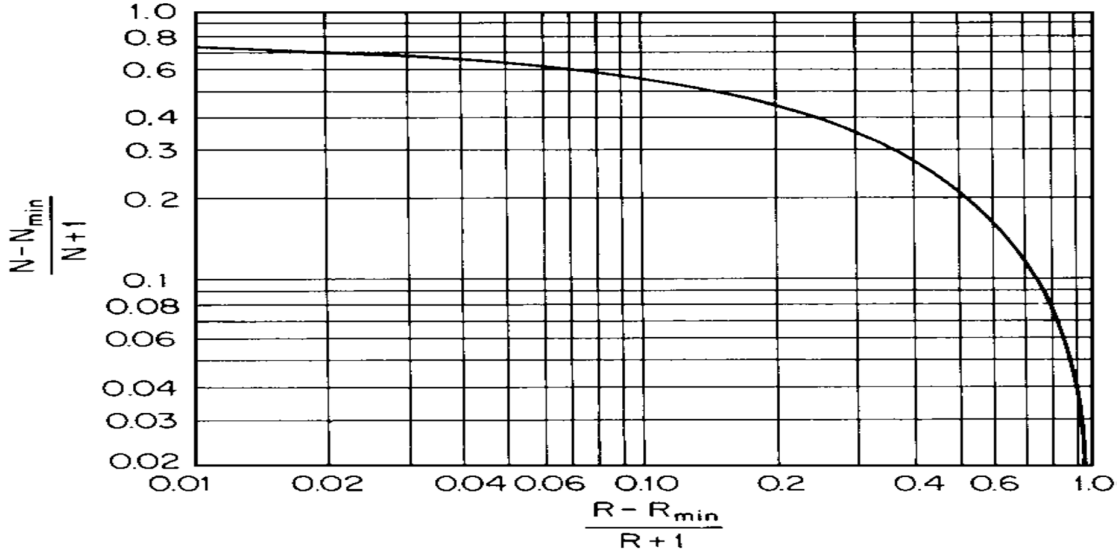
يعدّ التطاير النسبي كتعبير هندسي لقيم الحرارة في أعلى وأسفل البرج. إذا كان هناك تمايز كبير بين قيمة التطاير النسبي بين أعلى البرج وأسفله فإن استخدام معادلة فينسكي لن تكون معبرة عن عدد الصواني الأدنى، وفي هذه الحالة يحسب عدد الصواني لكل قسم على حدا (القسم السفلي - القسم العلوي) ويتم حساب نسبة التطاير المتوسطة لكل قسم على حدا ويستخدم معادلة (Winn) للحصول على عدد الصواني الأدنى عند الراجع الكلي.

#### 4.7.3. حساب العدد الفعلي للصواني التوازنية (علاقة Gilliland):

يمكن تحديد عدد المراحل التوازنية عند درجة الفصل المطلوبة ونسبة الراجع المحددة كتابع لنسبة الراجع الأدنى والعدد الأدنى للصواني وذلك باستخدام علاقات تجريبية مثل علاقة

: Gilliland

$$\frac{N-N_{min}}{N+1} = 1 - \exp\left(\frac{1+54.4\Psi}{11+117.2\Psi} * \frac{\Psi-1}{\Psi^{0.5}}\right) \dots \dots \dots (23)$$



$$\Psi = \frac{R-R_{min}}{R+1} \text{ : حيث}$$

وقد عبر عن العلاقة (23) بيانياً كما هو موضح بالشكل رقم ( 3-4 )

الشكل ( 3-4 ) علاقة Gilliland لتحديد عدد الصواني النظرية

### 5.7.3. اختيار موقع صينية التغذية:

يتعين موقع صفيحة التغذية عندما يحدث تطابق بين نسبة المكون الخفيف الرئيسي ( $x_{LK}$ ) إلى نسبة المكون الثقيل الرئيسي ( $x_{HK}$ ) في صينية التغذية، تعطي معادلة (Kirkbride) موقع صينية التغذية كما يلي :

$$\log \left[ \frac{N_r}{N_s} \right] = 0.206 \log \left[ \left( \frac{B}{D} \right) \left( \frac{x_{f,HK}}{x_{f,LK}} \right) \left( \frac{x_{b,LK}}{x_{d,HK}} \right)^2 \right] \dots \dots (24)$$

حيث :

$N_r$  = عدد الصواني فوق صينية التغذية بما في ذلك عمليات التكثيف الجزئية.

$N_s$  = عدد الصواني تحت صينية التغذية بما في ذلك الغلاية.

$B$  = التدفق المولي للمنتجات السفلية.

$D$  = التدفق المولي للمنتجات العلوية.

$x_{f,HK}$  = تركيز المكون الثقيل الرئيسي في تيار التغذية.

$x_{f,LK}$  = تركيز المكون الخفيف الرئيسي في تيار التغذية.

$x_{b,LK}$  = تركيز المكون الخفيف الرئيسي في المنتجات السفلية.

$x_{d,HK}$  = تركيز المكون الثقيل الرئيسي في المنتجات العلوية.

### 8.3. اختيار الضغط التشغيلي لبرج التقطير:

الاعتبار الرئيسي عند اختيار الضغط التشغيلي للبرج هو التأكد من أن نقطة الندى لنواتج التقطير ستكون أعلى من تلك التي يمكن الحصول عليها بسهولة من مياه التبريد المستخدمة في الوحدة، إنَّ أعلى درجة حرارة لمياه التبريد في أيام الصيف تكون عادة  $30^\circ\text{C}$  عند حساب متطلبات المراحل والراجع عادة ما يعدّ الضغط التشغيلي كثابت على طول البرج.

ويؤخذ الضغط التشغيلي كمتوسط حسابي للضغط في أعلى البرج والضغط في أسفله.

تؤثر عدة عوامل على مسألة اختيار ضغط التشغيل في أبراج التقطير، وتعدّ أهم العوامل المؤثرة على اختيار ضغط التشغيل هي:

### 1.8.3. إمكانية الفصل:

تزداد صعوبة الفصل عند زيادة الضغط حيث إنّ زيادة الضغط تؤدي إلى زيادة تدفق المركبات لذلك يتم الفصل عند ضغوط منخفضة.

### 2.8.3. كلفة الإنشاء والتشغيل:

تؤدي الزيادة في الضغط على إضافة في كلفة إنشاء البرج ، حيث إنّ كل زيادة في الضغط تستوجب زيادة في سماكة البرج وبالتالي زيادة في التكلفة.

### 3.8.3. ضغط الغليان للسائل الراجع:

هو الضغط الذي يجعل الراجع سائلاً في بداية الغليان عند درجة حرارة مساوية لدرجة حرارة أعلى البرج، وبالتالي يتحكم ضغط الغليان للسائل الراجع بضغط التشغيل للوصول

### 4.8.3. نوع المكثف:

يؤثر نوع المكثف المستخدم على ضغط التشغيل حيث يتطلب المكثف الجزئي ضغطاً أقل من المكثف الكلي.

### 5.8.3. الثبات الحراري للمزيج:

يجب تخفيض ضغط البرج التصميمي بحيث لا تتجاوز درجة الحرارة في البرج درجة حرارة التفكك الحراري للمزيج.





## الفصل الرابع

### عملية تكرير الغاز الطبيعي

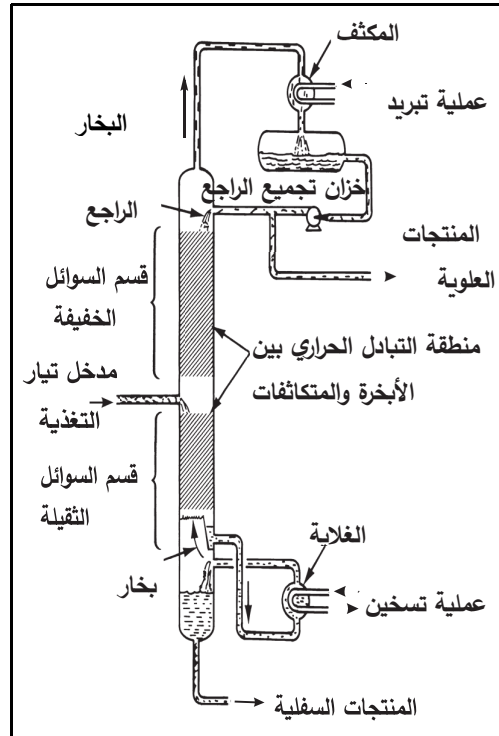


#### 1.4. عملية تكرير الغاز الطبيعي: [10]

هي عملية أساسية تستخدم لفصل المزائج الغازية إلى مكونات أبسط. تتوقف عملية الفصل على درجة التطاير النسبي ( $\alpha$ ). وترتبط صعوبة التكرير بشكل مباشر بدرجة التطاير النسبي للمكونات و بالمنتجات المراد الحصول عليها.

تحتاج جميع معامل معالجة الغاز التي تنتج سوائل الغاز الطبيعي إلى برج تكرير واحد على الأقل لإنتاج منتج سائل يتوافق مع المواصفات المطلوبة. يُظهر الشكل التوضيحي ( 4-1 ) برج تكرير لمزيج غازي مع مكونات العملية اللازمة.

يتم تسخين أسفل البرج عن طريق الغلاية، فيرتفع البخار إلى الأعلى حتى يلامس السائل الهابط. يدخل البخار الذي يترك الجزء العلوي من العمود إلى المكثف حيث تتم إزالة الحرارة بواسطة أحد طرائق التبريد. يتم إرجاع السائل إلى البرج على شكل راجع للحد من فقدان المكونات الثقيلة ولتبريد أعلى البرج.



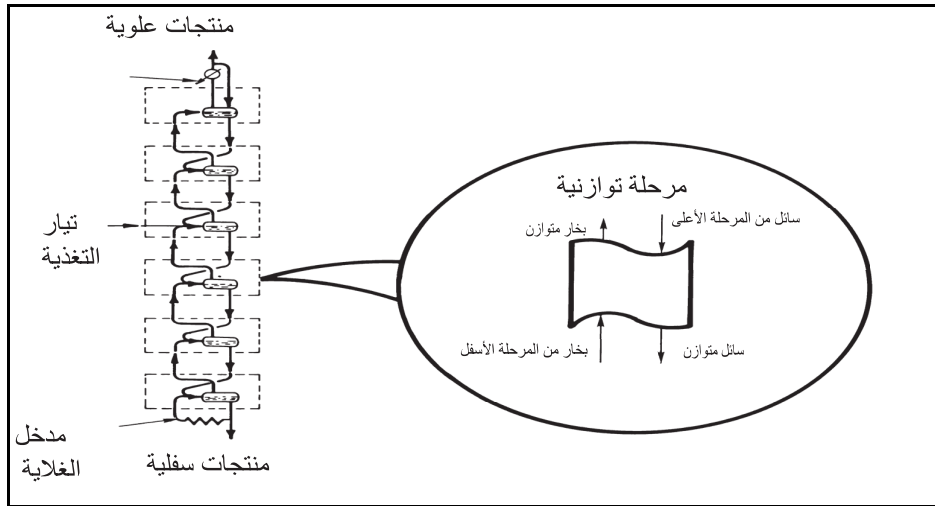
الشكل ( 4-1 ) شكل توضيحي لبرج تكرير الغاز الطبيعي.

تعمل المعدات الداخلية مثل الصواني و الحشوات على تعزيز التلامس بين تيارات السائلة والبخارية في العمود، حيث إنّ التلامس الفعال بين البخار والسائل مطلوب لعملية فصل فعالة.

في برج الفصل يتم تسخين الطور السائل أسفل البرج لينتج عنه بخار صاعد للمكونات الأخف .وبالآتي تتركز المكونات الأثقل في الطور السائل وتصبح في النهاية المنتج السفلي. أما في القسم العلوي يتم تبريد البخار مما يؤدي إلى تكثيف مكوناته ليتم الحصول عليها بشكل سائل كما يتم إثراء طور البخار بشكل مستمر في المنتجات الخفيفة التي ستشكل المنتج العلوي.

#### 2.4. مفهوم مرحلة التوازن (بخار - سائل):

يتم إجراء جميع الحسابات باستخدام مفهوم التوازن، حيث يمكن اعتبار عمود الفصل سلسلة من مراحل التوازن (كل صينية هي عبارة عن مرحلة توازن على حدا) كما يبين الشكل ( 4-2 ).



الشكل ( 4-2 ) المراحل التوازنية على طول برج التكرير

يدخل البخار إلى المرحلة التوازنية بدرجة حرارة عالية من الأسفل، أما التيار السائل فيدخل المرحلة التوازنية من الأعلى بدرجة حرارة منخفضة. يحدث انتقال الحرارة والكتلة في هذه المرحلة بحيث تكون تيارات الخارجة عبارة عن سائل متوازن عند نقطة الفقاعة وبخار متوازن عند نقطة الندى [10].

### 3.4. مواصفات المنتجات:

يمثل موازنة تيارات ( تغذية - منتجات ) حول العمود هي الخطوة الأولى في عمليات حساب تكرير الغاز. ومن أجل تنفيذ هذا التوازن، يجب أن يتم تحديد كافة التراكيب لتيار الناتج. هناك ثلاث طرائق لتحديد المنتج المرغوب فيه من برج الفصل:

- تحديد النسبة المئوية للمكونات في التيار العلوي أو السفلي.
- تحديد تركيب مكون واحد في أي منتج.
- تحديد خاصية فيزيائية محددة لأي منتج، مثل ضغط البخار.

### 4.4. البارامترات الرئيسية:

هناك اعتباران مهمان يؤثران على حجم وتكلفة عمود الفصل هما درجة الفصل و درجة التطاير النسبي للمكونات. تؤثر درجة الفصل أو نقاء المنتج بشكل مباشر على حجم العمود والأدوات المساعدة المطلوبة (غلاية - مكثف)، كلما كانت درجة نقاء المنتجات المطلوبة أعلى فنحن بحاجة إلى المزيد من الصواني، والمزيد من السائل الراجع، وقطر أكبر، و / أو كمية منتج منخفضة.

أحد المقاييس الكمية لعملية الفصل هو عامل الفصل  $S_F$ ، كما هو محدد بالعلاقة :

$$S_F = \left( \frac{X_D}{X_B} \right)_{LK} * \left( \frac{X_B}{X_D} \right)_{HK} \dots \dots (25)$$

عادة، بالنسبة لمعظم حالات الفصل، يتراوح هذا العامل بين حوالي 500 إلى 2000. ومع ذلك، بالنسبة للفواصل الحادة، يمكن أن يكون في نطاق 10000. عادة ما يتم التعبير عن تطاير المكونات كتطاير نسبي  $\alpha$ . يتم حساب هذه الكمية كنسبة من قيم التوازن  $K$  للمكونين الرئيسيين عند درجة حرارة وضغط معينين وبالاتي:

$$\alpha = K_{LK}/K_{HK} \dots \dots (26)$$

كلما كانت درجة التطاير النسبي أكبر كلما كانت سهولة الفصل أكثر.

#### 5.4. الاعتبارات التصميمية لعملية تكرير الغاز الطبيعي [10]

##### 1.5.4. الضغط التشغيلي:

قبل إجراء أي حسابات تصميمية لعملية تكرير الغاز الطبيعي، يجب تحديد ضغط تشغيل البرج. أحد الاعتبارات الرئيسية في ضغط تشغيل برج الفصل هي وسيلة التبريد المتاحة لتكثيف الراجع أعلى البرج. حيث إنه سيكون المنتج العلوي مفصول في شروط نقطة الفقاعة إذا كان المنتج المطلوب بخار أو في شروط نقطة الندى إذا كان المنتج المطلوب سائل. يتم تصحيح ضغط نقطة الفقاعة بواسطة درجة فصل المكون المطلوب ودرجة حرارة التبريد في المكثف.

وسائط التبريد المستخدمة عادة هي الهواء والماء وغازات التبريد والتبريد الميكانيكي. عملية التبريد بواسطة الهواء هي طريقة التبريد الأقل تكلفة.

أما التبريد بواسطة غازات التبريد فيخفض درجة الحرارة إلى نهج  $7^{\circ}\text{C}$  - وتعدّ هذه الطريقة هي أعلى طريقة تبريد من وجهة نظر التكلفة والتشغيل.

أما مياه التبريد فتخفض درجات حرارة العملية من  $41^{\circ}\text{C}$  إلى  $35^{\circ}\text{C}$ . عند الحاجة إلى درجة حرارة أقل من  $35^{\circ}\text{C}$  في هذه الحالة يجب استخدام التبريد الميكانيكي لتحقيق درجة التكثيف المطلوبة.

بشكل عام، من المرغوب فيه العمل عند ضغط منخفض قدر الإمكان لزيادة التطاير النسبي بين المكونات الرئيسية للفصل. ومع ذلك، إذا كان تقليل الضغط يتطلب تغييراً في طريقة تبريد أكثر تكلفة فلا يكون هذا اختياراً مرغوباً فيه.

أمور أخرى يجب أن تأخذ بعين الاعتبار تعمل على تقليل الضغط التشغيلي المطلوب، فإذا كان الضغط التشغيلي مرتفعاً جداً سيتم تجاوز درجة الحرارة الحرجة للمنتج السفلي وعندها لن يتم تحقيق الفصل المطلوب إضافة إلى ذلك الضغط المطبق لا يمكن أن يتجاوز الضغط التشغيلي الحرج للمنتج العلوي.

يتم تحديد المكثف الكلي أو الجزئي من خلال تركيب المنتجات العلوية المطلوبة، حيث إنّ المكثفات الكلية تستخدم لتكثيف المنتجات السائلة أما المكثفات الجزئية فتستخدم

لتكثيف المنتجات الغازية، على الرغم من أنّ المتكاثفات السائلة يمكن إنتاجها على شكل أبخرة ومن ثم تبرد و/ أو تضغط لتعطي منتجات سائلة. وقد تكون عملية الإسالة هذه من ناحية اقتصادية مرغوبة أكثر. في معظم الحالات، تكون منظومة تكرير الغاز الطبيعي المزودة بمكثفات جزئية أرخص ثمناً مقارنة بتلك التي تحتوي على معدات لإسالة الغاز.

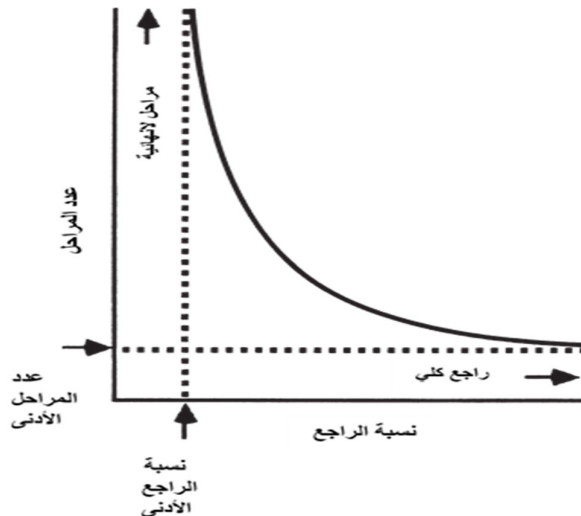
#### 2.5.4. نسبة الراجع و عدد المراحل النظرية:

يشكل تصميم برج الفصل الكلفة الأساسية إذا ما قورنت بالكلفة المصروفة على الطاقة. البارامترات الأساسية في تصميم البرج هي نسبة الراجع وعدد المراحل التوازنية (الصواني)

نسبة الراجع هي نسبة من المعدل المولي للسائل الراجع مقسوم على المعدل المولي للمنتج العلوي الصافي.

إنّ مهمة الغلاية هي المحافظة على نسبة الراجع وكذلك على الحمل الحراري والمادي داخل البرج بشكل متوازن لعملية الفصل المطلوبة.

إنّ برج الفصل المطلوب لا يمكن أن يعطي عملية فصل صحيحة إلا في حال الموازنة بين عدد المراحل الدنيا ونسبة الراجع الأدنى كما هو موضح بالشكل ( 3-4 ) الذي يبين العلاقة بين عدد المراحل الدنيا و نسبة الراجع الأدنى لعملية فصل معطاة، و يمكن



حساب عدد المراحل التوازنية ونسبة الراجع الأدنى كما هو مبين في الفصل الثالث (التقطير).

الشكل ( 3-4 ) العلاقة بين عدد المراحل الدنيا ونسبة الراجع الأدنى

#### 6.4. أبراج تكرير الغاز (أنواعها - خصائصها) : [10]

##### 1.6.4 الأبراج ذات الصواني:

يتم استخدام ثلاثة أنواع رئيسية من الصواني، ويتم تصنيفها وفقًا للطريقة المستخدمة للاتصال بين البخار والسائل.

**A. الصواني ذات الأكواب (Bubble-cap plates) :** يمر فيها البخار عبر أنابيب قصيرة، تسمى (riser)، مغطاة بغطاء ذو حافة مسننة، أو فتحات كما هو موضح بالشكل ( 4-4 ).

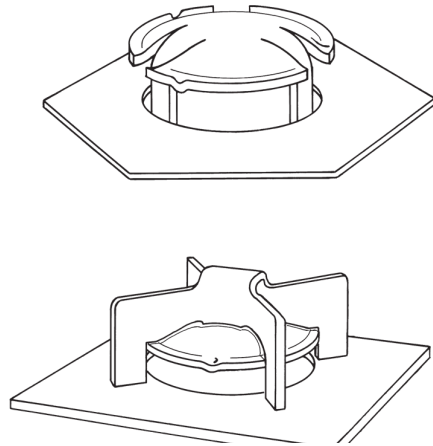
الصينية ذات الأكواب هي الصينية التقليدية الأقدم، وقد تمّ تطوير العديد من التصميمات المختلفة منها.

الميزة الأكثر أهمية في الصينية ذات الأكواب هي أنّ استخدام (riser) يضمن الحفاظ على مستوى السائل على الصينية بجميع معدلات تدفق البخار.

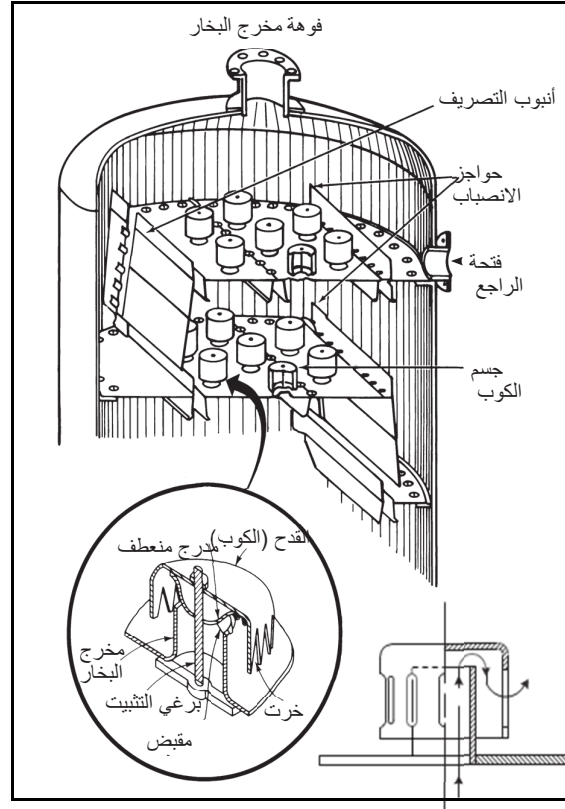
**B. الصواني الصمامية (Valve plates) :** وهي عبارة عن صواني ذات ثقب كبير القطر مغطاة بصمامات متحركة، التي ترتفع كلما زاد تدفق البخار. نظرًا لاختلاف مساحة تدفق البخار مع معدل التدفق، يمكن أن تعمل الصواني الصمامية بكفاءة أكبر من الصواني المثقبة في حال انخفاض معدلات التدفق حيث تغلق الصمامات بمعدلات بخار منخفضة.

**C. الصواني المثقبة (الغربالية) Sieve plate (perforated plate) :** هذا هو أبسط نوع من أنواع الصواني. يمر البخار فيه من خلال الثقوب في الصينية ؛ ويتم الاحتفاظ بالسائل على الصينية بواسطة تدفق البخار. وعند انخفاض معدلات التدفق سوف يسيل السائل عبر الثقوب، مما يقلل من كفاءة الصينية.

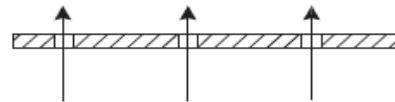
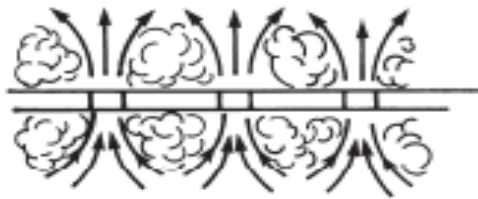
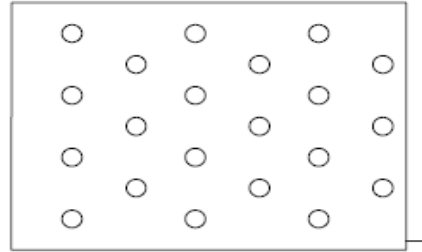
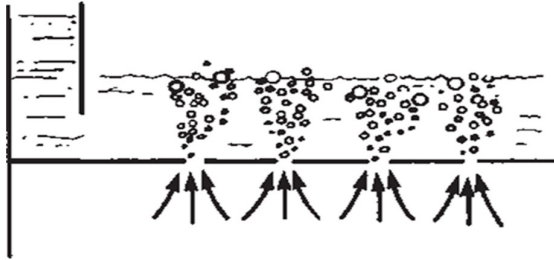




الشكل ( 4-5 ) الصمامات التي  
يتم تركيبها على الصواني  
الصمامية



الشكل ( 4-4 ) الصواني ذات الأكواب



الشكل ( 4-6 ) الصواني المثقبة

#### 1.1.6.4 رسم مجال العمل المقبول: [7]

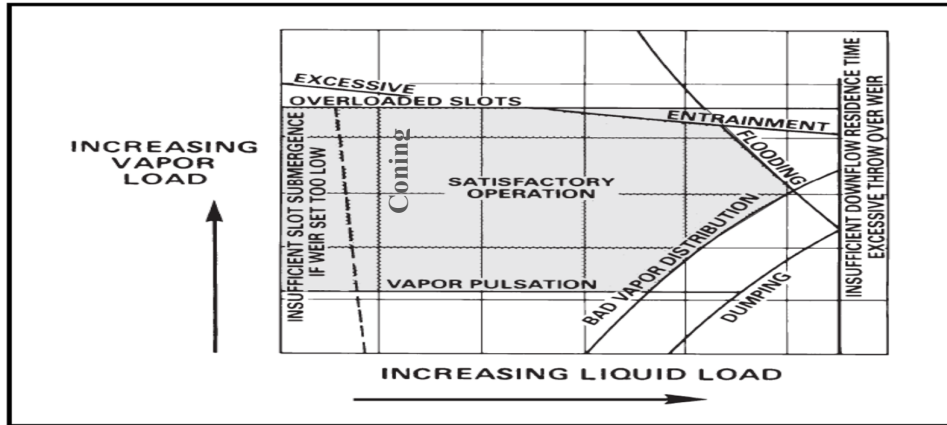
عند رسم مجال العمل الذي يتم عليه تشغيل الصينية لابد من مراعاة الأمور الآتية كما هو موضح بالشكل ( 4-7 ) :

A. ظاهرة (Coning) : تحدث هذه الظاهرة عند مستوى منخفض من السائل على الصينية فيقوم البخار بدفع السائل من خلال فتحات الصينية مما يقلل من عملية التقاء السائل بالبخار للتغلب على هذه الظاهرة يجب وضع حد أدنى لارتفاع السائل على الصينية

B. ظاهرة (pulsation) : وهي أنّ البخار يتقطع عند خروجه من الصينية مما يجعل كمية البخار الخارج من الصينية غير متناسب مع كمية السائل عليها.  
C. ظاهرة (Dumping) : وهي تعني عدم توزع السائل بشكل متساوي على الصينية ويمكن التخلص منها بوضع حاجز عند المدخل و توسيع مساحة العمل المطلوب على الصينية.

D. ظاهرة (Flooding) : يحدث الطوفان إما بسبب الحمل الزائد للسائل من الصينية الأسفل أو من السائل النازل من أنبوب التصريف.

E. ظاهرة (entrainment) : تحدث هذه الظاهرة عند تدفق كبير للبخار على الصينية مما يؤدي لسحب البخار للسائل للصينية الأعلى مما يجعل كمية السائل على الصينية الأعلى أكبر من اللازم فيؤدي لحدوث فيضان عندها. يمكن الحد من هذه الظاهرة من خلال تضيق فتحات الصينية



الشكل ( 4-7 ) مجال العمل المقبول

#### 2.1.6.4. اختيار نوع الصينية التشغيلية:

تتمثل العوامل الرئيسية التي يجب مراعاتها عند مقارنة أداء الصواني في: التكلفة والسعة ونطاق التشغيل والكفاءة وانخفاض الضغط.

➤ **التكلفة:** تعد الصواني ذات الأكواب أعلى بكثير من الصواني المثقبة و الصمامية. تعتمد التكلفة بشكل أساسي على مواد البناء المستخدمة.

➤ **السعة:** هناك اختلاف بسيط في تصنيف سعة الأنواع الثلاثة ويكمن هذا الاختلاف في قطر البرج المطلوب لمعدل تدفق معين، والترتيب هو غربالية، صمامية، ذات الأكواب.

➤ **نطاق التشغيل:** هذا هو العامل الأكثر أهمية. ويعني نطاق التشغيل بمعدلات البخار والسائل التي تعمل عليها الصينية بشكل مرضٍ (نطاق التشغيل المستقر). حيث إنه ستكون هناك حاجة دائمة إلى المرونة في التشغيل للسماح بإجراء تغييرات في معدل الإنتاج ولتغطية شروط بدء وإيقاف التشغيل. وغالبًا ما يشار إلى نسبة أعلى تدفق إلى نسبة أدنى تدفق على أنها "معدل الدوران".

تتمتع الصواني ذات الاكواب بكفاءة عالية جدًا عند معدلات بخار منخفضة. و تعتمد الصواني الغربالية على تدفق البخار عبر الفتحات لتثبيت السائل على الصينية، ولا يمكن أن تعمل بمعدلات بخار منخفضة للغاية. ولكن، مع التصميم الجيد، يمكن أن تعطي نطاق تشغيل مرضي من 50 إلى 75 في المائة من سعة التصميم.

تم تصميم الصواني الصمامية لتوفير مرونة أكبر من الصواني الغربالية بتكلفة أقل من الصواني ذات الأكواب.

➤ **الكفاءة :** تلعب الحدود التصميمية دوراً كبيراً في تحديد كفاءة الصواني، فالتصميم الجيد هو الذي يعطي الكفاءة الأعلى وليس نوع الصينية، ولكن بشكل عام عند المقارنة بين الأنواع الثلاثة عند نفس الشروط فإن الترتيب سيكون كالآتي : ذات الأكواب، صمامية، غربالية.

➤ **انخفاض الضغط :** يعدّ انخفاض الضغط على الصواني من اعتبارات التصميمية المهمة.

يعتمد انخفاض ضغط الصينية على التصميم التفصيلي لها، ولكن بشكل عام، تعطي الصواني المثقبة أدنى انخفاض في الضغط، تليها الصمامية وذات الأكواب التي تعطي أعلى أداء.

#### 2.6.4. الأبراج ذات الحشوة:

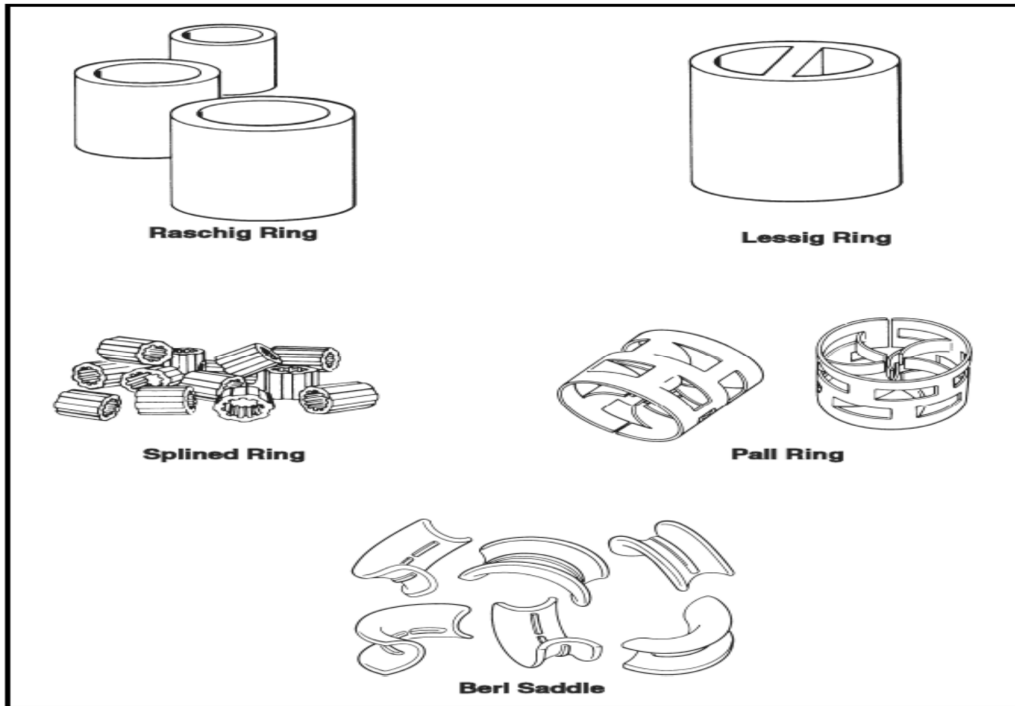
غالبية أبراج تكرير الغاز الطبيعي في محطات معالجة الغاز هي أبراج ذات صواني. ومع ذلك، فإن أحد الخيارات للأبراج التي يتم استخدامها هو استخدام الأعمدة ذات الحشوة، التي تحقق الاتصال بين الحالتين البخارية والسائلة في جميع أنحاء العمود وليس على مستويات محددة كما هو عليه في الأبراج ذات الصواني يوجد ثلاثة أنواع من الحشوات :

#### 1.2.6.4 التعبئة العشوائية:

حيث يتم تفريغ قطع الحشوات المنفصلة بطريقة عشوائية في داخل العمود. هذه الحشوات هي عبارة عن مجموعة متنوعة من التصميمات. كل تصميم له مساحة سطح خاصة، وانخفاض الضغط وخصائص كفاءة معينة. يوضح الشكل ( 4-8 ) أمثلة لأنواع التعبئة العشوائية.

مرت التعبئة العشوائية بمراحل تطوير مختلفة مروراً من حشوات الجيل الأول التي كانت تحتوي على شكلين أساسيين، Rashig Ring و Berl Saddle. أما حشوات الجيل الثاني تشمل Pall Ring و Inatalox Saddle التي لا تزال تستخدم على نطاق واسع حتى اليوم.

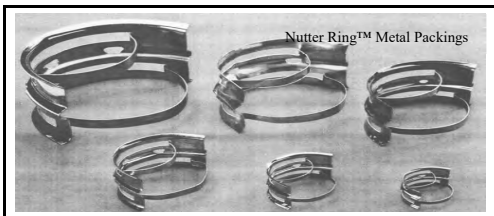
حشوات الجيل الثالث تأتي في العديد من الأشكال الهندسية التي تطورت معظمها من Pall Ring و Inatalox Saddle وهي Flexipak®، Cascade Mini Fleximax® packings and Nutter Ring™ Metal Packings، Rings®



الشكل ( 4-8 ) أمثلة لأنواع التعبئة العشوائية

#### 2.2.6.4. التعبئة الهيكلية:

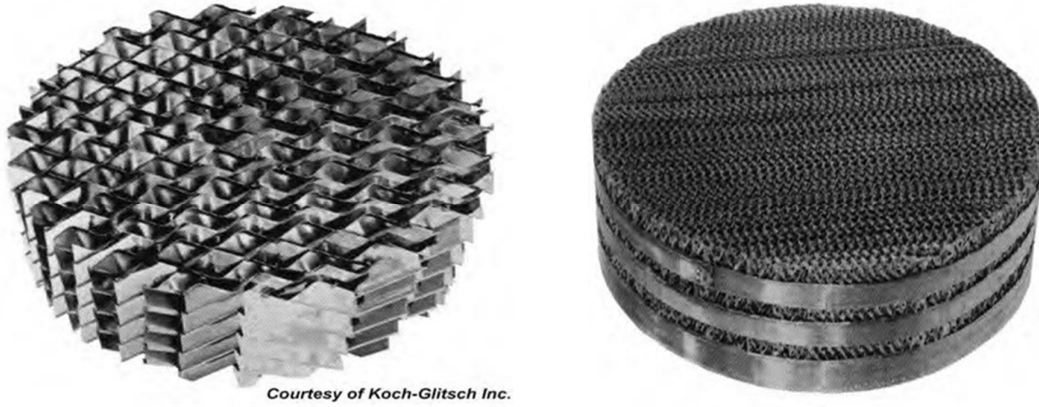
حيث يتحقق تكوين هندسي معين. يمكن أن تكون هذه الأنواع من التعبئة عبارة عن شبكة مثقبة محبوكة أو أسرة مقطعية مصنوعة من صفائح مموجة الشكل ( 4-9 ). هناك عدد من الحشوات المتاحة تجاريا التي تختلف في زاوية التمرير و الأخاديد السطحية واستخدام الثقوب.



الشكل ( 4-9 ) التعبئة الهيكلية

#### 3.2.6.4. الشبكات:

التي يتم ترتيبها بشكل منتظم التعبئة التي تستخدم بنية شعرية مفتوحة. وجدت هذه الأنواع من الحشوات تطبيقاً في التشغيل الفراغي وتطبيقات الضغط المنخفض. يُلاحظ استخدام قليل من هذه الأنواع من الحشوات في خدمات الضغط العالي.



الشكل ( 4-10 ) الحشوات ذات التعبئة الشبكية

#### 3.6.4. الاختيار بين أبراج الصواني و أبراج الحشوة: [9]

الاختيار بين الأبراج ذات الصواني أو ذات الحشوة لتطبيق معين لا يمكن إجراؤه إلا عن طريق حساب تكلفة كل تصميم. ومع ذلك، لن يكون هذا الأمر مفيداً أو ضرورياً دائماً، ويمكن عادةً الاختيار على أساس الخبرة من خلال النظر في المزايا والعيوب الرئيسية لكل نوع كما هو موضح أدناه:

1. يمكن تصميم الأبراج ذات الصواني للتعامل مع نطاق أوسع من معدلات تدفق الغاز والسوائل مقارنة بالأبراج ذات الحشوة.
2. الأبراج ذات الحشوة ليست مناسبة لمعدلات سائلة منخفضة للغاية.
3. يمكن التنبؤ بفعالية الأبراج ذات الصواني بدرجة أكبر من اليقين من الأبراج ذات الحشوة المكافئة للتعبئة.
4. يمكن تصميم الأبراج ذات الصواني بضمن أكثر من الأبراج ذات الحشوة. حيث هناك دائماً بعض الشكوك حول إمكانية الحفاظ على توزيع جيد للسوائل عبر الحشوات في جميع ظروف التشغيل، خاصة في الأبراج الكبيرة.

5. من الأسهل توفير التبريد في الأبراج ذات الصواني.
6. من السهل سحب تيارات جانبية للمنتجات من الأبراج ذات الصواني.
7. إذا كان السائل المراد فصله يحتوي على شوائب أو مواد صلبة سيكون من الأسهل تطبيق عمليات تنظيف على الأبراج ذات الصواني أما بالنسبة للأبراج ذات الأقطار الصغيرة سيكون من الأوفر تبديل الحشوة في الأبراج ذات الحشوة عند الاتساخ
8. بالنسبة للسوائل المسببة للتآكل، عادة ما يكون البرج ذو الحشوة أرخص من البرج ذو الصواني المكافئ.
9. الأبراج ذات الحشوة أكثر ملاءمة للتعامل مع الرغوة.
10. انخفاض الضغط في كل مرحلة من مراحل التوازن يمكن أن يكون أقل للأبراج ذات الحشوة من الأبراج ذات الصواني.
11. بالنسبة للأعمدة ذات الأقطار الصغيرة التي أقل من 0.6 متر يجب دائماً اعتبار الأبراج ذات الحشوة حيث سيكون من الصعب تثبيت الصواني بهذه الأقطار الصغيرة وستكون مكلفة أكثر.

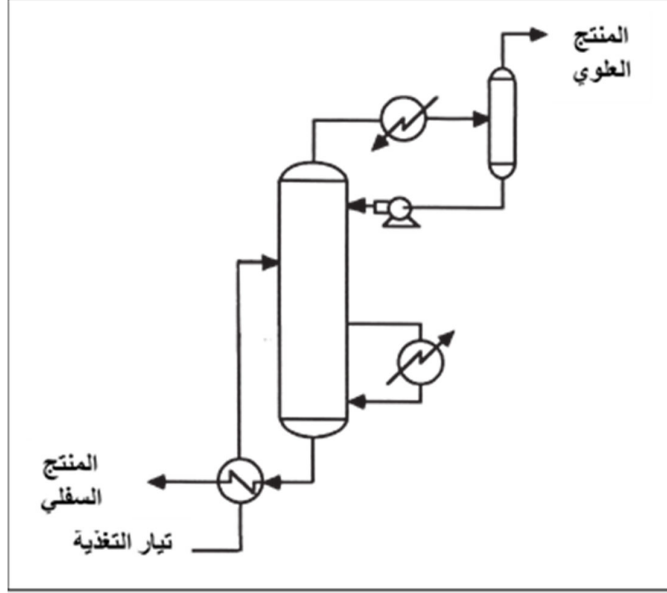
#### 7.4. اعتبارات تصميم الطاقة الفعالة: [10]

تتطلب أبراج تكرير الغاز الطبيعي إدخال طاقة على شكل حرارة إلى الغلاية. غالباً ما تكون هذه الحرارة ناتجة عن احتراق الوقود، لذا يمثل هذا الأمر تكلفة تشغيلية كبيرة و التقليل من استخدام الوقود فيها هو الهدف الاساسي في التصميم.

لتدوير الرافع داخل أبراج الفصل يجب تجهيز البرج بمعدات تعمل على إزالة الحرارة بشكل مناسب وعملي. بالنسبة للأبراج المجهزة بعمليات التبريد بالهواء و / أو الماء تكون هذه الأبراج متشابهة بعملية إزالة الحرارة بشكل كبير أما بالنسبة للأبراج التي تستخدم التبريد بالفريون ستكون مستويات الحرارة مهمة بشكل كبير حيث سيزيد مستوى التبريد من التكلفة التشغيلية في درجات الحرارة المنخفضة. أما إذا كان من الممكن التحكم بدرجة حرارة المكثف سيتمكن حينها تحقيق وفر كبير.

#### 1.7.4. المبادلات الحرارية لكل من التغذية و المنتج:

واحدة من أبسط الطرائق لتقليل متطلبات الوقود للغلاية هو التسخين المسبق لتيار تغذية برج. ويمكن تحقيق هذا الهدف من خلال تركيب مبادلات حرارية على خطي التغذية و الإنتاج كما هو مبين في الشكل ( 4-11 ) :



الشكل ( 4-11 ) المبادلات الحرارية لكل من التغذية و المنتج

بشكل عام، سيقبل دخل الحرارة هذا من الحرارة المطلوبة من الغلاية. ومع ذلك، نظرًا لأن وحدة التغذية العلوية قد تبخرت جزئيًا، فسيتم زيادة وظيفة المكثف العلوي الحرارية الشكل(4-11).

بشكل عام يجب أن تكون زيادة قدرة التكثيف مرتبطة مع انقاص الحرارة الداخلة عن طريق الغلاية.

#### 2.7.4. السخانات الجانبية:

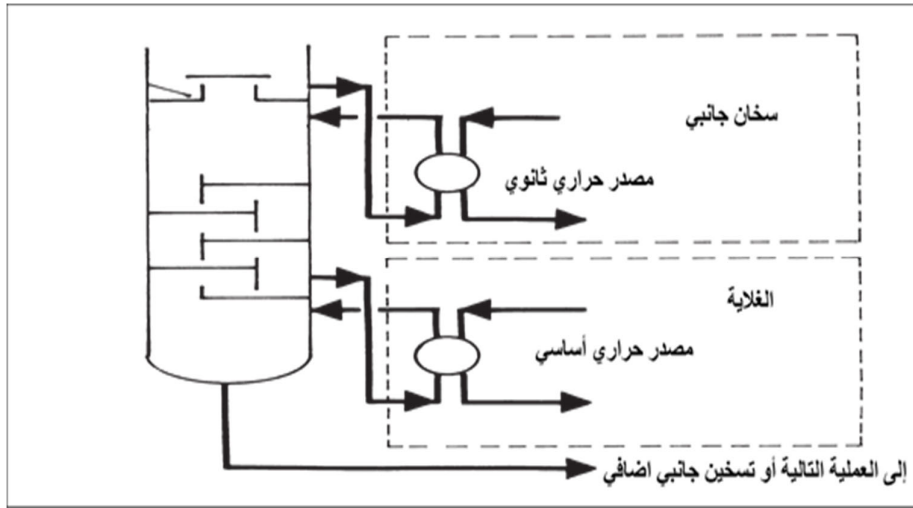
يمكن استخدام السخانات الجانبية الشكل (4-12) لإضافة الحرارة إلى برج يحتوي على عدة صواني أعلى من الغلاية (الأبراج الطويلة). ويتم تطبيق درجة حرارة في السخانات الجانبية أخفض بكثير من تلك المطبقة في الغلاية. يمكن أن يكون مصدر الحرارة لهذا السخانات الجانبية هو أي تيار يتطلب التبريد ويكون بمستوى حرارة مرتفع بدرجة كافية



ليكون مفيداً. في كثير من الأحيان، يتم استخدام المنتج السفلي لتسخين العمود بشكل جانبي.

إنَّ عقبة واحدة للتسخين الجانبي هي ارتفاع العمود الإضافي المطلوب للصينية التي يتم عليها سحب السائل وفصل البخار المتكون من حالتين القادم من التيار الراجع. سيضيف هذا حوالي 6 - 8 أقدام إلى ارتفاع العمود.

بالنسبة للكميات الصغيرة من الحرارة الجانبية التي تصل إلى 25 % من الحمل الحراري الذي تعطيه الغلاية، فإن السخان الجانبي له تأثير طفيف على تصميم البرج و كذلك على مهمة المكثف. مع زيادة هذه الحرارة، سترتفع قيمة التبريد المطلوبة من المكثف، مما يتطلب المزيد من الحرارة الكلية و / أو مزيد من الصواني المطلوبة. بشكل عام، يجب ألا تزيد الحرارة الجانبية المقدمة عن 50% من إجمالي متطلبات الحرارة. ومن المزايا الأخرى المحتملة للسخانات الجانبية هي تقليل التحميل الحراري للبرج أسفل صينية التسخين الجانبي. حيث إنَّه في العديد من الأبراج التقليدية تكون الصواني السفلية لديها أكبر قدر من التحميل.



الشكل ( 4-12 ) السخانات الجانبية

#### 3.7.4 المكثفات الجانبية:

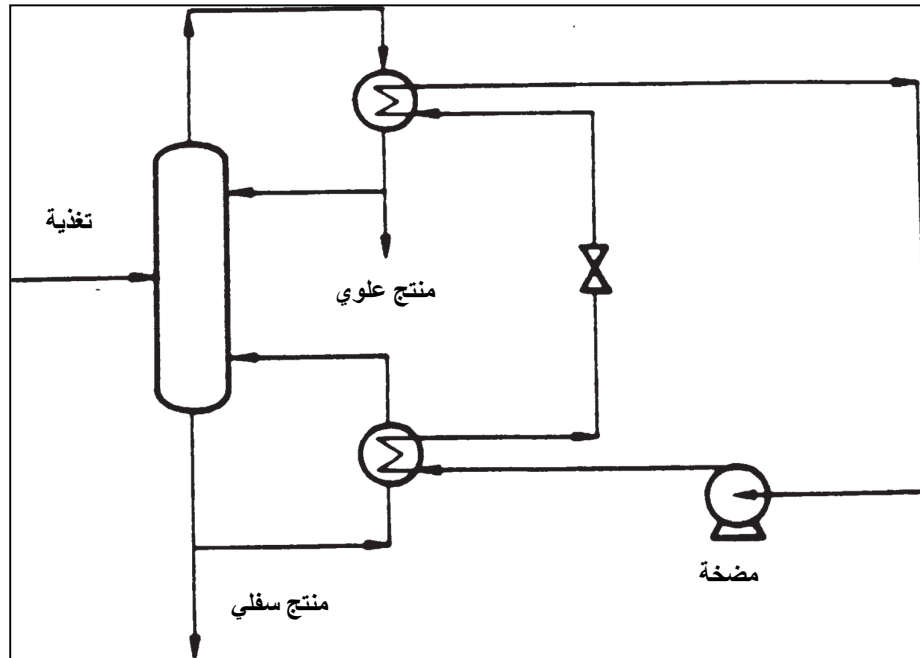
يمكن استخدام مبردات جانبية لتخليص البرج من الحرارة عند نقطة وسيطة تقع أعلى صينية التغذية. يمكن تحقيق إزالة الحرارة هذه باستخدام وسيط تبريد بدرجة حرارة منخفضة.

عند الحديث عن إزالة كميات الكبيرة من الحرارة، يمكن أن يكون المكثف الجانبي الأكثر شيوعاً وجدياً ومع ذلك هو أكثر تعقيداً قليلاً من مرحلة تبريد واحدة.

#### 4.7.4. ضخ الطاقة الحرارية:

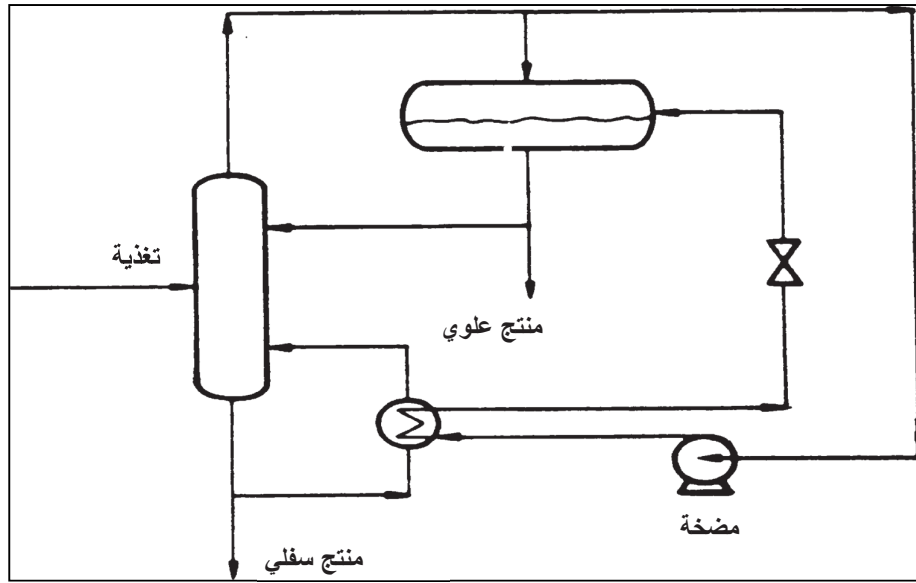
هي عملية تقنية للحفاظ على الطاقة في أنظمة تكرير الغاز باستخدام مضخة حرارية. عادة ما تستخدم المضخات الحرارية تيار سائل خارجي كما هو موضح في الشكل ( 4-13 ). يستخدم الضغط لرفع درجة حرارة مائع العمل أعلى من درجة حرارة الغلاية.

بعد ذلك التيار الذي يغادر الغلاية يتم تبخيره ومن ثم يستخدم لتكثيف الراجع. والنتيجة النهائية هي أنّ الحرارة الممتصة في المكثف تستخدم لإعادة غلي العمود. تصبح تكلفة التشغيل الرئيسية عندها بالضاغط بدلاً من استخدام أدوات التسخين والتبريد العادية.



الشكل ( 4-13 ) عملية ضخ الحرارة.

طريقة أخرى باستخدام المضخة الحرارية الأساسية هو استخدام المنتج العلوي كتيار عمل للمضخة وهذا الطريقة تلغي عمل المكثف العلوي كما في الشكل ( 4-14 ).



الشكل ( 4-14 ) ضخ الحرارة بدون وجود مكثف علوي.



## الفصل الخامس

### نمذجة وحدات التكرير

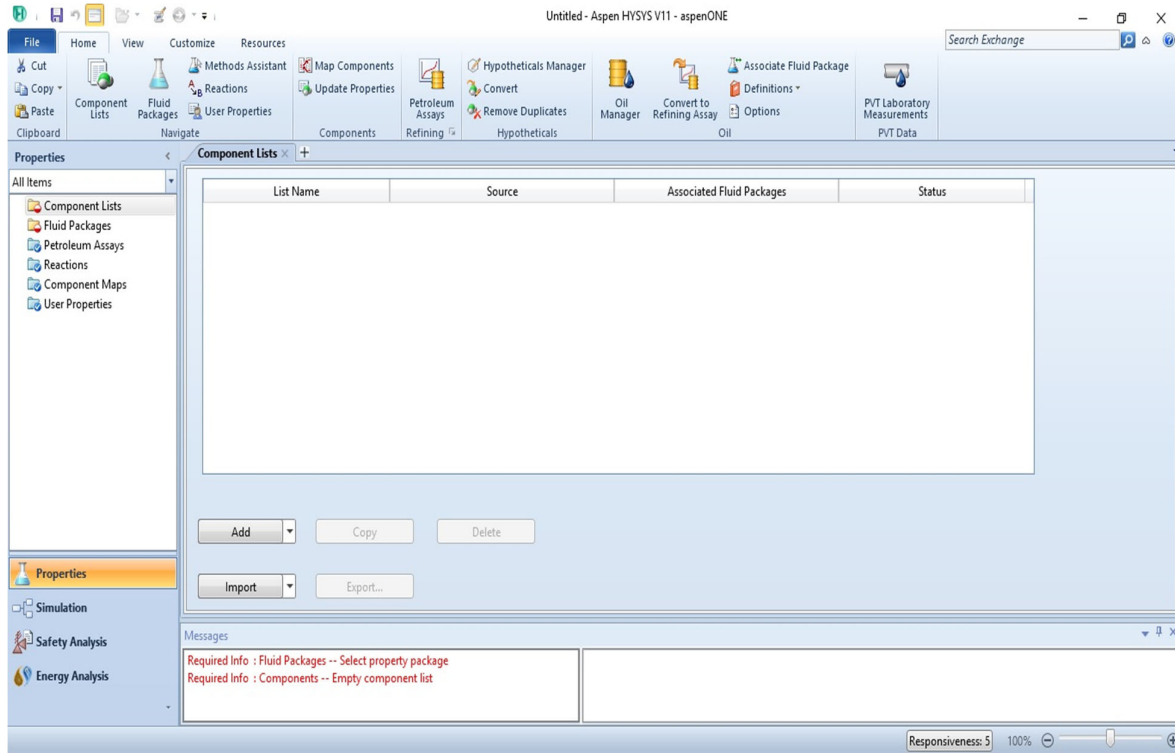


## 1.5. مقدمة

سيتم في هذا الفصل تقديم شرح مبسط عن البرنامج المستخدم في نمذجة ومحاكاة وتصميم وحدة تكرير الغاز الطبيعي (Fractionation Unit) والمعدات الملحقة به، كما سنعرض تركيب تيار التغذية والشروط التشغيلية للوحدة، والمعادلات والطرائق المستخدمة في إجراء الحسابات اللازمة.

## 2.5. برنامج محاكاة العمليات

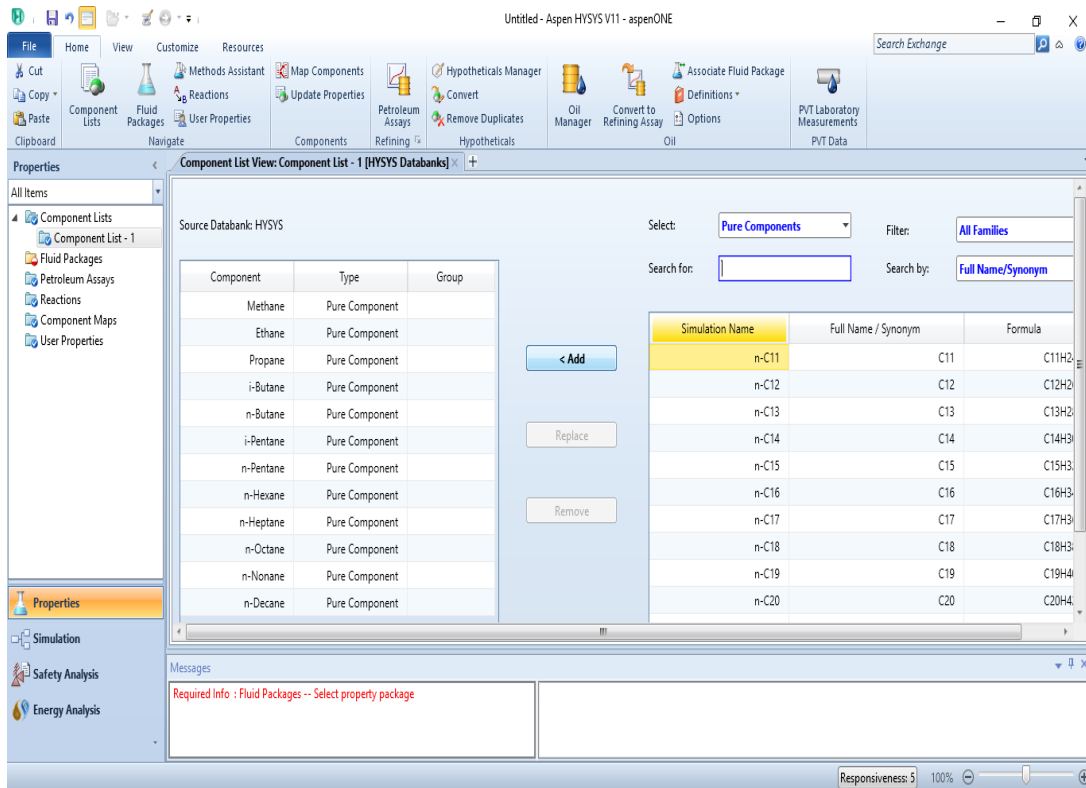
تم استخدام برنامج (Aspen Tech HYSYS v11.0) كأداة للمحاكاة والتصميم، كما تم اختيار نموذج (Peng–Robinson) كمعادلة مفضلة وموصى بها لمزيج المركبات الهيدروكربونية في الضغوط العالية وذلك لحساب العلاقات الترموديناميكية بين متغيرات العملية. يبين الشكل رقم ( 1-5 ) واجهة برنامج Hysys.



الشكل رقم ( 1-5 ) واجهة برنامج Hysys.

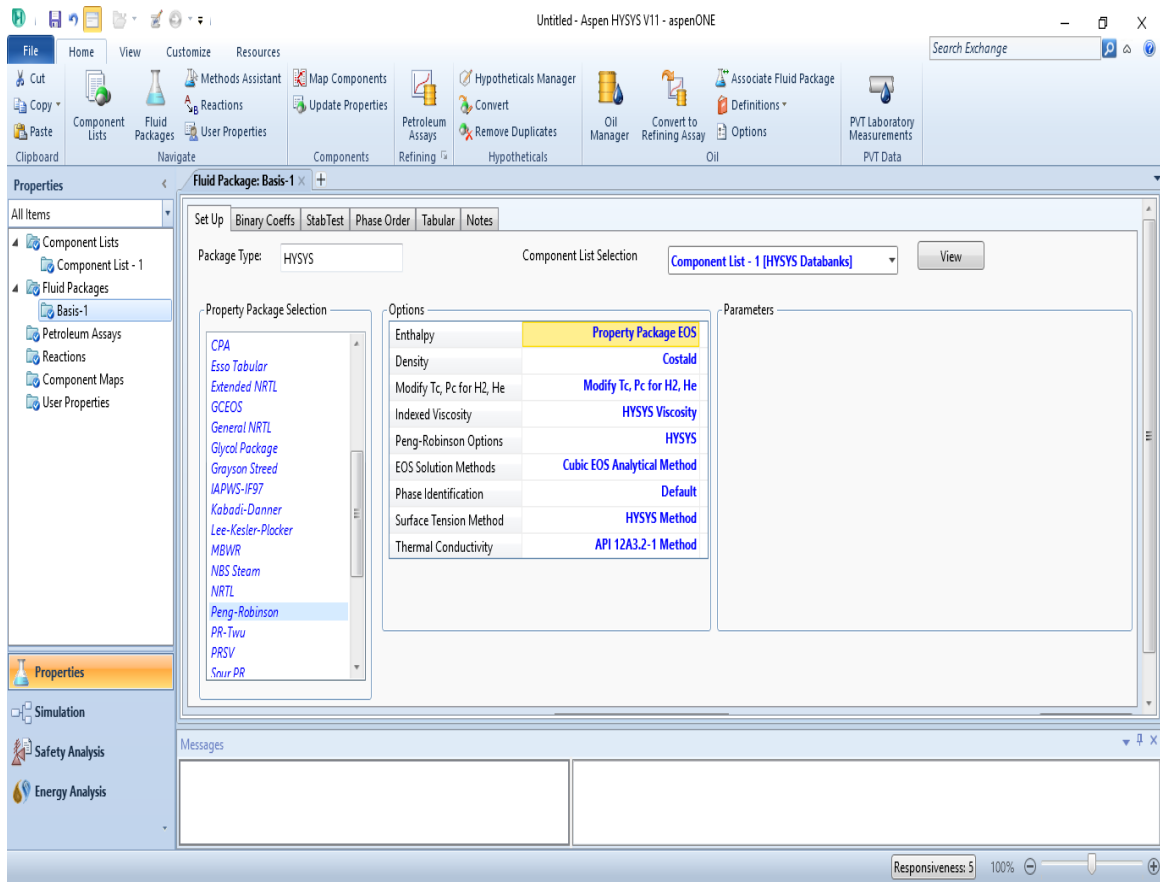
عند فتح أيقونة البرنامج تظهر في الواجهة خيارات (إما حالة جديدة New case أو فتح حالة محفوظة مسبقاً)، وعند اختيار حالة جديدة يظهر الشكل (5-1) كما هو موضح أعلاه.

في القائمة اليسارية (Properties) ندخل مكونات تيارات التغذية في (Component Lists) ثم نختار النموذج الترموديناميكي للتصميم و المحاكاة من الأمر (Fluid Packages) كما هو موضح في الأشكال (5-2) و الشكل (5-3).



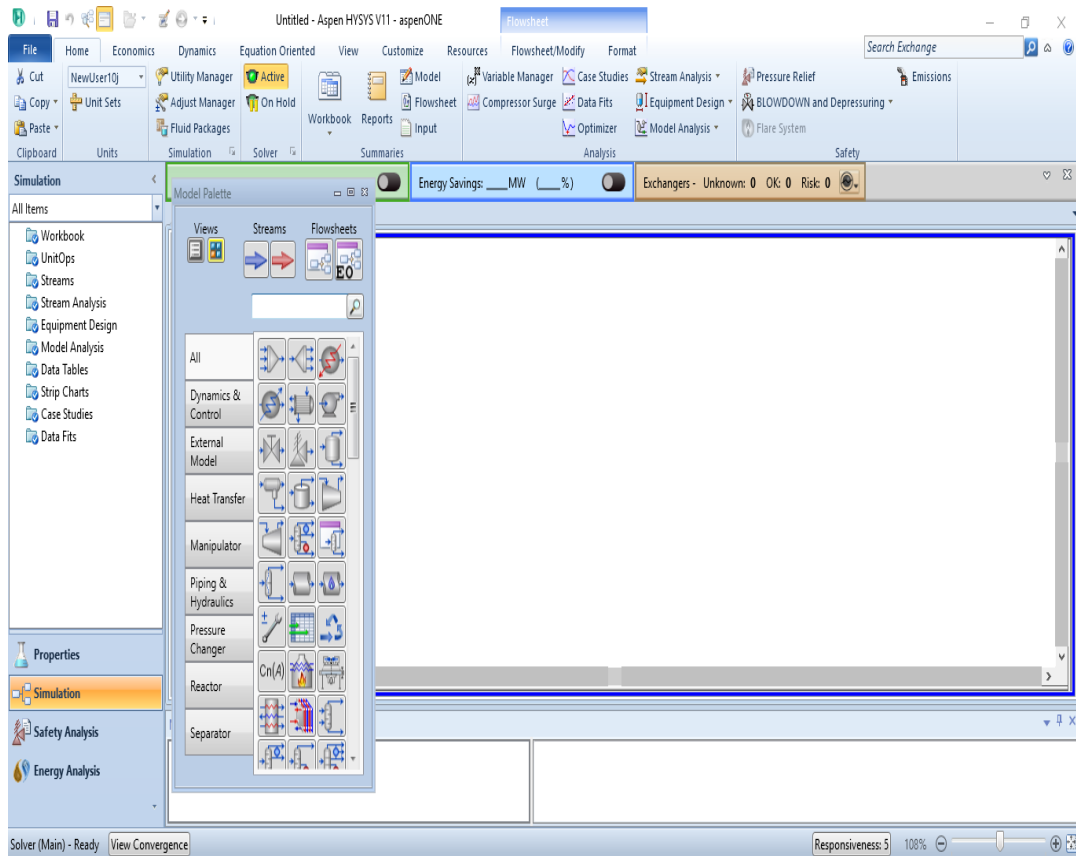
الشكل (5-2) إضافة تيارات التغذية للبرنامج.





الشكل ( 5-3 ) اختيار النموذج الترموديناميكي للعملية المدروسة.

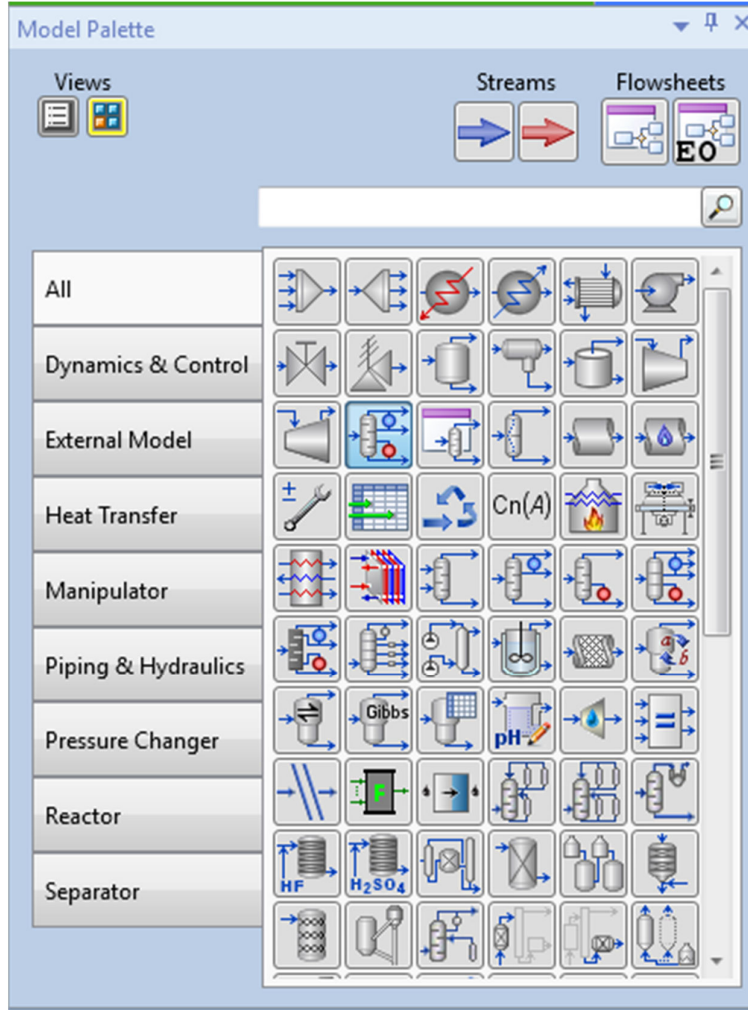
بعد الانتهاء من الخطوات السابقة ننتقل إلى الأمر (Simulation) من قائمة الأوامر اليسارية لإظهار الساحة التي سيتم عليها التصميم كما هو موضح بالشكل ( 5-4 ).






الشكل رقم (4-5) مساحة التصميم في برنامج Hysys

### 1.2.5. لوحة أيقونات المعدات في برنامج Hysys :

يمثل المستطيل الظاهر على يسار مساحة التصميم - كما هو موضح بالشكل أدناه (5-5) - لوحة المعدات التي يمكن استخدامها أثناء القيام بعمليات المحاكاة والتصميم حيث يحتوي على جميع أيقونات المعدات و الأدوات التي قد نحتاجها أثناء العمل. سنقوم فقط بشرح الرموز المستخدمة في هذا البحث.



الشكل ( 5-5 ) لوحة ايقونات المعدات في برنامج Hysys

- يمثل الرمز  تيار التغذية المادية (أو المنتج) (تدفق التغذية المادية).
- يمثل الرمز  تيار الطاقة الحرارية (الحرارة الداخلة أو الخارجة للمبادل الحراري).
- يمثل الرمز  برج تكرير يعتمد طرائق الحسابات الدقيقة في التقطير (تنفيذ الموازنات الحرارية والمادية على كل صينية ).

- يمثل الرمز  برج تكرير يعتمد على الطرائق المختصرة في حسابات التكرير (معادلات فينسك-اندروود-غلياند) حيث يعتمد على ضغط تشغيلي ودرجة حرارة واحدة على طول البرج.
- يدل الرمز  على صمام يسمح بالتحكم بتدفق الجريان.
- يدل الرمز  على المضخة الرافعة لضغط التيارات السائلة .
- يدل الرمز  على خلاط يقوم بمزج عدة تيارات بتيار أحادي.
- يدل الرمز  على فاصل فيزيائي (Tee) يفصل تيار احادي إلى عدة تيارات بنفس الشروط و التركيب من درجة حرارة وضغط.
- يدل الرمز  على مبادل حراري بسيط (تسخين).
- يدل الرمز  على مبادل حراري بسيط (تبريد) .
- يدل الرمز  على مبادل حراري انبوبي يسمح بتبادل الحرارة بين تيارين .

### 3.5. معادلة بينغ روبنسون (Peng–Robinson): [11]

إنّ نموذج بينغ روبنسون الرياضي هو نموذج مثالي لحسابات التوازن بخار – سائل في المنظومات الهيدروكربونية.

أثبت نموذج بينغ روبنسون كماله في الأنظمة غير المثالية فهو قادر على حساب الجمل أحادية الطور وثنائية الطور وكذلك متعددة الأطوار بدرجة عالية من الكفاءة و الموثوقية وبمجالات واسعة من شروط التشغيل.

يمكن استخدام النموذج في الشروط الآتية :

$$\text{درجة الحرارة} < -271^{\circ} \text{C} \text{ (} -456^{\circ} \text{F)}$$

$$\text{الضغط} > 100000 \text{ kpa أو } 15000 \text{ psia}$$

وفي هذه المعادلة تمت إضافة عامل المركزية الذي يصف السلوك الجزيئي والمعادلة هي:

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V(V+b)+b(V-b)} \dots \dots \dots (27)$$

$$Z^3 - (1 - B)Z^2 + (A - 2B - 3B^2)Z - (AB - B^2 - B^3) = 0 \dots \dots \dots (28)$$

حيث:

$$A = \frac{aP}{(RT)^2} \dots \dots (29)$$

$$B = \frac{bP}{RT} \dots \dots \dots (30)$$

$$b = \sum_{i=1}^N x_i \left( 0.077796 \frac{RT_{ci}}{P_{ci}} \right) \dots \dots \dots (31)$$

$$a = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j \left[ \left( 0.457235 \frac{(RT_{ci})^2}{P_{ci}} \right) \alpha_i \left( 0.457235 \frac{(RT_{cj})^2}{P_{cj}} \right) \alpha_j \right]^{0.5} (1 - k_{ij}) \dots (32)$$

$$\alpha_i^{0.5} = 1 + m_i (1 - T_{ri}^{0.5}) \dots \dots \dots (33)$$

$$m_i = 0.379642 + 1.48503\omega_i - 0.164423\omega_i^2 + 0.016666\omega_i^3 \dots \dots \dots (34)$$

$$T_r = \frac{T}{T_c} \dots \dots \dots (35)$$

حيث :

$\omega$  : عامل المركزية

$m, b, a$  ثوابت

$T_c$  درجة الحرارة الحرجة،  $T_r$  درجة الحرارة المخففة

#### 4.5. تركيب تيار التغذية: [12]

يبين الجدول رقم ( 5-1 ) تركيب تيار التغذية الداخل بالإضافة إلى تدفق كل مركب على حدا<sup>1</sup>

الجدول رقم ( 5-1 ) تراكيب تيار التغذية.

المكون	الكسر المولي	الكسر الكتلي
Methane	0.1065	0.0276
Ethane	0.0821	0.0399
Propane	0.1588	0.1132
i-Butane	0.0694	0.0653
n-Butane	0.1363	0.1281
i-Pentane	0.1547	0.1805
n-Pentane	0.0094	0.0110
n-Hexane	0.1528	0.2130
n-Heptane	0.0729	0.118
n-Octane	0.0312	0.0577
n-Nonane	0.0197	0.0409
n-Decane	0.0003	0.0006
Oxygen	0.0001	0.0001
Nitrogen	0.0001	0.0001
CO2	0.0057	0.0040
المجموع الكلي	1.0000	1.0000

<sup>1</sup> تم الحصول على التركيب من الشركة السورية للغاز – معمل غاز الجنوب (SMAG) / عام 2019

### 5.5. شروط العمل في معمل غاز الجنوب ومواصفات المنتجات المطلوبة: [12]

يبين الجدول رقم ( 5-2 ) شروط التشغيل وبعض الخواص الفيزيائية لتيار التغذية و

الجدول رقم ( 5-3 ) مواصفات المنتجات المطلوبة

الجدول رقم ( 5-2 ) شروط التشغيل وبعض الخواص الفيزيائية لتيار التغذية

نسبة السائل / نسبة البخار	0.1297 / 0.8703
درجة الحرارة (°C)	70
الضغط (bar)	23.25
الكثافة الكتلية ( $\text{kg/m}^3$ )	254.5
الكثافة المولية ( $\text{kgmole/m}^3$ )	4.116

الجدول رقم ( 3-5 ) مواصفات المنتجات المطلوبة

الوحدة	القيمة	البارامتر	
°C @ 75 bar(g)	0 كحد أقصى	نقطة الندى للماء	غاز التصدير
°C @ 75 bar(g)	0 كحد أقصى	نقطة الندى للمركبات الهيدروكربونية	
Btu/std cubic feet*	950 كحد أدنى 1160 كحد أقصى	إجمالي قيمة التسخين	
ppm vol	22 كحد أقصى	محتوى H <sub>2</sub> S	
ppm wt	30 كحد أقصى	محتوى الكبريت الكلي	
Wt %	30 كحد أقصى	محتوى C <sub>3</sub>	الغاز المنزلي المسال
Wt %	70 كحد أقصى	محتوى C <sub>4</sub>	
Wt %	2 كحد أقصى	محتوى C <sub>5</sub> +	
bar(g) @ 50 °C	8	ضغط الغاز	
bar(a)	0.8 كحد أقصى	ضغط بخار ريد	المتكاثفات الغازية
mole %	لا يقل عن 98	محتوى C <sub>3</sub>	البروبان
mole %	2 كحد أقصى	محتوى C <sub>4</sub>	

\* British Thermal Unit / Standard Cubic Feet



## 6.5. تصميم أبراج التكرير :

تتألف عملية تصميم أبراج التكرير من المراحل الآتية:

### 1.6.5. تحديد درجة الحرية :

تمّ شرحها في الفصل الثالث (التقطير) الفقرة 3.5

### 2.6.5. تحديد ضغط التشغيل :

تمّ شرحها في الفصل الثالث (التقطير) الفقرة 3.7

### 3.6.5. إجراء الموازنات المادية والحرارية:

تمّ شرحها في الفصل الثالث (التقطير) الفقرة 3.6

### 4.6.5. حساب الراجع الأدنى :

يتم من خلال نموذج الطرائق المختصرة في برنامج المحاكاة الذي يستخدم معادلة (Underwood)، التي تمّ شرحها في الفصل الثالث (التقطير).

### 5.6.5. حساب نسبة الراجع المثلى :

تحسب قيمة نسبة الراجع المثلى كعلاقة مع قيمة الراجع الأدنى، بحيث تحقق أقل قيمة لمجموع الكلفة الإنشائية وكلفة التشغيل، وتكون ضمن المجال (1.1-1.3) وتم اعتماد القيمة 1.2 في هذه الدراسة، أي أنّ :

$$R = 1.2 R_{\min}$$

### 6.6.5. حساب عدد الصواني الأدنى :

يحسب بواسطة الطرائق المختصرة باستخدام معادلة (Fenske) التي تمّ شرحها في الفصل الثالث (التقطير).

### 7.6.5. اختيار موقع صينية التغذية :

يحسب بواسطة الطرائق المختصرة باستخدام معادلة (Kirkbride)، التي تمّ شرحها في الفصل الثالث (التقطير).

### 8.6.5. حساب عدد الصواني النظرية :

يمكن تحديد عدد الصواني النظرية باستخدام طرائق الحسابات الدقيقة في برنامج المحاكاة (Hysys)، ويتم ذلك بفرض عدد الصواني ومقارنة نسبة الراجع المقابلة لها مع نسبة الراجع المثلى، فإذا كانت نسبة الراجع المقابلة أكبر من نسبة الراجع المثلى، فإنه يتم إضافة صينية جديدة، أما إذا كانت أصغر فإنه يتم إنقاص صينية ومقارنة نسبة الراجع الجديدة مع نسبة الراجع المثلى وهكذا دواليك حتى نحصل على العدد الصحيح للصواني الذي تكون عنده نسبة الراجع مساوية (تقريباً) لنسبة الراجع المثلى، ويتم البدء بعدد الصواني الذي تم الحصول عليه باستخدام الطرائق المختصرة ورقم صفحية التغذية المثلى التي تم الحصول عليها سابقاً.

### 9.6.5. كفاءة الصواني :

تمثل كفاءة الصينية النسبة بين تغير التركيب الوسطي للبخر (أو السائل) على الصينية وتغير التركيب عند بلوغ التركيز التوازني، وتحسب من المعادلة الآتية :

$$E = \frac{y_n - y_{n-1}}{y_n^o - y_{n-1}} \dots (36)$$

$y_{n-1}, y_n$ : تركيب البخار الداخل إلى الصينية  $n$  وتركيب البخار الخارج منها (على التوالي).

$y_n^o$ : تركيب البخار المتوازن الخارج من الصينية  $n$ .

وفي حالة فصل منتجات الغاز الطبيعي (Fractionation Process)، تكون كفاءة الصواني ضمن المجال (50-75%) [14].

### 10.6.5. حساب عدد الصواني الحقيقية :

بعد تحديد كفاءة الصينية يمكن حساب عدد الصواني الحقيقية من العلاقة :

$$N_R = E \cdot n \dots (37)$$

حيث :  $N_R$  : عدد الصواني الحقيقية.

$E$  : كفاءة الصينية .

$n$  : عدد الصواني النظرية .

#### 11.6.5. تحديد نوع الصواني :

تمّ اعتماد الصواني الصمامية في الدراسة التصميمية وذلك لتكون محاكية للتصميم المتبع في معمل غاز الجنوب الذي تمت عليه الدراسة.[12]

#### 12.6.5. حساب هبوط الضغط عبر البرج

يمكن من خلال برنامج المحاكاة إيجاد هبوط الضغط عبر البرج، الذي هو مجموع هبوطات الضغط عبر جميع الصواني، وهبوط الضغط عبر الصينية يساوي إلى مجموع هبوط الضغط الناتج عن مرور البخار من فتحات الصمامات في الصينية، إلى هبوط الضغط الناتج عن ارتفاع السائل فوق الصينية.

$$h_{tray} = h_d + h_l .....(38)$$

$h_d$  : هبوط الضغط الناتج عن مرور البخار من فتحات الصمامات في الصينية.

$h_l$  : هبوط الضغط الناتج عن ارتفاع السائل فوق الصينية.

#### 13.6.5. الحسابات التصميمية :

وتتضمن هذه الحسابات إيجاد الأبعاد التصميمية للبرج، من قطر البرج وارتفاع البرج والمسافة بين الصواني ومساحة سطح التبادل الحراري للمكثف والغلاية.

#### 1.13.6.5. المسافة الفاصلة بين الصواني :

تتعلق المسافة الفاصلة بين الصواني بارتفاع الرذاذ المتشكل فوق الصفيحة وبارتفاع السائل في أنبوب التصريف يقع عادة في المجال ما بين (0.5 – 0.75 m)، اعتماداً على التصميم المحدد ومعدلات البخار والسائل الداخلية، تمّ اعتماد قيمة 0.55 متر في دراستنا كمسافة فاصلة بين الصواني لتكون محاكية للتصميم المتبع في معمل غاز الجنوب الذي تمت عليه الدراسة.

### 2.13.6.5. قطر البرج : [13]

يوجد العديد من المعادلات لحساب قطر البرج، وتم اختيار الطريقة الآتية بالاعتماد على الشكل (5-6)، الذي يعبر عن استطاعة الطوفان من أجل الصواني ذات الأقداح والمنقبة وذات الصمامات، حيث تم اتباع الخطوات الآتية :

➤ يحسب متحول التدفق ( $P_F$ ) من المعادلة الآتية:

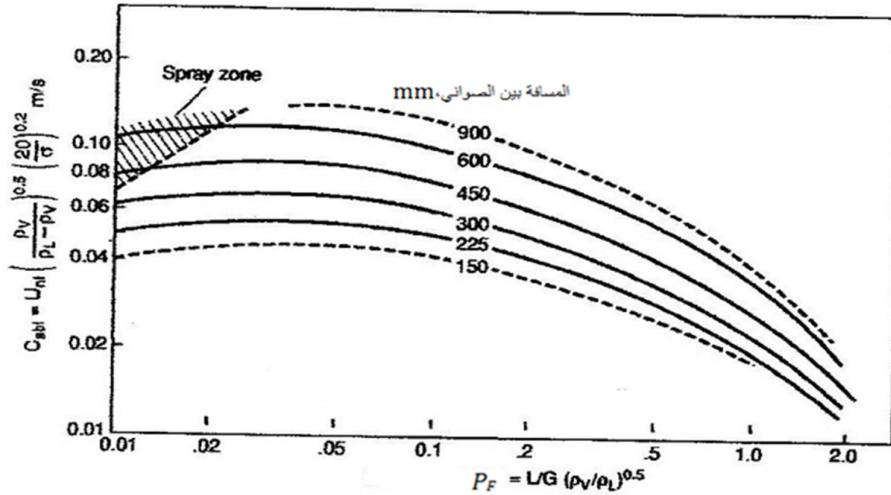
$$P_F = \frac{L}{G} \left( \frac{\rho_v}{\rho_l} \right)^{0.5} \dots \dots (39)$$

حيث:

$\rho_v$ : كثافة البخار

$\rho_l$ : كثافة السائل

➤ يحدد من الشكل (5-6) قيمة متحول الاستطاعة ( $C_{sb,f}$ ) المقابلة لقيمة متحول



التدفق ( $P_F$ ) ، ثم تحسب سرعة البخار العظمى ( $U_{nf}$ ) من أجل الطوفان من المعادلة الآتية:

$$U_{nf} = C_{sb,f} \left( \frac{\sigma}{20} \right)^{0.2} \left( \frac{\rho_l - \rho_v}{\rho_v} \right)^{0.5} \dots \dots (40)$$

حيث  $\sigma$  : التوتر السطحي (dynes/cm).

الشكل ( 5-6 ) استطاعة الطوفان من أجل الصواني ذات الاكواب والمنقبة وذات الصمامات

تحدد سرعة البخار الفعلية  $U_{nfa}$  عند نسبة طوفان معينة، حيث تمّ اعتماد القيمة 85% في هذه الدراسة :

$$U_{nfa} = 0.85 U_{nf} \dots\dots(41)$$

➤ تحسب مساحة المقطع الصافي لتدفق البخار في البرج (  $A_N$  ) من المعادلة الآتية:

$$A_N = \frac{Q_v}{U_{nfa}} \dots\dots(42)$$

$Q_v$ : تدفق البخار في البرج.

➤ تحسب مساحة مقطع البرج (A) كالآتي:

$$A = A_N + A_d \dots\dots\dots(43)$$

$A_d$  مساحة مقطع أنبوب التصريف، وتم فرض قيمته 10% من A.

➤ عندها يحسب قطر البرج  $D_c$  من العلاقة الآتية:

$$D_c = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \dots\dots\dots(44)$$

### 3.13.6.5 ارتفاع البرج : [13]

يتعلق ارتفاع برج التكرير بعدد الصواني الفعلية المستخدمة وبالمسافة الفاصلة بين الصواني، حيث يمكن حساب ارتفاع البرج بضرب عدد الصواني الفعلية بالمسافة الفاصلة بين الصواني، ولكن يجب إضافة قيمة إضافية لارتفاع البرج تبلغ حوالي ( 5-10 ft ) عند قمة البرج كفراغ انفلات البخار فوق الصفيحة العليا، وبشكل مماثل أيضاً يجب إضافة قيمة إضافية لارتفاع البرج عند قاع البرج كمجمع للسائل في قعر البرج، وبما أنّ السائل المغادر للبرج غالباً ما يتوجه إلى عملية أخرى (كمبادل حراري) ولكي لا يكون تدفقه متقطع، فإن ارتفاع مجمع السائل يجب أن يؤمن زمن بقاء للسائل حوالي 5 دقائق، وهذا الارتفاع يعتمد على معدل تدفق السائل وقطر البرج، وكتبسيط للحساب سنفترض أنّ قيمتها ( 5ft )، وبالآتي سوف نحسب قيمة ارتفاع البرج من المعادلة الآتية:

$$H_t = 2N_a + 10 \dots\dots\dots(45)$$

$H_t$ : ارتفاع البرج (ft)،  $N_a$ : عدد الصواني الفعلية

#### 4.13.6.5. مساحة سطح التبادل الحراري للغلاية والمكثف : [14]

من أجل حساب مساحة سطح التبادل الحراري للغلاية أو المكثف يجب حساب معامل انتقال الحرارة الكلي.

بالنسبة للغلاية يتم استخدام الغلاية من طراز (Kettle) في المعمل الذي تتم فيه دراستنا ويعدّ الزيت الساخن هو وسط التسخين في الأنابيب، معامل انتقال الحرارة الكلي للزيت الساخن ( $510 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

أما بالنسبة للمكثف فيتم استخدام مكثف من نوع مبادل حراري غلاف وأنابيب يؤمن مبادل غلاف وأنابيب مساحة سطح تبادل حراري مرتفعة ويعدّ الماء هو الوسط المستخدم للتبريد معامل انتقال الحرارة الكلي لماء التبريد ( $\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) (710).

يمكن حساب مساحة سطح التبادل الحراري للغلاية أو المكثف من المعادلتين الآتيتين:

$$Q = U A \Delta T_m \dots \dots (46)$$

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} \dots \dots \dots (47)$$

حيث إن:

$Q$ : كمية الحرارة المطلوبة للغلاية ( $\text{Kj / hr}$ )

$A$ : مساحة سطح التبادل الحراري للغلاية ( $\text{m}^2$ ).

$\Delta T_m$ : المتوسط اللوغاريتمي لفرق درجات الحرارة ( $\text{K}$ ).

يمكن بمساعدة برنامج المحاكاة حساب مساحة سطح التبادل الحراري للغلاية و المكثف حيث يعطي البرنامج كمية الحرارة المطلوبة للغلاية ودرجات حرارة الغلاية في كل من جهتي الأنابيب والغلاف.

## 7.5. حساب الكلف التشغيلية والانشائية : [15]

يتم الحصول على إجمالي تكاليف رأس المال والتشغيل باستخدام المحلل الاقتصادي لإصدار Aspen HYSYS 11.0 حيث تعمل وحدة التقييم الاقتصادي على حساب كل من تكاليف رأس المال والمرافق.

تم أخذ التكاليف الآتية بعين الاعتبار في حساب تكلفة رأس المال للمشروع :

- التكاليف المباشرة التي تشير إلى تكاليف المواد والعمالة للمعدات والأنابيب و البناء و الهياكل المعدنية والأدوات والضواغط والمواد الكهربائية والعزل والطلاء.
- التكاليف الميدانية غير المباشرة مثل الهندسة والإشراف وبدء التشغيل وتكاليف ونفقات البناء والمزايا الإضافية والأعباء والتأمين والسقالات وتأجير المعدات والخدمات الميدانية والإنشاءات المؤقتة وما إلى ذلك.

➤ التكاليف غير الميدانية غير المباشرة كما هو موضح أدناه:

✓ الشحن والضرائب والتصاريح

✓ الطوارئ

✓ بدل للأحداث غير المتوقعة

➤ تكاليف المشروع الأخرى مثل النفقات العامة والإدارية، ورسوم العقد.

### 1.7.5. كلفة رأس المال :

يتكون رأس المال من الأصول الثابتة (أراضي، مباني، معدات، أثاث، وسائل نقل...)

يقوم المساعد الاقتصادي لبرنامج Aspen HYSYS بحساب كل هذه الأمور بالاعتماد

على متطلبات الوحدة مطلقاً على الأسعار العالمية

يقوم البرنامج بحساب كلف الشراء والتركيب بالاعتماد على ثابت يدعى ثابت مارشل و

سويفت (The Marshall & Swift equipment cost index) حيث بلغت قيمة هذا

الثابت في نهاية عام 2016 (1536.5) حيث تتبع قيمته للتضخم الاقتصادي

يتم حساب كلف الشراء والتركيب لغلاف البرج من المعادلات :

$$Purchased\ cost\ (\$) = \left( \frac{M\&S}{280} \right) (957.9 D^{1.066} H^{0.802} F_c) \dots\dots(48)$$

$$Installed\ cost\ (\$) = \left(\frac{M\&S}{280}\right) (957.9D^{1.066}H^{0.802}) (2.18 + F_c) \dots(49)$$

يتم حساب كلفة التركيب لصواني البرج من المعادلة :

$$Installed\ cost\ (\$) = \left(\frac{M\&S}{280}\right) (97.2D^{1.55}H)F_c \dots(50)$$

يتم حساب كلف الشراء والتركيب للمبادلات الحرارية من المعادلات :

$$Purchased\ cost\ (\$) = \left(\frac{M\&S}{280}\right) (474.7A^{0.65}F_c) \dots(51)$$

$$Installed\ cost\ (\$) = \left(\frac{M\&S}{280}\right) (474.7A^{0.65}F_c) (2.29 + F_c) \dots(52)$$

يتم حساب كلفة الشراء للضواغط بما في ذلك المضخات ذات الطرد المركزي و صينية الغلاية و الوصلات من المعادلة :

$$Purchased\ cost\ (\$) = \left(\frac{M\&S}{280}\right) (664.1P^{0.82}F_c) \dots(53)$$

حيث :  $M\&S$  ثابت مارشل و سويفت ،  $H$  ارتفاع البرج

$F_c$  عامل تصحيح يتعلق بنوعية المادة المصنع منها البرج ،

$A$  مساحة سطح التبادل ،  $P$  ضغط التشغيل

## 2.7.5. كلف التشغيل و الخدمات :

تتضمن تكاليف التشغيل كلف الكهرباء والبخار و التبريد و الهواء المضغوط و مياه التبريد والتسخين.

على عكس المصروفات الأخرى (على سبيل المثال، تكاليف رأس المال والعمالة)، لا ترتبط أسعار الخدمات بمؤشرات التضخم، حيث إنّ تكاليف الطاقة الأساسية مستقلة عن رأس المال والعمالة وتتباين بشكل غير متوقع كما ترتبط أسعار الخدمات بتكاليف الطاقة. لذا هناك حاجة إلى معادلة حساب كلف التشغيل

$$C_{S,u} = a(CEPCI) + b(C_{S,f}) \dots(54)$$

حيث :  $a, b$  معاملات كلف الخدمات ،  $CEPCI$  معامل تضخم للمشاريع في

الولايات المتحدة ،  $C_{S,f}$  هو سعر الوقود المستخدم بوحدة ( $\$ \text{GJ}^{-1}$ )



الفصل السادس  
الحسابات التصميمية و المحاكاة



## 1.6. مقدمة:

سيتم في هذا الفصل دراسة لعملية تكرير الغاز الطبيعي للحصول على قطفاته الأساسية (Propane – LPG – Condensate) في حالتين أساسيتين :

الحالة الأولى : عملية تكرير الغاز الطبيعي باستخدام ثلاث أبراج تكرير مع إجراء حساب الطاقة و الكلفة لهذا النموذج.

الحالة الثانية : عملية تكرير الغاز الطبيعي باستخدام برج تكرير مع إجراء حساب الطاقة و الكلفة لهذا النموذج.

أخيراً تتم المقارنة بين الحالتين السابقتين من حيث الكميات الناتجة ونسب المركبات والطاقة المقدمة والكلفة لكل من الحالتين.

## 2.6. منظومة تكرير الغاز الطبيعي في معمل غاز الجنوب (Unit 400) (الحالة I):

تستخدم منظومة التكرير لفصل السوائل الهيدروكربونية القادمة من وحدات المعمل المختلفة (فواصل – وحدة استرجاع السوائل الهيدروكربونية...).

تتألف منظومة تكرير الغاز الطبيعي في معمل غاز الجنوب من ثلاث أبراج وهي :

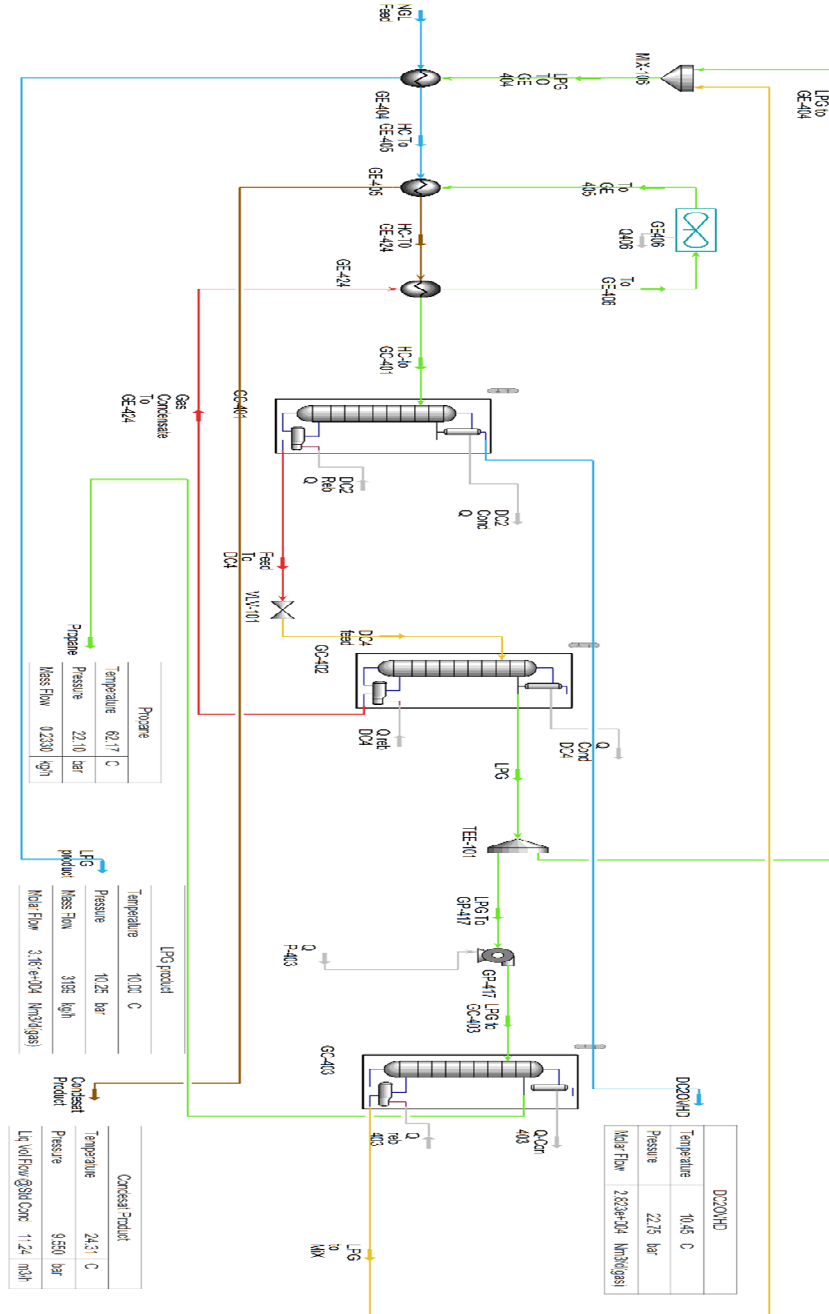
- برج نزع الايثان (Deethanizer) (GC-401).
- برج نزع البوتان (Debutanizer) (GC-402).
- برج نزع البروبان (Depropanizer) (GC-403).

تلتحق بالمنظومة عدة ملحقات من فواصل و صمامات و مضخات تلزم لاتمام العملية بالشكل الأمثل.

يمر تيار التغذية بعدة مبادلات حرارية قبل الوصول إلى برج نزع الايثان (Deethanizer) (GC-401) للوصول إلى درجة حرارة  $70^{\circ}\text{C}$  عند ضغط تشغيلي 23.25 bar.

### 1.2.6. مخطط وحدة تكرير الغاز الطبيعي في معمل غاز الجنوب:

يمثل الشكل (6-1) مخطط وحدة تكرير الغاز الطبيعي (Unit 400) في معمل غاز الجنوب :



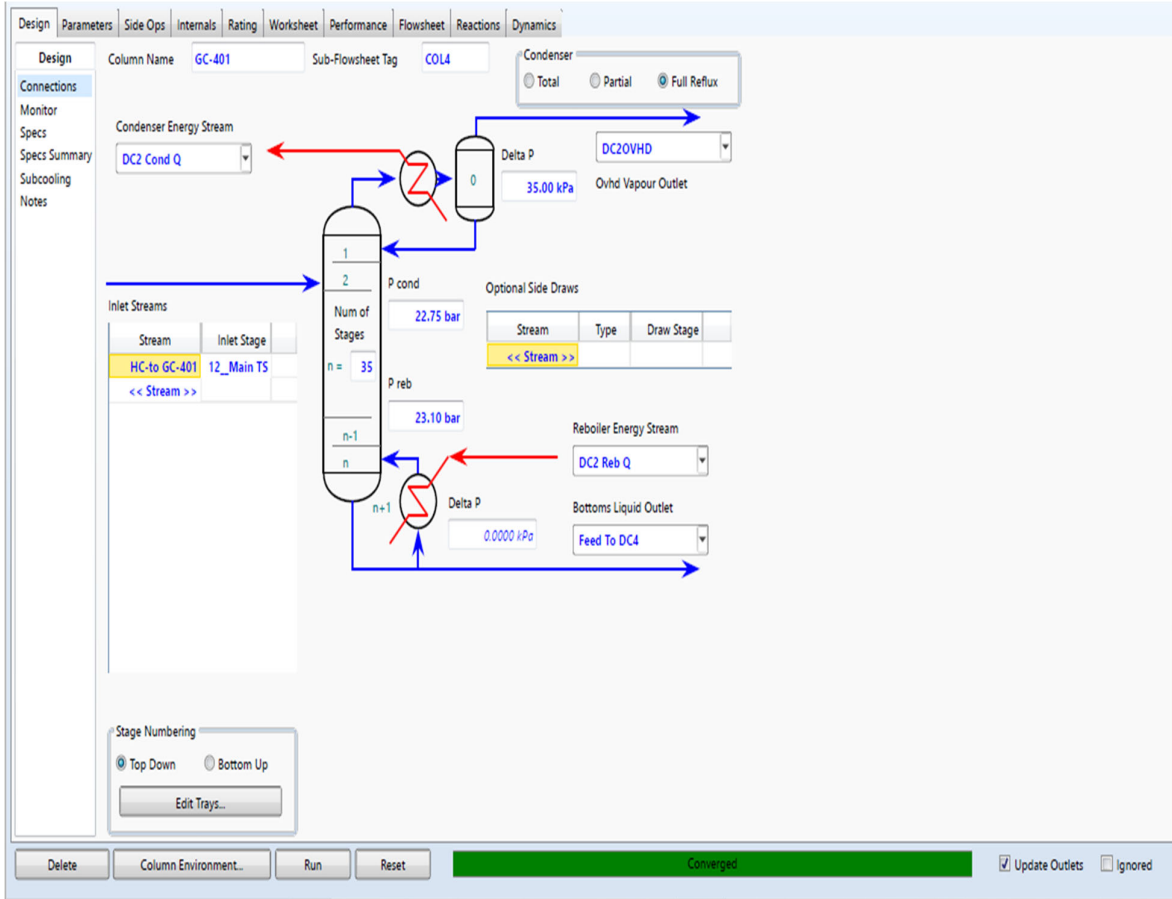
الشكل (6-1) مخطط وحدة تكرير الغاز الطبيعي (Unit 400) في معمل غاز الجنوب

## 2.2.6. محاكاة وحدة تكرير الغاز في معمل غاز الجنوب (Unit 400): [12]

### 1.2.2.6. برج نزع الايتان (GC-401):

يستخدم هذا البرج لفصل غاز الايتان و الميثان وجزء من البروبان ومن ثم يقوم بإرساله إلى خط غاز التصدير بعد ضغطه.

يدخل تيار التغذية إلى البرج المؤلف من 35 صينية بدرجة حرارة  $70^{\circ}\text{C}$  عند ضغط تشغيلي 23.25 bar على الصينية رقم 12 ليتجمع الايتان و الميثان في مكثف البرج وتغادر باقي مركبات المزيج من أسفل البرج لتبدأ مرحلة فصل جديدة. يشير الشكل (6-2) إلى الشروط التصميمية لبرج نزع الايتان.



الشكل (6-2) الشروط التصميمية لبرج نزع الايتان.

• شروط التشغيل :

يشير الجدول (6-1) إلى الشروط التشغيلية التي يعمل عليها البرج.

	HC-to GC- 401	DC2OVHD	Feed To DC4
[C] درجة الحرارة	70	10.4	152.4
[bar] الضغط	23.25	22.75	23.1
[Nm <sup>3</sup> /d(gas)] التدفق المولي	106002	28228	77774
[kg/h] التدفق الكتلي	12186	1498	10688
[kJ/h] تدفق الحرارة	-29530068	-4969241	-22067184

• نتائج محاكاة برج نزع الايتان:

➤ الخصائص الترموديناميكية للمنتجات :

يشير الجدول (6-2) إلى الخصائص الترموديناميكية التي قام البرنامج بحسابها.

	HC-to GC- 401	Feed To DC4	DC2OVHD
الوزن الجزيئي	61.84	73.93	28.55
(kg.mole/m <sup>3</sup> ) الكثافة المولية	4.117	6.135	1.207
(kg/m <sup>3</sup> ) الكثافة الكتلية	254.6	453.6	34.46
(m <sup>3</sup> /h) حجم التدفق الحقيقي	47.87	23.56	43.46
(kJ/kg) انتالبية الكتلة	-2423	-2065	-3318
(kJ/kg.C) انتروبية الكتلة	2.004	2.080	5.571
(kJ/kg.mole.C) السعة الحرارية	160.3	254.4	61.23
K ثابت واطسن	13.52	13.10	17.03
VP at 37.8° C (bar) ضغط ريد	11.26	2.661	-
(bar) ضغط نقطة الفقاعة	36.88	23.10	72.68

الجدول (6-2) الخصائص الترموديناميكية لتيارات برج نزع الايتان

➤ تركيب المنتجات :

يشير الجدول (3-6) إلى تركيب التيارات الناتجة من برج نزع الايتان في معمل غاز الجنوب ونموذج المحاكاة.

	DC2OVHD		الارتياح بين القيمة الحقيقية والقيمة الناتجة عن عملية المحاكاة	Feed To DC4
	تركيب تيار نموذج المحاكاة	القيم الموجودة في معمل الجنوب		
Methane	0.3999	0.386	0.0139	0.0000
Ethane	0.3084	0.306	0.0024	0.0000
Propane	0.2700	0.267	0.003	0.1184
i-Butane	0.0000	0.000	0	0.0946
n-Butane	0.0000	0.000	0	0.1858
i-Pentane	0.0000	0.000	0	0.2109
n-Pentane	0.0000	0.000	0	0.0128
n-Hexane	0.0000	0.000	0	0.2083
n-Heptane	0.0000	0.000	0	0.0993
n-Octane	0.0000	0.000	0	0.0426
n-Nonane	0.0000	0.000	0	0.0269
n-Decane	0.0000	0.000	0	0.0004
Oxygen	0.0000	0.000	0	0.0000
Nitrogen	0.0003	0.0009	0.0006	0.0000
CO2	0.0214	0.032	0.0106	0.0000

➤ حسابات الغلاية و المكثف :

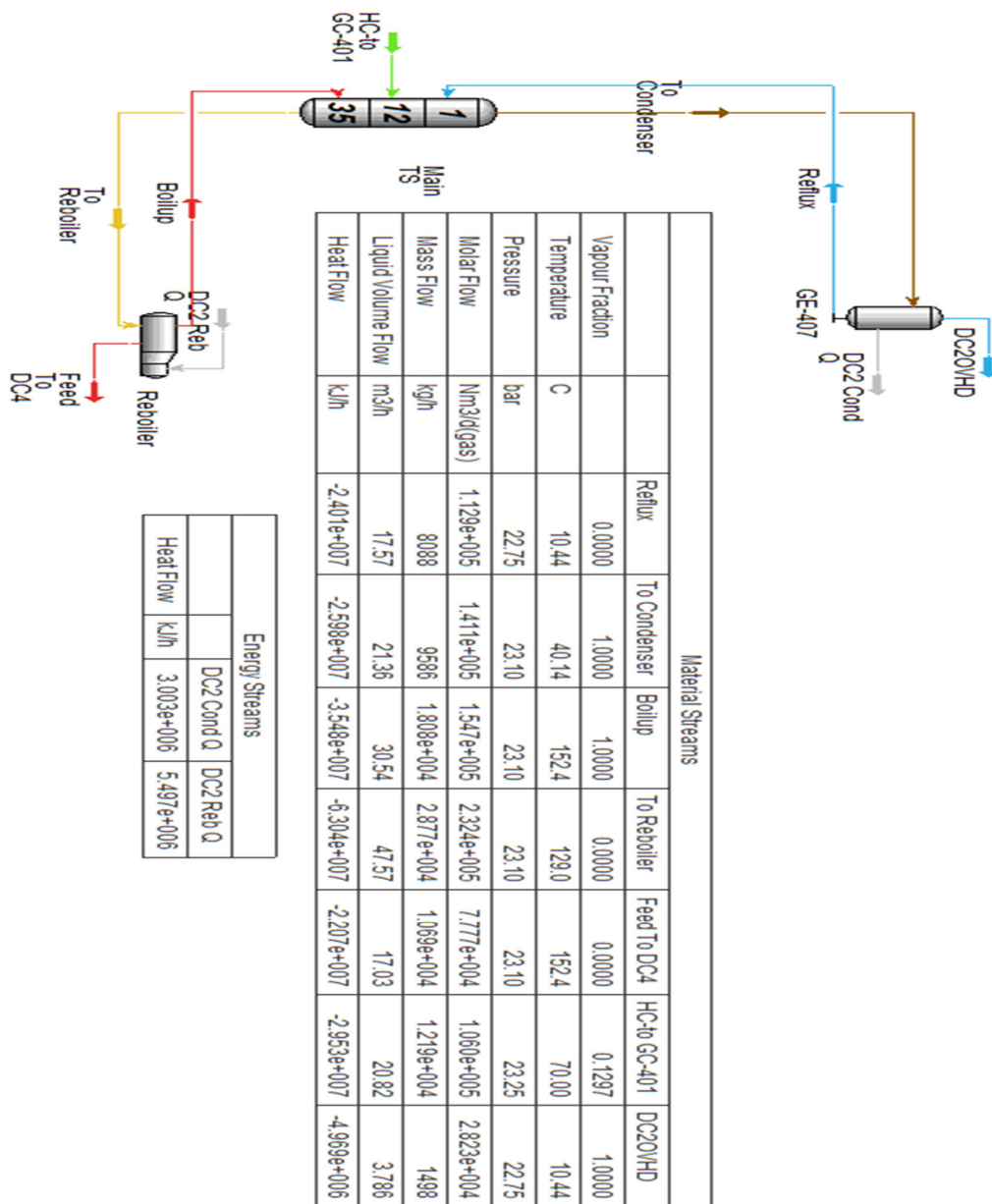
يشير الجدول (4-6) إلى نتائج الحسابات التصميمية لكل من غلاية ومكثف برج نزع الايتان.

المكثف		الغلاية	
النوع	راجع كلي	Type	اعتيادية
[C] درجة الحرارة	10.4	[C] درجة الحرارة	152.4
[bar] الضغط	22.75	[bar] الضغط	23.1
[kj/h] الحمولة	3003327	[kj/h] الحمولة	5497079
تدفق الراجع [Nm <sup>3</sup> /d(gas)]	112899	تدفق الخرج [Nm <sup>3</sup> /d(gas)]	77774



➤ المخطط التصميمي لبرج نزع الايتان :

يظهر الشكل (6-3) إلى البيئة المحاكية لبرج نزع الايتان حسب معطيات معمل غاز الجنوب .

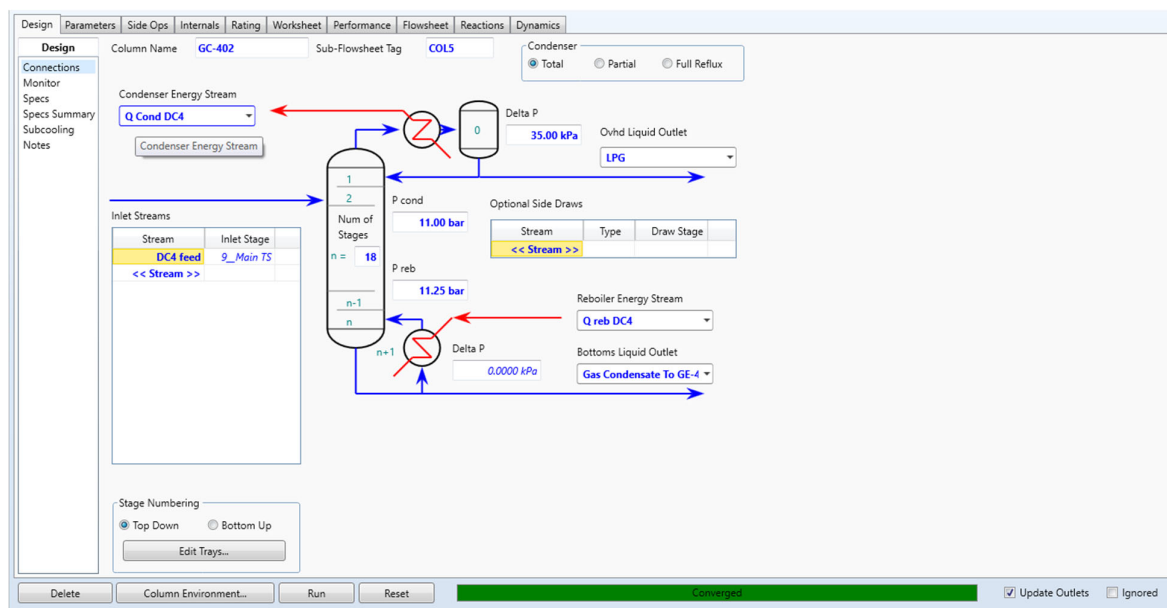


الشكل (6-3) البيئة المحاكية لبرج نزع الايتان حسب معطيات معمل غاز الجنوب.

## 2.2.2.6. برج نزع البوتان (GC-402):

يستخدم هذا البرج لفصل قطفة الغاز المنزلي المسال (LPG) وإرسال قسم منه إلى خزانات تجميع كمنتج نهائي جاهز للتعبئة و قسم آخر يعود إلى البرج على شكل راجع.

يدخل تيار التغذية إلى البرج المؤلف من 18 صينية بدرجة حرارة  $125^{\circ}\text{C}$  عند ضغط تشغيلي 11.5 bar على الصينية رقم 9 ليتكاثف (LPG) في مكثف البرج وتغادر باقي مركبات المزيج (C5+ or condensate) من أسفل البرج ليتم تخزينها في خزان تجميع المتكاثفات ليصار تصديرها لمعامل تكرير النفط. يشير الشكل (6-4) إلى الشروط التصميمية لبرج نزع البوتان.



الشكل (6-4) الشروط التصميمية لبرج نزع البوتان.

• شروط التشغيل :

يشير الجدول (5-6) إلى الشروط التشغيلية التي يعمل عليها البرج

	DC4 feed	LPG	Gas Condensate To GE-424
[C] درجة الحرارة	125.4	61.6	159.7
[bar] الضغط	11.5	11	11.25
[Nm <sup>3</sup> /d(gas)] التدفق المولي	77772	31612	46160
[kg/h] التدفق الكتلي	10688	3199	7489
[kJ/h] تدفق الحرارة	-22066966	-804543	-14789393

• نتائج محاكاة برج نزع البوتان :

➤ الخصائص الترموديناميكية للمنتجات :

يبين الجدول (6-6) إلى الخصائص الترموديناميكية التي قام البرنامج بحسابها

	DC4 feed	Gas Condensate To GE-424	LPG
الوزن الجزيئي	73.93	87.281	54.44
(kg.mole/m <sup>3</sup> ) الكثافة المولية	0.984	5.782	9.168
(kg/m <sup>3</sup> ) الكثافة الكتلية	72.81	504.6	499.1
(m <sup>3</sup> /h) حجم التدفق الحقيقي	146.8	14.84	6.410
(kJ/kg) انتالبية الكتلة	-2065	-1975	-2515
(kJ/kg.C) انتروبية الكتلة	2.098	1.861	1.745
(kJ/kg.mole.C) السعة الحرارية	198.6	271.9	157.3
K ثابت واطسن	13.10	12.82	13.84
VP at 37.8° C (bar) ضغط ريد	2.660	0.6475	6.134
(bar) ضغط نقطة الفقاعة	15.84	11.25	11.00

➤ تركيب المنتجات :

يظهر الجدول (6-7) إلى تركيب التيارات الناتجة من برج نزع البوتان في معمل غاز الجنوب ونموذج المحاكاة.

	LPG		الارتياب بين القيمة الحقيقية والقيمة الناتجة عن عملية المحاكاة	Gas Condensate To GE-424
	تركيب تركيب نموذج المحاكاة	القيم الموجودة في معمل الجنوب		
Methane	0.0000	0.0000	0	0.0000
Ethane	0.0000	0.0000	0	0.0000
Propane	0.2913	0.3010	0.0097	0.0000
i-Butane	0.2322	0.2200	0.0122	0.0005
n-Butane	0.4479	0.4500	0.0021	0.0064
i-Pentane	0.0283	0.0290	0.0007	0.3359
n-Pentane	0.0004	0.0000	0.0004	0.0213
n-Hexane	0.0000	0.0000	0	0.3509
n-Heptane	0.0000	0.0000	0	0.1673
n-Octane	0.0000	0.0000	0	0.0717
n-Nonane	0.0000	0.0000	0	0.0453
n-Decane	0.0000	0.0000	0	0.0006
Oxygen	0.0000	0.0000	0	0.0000
Nitrogen	0.0000	0.0000	0	0.0000
CO2	0.0000	0.0000	0	0.0000

➤ حسابات الغلاية و المكثف :

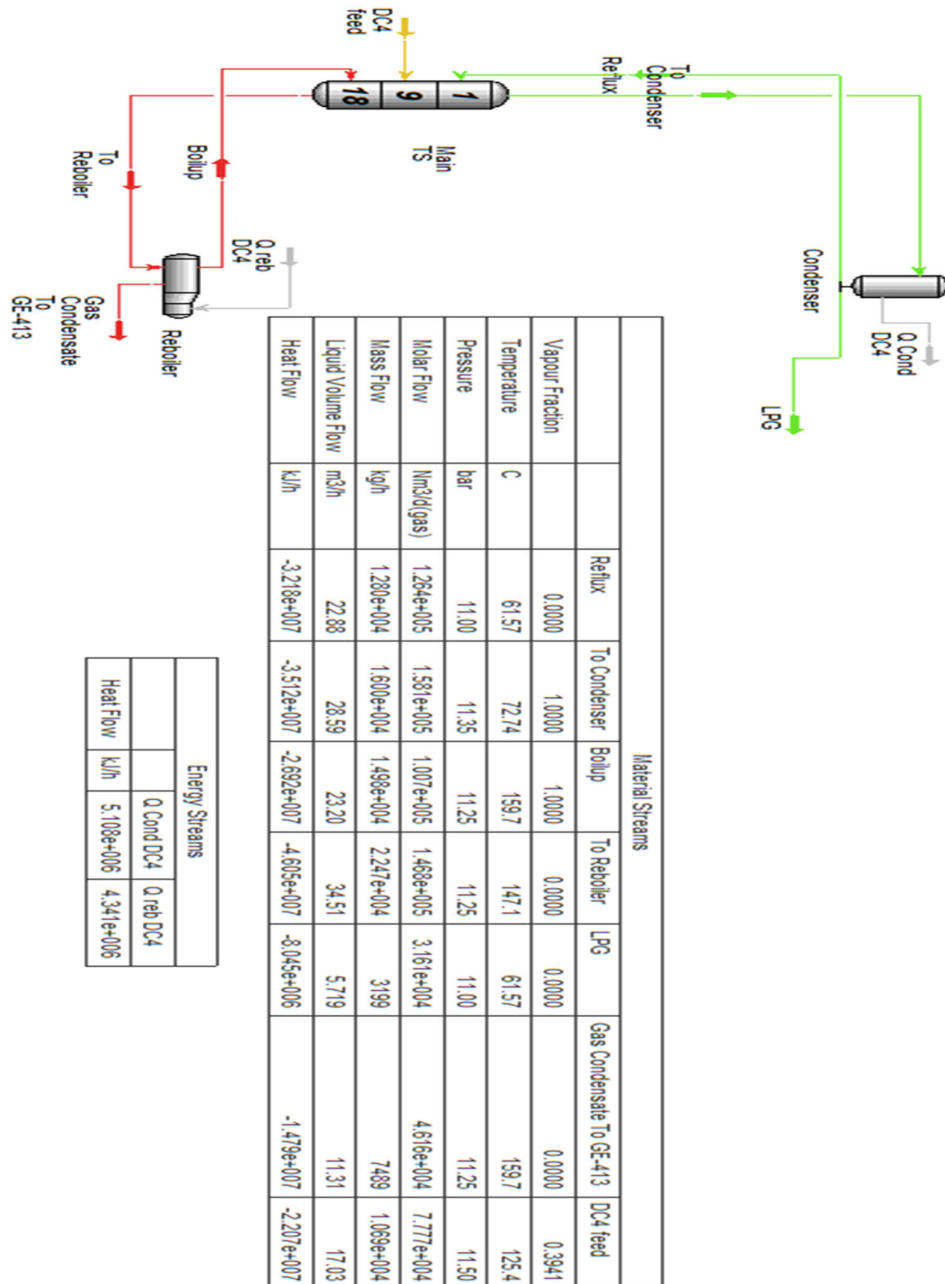
يبين الجدول (6-8) إلى نتائج الحسابات التصميمية لكل من غلاية ومكثف برج نزع

البوتان

المكثف		الغلاية	
النوع	راجع كلي	النوع	اعتيادية
[C] درجة الحرارة	61.6	[C] درجة الحرارة	159.7
[bar] الضغط	11	[bar] الضغط	11.25
[kj/h] الحمولة	5107802	[kj/h] الحمولة	4341177
تدفق الراجع [Nm <sup>3</sup> /d(gas)]	126447	تدفق الخرج [Nm <sup>3</sup> /d(gas)]	46159

➤ المخطط التصميمي لبرج نزع البوتان :

يشير الشكل (5-6) إلى البيئة المحاكية لبرج نزع البوتان حسب معطيات معمل غاز الجنوب .



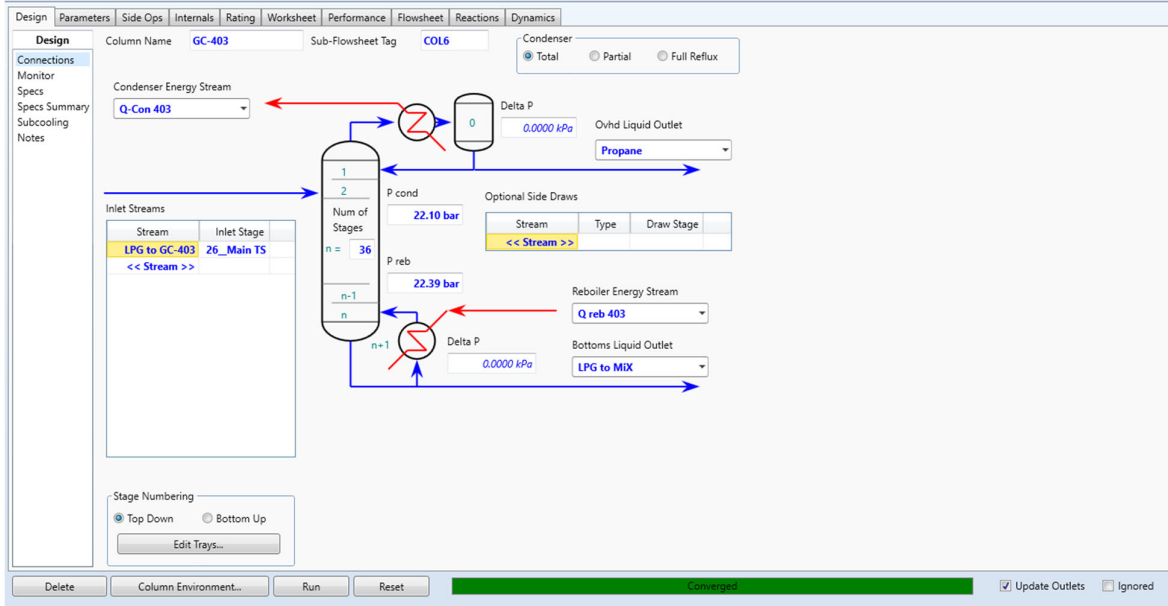
الشكل (5-6) البيئة المحاكية لبرج نزع البوتان حسب معطيات معمل غاز الجنوب.

### 3.2.2.6. برج نزع البروبان (GC-403):

يستخدم هذا البرج لفصل غاز البروبان - المستخدم في عمليات التبريد - عن الغاز المنزلي المسال ، حيث يرسل قسم منه للتصدير وقسم آخر يتجمع في خزان تجميع ليصار استخدامه في عمليات التبريد و قسم آخر يعاد إدخاله إلى المبادل الحراري الأولي لتيار تغذية برج نزع الايتان، يتم التخلص من جزء من البروبان في برج نزع الايتان قبل الذهاب لمراحل الفصل اللاحقة للحفاظ على ضغط البرج.

يدخل تيار التغذية إلى البرج المؤلف من 36 صينية قادماً من برج نزع البوتان بدرجة حرارة  $63^{\circ}\text{C}$  عند ضغط تشغيلي 23 bar على الصينية رقم 26 ليتكاثف البروبان في مكثف البرج ويغادر البوتان من أسفل البرج ليتم إعادة تدويره ومزجه مع تيار تغذية برج نزع الايتان.

يشير الشكل (6-6) إلى الشروط التصميمية لبرج نزع البروبان.



الشكل (6-6) الشروط التصميمية لبرج نزع البروبان.

• شروط التشغيل :

يشير الجدول (6-9) إلى الشروط التشغيلية التي يعمل عليها البرج .

	LPG to GC-403	Propane	LPG to Mix
[C] درجة الحرارة	63.0	62.2	116.2
[bar] الضغط	23.0	22.1	22.4
[Nm <sup>3</sup> /d(gas)] التدفق المولي	5929	1700	4228
[kg/h] التدفق الكتلي	600	139.8	460.2
[kJ/h] تدفق الحرارة	-1506937	-364052	-1064551

• نتائج محاكاة برج نزع البروبان :

➤ الخصائص الترموديناميكية للمنتجات :

يبين الجدول (6-10) إلى الخصائص الترموديناميكية التي قام البرنامج بحسابها.

	LPG to GC-403	LPG to Mix	Propane
الوزن الجزيئي	54	58.5	44.2
(kg.mole/m <sup>3</sup> ) الكثافة المولية	9.2	7.2	9.6
(kg/m <sup>3</sup> ) الكثافة الكتلية	501.1	423.1	424.4
(m <sup>3</sup> /h) حجم التدفق الحقيقي	1.2	1.1	0.33
(kJ/kg) انتالبية الكتلة	-2511	-2313	-2603
(kJ/kg.C) انتروبية الكتلة	1.7	1.9	2.4
(kJ/kg.mole.C) السعة الحرارية	154.9	234.1	169.6
K ثابت واطسن	13.8	13.5	14.6
VP at 37.8° C ضغط ريد (bar)	6.1	3.9	12.9
(bar) ضغط نقطة الفقاعة	11.3	22.3	22.1



➤ تركيب المنتجات :

يشير الجدول (6-11) إلى تركيب التيارات الناتجة من برج نزع البروبان في معمل غاز الجنوب ونموذج المحاكاة.

	LPG to GC-403	Propane		الارتياب بين القيمة الحقيقية والقيمة الناتجة عن عملية المحاكاة	LPG to Mix
		تركيب تركيب نموذج المحاكاة	القيم الموجودة في معمل الجنوب		
Methane	0.0000	0.0000	0.000	0	0.0000
Ethane	0.0000	0.0000	0.000	0	0.0000
Propane	0.2913	0.9900	0.980	0.01	0.0103
i-Butane	0.2322	0.0098	0.010	0.0002	0.3216
n-Butane	0.4479	0.0002	0.010	0.0098	0.6278
i-Pentane	0.0283	0.0000	0.000	0	0.0397
n-Pentane	0.0004	0.0000	0.000	0	0.0005
n-Hexane	0.0000	0.0000	0.000	0	0.0000
n-Heptane	0.0000	0.0000	0.000	0	0.0000
n-Octane	0.0000	0.0000	0.000	0	0.0000
n-Nonane	0.0000	0.0000	0.000	0	0.0000
n-Decane	0.0000	0.0000	0.000	0	0.0000
Oxygen	0.0000	0.0000	0.000	0	0.0000
Nitrogen	0.0000	0.0000	0.000	0	0.0000
CO <sub>2</sub>	0.0000	0.0000	0.000	0	0.0000

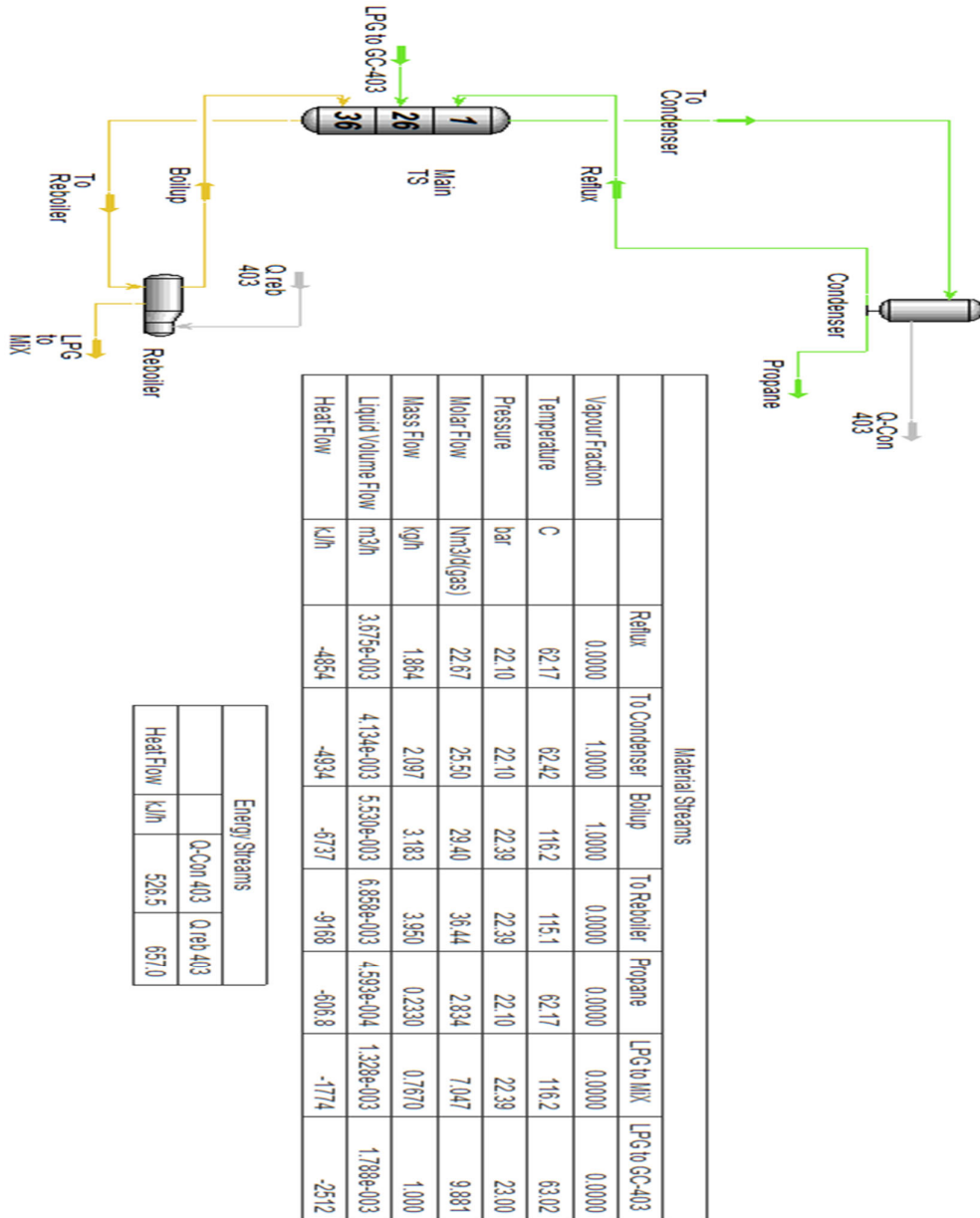
➤ حسابات الغلاية و المكثف :

يشير الجدول (6-12) إلى نتائج الحسابات التصميمية لكل من غلاية ومكثف برج نزع البروبان.

مكثف		غلاية	
النوع	راجع كلي	النوع	اعتيادي
[C] درجة الحرارة	62.2	[C] درجة الحرارة	116.2
[bar] الضغط	22.1	[bar] الضغط	22.4
[kj/h] الحمولة	315872	[kj/h] الحمولة	394211
تدفق الراجع [Nm <sup>3</sup> /d(gas)]	13601	تدفق الخرج [Nm <sup>3</sup> /d(gas)]	4228

➤ المخطط التصميمي لبرج نزع البروبان :

يشير الشكل (6-7) إلى البيئة المحاكية لبرج نزع البروبان حسب معطيات معمل غاز الجنوب .



الشكل (6-7) البيئة المحاكية لبرج نزع البروبان حسب معطيات معمل غاز الجنوب.

### 3.2.6. حسابات الطاقة و الكلفة لمنظومة التكرير (Unit 400)

#### 1.3.2.6. حساب الطاقة المستهلكة في الوحدة:

يبين الجدول المرفق رقم (6-13) الطاقة المستهلكة في جميع أجزاء الوحدة (Unit 400) .

المبادل الحراري	Type	Duty [kJ/h]
De-C3@الغلاية	Heater	394200
De-C4@الغلاية	Heater	4341000
De-C2@الغلاية	Heater	5497000
GE-424	Process Exchanger	1389000
GE-405	Process Exchanger	723800
GE-404	Process Exchanger	485100
GE406	Cooler	439700
De-C2@المكثف	Cooler	3004000
De-C3@المكثف	Cooler	315900
De-C4@المكثف	Cooler	5108000
المجموع الكلي		21697700

#### 2.3.2.6. حساب اجمالي كلفة الوحدة :

يتم الحصول على إجمالي رأس المال (Capital Cost) وتكاليف التشغيل

(Operating Cost) باستخدام المحلل الاقتصادي لإصدار

(Aspen Process Economic Analyzer V11). حيث تقوم وحدة التقييم

الاقتصادي بحساب كلاً من رأس المال وتكاليف التشغيل وغيرها من التكاليف

المتوقعة للوحدة

الشروط المبدئية في حساب الكلفة : لحساب الكلف التشغيلية ورأس المال وغيره، لابد

من تعيين بعض الشروط ليتمكن البرنامج من القيام بالعمليات الحسابية

يبين الجدول رقم (14-6) الشروط المبدئية لحساب الكلفة :

النسبة المطلوبة لتعويض رأس المال	20 % per year
عدد سنوات الاستثمار	20 years
رأس المال العامل <sup>3</sup>	5 %
دورة الحياة الاقتصادية للمشروع <sup>4</sup>	5 years
عدد ساعات العمل خلال العام الواحد	8766
عدد المشغلين المطلوب لكل وردية (العمالة)	2

### 3.3.2.6. كلفة رأس المال:

يتكون رأس المال من الأصول الثابتة (أراضي، مباني، معدات، أثاث، وسائل نقل...) يقوم المساعد الاقتصادي لبرنامج Aspen HYSYS بحساب كل هذه الأمور بالاعتماد على متطلبات الوحدة مطلعاً على الأسعار العالمية

<sup>3</sup> يعني رأس المال العامل بنسبة 5 بالمائة من المبيعات أن الأمر يتطلب 5 سنناً من كل دولار مبيعات لتمويل دورة رأس المال العامل. يعتمد مقدار رأس المال العامل على إيرادات المبيعات، سواء ركزت الأعمال على الخدمات أو بيع المنتجات..

<sup>4</sup> يتم استخدام المفهوم كأساس للفترة الزمنية التي يتم خلالها تحميل الاستهلاك على الأصل. لأسباب تتعلق بالكفاءة، قد يتم تعيين نفس العمر الاقتصادي لكل أصل من الأصول المخصصة لتصنيف الأصول. القيام بذلك يجعل من السهل حساب حساب الاستهلاك.

يبين الجدول رقم (15-6) تفاصيل كلفة رأس المال مقدرة بالدولار الأمريكي (\$):

757520	شراء آلات ومعدات	(\$)
33086	توظيف الآلات وتركيبها	(\$)
618161	مصاريف أنابيب نقل	(\$)
133725	أرض ومواد بناء	(\$)
125520	حديد و صلب	(\$)
911721	أدوات قياس وضبط بارامترات	(\$)
629157	مصاريف كهرباء	(\$)
136098	مصاريف عزل	(\$)
54354	دهان	(\$)
3716800	مصاريف أخرى <sup>5</sup>	(\$)
143497	(G and A) <sup>6</sup> مصاريف إدارية	(\$)
380956	رسوم العقود	(\$)
1375310	مصاريف طوارئ	(\$)
9015900	مصرف المشروع الكلي	(\$)
6645510	مصرف المشروع الكلي بعد التعديل <sup>7</sup>	(\$)

<sup>5</sup> نفقات الصرف الأخرى وهي عبارة عن الأموال المصروفة على السفر والمواصلات والفنادق و تدريب العمال ومصاريف خبراء وما شابه.

<sup>6</sup> General And Administrative Expense (G&A) : هي مجموعة فرعية من النفقات التشغيلية للشركة ، باستثناء تكاليف البيع.

<sup>7</sup> يشير هذا المفهوم إلى أنّ هناك تعديل في حساب رأس المال الكلي ، هذا التعديل يتم الحصول عليه بعد حسم الأصول الثابتة الموجودة أصلاً مثل أرض البناء وغيره.

#### 4.3.2.6. كلفة صيانة الوحدة والعمالة:

يبين الجدول رقم (16-6) تفاصيل كلفة صيانة الوحدة بالإضافة لكلفة العمالة المطلوبة:

الوحدة	القيمة	
مشغل	2	عدد المشغلين المطلوب لكل وريدية
\$/h	20	كلفة المشغل الواحد
\$	350640	كلفة المشغلين الاجمالية
\$	49200	كلفة صيانة 8000 ساعة تشغيل
\$	53911	كلفة الصيانة الكلية
مشرف	1	عدد المشرفين المطلوب خلال الوريدية الواحدة
\$/h	35	كلفة المشرف الواحد
\$	306810	الكلفة الاشراف الاجمالية
\$	711361	الكلفة الاجمالية للصيانة والعمالة

#### 5.3.2.6. تكاليف الخدمات (Utilities Costs):

يبين الجدول رقم (17-6) تفاصيل كلفة الخدمات المقدمة للوحدة (كهرباء - مياه

تبريد - تبريد بالفريون - بخار للتسخين)

الخدمة	كمية الاستهلاك	الوحدة	كلفة/الساعة	الوحدة
كهرباء	125.7	KW	9.7	\$/h
مياه تبريد	0.033	MMGAL/H	4	\$/h
تبريد بالفريون	40.18122	KLB/H	3.415404	\$/h
بخار @ 100 PSI	10.9149	KLB/H	88.8469	\$/h
مجموع كلفة الخدمات	106			\$/h
اجمالي كلفة الخدمات	8766*106 = 929196			\$

### 6.3.2.6. كلفة التشغيل:

يبين الجدول رقم (18-6) تفاصيل كلفة تشغيل الوحدة الإجمالي :

الوحدة	القيمة	الكلفة
\$	929196	تكاليف الخدمات
\$	53911	الكلفة الاجمالية للصيانة
\$	657450	الكلفة الاجمالية للعمالة
\$	164363	رسوم التشغيل <sup>8</sup>
\$	355680	نفقات تشغيل عامة <sup>9</sup>
\$	172854	مصاريف إدارية
\$	2333535	اجمالي تكاليف التشغيل

8 تعني جميع التكاليف والمصروفات التي تكبدها المالك في ملكية وتشغيل المصنع ، بما في ذلك رسوم الصرف الصحي ورسوم المرافق الأخرى بالإضافة إلى التأمين على الممتلكات ، والتأمين ضد خسائر الإيجار ورسوم خدمة وغيره  
9 هي التكاليف التي يتم تكبدها أثناء عملية التصنيع ، مثل تكاليف ضمان الجودة و ضرائب المنتجات وغيره ، ولا تشمل تكاليف العمالة المباشرة والمواد المباشرة.



### 3.6. وحدة تكرير الغاز الطبيعي المعدلة الجديدة (الحالة II):

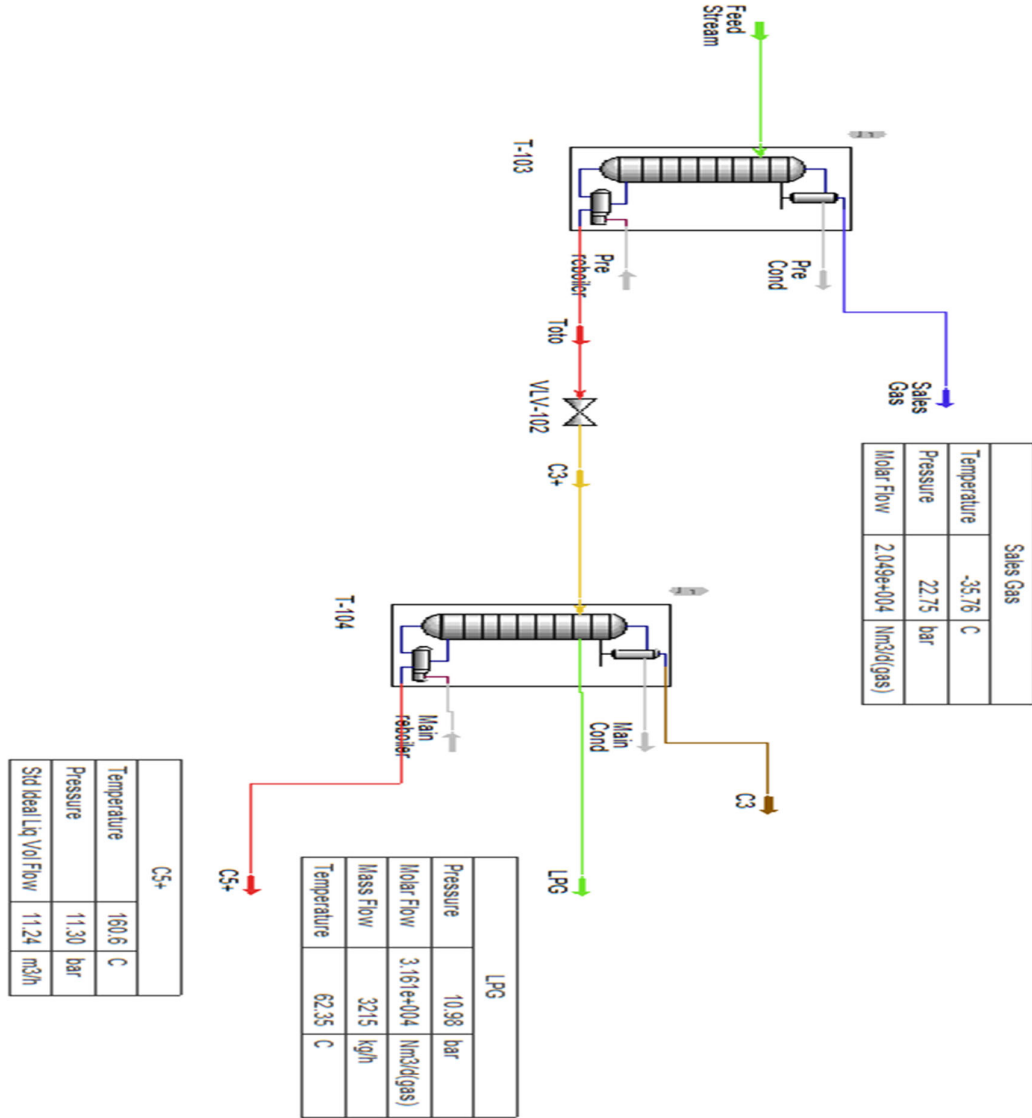
تمّ تصميم وحدة لتكرير الغاز الطبيعي تعطي نفس القطفات الناتجة عن وحدة التكرير المعتمدة في معمل غاز الجنوب بنفس التركيب والكميات الناتجة، نتج عن هذا التعديل في التصميم توفير في الطاقة والكلف التشغيلية و كذلك كلفة رأس المال.

#### 1.3.6. وصف المنظومة الجديدة:

تمّ الإبقاء على برج لنزع الايتان ليعطي قطفة علوية مؤلفة من (C1+C2) على شكل غاز للتصدير (Sales Gas) وقطفة سفلية عبارة عن تيار تغذية لمرحلة الفصل الآتية البرج الجديد يحتوي على تيار سحب جانبي يعطي قطفة (LPG) بالمواصفات الواجب تحقيقها من الغاز المنزلي السوري، أما التيارين العلوي والسفلي فهما على الترتيب (Condensate, C3).

## 2.3.6. مخطط الحالة II:

يشير الشكل (6-8) إلى التصميم النهائي لوحدة تكرير الغاز الطبيعي الجديدة.



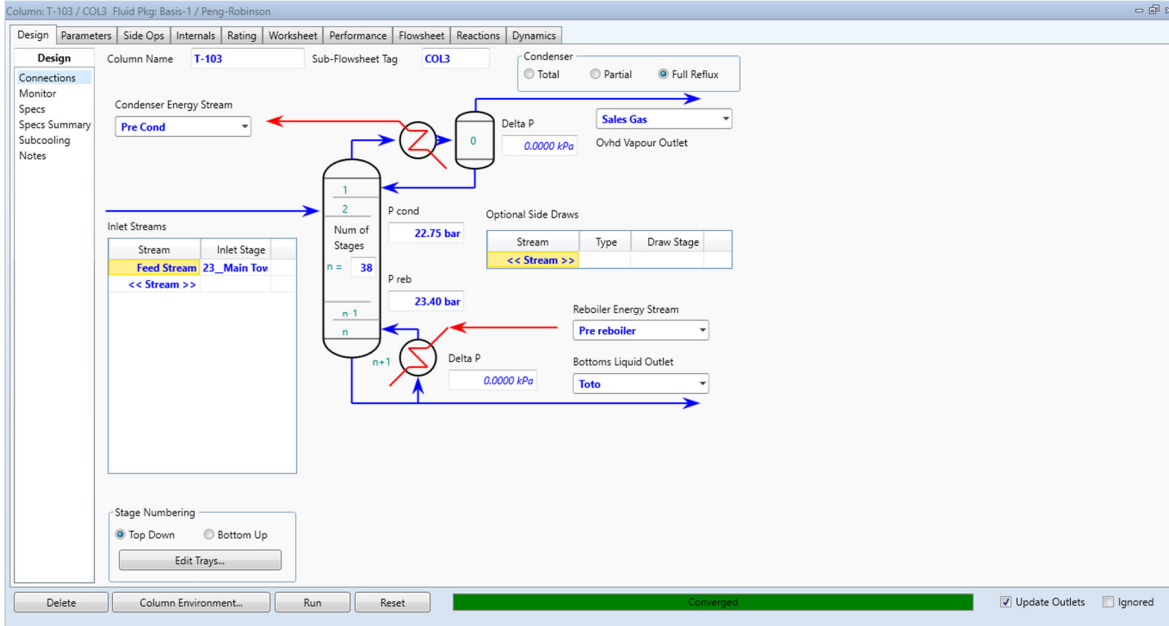
الشكل (6-8) التصميم النهائي لوحدة تكرير الغاز الطبيعي الجديدة

### 3.3.6. تصميم الحالة II:

#### 1.3.3.6. برج نزع الايتان (T-103) :

يستخدم هذا البرج لفصل قطعة الايتان و الميتان معاً وارساله على شكل غاز مسال إلى (Sales Gas).

يدخل تيار التغذية إلى البرج المؤلف من 38 صينية بدرجة حرارة  $70^{\circ}\text{C}$  عند ضغط تشغيلي 23.25 bar على الصينية رقم 23 ليتجمع الايتان و الميتان في مكثف البرج وتغادر باقي مركبات المزيج من أسفل البرج لتبدأ مرحلة فصل جديدة. يشير الشكل (6-9) إلى الشروط التصميمية لبرج نزع الايتان الجديد:



الشكل (6-9) الشروط التصميمية لبرج نزع الايتان الجديد

• شروط التشغيل :

يشير الجدول (19-6) إلى الشروط التشغيلية التي يعمل عليها البرج.

	Feed Stream	Sales Gas	C3+
درجة الحرارة [C]	70	-35.76	140.8
الضغط [bar]	23.25	22.75	23.40
التدفق المولي [Nm <sup>3</sup> /d(gas)]	106001	20492	85509
التدفق الكتلي [kg/h]	12186	867	11319
تدفق الحرارة [kJ/h]	-29530068.8	-3509676.2	-23946601

• نتائج تصميم برج نزع الايتان الجديد :

➤ الخصائص الترموديناميكية للمنتجات :

يشير الجدول (20-6) إلى الخصائص الترموديناميكية لبرج نزع الايتان الجديد

	Feed Stream	C3+	Sales Gas
الوزن الجزيئي	61.84	71.21	22.77
الكثافة المولية (kg.mole/m <sup>3</sup> )	4.117	6.472	1.472
الكثافة الكتلية (kg/m <sup>3</sup> )	254.6	460.9	33.51
حجم التدفق الحقيقي (m <sup>3</sup> /h)	47.87	24.56	25.88
انتالبية الكتلة (kJ/kg)	-2423	-2116	-4047
انتروبية الكتلة (kJ/kg.C)	2.004	2.074	6.857
السعة الحرارية (kJ/kg.mole.C)	160.3	238.1	50.98
K ثابت واطسن	13.52	13.18	18.73
VP at 37.8° C (bar)	11.26	3.412	-
ضغط نقطة الفقاعة (bar)	36.88	23.40	58.32

➤ تركيب المنتجات<sup>10</sup> :

يشير الجدول (21-6) إلى تركيب التيارات الناتجة من برج الايتان الجديد :

	Feed Stream	Sales Gas	C3+
Methane	0.1065	0.5509	0.0000
Ethane	0.0821	0.4183	0.0016
Propane	0.1588	0.0010	0.1966
i-Butane	0.0694	0.0000	0.0861
n-Butane	0.1363	0.0000	0.1690
i-Pentane	0.1547	0.0000	0.1918
n-Pentane	0.0094	0.0000	0.0117
n-Hexane	0.1528	0.0000	0.1894
n-Heptane	0.0729	0.0000	0.0903
n-Octane	0.0312	0.0000	0.0387
n-Nonane	0.0197	0.0000	0.0245
n-Decane	0.0003	0.0000	0.0003
Oxygen	0.0000	0.0000	0.0000
Nitrogen	0.0001	0.0004	0.0000
CO <sub>2</sub>	0.0057	0.0294	0.0000

<sup>10</sup> ملاحظة : تم ادخال نفس تيار التغذية الذي تم إدخاله إلى البرج المحاك لبرج نزع الايتان في معمل غاز الجنوب.

➤ حسابات الغلاية و المكثف :

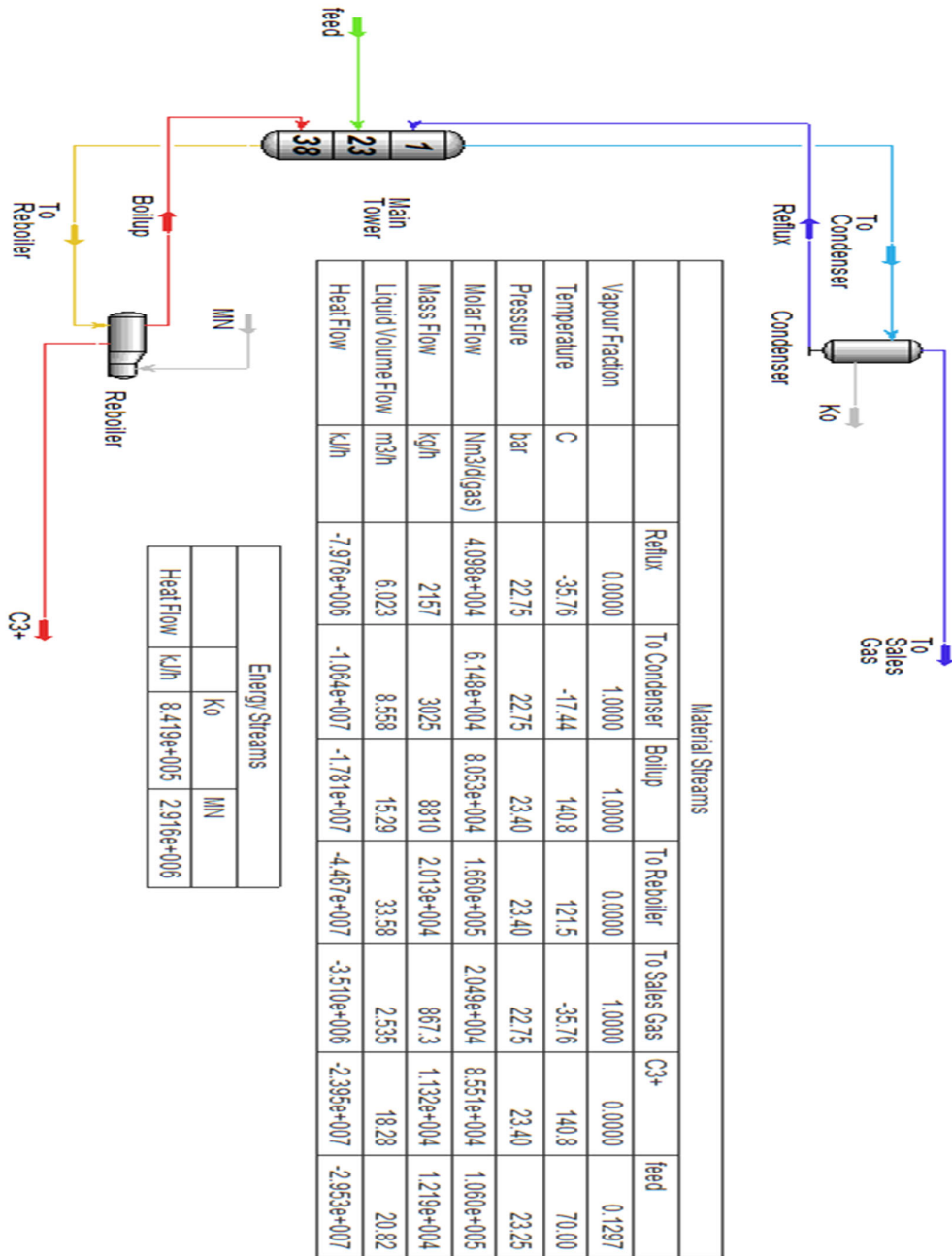
يشير الجدول (22-6) إلى نتائج الحسابات التصميمية لكل من غلاية ومكثف برج نزع

الايثان الجديد

المكثف		الغلاية	
النوع	راجع كلي	النوع	اعتيادي
[C] درجة الحرارة	-35.76	[C] درجة الحرارة	140.8
[bar] الضغط	22.75	[bar] الضغط	23.4
[kj/h] الحمولة	841918	[kj/h] الحمولة	2915712
تدفق الراجع [Nm <sup>3</sup> /d(gas)]	40984.9	تدفق الخرج [Nm <sup>3</sup> /d(gas)]	85509

➤ المخطط التصميمي لبرج نزع الايتان :

يشير الشكل (6-10) إلى البيئة المحاكية لبرج نزع الايتان الجديد.



الشكل (6-10) إلى البيئة المحاكية لبرج نزع الايتان الجديد

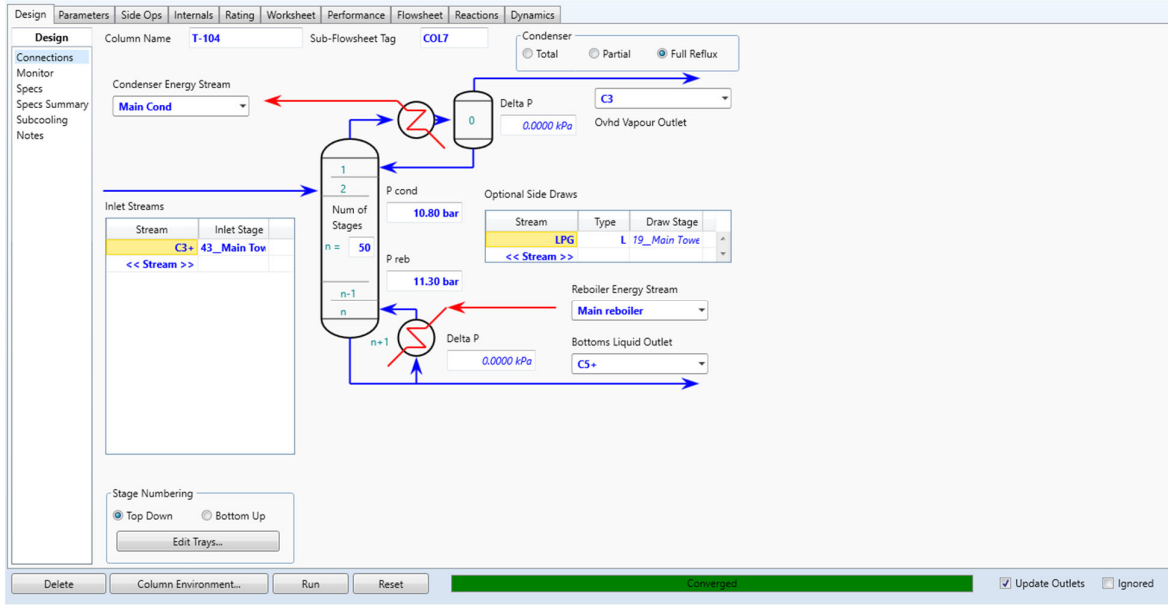
### 2.3.3.6. برج نزع (C3, LPG, Condensate) (T-104):

يستخدم هذا البرج لفصل القطفات المذكورة بحيث يتم سحب البروبان من مجمع المكثف، ويسحب الغاز المنزلي المسال على شكل تيار جانبي من البرج وتؤخذ المتكاثفات من مجمع الغلاية.

يدخل تيار التغذية إلى البرج المؤلف من 50 صينية بدرجة حرارة  $114.5^{\circ}\text{C}$  عند ضغط تشغيلي 11.50 bar على الصينية رقم 43 لينتج البروبان في مكثف البرج، يتم سحب LPG من الصينية رقم 19 على شكل تيار جانبي.

يتم سحب المتكاثفات الغازية من مجمع الغلاية

يشير الشكل (6-11) إلى الشروط التصميمية للبرج (T-104).



الشكل (6-11) الشروط التصميمية للبرج (T-104)

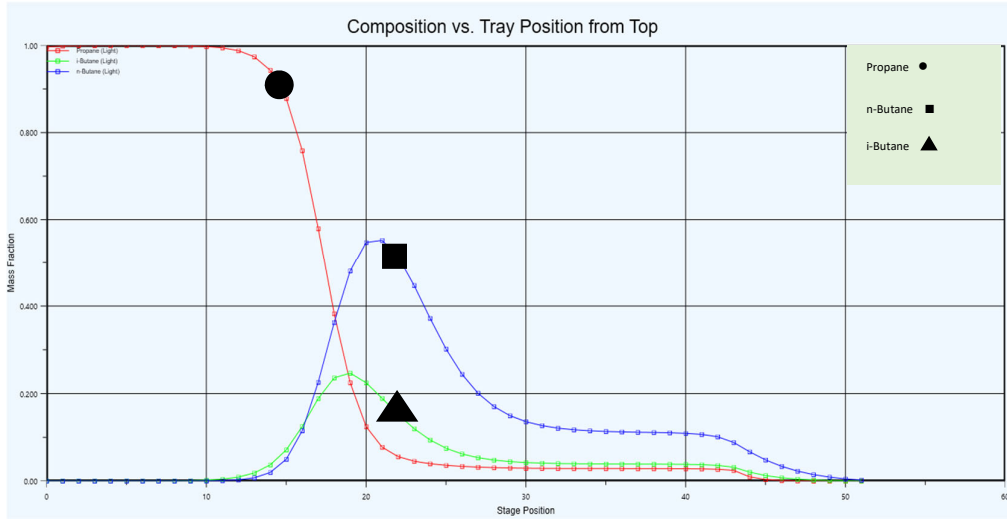


• اختيار صينية السحب :

يتم اختيار صواني السحب الجانبية باستخدام برنامج هايسس من خلال الاطلاع على توزيع المركبات على الصواني، حيث ينظر للصينية التي تحتوي على التركيب الأقرب للتركيب المطلوب.

بعد ادخال كافة المعطيات التصميمية المطلوبة لتنفيذ الحساب، نحصل على توزيع المركبات على صواني البرج المدروس.

تتوزع المركبات على صواني البرج المدروس كما هو موضح بالجدول (6-23) و بيانياً كما في الشكل (6-12).



الشكل (6-12) منحنى توزيع البروبان والبيوتان على الصواني.

الجدول (23-6) توزيع المركبات على الصواني.

	Methane	Ethane	Propane	i-Butane	n-Butane	i-Pentane	n-Pentane	n-Hexane	n-Heptane	n-Octane	n-Nonane	n-Decane	Oxygen	Nitrogen	CO2	Total
Condenser	5.5E-10	5.4E-03	9.9E-01	9.9E-07	1.0E-08	4.9E-16	1.1E-20	1.0E-30	1.0E-30	9.7E-31	8.7E-31	9.6E-31	4.2E-17	2.6E-18	3.9E-08	1.0E+00
1 Main Tower	6.2E-11	2.0E-03	1.0E+00	2.1E-06	2.9E-08	3.0E-15	8.7E-20	1.0E-30	1.0E-30	9.7E-31	8.7E-31	9.6E-31	3.6E-18	1.6E-19	7.1E-09	1.0E+00
2 Main Tower	2.3E-11	8.5E-04	1.0E+00	4.4E-06	8.0E-08	1.8E-14	6.6E-19	1.0E-30	1.0E-30	9.7E-31	8.7E-31	9.6E-31	1.6E-18	9.2E-20	2.4E-09	1.0E+00
3 Main Tower	2.0E-11	4.6E-04	1.0E+00	9.3E-06	1.1E-13	1.1E-13	5.0E-18	1.0E-30	1.0E-30	9.7E-31	8.7E-31	9.6E-31	1.5E-18	9.0E-20	1.7E-09	1.0E+00
4 Main Tower	2.0E-11	3.4E-04	1.0E+00	1.9E-05	6.1E-07	6.3E-13	1.6E-29	1.0E-30	1.0E-30	9.7E-31	8.7E-31	9.6E-31	1.5E-18	9.0E-20	1.6E-09	1.0E+00
5 Main Tower	2.0E-11	3.0E-04	1.0E+00	4.1E-05	1.7E-06	3.8E-12	2.8E-16	3.2E-28	1.0E-30	9.7E-31	8.7E-31	9.6E-31	1.5E-18	9.0E-20	1.6E-09	1.0E+00
6 Main Tower	2.0E-11	2.8E-04	1.0E+00	8.5E-05	4.7E-06	2.3E-11	2.1E-15	6.2E-27	1.0E-30	9.7E-31	8.7E-31	9.6E-31	1.5E-18	9.0E-20	1.6E-09	1.0E+00
7 Main Tower	2.0E-11	2.8E-04	1.0E+00	1.8E-04	1.3E-05	1.3E-10	1.6E-14	1.2E-25	1.0E-30	9.7E-31	8.7E-31	9.6E-31	1.5E-18	9.0E-20	1.6E-09	1.0E+00
8 Main Tower	2.0E-11	2.8E-04	1.0E+00	3.7E-04	3.6E-05	8.0E-10	1.2E-13	2.4E-24	1.0E-30	9.7E-31	8.7E-31	9.6E-31	1.5E-18	9.0E-20	1.6E-09	1.0E+00
9 Main Tower	2.0E-11	2.8E-04	1.0E+00	7.7E-04	1.0E-04	4.8E-09	9.0E-13	4.7E-23	1.0E-30	9.7E-31	8.7E-31	9.6E-31	1.5E-18	9.1E-20	1.6E-09	1.0E+00
10 Main Tower	2.0E-11	2.8E-04	1.0E+00	1.6E-03	2.8E-04	2.8E-08	6.7E-12	9.2E-22	1.0E-30	9.7E-31	8.7E-31	9.6E-31	1.5E-18	9.1E-20	1.6E-09	1.0E+00
11 Main Tower	2.0E-11	2.8E-04	1.0E+00	3.3E-03	7.6E-04	1.7E-07	5.0E-11	1.8E-20	1.0E-30	9.7E-31	8.7E-31	9.6E-31	1.5E-18	9.1E-20	1.6E-09	1.0E+00
12 Main Tower	2.0E-11	2.8E-04	9.9E-01	6.9E-03	2.1E-03	9.9E-07	3.5E-19	3.5E-19	4.4E-29	9.7E-31	8.7E-31	9.6E-31	1.5E-18	9.1E-20	1.6E-09	1.0E+00
13 Main Tower	2.0E-11	2.7E-04	9.8E-01	1.4E-02	5.7E-03	5.8E-06	2.7E-09	6.6E-18	2.1E-27	9.7E-31	8.7E-31	9.6E-31	1.5E-18	9.1E-20	1.6E-09	1.0E+00
14 Main Tower	2.0E-11	2.7E-04	9.9E-01	2.9E-02	1.5E-02	3.3E-05	2.0E-08	1.2E-16	9.9E-26	9.7E-31	8.7E-31	9.6E-31	1.5E-18	9.1E-20	1.6E-09	1.0E+00
15 Main Tower	2.0E-11	2.7E-04	9.0E-01	5.6E-02	3.5E-02	1.8E-04	1.4E-07	2.2E-15	4.3E-24	9.7E-31	8.7E-31	9.6E-31	1.5E-18	9.2E-20	1.6E-09	1.0E+00
16 Main Tower	2.0E-11	2.6E-04	8.1E-01	1.0E-01	9.3E-02	9.1E-04	8.5E-07	3.5E-14	1.7E-22	1.1E-30	8.7E-31	9.6E-31	1.6E-18	9.3E-20	1.6E-09	1.0E+00
17 Main Tower	2.0E-11	2.4E-04	6.5E-01	1.6E-01	1.5E-01	3.9E-03	4.5E-06	4.5E-13	5.2E-21	8.1E-29	8.7E-31	9.6E-31	1.6E-18	9.5E-20	1.6E-09	1.0E+00
18 Main Tower	2.0E-11	2.2E-04	4.5E-01	2.1E-01	3.2E-01	1.9E-02	1.9E-05	4.5E-12	1.0E-19	4.2E-27	8.7E-31	9.6E-31	1.6E-18	9.8E-20	1.4E-09	1.0E+00
19 Main Tower	2.0E-11	2.0E-04	2.8E-01	2.3E-01	4.5E-01	3.6E-02	6.1E-05	3.5E-11	2.0E-18	1.5E-25	8.7E-31	9.6E-31	1.6E-18	1.0E-19	1.4E-09	1.0E+00
20 Main Tower	2.0E-11	1.8E-04	1.6E-01	2.2E-01	5.4E-01	8.1E-02	1.6E-04	2.0E-10	2.5E-17	4.0E-24	1.4E-30	9.6E-31	1.7E-18	1.1E-19	1.3E-09	1.0E+00
21 Main Tower	2.0E-11	1.7E-04	1.9E-01	1.9E-01	5.6E-01	1.3E-01	3.4E-04	8.6E-10	2.2E-16	7.2E-23	5.9E-29	9.6E-31	1.7E-18	1.1E-19	1.3E-09	1.0E+00
22 Main Tower	2.0E-11	1.6E-04	7.7E-01	1.6E-01	5.3E-01	2.3E-01	6.3E-04	3.2E-09	1.7E-15	1.1E-21	1.8E-27	9.6E-31	1.7E-18	1.1E-19	1.3E-09	1.0E+00
23 Main Tower	2.0E-11	1.6E-04	6.4E-02	1.3E-01	4.8E-01	3.3E-01	1.0E-03	1.1E-08	1.1E-14	1.5E-20	4.7E-26	9.6E-31	1.7E-18	1.1E-19	1.3E-09	1.0E+00
24 Main Tower	2.0E-11	1.6E-04	5.7E-02	1.0E-01	4.1E-01	4.3E-01	3.3E-08	6.8E-14	1.8E-19	1.8E-19	2.1E-24	9.6E-31	1.7E-18	1.2E-19	1.2E-09	1.0E+00
25 Main Tower	2.0E-11	1.5E-04	5.3E-02	8.4E-02	3.4E-01	5.2E-01	2.2E-03	9.2E-08	3.7E-13	1.9E-18	2.1E-23	6.3E-30	1.7E-18	1.2E-19	1.2E-09	1.0E+00
26 Main Tower	2.0E-11	1.5E-04	5.0E-02	7.0E-02	2.8E-01	6.0E-01	2.9E-03	2.4E-07	1.9E-12	1.8E-17	3.8E-22	2.2E-28	1.8E-18	1.2E-19	1.2E-09	1.0E+00
27 Main Tower	2.0E-11	1.5E-04	4.8E-02	6.1E-02	2.3E-01	6.6E-01	3.6E-03	5.9E-07	8.8E-12	1.6E-16	6.4E-21	6.7E-27	1.8E-18	1.2E-19	1.2E-09	1.0E+00
28 Main Tower	2.0E-11	1.5E-04	4.7E-02	5.6E-02	2.0E-01	7.0E-01	4.3E-03	1.4E-06	4.0E-11	1.4E-15	1.0E-19	1.9E-25	1.8E-18	1.2E-19	1.2E-09	1.0E+00
29 Main Tower	2.0E-11	1.4E-04	4.5E-02	5.2E-02	1.7E-01	7.2E-01	5.1E-03	3.2E-06	1.7E-10	1.1E-14	1.5E-18	5.4E-24	1.8E-18	1.2E-19	1.2E-09	1.0E+00
30 Main Tower	2.0E-11	1.4E-04	4.5E-02	5.0E-02	1.6E-01	7.4E-01	6.0E-03	7.2E-06	7.4E-10	9.1E-14	2.3E-17	1.4E-22	1.8E-18	1.2E-19	1.2E-09	1.0E+00
31 Main Tower	2.0E-11	1.4E-04	4.5E-02	4.8E-02	1.5E-01	7.5E-01	6.9E-03	1.6E-05	3.1E-09	7.2E-13	3.3E-16	3.8E-21	1.8E-18	1.2E-19	1.2E-09	1.0E+00
32 Main Tower	2.0E-11	1.4E-04	4.5E-02	4.7E-02	1.4E-01	7.6E-01	7.9E-03	3.6E-05	1.3E-08	5.6E-12	4.7E-15	9.8E-20	1.8E-18	1.2E-19	1.2E-09	1.0E+00
33 Main Tower	2.0E-11	1.4E-04	4.5E-02	4.7E-02	1.4E-01	7.6E-01	9.0E-03	7.9E-05	5.5E-08	4.4E-11	6.7E-14	2.5E-20	1.8E-18	1.2E-19	1.2E-09	1.0E+00
34 Main Tower	2.1E-11	1.4E-04	4.4E-02	4.6E-02	1.4E-01	7.6E-01	1.0E-02	1.7E-04	2.3E-07	3.4E-10	9.4E-13	6.4E-17	1.8E-18	1.2E-19	1.2E-09	1.0E+00
35 Main Tower	2.1E-11	1.4E-04	4.4E-02	4.6E-02	1.3E-01	7.6E-01	1.2E-02	3.8E-04	9.4E-07	2.6E-09	1.3E-11	1.6E-15	1.8E-18	1.2E-19	1.2E-09	1.0E+00
36 Main Tower	2.1E-11	1.4E-04	4.4E-02	4.6E-02	1.3E-01	7.6E-01	1.3E-02	8.4E-04	3.9E-06	2.0E-08	1.9E-10	4.1E-14	1.8E-18	1.2E-19	1.2E-09	1.0E+00
37 Main Tower	2.1E-11	1.4E-04	4.4E-02	4.6E-02	1.3E-01	7.6E-01	1.5E-02	1.8E-03	1.6E-05	1.5E-07	2.6E-09	1.0E-12	1.8E-18	1.3E-19	1.2E-09	1.0E+00
38 Main Tower	2.1E-11	1.4E-04	4.4E-02	4.6E-02	1.3E-01	7.6E-01	1.7E-02	4.0E-03	6.5E-05	1.2E-06	3.6E-08	2.6E-11	1.8E-18	1.3E-19	1.2E-09	1.0E+00
39 Main Tower	2.1E-11	1.4E-04	4.4E-02	4.6E-02	1.3E-01	7.6E-01	1.9E-02	8.7E-03	2.7E-04	8.9E-06	5.0E-07	6.4E-10	1.8E-18	1.3E-19	1.2E-09	1.0E+00
40 Main Tower	2.1E-11	1.4E-04	4.4E-02	4.5E-02	1.3E-01	7.5E-01	2.1E-02	1.9E-02	6.6E-05	6.8E-06	5.8E-07	1.6E-08	1.8E-18	1.3E-19	1.2E-09	1.0E+00
41 Main Tower	2.1E-11	1.4E-04	4.4E-02	4.5E-02	1.3E-01	7.2E-01	2.3E-02	3.9E-02	4.2E-03	4.9E-04	9.0E-05	3.8E-07	1.8E-18	1.3E-19	1.2E-09	1.0E+00
42 Main Tower	2.1E-11	1.4E-04	4.3E-02	4.3E-02	1.2E-01	6.7E-01	2.5E-02	7.9E-02	1.6E-02	3.4E-03	1.1E-03	8.4E-06	1.8E-18	1.3E-19	1.2E-09	1.0E+00
43 Main Tower	2.1E-11	1.4E-04	4.1E-02	4.0E-02	1.1E-01	5.6E-01	2.6E-02	1.4E-01	5.2E-02	2.0E-02	1.2E-02	1.6E-04	1.9E-18	1.3E-19	1.2E-09	1.0E+00
44 Main Tower	1.7E-12	2.8E-05	1.6E-02	2.6E-02	8.7E-02	6.2E-01	2.3E-02	1.4E-01	5.2E-02	2.0E-02	1.2E-02	1.5E-04	1.2E-19	5.7E-21	1.5E-10	1.0E+00
45 Main Tower	1.5E-13	5.6E-06	6.3E-03	1.6E-02	6.3E-02	6.5E-01	2.8E-02	1.5E-01	5.2E-02	2.0E-02	1.2E-02	1.5E-04	7.7E-21	2.5E-22	1.6E-11	1.0E+00
46 Main Tower	1.2E-14	1.1E-06	2.4E-03	9.9E-03	4.4E-02	6.7E-01	3.1E-02	1.8E-01	5.5E-02	2.0E-02	1.2E-02	1.5E-04	5.0E-22	1.1E-23	2.1E-12	1.0E+00
47 Main Tower	1.0E-15	2.1E-07	8.7E-04	5.8E-03	3.0E-02	6.6E-01	3.2E-02	1.8E-01	5.5E-02	2.0E-02	1.2E-02	1.5E-04	3.2E-23	5.2E-25	2.9E-13	1.0E+00
48 Main Tower	8.5E-17	4.1E-08	3.1E-04	3.3E-03	2.0E-02	6.4E-01	3.3E-02	2.1E-01	6.1E-02	2.1E-02	1.2E-02	1.5E-04	2.1E-24	2.4E-26	2.9E-14	1.0E+00
49 Main Tower	7.1E-18	7.7E-09	1.1E-04	1.8E-03	1.2E-02	5.8E-01	3.2E-02	2.6E-01	7.5E-02	2.4E-02	1.3E-02	1.6E-04	1.4E-25	1.1E-27	3.3E-15	1.0E+00
50 Main Tower	5.9E-19	1.4E-09	3.5E-05	8.9E-04	7.0E-03	4.8E-01	2.9E-02	3.2E-01	1.7E-01	3.6E-02	1.8E-02	2.2E-04	8.8E-27	5.0E-29	3.8E-16	1.0E+00
Reboiler	4.7E-20	2.3E-10	1.0E-05	3.7E-04	3.3E-03	3.3E-01	2.2E-02	3.5E-01	1.7E-01	7.2E-02	4.6E-02	6.2E-04	5.7E-28	2.4E-30	4.2E-17	1.0E+00

• اختيار الضغط التشغيلي للبرج (T-104) :

كما تمّ الحديث سابقاً عن اختيار الضغط التشغيلي للبرج، يجب الأخذ بعين الاعتبار ومراعاة عدة أمور، أهم هذه الأمور هو بأن يكون المنتج العلوي بشروط نقطة الفقاعة (في حال كان المنتج المطلوب سائل) والأمر الآخر يجب أن تكون درجة حرارة التبريد أقل ما يمكن لكي تكون عملية الفصل اقتصادية.

لذا تمّ اختبار عدة ضغوط لتشغيل البرج (T-104) كما هو موضح بالجدول

الجدول (6-24) اختيار الضغط التشغيلي.

الضغط التشغيلي المطبق (bar)	10.5	11.5	15.0	18.0	20.0
الحالة التوازنية للمنتج العلوي (C <sub>3</sub> )	Vapor	Liquid	Liquid	Liquid	Liquid
درجة حرارة التشغيل (°C)		114.5	125.2	136.6	144
درجة حرارة أعلى البرج (°C)		29.45	37.87	45.68	52.96
درجة حرارة أسفل البرج (°C)		160.6	174.89	183.92	195.31

من خلال النتائج المدرجة في الجدول تبين مايلي :

- لا يمكن تشغيل البرج عند ضغط تشغيلي أقل من 11 بار وذلك لحاجتنا على الحصول على البروبان بشكل سائل.
- تشغيل البرج عند ضغط 11 - 11.5 بار سيتم الحصول على أدنى درجة حرارة للغلاية وبالتالي ستكون كلفة التشغيل أقل.
- تشغيل البرج عند ضغوط أعلى من 11 بار ستخفض كلفة التبريد ولكن بالمقابل ستزداد كلفة التسخين التي تشكل كلفة أكبر.
- لذا تمّ اعتماد القيمة 11.5 بار كضغط تشغيلي للبرج .

• شروط التشغيل :

يشير الجدول (6-25) إلى الشروط التشغيلية التي يعمل عليها البرج.

	C3	LPG	C5+
[C] درجة الحرارة	29.45	62.35	160.60
[bar] الضغط	10.80	10.98	11.30
التدفق المولي [Nm <sup>3</sup> /d(gas)]	8121	31610	45778
[kg/h] التدفق الكتلي	662.3	3215	7442
[kJ/h] تدفق الحرارة	-1579473	-8070752	-14667634

• نتائج تصميم البرج (T-104):

➤ الخصائص الترموديناميكية للمنتجات :

يشير الجدول (6-26) إلى الخصائص الترموديناميكية البرج.

	C3	LPG	C5+
الوزن الجزيئي	43.88	54.71	87.45
(kg.mole/m <sup>3</sup> ) الكثافة المولية	0.5331	9.129	5.765
(kg/m <sup>3</sup> ) الكثافة الكتلية	23.39	499.5	504.1
(m <sup>3</sup> /h) حجم التدفق الحقيقي	28.32	6.437	14.76
(kJ/kg) انتالبية الكتلة	-2385	-2510	-1971
(kJ/kg.C) انتروبية الكتلة	3.225	1.735	1.876
(kJ/kg.mole.C) السعة الحرارية	85.32	158.1	273
K ثابت واطسن	14.75	13.82	12.82
VP at 37.8° C (bar) ضغط ريد	13.39	6.015	0.6353
(bar) ضغط نقطة الفقاعة	11.08	10.98	11.30

➤ تركيب المنتجات :

يشير الجدول (6-27) إلى تركيب التيارات الناتجة من البرج.

	C3	LPG	C5+
Methane	0.0000	0.0000	0.0000
Ethane	0.0158	0.0002	0.0000
Propane	0.9842	0.2789	0.0000
i-Butane	0.0000	0.2323	0.0004
n-Butane	0.0000	0.4524	0.0033
i-Pentane	0.0000	0.0361	0.3333
n-Pentane	0.0000	0.0001	0.0217
n-Hexane	0.0000	0.0000	0.3539
n-Heptane	0.0000	0.0000	0.1687
n-Octane	0.0000	0.0000	0.0723
n-Nonane	0.0000	0.0000	0.0457
n-Decane	0.0000	0.0000	0.0006
Oxygen	0.0000	0.0000	0.0000
Nitrogen	0.0000	0.0000	0.0000
CO2	0.0000	0.0000	0.0000

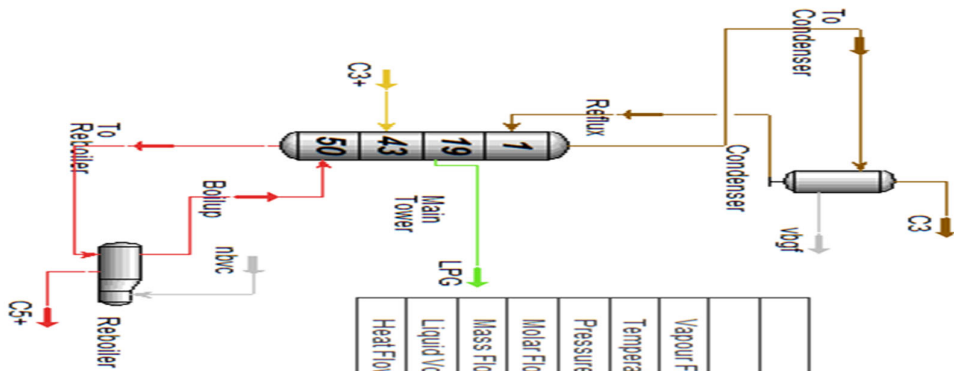
➤ حسابات الغلاية و المكثف :

يشير الجدول (6-28) إلى نتائج الحسابات التصميمية لكل من غلاية ومكثف البرج (T-104).

المكثف		الغلاية	
النوع	راجع كلي	النوع	اعتيادي
[C] درجة الحرارة	29.45	[C] درجة الحرارة	160.6
[bar] الضغط	10.80	[bar] الضغط	11.30
[kJ/h] الحمولة	6213466	[kJ/h] الحمولة	5842155
[Nm <sup>3</sup> /d(gas)] تدفق الراجع	230011	[Nm <sup>3</sup> /d(gas)] تدفق الخرج	45778

➤ المخطط التصميمي البرج (T-104):

يشير الشكل (6-13) إلى البيئة المحاكية للبرج (T-104).



Material Streams									
	Reflux	To Condenser	Boilup	To Reboiler	C3	C5+	C3+	LPG	
Vapour Fraction	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.3759	0.0000	
Temperature C	29.45	29.80	160.6	147.2	29.45	160.6	114.5	62.35	
Pressure bar	10.80	10.80	11.30	11.30	10.80	11.30	11.50	10.98	
Molar Flow Nm3/(gas)	2.300e+005	2.381e+005	1.361e+005	1.819e+005	8121	4.578e+004	8.551e+004	3.161e+004	
Mass Flow kg/h	1.882e+004	1.948e+004	2.031e+004	2.776e+004	662.3	7442	1.132e+004	3215	
Liquid Volume Flow m3/h	37.21	38.52	31.43	42.67	1.313	11.24	18.28	5.735	
Heat Flow kJ/h	-5.103e+007	-4.639e+007	-3.643e+007	-5.694e+007	-1.579e+006	-1.467e+007	-2.395e+007	-8.071e+006	

Energy Streams		
	vbof	nbvc
Heat Flow kJ/h	6.213e+006	5.842e+006

الشكل (6-13) المخطط التصميمي للبرج (T-104).

#### 4.3.6. حسابات الطاقة و الكلفة لمنظومة التكرير الجديدة

##### 1.4.3.6. حساب الطاقة المستهلكة في الوحدة:

يبين الجدول المرفق رقم (29-6) الطاقة المستهلكة في جميع أجزاء الوحدة.

المبادل الحراري	Type	Duty [kJ/h]
COL1@المكثف	Cooler	841900
COL2@المكثف	Cooler	6214000
COL1@الغلاية	Heater	2916000
COL2@الغلاية	Heater	5843000
المجموع الكلي	15814900	

#### 2.4.3.6. حساب إجمالي كلفة الوحدة الجديدة:

يتم الحصول على إجمالي رأس المال وتكاليف التشغيل باستخدام المحلل الاقتصادي لإصدار (Aspen Process Economic Analyzer V11). حيث تقوم وحدة التقييم الاقتصادي بحساب كلاً من رأس المال وتكاليف التشغيل وغيرها من التكاليف المتوقعة للوحدة.

الشروط المبدئية في حساب الكلفة : لحساب الكلف التشغيلية ورأس المال وغيره، لابد من تعيين بعض الشروط ليتمكن البرنامج من القيام بالعمليات الحسابية يبين الجدول رقم (30-6) الشروط المبدئية لحساب الكلفة مستمدة من المساعد الاقتصادي لبرنامج HYSYS

الجدول (30-6) الشروط المبدئية لحساب الكلفة

النسبة المطلوبة لتعويض رأس المال	20 % per year
عدد سنوات الاستثمار	20 years
رأس المال العامل	5 %
دورة الحياة الاقتصادية للمشروع	5 years
عدد ساعات العمل خلال العام الواحد	8766
عدد المشغلين المطلوب لكل وردية (العمالة)	2



### 3.4.3.6. كلفة رأس المال:

يتكون رأس المال من الأصول الثابتة (أراضي، مباني، معدات، أثاث، وسائل نقل...) ينفذ المساعد الاقتصادي لبرنامج Aspen HYSYS حساب كل هذه الأمور بالاعتماد على متطلبات الوحدة مطلعاً على الأسعار العالمية (كما هو موضح في الفصل الخامس)

يبين الجدول رقم (31-6) تفاصيل كلفة رأس المال مقدرة بالدولار الأمريكي (\$):

627380	شراء آلات ومعدات	(\$)
25142.4	توظيف الآلات وتركيبها	(\$)
365269	مصاريف أنابيب نقل	(\$)
86336.5	أرض ومواد بناء	(\$)
80144.1	حديد و صلب	(\$)
624965	أنوات قياس وضبط البارامترات	(\$)
584501	مصاريف كهرباء	(\$)
150233	مصاريف عزل	(\$)
27235	دهان	(\$)
2420800	مصاريف أخرى	(\$)
105930	مصاريف (G and A) إدارية )	(\$)
276152	رسوم العقود	(\$)
967336	مصاريف طوارئ	(\$)
6341420	مصرف المشروع الكلي	(\$)
4674190	مصرف المشروع الكلي بعد التعديل	(\$)

#### 4.4.3.6. كلفة صيانة الوحدة والعمالة:

يبين الجدول رقم (32-6) تفاصيل كلفة صيانة الوحدة بالإضافة لكلفة العمالة المطلوبة :

الوحدة	القيمة	
مشغل	2	عدد المشغلين المطلوب لكل وردية
\$/h	20	كلفة المشغل الواحد
\$	350640	كلفة المشغلين الاجمالية
\$	49300	كلفة صيانة 8000 ساعة تشغيل
\$	54020.5	كلفة الصيانة الكلية
مشرف	1	عدد المشرفين المطلوب خلال الوردية الواحدة
\$/h	35	كلفة المشرف الواحد
\$	306810	الكلفة الاشراف الاجمالية
\$	711470.5	الكلفة الاجمالية للصيانة والعمالة

#### 5.4.3.6. تكاليف الخدمات (Utilities Costs) :

يبين الجدول رقم (33-6) تفاصيل كلفة الخدمات المقدمة للوحدة (كهرباء - تبريد

باستخدام البروبان - تبريد بالفريون - بخار للتسخين)

الوحدة	كلفة/الساعة	الوحدة	كمية الاستهلاك	الخدمة
\$/h	7.8	KW	101	كهرباء
\$/h	0.13	KLB/H	4.4	تبريد باستخدام البروبان
\$/h	7.1	KLB/H	83.1	تبريد بالفريون
\$/h	76	KLB/H	9.3	بخار @ 100 PSI
\$/h	91			مجموع كلفة الخدمات
\$	797706			اجمالي كلفة الخدمات

#### 6.4.3.6. كلفة التشغيل:

يبين الجدول رقم (34-6) تفاصيل كلفة تشغيل الوحدة الإجمالي :

الوحدة	القيمة	الكلفة
\$	797706	تكاليف الخدمات
\$	54020.5	الكلفة الاجمالية للصيانة
\$	657450	الكلفة الاجمالية للعمالة
\$	164363	رسوم التشغيل
\$	355735	نفقات تشغيل عامة
\$	162372	مصاريف إدارية
\$	2192020	اجمالي تكاليف التشغيل

#### 4.6. المقارنة بين الحالات المدروسة

##### 1.4.6. مقارنة التركيب والكميات الناتجة

##### 1.1.4.6. التركيب:

يبين الجدول رقم (35-6) المقارنة بين النموذجين التقليدي والمعدل من حيث تركيب المنتجات

	(الحالة I)		(الحالة II)	
Sales Gases (mole fraction)	Methane	0.3999	Methane	0.5509
	Ethane	0.3084	Ethane	0.4183
	Propane	0.2700	Propane	0.0010
Propane (mole fraction)	0.9900		0.9842	
LPG (mole fraction)	Propane	0.2913	Propane	0.2789
	i-Butane	0.2322	i-Butane	0.2323
	n-Butane	0.4479	n-Butane	0.4524
	i-Pentane	0.0283	i-Pentane	0.0361
Condensate (mole fraction)	i-Pentane	0.3359	i-Pentane	0.3333
	n-Pentane	0.0213	n-Pentane	0.0217
	n-Hexane	0.3509	n-Hexane	0.3539
	n-Heptane	0.1673	n-Heptane	0.1687
	n-Octane	0.0717	n-Octane	0.0723
	n-Nonane	0.0453	n-Nonane	0.0457

#### 2.1.4.6. الكميات الناتجة:

يبين الجدول رقم (36-6) المقارنة بين النموذجين التقليدي والمعدل من حيث الكميات الناتجة

	(الحالة I)		(الحالة II)	
Sales Gases	Molar Flow [Nm <sup>3</sup> /d(gas)]	28227	Molar Flow [Nm <sup>3</sup> /d(gas)]	20492.7
	Mass Flow [kg/h]	1497	Mass Flow [kg/h]	867.3
Propane	Molar Flow [Nm <sup>3</sup> /d(gas)]	1700	Molar Flow [Nm <sup>3</sup> /d(gas)]	8121
	Mass Flow [kg/h]	139.8	Mass Flow [kg/h]	662.3
LPG	Molar Flow [Nm <sup>3</sup> /d(gas)]	31612	Molar Flow [Nm <sup>3</sup> /d(gas)]	31610
	Mass Flow [kg/h]	3199	Mass Flow [kg/h]	3215
Condensate	Molar Flow [Nm <sup>3</sup> /d(gas)]	46159	Molar Flow [Nm <sup>3</sup> /d(gas)]	45778
	Mass Flow [kg/h]	7488	Mass Flow [kg/h]	7442

#### 2.4.6. مقارنة الطاقة المستهلكة

يبين الجدول رقم (37-6) المقارنة بين النموذجين التقليدي والمعدل من حيث الطاقة المستهلكة

	(الحالة I)	(الحالة II)	نسبة الوفرة في حال استخدام النموذج الجديد
الطاقة الكلية المستهلكة (kj/h)	21697700	15814900	27 %

#### 3.4.6. مقارنة الكلف التشغيلية و رأس المال

يبين الجدول رقم (38-6) المقارنة بين النموذجين التقليدي والمعدل من حيث الكلفة

	(الحالة I)	(الحالة II)	نسبة الوفرة في حال استخدام النموذج الجديد
كلفة رأس المال	6645510	4674190	30 %
كلفة الخدمات	929196	797706	14 %
كلفة التشغيل	2333535	2192020	6 %

## 5.6. مناقشة النتائج:

- غاز التصدير الناتج عن النموذج التقليدي يحتوي على نسبة 27 % من البروبان. أما غاز التصدير الناتج عن النموذج المقترح فلا يحتوي على البروبان مما يجعله أخف نسبياً من ذلك الناتج عن النموذج التقليدي.
- تم الحصول على غاز التصدير في النموذج المقترح بمواصفة أفضل (من حيث التركيب) من التي هي عليه في معمل الجنوب.
- تم الحصول على نفس النسبة المولية للبروبان في النموذجين، لكن يتم فصل كامل كمية البروبان في النموذج الجديد التي تمثل حوالي خمس أضعاف النسبة المستردة في النموذج التقليدي.
- تم الحصول على الغاز المنزلي المسال LPG في النموذجين بنفس التركيب والكمية.
- تم الحصول على المتكاثفات الغازية Condensate في النموذجين بنفس التركيب والكمية.
- هناك فرق ملحوظ في الطاق المستهلكة بين النموذجين، حيث يتم توفير 27 % من الطاقة المستهلكة في النموذج التقليدي التي تساوي 5885070 كيلو جول / ساعة إذا ما استخدمنا لنموذج الجديد.
- يتم توفير مبلغ قدره 1971320 دولار أمريكي من كلفة رأس المال في حال استخدمنا النموذج الجديد.
- سيتم توفير مبلغ قدره 131200 دولار أمريكي سنوياً من كلفة الخدمات المقدمة للوحدة (ماء تبريد، بخار للتسخين، كهرباء) في حال استخدمنا النموذج الجديد.
- سيتم توفير مبلغ قدره 141515 دولار أمريكي سنوياً من إجمالي كلفة التشغيل في حال استخدمنا النموذج الجديد.

## 6.6. المقترحات و التوصيات:

- تطبيق النموذج المعدل كونه يحقق وفر في كلفة التشغيل وكلفة الاستثمار.
- إجراء دراسة لأمثلة الشروط التشغيلية للنموذج المعدل.
- إجراء دراسة جديدة تتضمن الحصول على جميع القطعات من برج تكرير احادي.



## قائمة ببعض المصطلحات العلمية المستخدمة باللغة الإنكليزية

A	
Acid Gas	الغاز الحامضي
Associated gases	غازات مرافقة
C	
Condensate	المتكاثفات
Control valves	صمامات التحكم
Crude oil	نפט خام
D	
Dissolved Gases	غازات منحلة
Distillation	تقطير
Dry	جاف
Dalton's law	قانون دالتون
Dew point	نقطة الندى
E	
Equation of state	معادلة الحالة للغازات المثالية
Equilibrium	التوازن
F	
Foaming	الرغوة
Fractionation	تكرير
G	
Gravitational force	قوة الجاذبية الأرضية
Gas flow rate	معدل تدفق الغاز
I	
Ideal fuel	وقود مثالي
Ideal equilibrium	التوازن المثالي
Ideal gas	غاز مثالي

Inert gas	غاز خامل
L	
Liquefied Petroluem gases ( LPG)	الغازات النفطية المسالة
Liquid flow rate	معدل تدفق السائل
M	
Mist	رذاذ
Momentum	كمية الحركة
N	
Natural gas	غاز طبيعي
Natural gas liquids	سوائل الغازات الطبيعية
Natural gasoline	الغازولين الطبيعي
Non- associated gases	غازات غير مرافقة
Number Reynolds	عدد رينولدز
P	
Pressure gauge	قياس ضغط
Pressure relief valve	رفع صمام الأمان
Pseudocritical	حرارة زائفة
R	
Refrigeration	عملية التبريد
Relative volatility	التطاير النسبي
S	
Section sump or liquid collection	قسم التجميع والتصريف
Simulation	محاكاة
T	
Temperature sensor	جهاز إحساس درجة الحرارة
V	
Volume concentration	التركيز الحجمي
W	
Weight concentration	التركيز الوزني

1. Mokhatab S, W. A. Poe, J. G. Speight, 2006 - Handbook of natural gas transmission and processing, 636p.
2. GPSA, 2004, Engineering Data Book 12th Edition. Tulsa, USA, Gas Processors Suppliers Association.
3. YOUNGER A, 2004-Natural Gas Processing Principles and Technology -Part I.
4. M. M. Mostafa, N. A. EL-Emam, M. A. EL-Shafie and T. M. Aboul-Fotouh, Mining and Petroleum Engineering Department, Al-Azhar University, Cairo, Egypt, 2018,. Upgrade a gas plant to produce LPG by DWC and conventional methods.
5. A. B. Raheem, A. Hassan , S. A. Samsudin, Z. Z. Noor, A. Adebobajo, Faculty of Chemical Engineering, University of Technology ,Malaysia,2015, Comparative Economic Investigation Options for Liquefied Petroleum Gas Production from Natural Gas Liquids.
6. Haili Hu, Hong Jiang, Jiaqiang Jing, Hongyu Pu, Jiatong Tan, Nanjiang Leng, Southwest Petroleum University, China, 2018,. Optimization and Exergy Analysis of Natural Gas Liquid Recovery Processes for the Maximization of Plant Profits.
7. HENRY Z, 1992, Distillation design. McGraw-Hill, New York 722p
8. Reid, R. C.; J. M. Prausnitz, and B. E. Poling, The properties of Gases and liquids," 4th Ed., McGraw Hill, New York, 1987.
9. R. K. SINNOTT, 2005, Coulson & Richardson's Chemical Engineering, Volume 6 'Chemical Engineering Design', Fourth edition 1055p.
10. GPSA (2004). Engineering Data Book, 12th Edition, Section 19 "Fractionation and Absorption". Tulsa,USA, Gas Processors Suppliers Association. II & I: 35.
11. HOLLAND C, 1981, Fundamentals of multicomponent distillation McGraw-Hill, New York 626p.
12. Syrian Gas Company, 2008, South Middle Area Gas Exploitation Project, GTP operating manual.
13. DOUGLAS M, James 1988. Conceptual Design of Chemical Processes. McGraw-Hill, Inc. Section A.3.
14. GPSA 2004. Engineering Data Book 12th Edition, Section 9 Heat Exchangers. Tulsa, USA, Gas Processors Suppliers Association. II & I: 34.
15. Aspen Tech., "jump start: activated economics in aspen plus V8.4", 2016

# **A Design Study of the Fractionation Towers of the Syrian Natural Gas**

## **Abstract:**

The research focused mainly on finding an alternative design method instead of the traditional one that used in the Syrian Arab Republic for natural gas Fractionation Process.

The new design should be economically and operationally feasible.

One of a natural gas fractionation unit located in the Syrian Arab Republic has been simulated by using a chemical processes simulation program (HYSYS), with the same working conditions, flowrates and compositions.

Then, a new edited fractionation unit has been designed to be more feasible than the traditional one.

The invested capital cost, operating cost, and the amount of energy consumed for each units has been calculated , It was found that there is about 30% of the capital cost, 14% of the operating cost, and 27% of the amount of energy consumed is going to be saved if the new modified unit is used

**Key words:** Gas Fractionation Process ,Liquefied Petroleum Gas (LPG) , Simulation ,Design, Distillation, Cost.

Syrian Arab Republic

Al-Baath University

Faculty of Chemical & Petroleum Engineering

Chemical Engineering Section (Refining engineering)



## **A Design Study of the Fractionation Towers of the Syrian Natural Gas**

Study prepared for a master's degree in chemical engineering

Prepared by

Eng.Omar Al-Hmiedy

Supervised by

Dr.Siham Al-youssef

Dr.Salam Saloum

1442/2020