دراسة عملية تحلية الغاز الطبيعي في حقول الجبسة باستخدام الطريقة المركبة و تقييمها اقتصادياً

طالب الماجستير: علاء علي – كلية: هـ ك ب – جامعة البعث

اشراف الدكتور: جان سعد

الملخص:

عملية تحلية الغاز هي عملية إزالة المركبات الغازية الحامضية من تيار الغاز الطبيعي بهدف الحصول على المواصفات المطلوبة للغازات المعدّة للبيع وتلافي مشاكل التآكل في خطوط أنابيب النقل وهناك العديد من التقنيات المستخدمة في تحلية الغاز الطبيعي.

في هذا البحث تحاكى عملية تحلية التيار الغازي المعتبر باستخدام تقنيتين مختلفتين للتحلية وهما التحلية باستخدام المحاليل المائية للأمينات المطبقة في حقول الجبسة والتحلية باستخدام النظام المركب وذلك بمساعدة برنامج المحاكاة (*HYSYS3.2*) من أجل حل المشاكل التي تعاني منها وحدات التحلية العاملة بالمحاليل المائية للأمينات والمتمثلة بالنقاط الرئيسية التالية: الاستهلاك العالي للطاقة وتكاليف التشغيل المرتفعة، وعلاوة على ذلك فإنها غير قابلة للتطبيق تماماً في المنصات البحرية نظراً لحجم ووزن المعدات المطلوبة في العملية، ومن أجل كل حالة دراسة حُسبت التكاليف الأساسية وتكاليف التشغيل لوحدة التحلية باستخدام الطريقة الحسابية التقليدية وبرنامج (*Capcost*) وأخيراً تتم المقارنة بين التكاليف المذكورة أعلاه بغية انتقاء الاختيار الأفضل.

الكلمات المفتاحية:

عملية تحلية الغاز

النظام المركب

التكاليف الأساسية وتكاليف التشغيل

الطريقة الحسابية التقليدية

Study of Natural Gas sweetening process in alJbessa fields by Using hybrid system and economic evaluation

📖 ***Abstract***:

Gas sweetening is an operation of removing of sour gases from natural gas stream to achieve sales gas pipe line specifications and avoiding corrosion problem in transmission pipeline, there are too techniques used in natural gas sweetening range.

In this research, two different specified natural gas streams sweetening techniques are simulated by Hysys 3.2 , first one is Amine sweetening, and second technology is Hybrid system to solve Foaming problem in Amine sweetening units and for Case study purchased equipment cost and bare module cost are calculated by calculated method and Capcost software program. Finally, we choice the best technology after costs compression.

Key Words :

gas sweetening

hybrid system

purchased equipment cost & bare module cost

calculated method

📖 مقدمة:

يعتمد تطور ونمو صناعة الغاز الطبيعي بشكل رئيسي على تطور تكنولوجيا المعالجة و بمعنى آخر على كيفية حل مشاكل المعالجة والنقل وتستخدم طرق مختلفة من أجل تهيئة الغاز الطبيعي للوصول إلى المواصفات المطلوبة لخطوط الأنابيب[1] ومواصفة الغاز المنزلي حيث تتوافر لمهندس التصميم تقنيات مختلفة ابتداء بعملية التجفيف وانتهاء بإزالة المركبات الحامضية من الغاز الطبيعي وتفضل عملية إزالة غاز H_2S من أجل تقليل التآكل وهو ضروري من أجل تحقيق متطلبات الصحة والسلامة في أغلب الحالات ويعتبر غاز H_2S أهم مركب في مجموعته في حين يعتبر كبريت الكاربونيل و CO_2 و المركبتانات أقل أهمية حيث تعتبر عملية الحصول على تحاليل موثوقة لهذه المركبات واحدة من مشاكل التصميم، وتتم إزالة CO_2 من مزيج الغاز الطبيعي المبين تركيبه الكيميائي في الجدول (1) نظراً لتأثيره السلبي على القيمة الحرارية للغاز وعلى الاستخدام التجاري له في حال وجوده بتراكيز عالية.

بمسح مرجعي يتم إجراء مقارنة اقتصادية بين نظامي تحلية الغاز الطبيعي الأول باستخدام المحاليل المائية للأمينات المطبقة في معمل تصنيع الغاز في حقول الجبسة والنظام الثاني هو النظام المركب بمساعدة برنامج (*HYSYS 3.2*)[2]، والقيم الناتجة من (*HYSYS 3.2*) يتم استخدامها في الطريقة الحسابية التقليدية والحاسوبية لحساب تكاليف الاستثمار والتشغيل لوحدات التحلية باستخدام المحاليل المائية للأمينات بهدف إجراء مقارنة بين المعايير المتمثلة بالكلفة الأساسية وكلفة التشغيل.

Component	*Mole Fraction*
H_2S	0.00002
CO_2	0.09987
H_2O	0.00001
C_1	0.721
C_2	0.088
C_3	0.051
iC_4	0.02
nC_4	0.01
iC_5	0.003
nC_5	0.003
nC_6	0.0041
Total	1

الجدول (1)

هدف البحث:

يهدف البحث إلى حل المشاكل التي تعاني منها وحدات التحلية بالمحاليل المائية للأمينات والمتمثلة بالنقاط الرئيسية التالية: الاستهلاك العالي للطاقة وخصوصاً عندما يكون تركيز الغاز الحامضي في تيار الغاز الطبيعي كبيراً، تكاليف التشغيل المرتفعة وذلك عند معدلات التدفق المنخفضة للغاز الطبيعي، وعلاوة على ذلك فإنها غير قابلة للتطبيق تماماً في المنصات البحرية نظراً لحجم ووزن المعدات المطلوبة في العملية وذلك باستخدام النظام المركب (تحلية تيار الغاز بوحدة الأغشية متبوعاً بالتحلية بالمحاليل المائية للأمينات) ، من الأهداف أيضاً تحديد مدى الفائدة المحتملة من "الطريقة المركبة" التي تجمع بين عمليات الفصل بالأغشية والطريقة التقليدية لإزالة الغازات الحمضية(CO_2 وH_2S) من الغاز الطبيعي ويجب إزالة الغازات الحمضية من الغاز الطبيعي من أجل:

1. زيادة القيمة الحرارية من الغاز الطبيعي
2. تقليل حجم نقل الغاز في خطوط الأنابيب

3. تقليل التآكل أثناء نقل وتوزيع الغاز الطبيعي
4. منع التلوث من جراء غاز SO_2 ناتج عن احتراق الغاز المحتوي على H_2S.

طريقة البحث:

نجري دراسة عملية التقييم الاقتصادي للطريقة المركبة لإزالة ما يصل من 10٪ مول من غاز CO_2 و0.002 ٪ مول غاز H_2S من الغاز الطبيعي وتجمع الطريقة الهجينة بين الفصل بالأغشية وامتصاص الغاز بالـ DEA (Diethanolamine) حيث تطبق أولاً طريقة الفصل بالأغشية لإزالة الجزء الأكبر من الغازات الحمضية و بخاصة غاز CO_2 من تيار الغاز الطبيعي في حين يتم تحقيق المواصفات المطلوبة للغاز الطبيعي المنقول خلال خطوط الأنابيب وفق المعايير العالمية (٪2>مول غاز CO_2 و>4 جزء بالمليون غازH_2S) عن طريق امتصاص الغاز باستخدام وحدات التحلية العاملة بالمحاليل المائية للأمينات.

مخطط البحث:

- تقنيات تحلية الغاز الطبيعي
- التحلية باستخدام المحاليل المائية للأمينات والأغشية
- إيجابيات و سلبيات المحاليل المائية للأمينات والأغشية
- إيجابيات النظام المركب
- مخطط المعالجة التمهيدية
- دراسة حالة
- تعريف برنامج المحاكاة (*HYSYS*)
- المعاملات الاقتصادية
- طرق حساب الاستثمار الرئيسي الكلي التقليدية و الحاسوبية باستخدام الCapcost
- النتائج و مناقشتها و المقترحات

📖 تقنيات تحلية الغاز الطبيعي:

تؤثر في عمليات التحلية جملة عوامل تجعل من عملية اختيار التقنية أمراً صعباً [3]:

1- نوع الشوائب الموجودة في الغاز المراد تحليته.

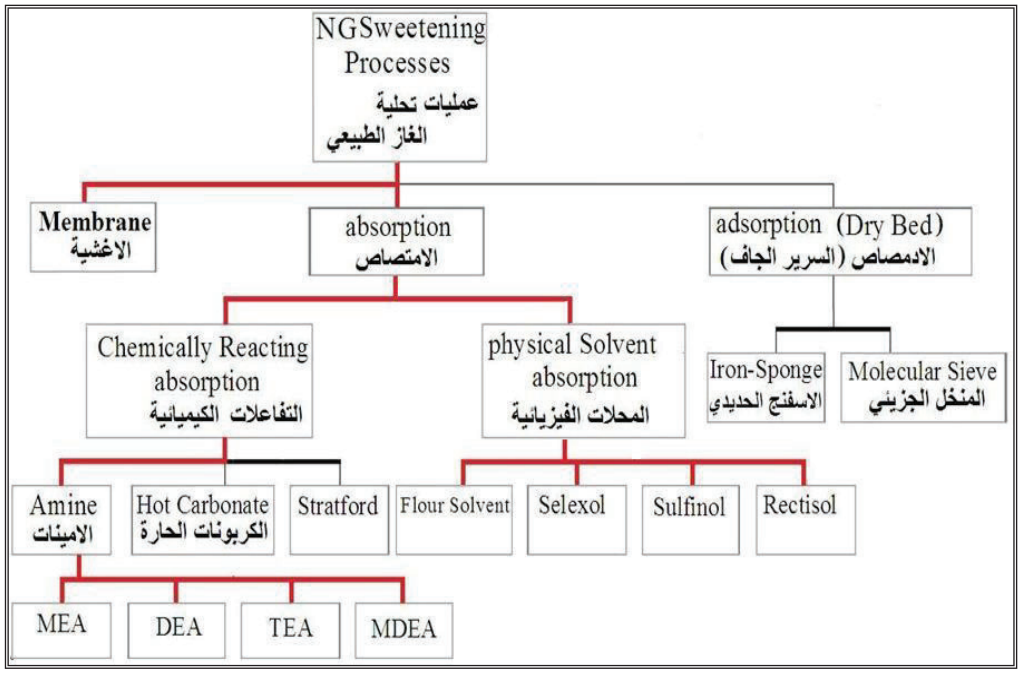
2- تركيب الشوائب والملوثات. 3- درجة الانتقائية المطلوبة.

4- حجم الغاز المطلوب معالجته. 5- دراسة الجدوى من استعادة منتجات العملية.

6- دراسة الجدوى الاقتصادية المرتبطة بالعملية.

7- التركيب الهيدروكربوني للغاز. 8- مواصفات الغاز الحامضي.

9 - درجة الحرارة والضغط التي يتواجد عندها الغاز وشروط التسليم.



الشكل (1)، الطرق المستخدمة في عملية تحلية الغاز الطبيعي

ومن بين تقنيات تحلية الغاز المذكورة أعلاه، تعتبر عملية الامتصاص باستخدام المحاليل المائية للأمينات من أكثرها شيوعاً في صناعة الغاز، حيث يحصل اتصال مباشر بين الغاز الحامضي والمحلول السائل، حيث يقوم المحلول المائي للأمينات بامتصاص الغاز الحامضي المحتوى في التيار الغازي الأمر الذي يؤدي إلى إشباع المحلول السائل

وبالتالي إلى إنتاج غاز محلى [4]، و عند اختيار التقنية يجب تقسيم عملية تحلية الغاز الطبيعي إلى 4 مجموعات: – إزالة غاز CO_2 – إزالة غاز H_2S

– إزالة غازي CO_2 و H_2S – إزالة انتقائية لغاز H_2S و اتباع الخطوات التالية :

1– الاختيار ما بين الطرائق الكيميائية والفيزيائية وعندئذ يجب الأخذ بعين الاعتبار:

1– الضغط الجزئي للغاز الحامضي في التيار الداخل.

2– مواصفات الغاز المنتج. 3– الشوائب في الغاز المنتج.

4– كمية الكبريت المراد إزالتها.

2– في هذه الخطوة يجب أن تحدد النقاط التالية :

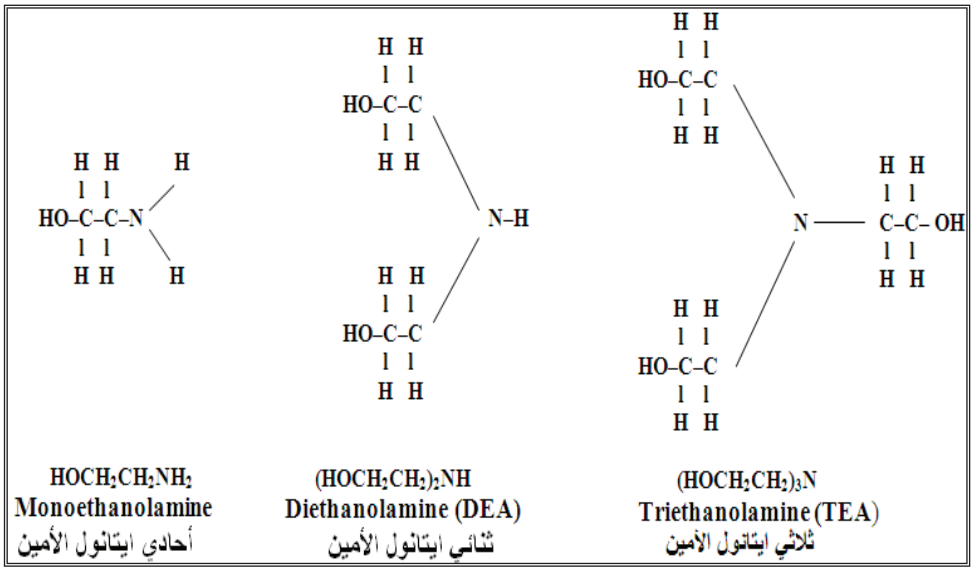
1– تركيب الغاز وفق Claus: وهو عامل مهم في الاختيار وخاصة للغاز الحاوي على H_2S و CO_2 وعندها يتم اتخاذ القرار فيما لو أردنا تطبيق امتصاص انتقائي.

2– معدل تدوير المذيب: و يحدد من خلال كمية الغاز الحامضي المراد إزالتها ومن خلال حمل الغاز الحامضي، فعند استخدام الأمين كمذيب فإن الحمل يحدد من خلال الضغط الجزئي ودرجة حرارة الامتصاص وتحدد قيمة الحمل الأعظمي عملياً عند الوصول لحالة التوازن وعلى أساس مستويات التآكل المقبولة.

3– درجة استهلاك المذيب أو الوسيط .

📖 التحلية باستخدام المحاليل المائية للأمينات:

يتم استخدام المحاليل المائية الأمينات بسبب فعاليتها وتوفرها بتكاليف منخفضة وحققت الـ DEA وبشكل ملحوظ شهرة وموقعاً متميزاً في مجال التحلية[3].



الشكل 2، أهم الأمينات المستخدمة في عملية تحلية الغاز الطبيعي.

عملياً توجد خمس تقنيات لعملية التحلية بالمحاليل المائية للأمينات:

– تقنية المحلول المائي لأحادي إيتانول الأمين(Monoethanolamine) **MEA** والمستخدمة بشكل واسع:

– تقنية المحلول المائي لثنائي إيتانول الأمين(Diethanolamine) **DEA** : واستخدمت تقليدياً بشكل رئيسي في المصافي أو المصانع ولكنها الآن وجدت السبيل للاستخدام في التحلية.

– أنظمة المحلول المائي لثلاثي إيتانول الأمين(Triethanolamine) **TEA**

– نظام ميتيل ثنائي إيتانول الأمين(MonoDiethanolamine) **MDEA** ومن مجمل ما سبق تعتبر تقنيتي MEA وDEA الأكثر تطبيقاً و يعتبر MEA سائل ذو لون نقي ودرجة تبخره 170 ^{o}C عند الضغط 10mm HG في حين تكون درجة تبخر الـ DEA 268^{o}C عند ضغط 760mm Hg و150 ^{o}C عند ضغط 10mm HG وكل من الـ MEA وDEA مركبات ثابتة ومستقرة من الناحية الكيميائية بسبب القدرة على تسخينهما إلى درجتي تبخرهما قبل أن يبدأ بالتحلل في حين يبدأ الـ TEA بالتحلل قبل الوصول إلى درجة تبخره وبالتالي يمكن اعتباره غير ثابت كيميائياً.

ونورد التفاعلات الرئيسية للDEA المعتبر في بحثنا:

Diethanolamine:

H_2S

$$2R_2NH+H_2S \longrightarrow (R_2NH_2)_2S+ H_2S \longrightarrow 2R_2NH_2HS$$

CO_2

$$2R_2NH + H_2O + CO_2 \longrightarrow (R_2NH_2)_2CO_3$$
$$(R_2NH_2)_2CO_3 + H_2O + CO_2 \longrightarrow 2R_2NH_2HCO_3$$

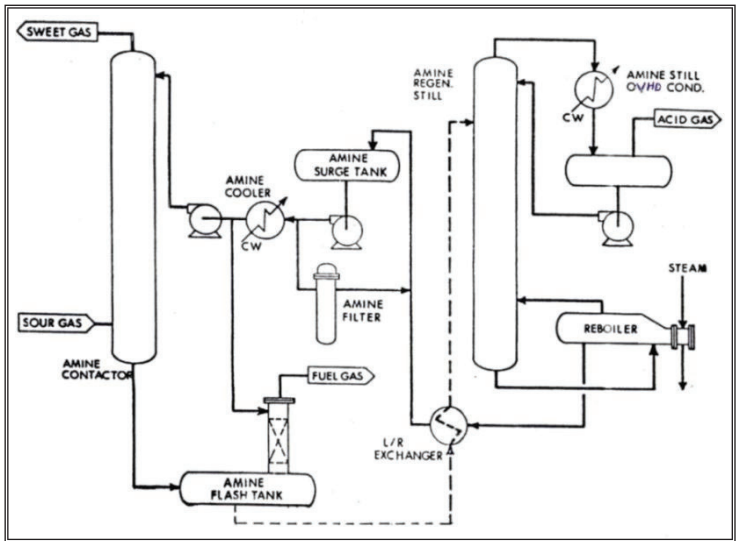
إن الفقد الحجمي لـ MEA أكبر من باقي الأمينات وتعتبر القدرة على الامتصاص وظيفة تابعة لخاصية الوزن الجزيئي كما لأن لـ MEA (Monoethanolamine)فعالية مضاعفة للاحتواء من أي محلول آخر.

📖 وصف العملية:

نصف هنا المخطط التكنولوجي لسير عملية التحلية للوحدات التي تستخدم أحد أنواع الأمينات لامتصاص واسترجاع غازي H_2S وCO_2 ويزال غاز H_2S بالتفاعل الكيميائي والذي يعتبر عكوساً بتطبيق الحرارة و يزال غاز CO_2 من خلال الامتصاص الفيزيائي.

يعتبر المخطط التكنولوجي لوحدة التحلية بالأمينات مشابهاً للمخطط التكنولوجي لوحدة التجفيف بالغليكول وحتى أن المشاكل تعتبر متشابهة (الرغوة، التآكل) إذا لم تتخذ الاحتياطات الضرورية المطلوبة وتطبق المحاليل المائية لأحادي إيتانول الأمين MEA وثنائي إيتانول الأمين DEA بشكل واسع في مجال التحلية .

يتدفق الغاز المراد تنقيته إلى برج الامتصاص ذي الصواني في حين يدخل المحلول المائي للأمينات بدرجة حرارة تتراوح بين (80^oF إلى100^oF) إلى قمة البرج ويتدفق إلى الأسفل من صينية إلى أخرى نازعاً الغاز الحامضي من تيار الغاز المراد تحليته الذي يغادر برج الامتصاص من قمته ومن أسفله يغادر الأمين الغني المشبع بالغاز الحامضي إلى الفاصل الومضي حيث يحصل تخفيض كبير للضغط ويمر من خلال مبادل حيث تزداد حرارة المحلول بعده إلى $180\ ^oF$ إلى $200\ ^oF$ ويدخل إلى الصينية العلوية في برج النزع والذي يحتوي بدوره على صواني ويحتوي في قاعدته على غلاية خارجية والتي هي عنصر تسخين أنبوبي أو مبخر، في حين يحتوي في قمته على مكثف وفاصل ماء.



الشكل (3)، المخطط التكنولوجي لسير عملية التحلية باستخدام المحاليل المائية للأمينات

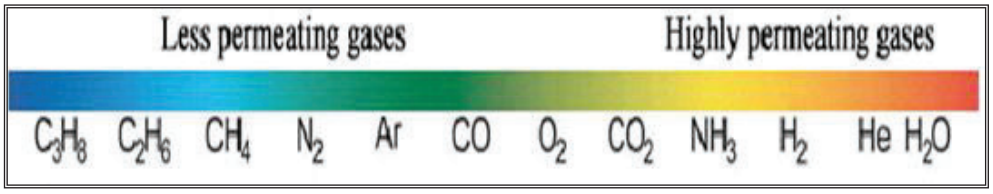
يسحب المحلول الأميني النازل عبر برج النزع إلى الغلاية حيث يسخن إلى درجة حرارة من ^{o}F 230 إلى ^{o}F 240 عبر التماس مع البخار الحار الصاعد من محلول الغلاية ونتيجة لذلك يتحرر الغاز الحامضي من المحلول الأميني ويحمل معه جزءاً من تيار النزع المنشط خارجاً من قمة البرج عبر المكثف حيث يبرد التيار ويكثف ويحدث فصل للتيار المكثف والغاز الحامضي البارد في برج النزع وتعود المتكاثفات إلى قمة برج النزع كراجع بارد في حين يتم حرق الغازات الحامضية على الشعلة أو ترسل إلى وحدة المعالجة اللاحقة ثم يتدفق المحلول الأميني المنشط الحار المنزوع من محتوى الغازات الحامضية من الغلاية إلى المبادل الحراري حيث يتم نقل الحرارة إلى المحلول الأميني المشبع البارد ثم يمر المحلول المنشط إلى المبرد حيث يبرد تدريجياً الى درجة حرارة الجو وبعد ذلك يذهب المحلول المنشط البارد الى خزان التغذية ثم يضخ إلى برج الامتصاص.

🕮 التحلية باستخدام الأغشية:

تستخدم تقنيات الأغشية لإنجاز الفصل وفق النظام مذاب- مذاب، مذاب- مذيب من أجل التطبيقات المختلفة وتتضمن تقنية الأغشية استخدام الغشاء النفوذي أو نصف النفوذي والذي يشكل ممانعة لحركة أجزاء محددة، و بعض العوامل المساهمة في تحقيق الفصل بالغشاءهي:1-الحجم النسبي،2-الشحنةالإلكتروستاتيكية،3-الإنتشارية،4-الشكل.

يسمح الغشاء بشكل تفضيلي لبعض المواد بالمرور عبره في الوقت الذي يمنع مرور مواد أخرى من المرور عبره و يحجزها خلفه، و يعتمد فصل الغاز عبر الأغشية على قاعدة انحلال الغاز في مادة الغشاء وانتشاره عبر الغشاء.

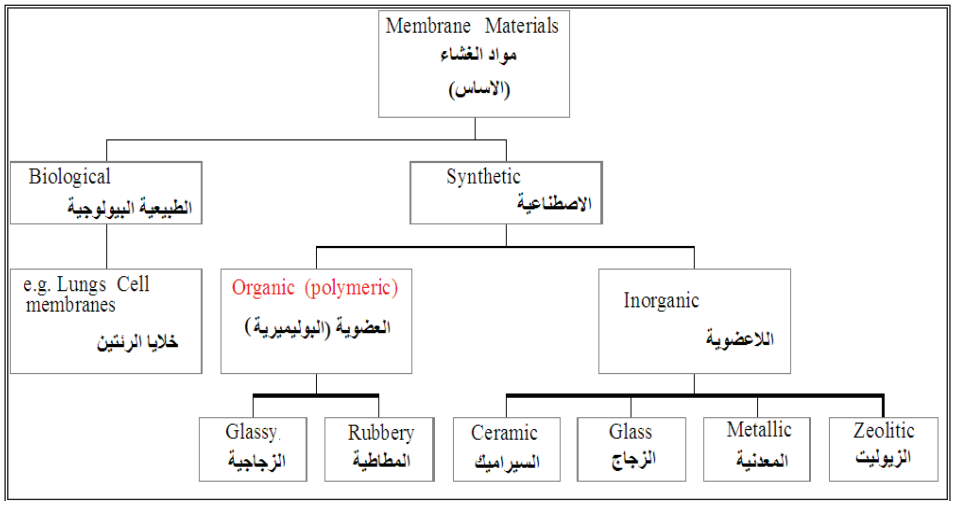
تعبر غازات محددة كثاني أكسيد الكربون و كبريت الهيدروجين وبخار الماء من خلال الغشاء بمعدل أسرع من معدل عبور الهيدروكربونات وذلك نتيجة لاختلاف قيم انحلالية وانتشار هذه المواد عبر الغشاء، وبالتالي يمكن القول أن الاختلاف في معدل نفاذية الغازات عبر الغشاء هو أساس عملية الفصل، وحقيقة الأمر فإن عملية الفصل تتم بفعل الفرق ما بين الضغط الجزئي للمركب عبر الغشاء وهذه الطريقة لا يمكن تطبيقها لوحدها للحصول على مواصفات صارمة للغاز الطبيعي المحلى طبقاً للمعايير العالمية.



(4) الاختلاف في معدل نفاذية الغازات عبر الغشاء.

📖 مواد أساس الغشاء:

يعتبر المكون الأساسي لنظام الفصل باستخدام الغشاء هو الغشاء نفسه، فالغشاء هو عبارة عن حاجز (فاصل) أو طبقة رقيقة والذي يتم من خلاله عبور المذيبات والمذاب بشكل انتقائي ومن الممكن أن يتم تصنيعها من البوليميرات العضوية أو من المواد اللاعضوية مثل الزجاج أو المعادن أو السيراميك أو طبقات من المواد الكيميائية [4].



الشكل (5) الطبيعة المختلفة لمواد الأساس للأغشية.

يمكن تقسيم الأغشية إلى طبيعية و صناعية والأكثر استخداماً من الناحية الصناعية وفي معامل الغاز الطبيعي هي الأغشية ذات الأساس الصناعي و الذي يقسم بدوره إلى:1 – البوليميرية، 2 – المواد اللاعضوية.

و تحدد المتطلبات الرئيسية للأغشية لإستخدامها في كتقنية فصل بما يلي:

1 – نفاذية عالية للمركب المراد إزالته.

2 – انتقائية عالية للمركب المراد إزالته بالعلاقة مع باقي المركبات.

3 – ثباتية عالية للغشاء بوجود كل مركبات الغاز.

4 – التناسق: حيث يجب أن يكون خالياً من الثقوب الصغيرة والعيوب الأخرى.

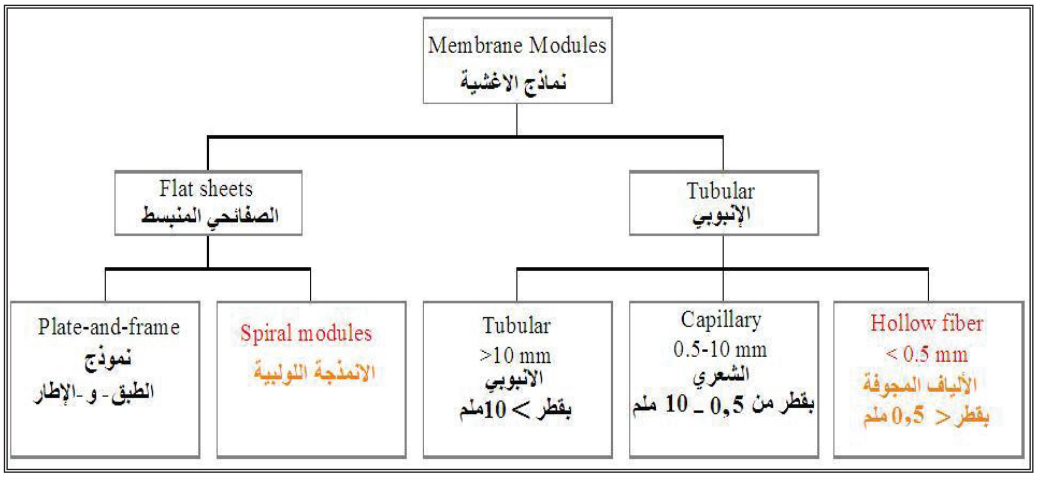
5 – سماكة فعالة قليلة للجزء الفعال من الغشاء للتأكد من النفاذية العالية.

6 – قوة فيزيائية لمقاومة معدل ظروف التشغيل المطلوبة.

تعتمد البنود 1 إلى 3 بشكل رئيسي بالأساس المستخدم في تصنيع الغشاء، في حين ترتبط البنود من 4 إلى 6 بطريقة التصنيع.

نماذج الأغشية :

المفتاح الأساسي لتقنيات الغشاء هو هندسة الغشاء في المعدة الحقيقية والتي توفر له الغطاء والشروط الهيدروديناميكية المناسبة ومن الممكن أن تكون الأغشية بعدة نماذج يمكن أن نذكر منها: 1 – نظام الخلية المتهيج، 2 – نموذج التدفق الصفيحي المستوي، 3 – نظام الغشاء الأنبوبي، 4 – نموذج الغشاء اللولبي، 5 – نموذج الغشاء الليفي المجوف و الأكثر من تشكيلات الأغشية شيوعاً هي النماذج اللولبية و هي المراد العمل على در استها و تطبيقها من البحث في حقول الجبسة و الألياف المجوفة بسبب كثافة التحميل العالية .



الشكل (6)، أهم نماذج الأغشية.

إيجابيات و سلبيات المحاليل المائية للأمينات والأغشية

بداية يمكن القول بأن الأغشية كانت محصورة الاستخدام بتيارات الغاز الطبيعي ذات معدلات التدفق القليلة أو ذات المحتوى العالي من CO_2 ومع تقدم التكنولوجيا فإن مجاله أخذ يتسع ليشمل مجالات أكبر من الغاز ولنضوج هذه التكنولوجيا يمكن الوقوف وإجراء نظرة شاملة لنقاط قوة وضعف هذه التقنية مقابل تقنية الأمينات المعروفة جيداً[5].

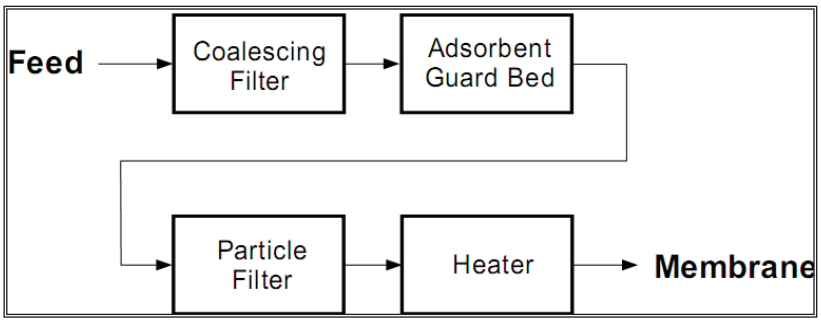
إيجابيات النظام المركب :

يمتلك تركيب نظام الأغشية بمرحلة واحدة قبل وحدة الأمينات تأثيراً ايجابياً [5] حيث أن وجوده يزيل مواطن عيوب وحدة الأمينات ويصبح النظام المركب أقل كلفة لبنائه وتشغيله

ويكون ذو مرونة أكبر لمواجهة التغيرات في شروط تيار الغاز، وتعتمد المقارنة بشكل رئيسي على الغاز الطبيعي وشروط التشغيل والقيم الاقتصادية وموقع المجموعة حيث يعتبر مهماً فهم المواقع التي يفضل في كل منها تطبيق طريقة مركبة معينة.

📖 مخطط المعالجة التمهيدية :

يحتوي الغاز الطبيعي على آلاف الشوائب التي تقلل بشكل كبير من فعالية الغشاء وتزيد بالتالي من عدد مرات استبدال الغشاء، حيث تعتبر قضية استبدال الغشاء من العوامل المؤثرة جداً وخصوصاً على تكاليف التشغيل لذا اتخذت الصناعة الحديثة منحى تقليل هذه الكلفة من خلال إنشاء مرحلة المعالجة التمهيدية [5].

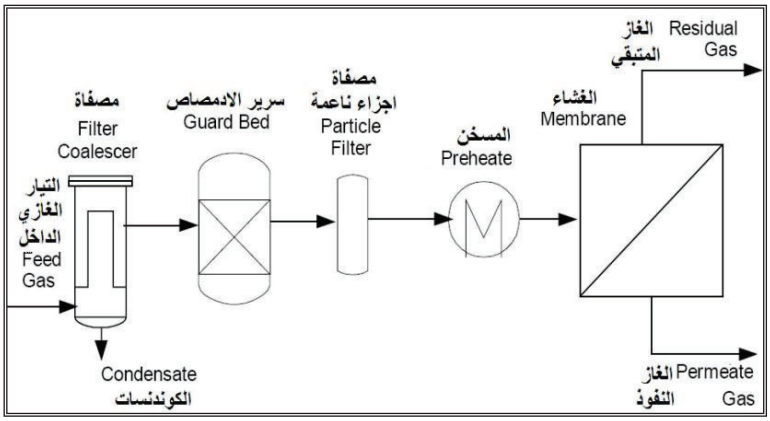


الشكل (7)، مرحلة المعالجة التمهيدية.

يزيل فلتر الترقيد (*coalescing filter*) [6] الأجزاء الصلبة المحمولة مع الغاز وأثار السوائل الحرة المتبقية والتي قد تتجمع في حال وجودها على سطح الغشاء وتقلل من انتقال المادة ومن نفاذية الغازات السريعة والنتيجة تكون بتقليل سعة النظام، كما يستخدم سرير الكربون الفعال (*adsorbent guard bed*) لإزالة الأجزاء الهيدروكربونية الثقيلة والمتضمنة أيضاً زيوت التزليق، كما يستخدم الفلتر الجزيئي (*particle filter*) لإزالة الأجزاء الناعمة والغبار التي قد تعبر من خلال السرير وعادة ما يوظف المسخن (*heater*) من أجل تقديم درجة حرارة مناسبة للغاز العابر للغشاء.

📖 مخطط التدفق في نظام الأغشية :

تعتبر الوحدة أحادية المرحلة أبسط تطبيق لتكنولوجيا الأغشية المستخدمة في إزالة غاز CO_2 حيث يدخل الغاز المسخن مسبقاً ذو الضغط العالي إلى الوحدة .



الشكل (8)، الوحدة أحادية المرحلة.

يصل الجزء المتبقي من التيار الغازي ذي الضغط العالي إلى وحدات المعالجة اللاحقة أو إلى خطوط الأنابيب، أما الجزء النفوذ ذي الضغط المنخفض يصرف إلى الجو أو يحرق أو يجمع بحيث يتم استخدامه كغاز وقود ذي طاقة حرارية قليلة إلى متوسطة، وبما أن النظام لا يحتوي على أي أجزاء متحركة لذا سوف يعمل النظام مع اهتمام بسيط من المشغل وطالما أن التيار الغازي الداخل خالي من الشوائب فإن العناصر تجعل النظام موثوقاً بشكل كبير لمدة خمس سنين وأكثر ويعتبر تشغيله غير مكلف.

📖 دراسة حالة:

اقترحت الطريقة المركبة لإزالة الغازات الحمضية من الغاز الطبيعي الخام نظرياً ومع ذلك فقد أنجزت معظم هذه الدراسات من أجل ظروف عمل محددة، ولم تقدم معلومات كافية عن حسابات تصميم العملية والافتراضات الاقتصادية، وبالتالي هدف هذا العمل إتمام الدراسات السابقة و مناقشة الطريقة الهجينة لإزالة الغازات الحمضية من الغاز الطبيعي من وجهة النظر الاقتصادية للوصول بمحتوى تيار الغاز الطبيعي المنتج الذي يلبي مواصفات خط الأنابيب ومقارنتها بالمحاليل المائية للأمينات.

مخبرياً يعتبر تركيز الغاز الحامضي في تيار الغاز الطبيعي المأخوذ من حقول الجبسة ما مجموعه 9.5 ٪ مول CO_2 و20 جزء بالمليون H_2S قاعدة للتقييم الاقتصادي. مع العلم أن معدل تدفق تيار التغذية 26.2 MMSCFD وضغط الدخل 90 بار.

📖 تعريف برنامج المحاكاة (*HYSYS*) [2]:

برنامج (*HYSYS*) هو عبارة عن أداة تستعمل لمحاكاة أي نوع من العمليات التي تمتاز بتدفق مستمر للمادة والطاقة من وحدة معالجة إلى أخرى، ففي الآونة الأخيرة استعمل بشكل واسع في نمذجة عمليات الصناعة الكيميائية و البتروكيميائية والمصافي وعمليات معالجة النفط والغاز ووحدات توليد الطاقة. حيث تستعمل نماذج العملية في كل المراحل التي تتضمنها دورة حياة وحدات العملية وذلك بدءاً من إعداد العملية إلى تصميم وتشغيل الوحدة حيث يتضمن الدخل إلى النموذج المعطيات والمعلومات المحتواة في مخطط العملية ;كضغط و درجة حرارة و تدفق تيار الغاز الطبيعي المراد تحليته و تركيبه الكيميائي الموضح بالشكل (1) في حين يمثل الخرج من النموذج عرضاً كاملاً لأدائية الوحدة متضمناً التركيب الكيميائي ومعدلات التدفق للغاز المحلى و للمحلول الاميني المستخدم في العملية وأدائية وحدات العملية.

أثناء نمذجة العملية، يمكن تكوين نموذج الـ (*HYSYS*) مباشرة عند توفر المخطط التصويري للعملية. ويمكن تحسين هذا النموذج في حال الحصول على معلومات أكثر حول العملية. حتى في المراحل المبكرة جداً، قد يستعمل النموذج المشكل بغية التقييم الاقتصادي الأولي للعملية ودراسة تأثير التغييرات التقنية على الجدوى الاقتصادية.

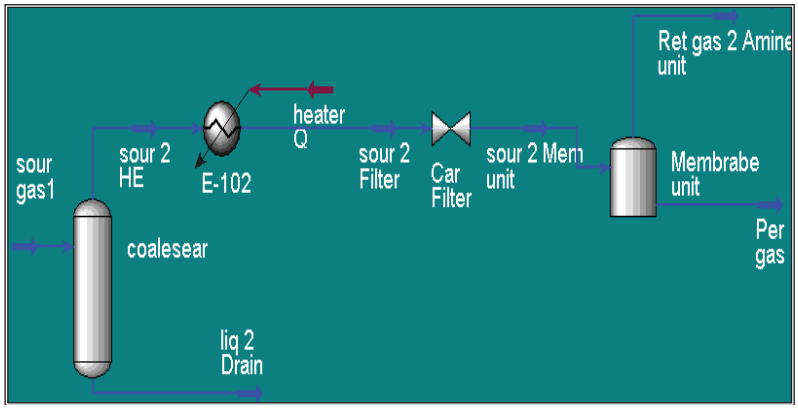
أثناء تصميم العملية وعندما يتم أخذ القرار بتشييد وحدة جديدة أو بتحديث الوحدة الحالية يمكن أن يستعمل نموذج الـ (*HYSYS*) للتحقق من مدى تباعد الشروط التشغيلية عن الشروط التصميمية ولتقييم مرونة الوحدة بهدف معالجة تيارات التغذية المختلفة. وعلاوة على ذلك يمكن أن تتفادى دراسات النمذجة الأخطاء المكلفة قبل تركيب معدات وتجهيزات الوحدة. ويستعمل مهندسو العمليات نموذج المحاكاة لتحسين تصميم العملية عن طريق تشكيل سلسلة من دراسات الحالة للتأكد بأن الوحدة سوف تعمل بشكل صحيح ضمن مجال واسع من الشروط التشغيلية.

أما في الوحدات الموجودة (الحالية) يمكن أن يعمل نموذج الـ (*HYSYS*) كأداة مساعدة قوية لمهندسي العمليات لتحسين عمليات تشغيل الوحدة، ولزيادة المردود والطاقة الإنتاجية للوحدة وللتقليل من استهلاك الطاقة، و كمثال من البحث تم ادخال مواصفات

الغاز الطبيعي المراد تحليته و بالضغط90 بار و الحرارة 60 درجة مئوية الى وحدة المعالجة المسبقة الموضحة في الشكل (9) و ذلك للحصول على تخفيض لنسبة الشوائب المساعدة على تشكل الرغوة مع الحفاظ على التركيب الكيميائي للغاز و الذي ستنخفض فيه نسبة غاز ثاني اكسيد الكربون بعد مروره في وحدة الاغشية التي تقع على التسلسل بعد وحدة المعالجة المسبقة.

كما يمكن أن يستخدم النموذج في توجيه عملية تشغيل الوحدة بغية تخفيض التكاليف ولتحسين إنتاجية العملية. أخيراً يمكن أن يستعمل النموذج لدراسة التعديلات المحتملة بغية تحسين أدائية الوحدة لدمج تقنية متقدمة مثل وسيط كيميائي محسن أو مذيب جديد أو وحدات عمليات إضافية.

النتيجة التي توصلنا اليها من استخدام البرنامج هو الحصول على قيمة ابعاد المعدات المستخدمة في عملية التحلية من اجل ادخالها في معادلات الجدوى الاقتصادية.



الشكل (9)، وحدة المعالجة التمهيدية و تليها وحدة الاغشية.

المعاملات الاقتصادية:

وفيما يلي موجز والمعايير المستخدمة في التقييم الاقتصادي لعملية الفصل بالغشاء وعمليات امتصاص الغاز باستخدام المحاليل المائية للأمينات حيث تم تحديد اقتصاديات الطريقة المركبة عن طريق الاستفادة المثلى من اشتراك تقنيتي الغشاء وامتصاص الغاز.

فرضياً إن تكلفة عناصر الغشاء 5$ للقدم المربع(~54$ للمتر المربع من مساحة الغشاء) وتفترض جميع التقييمات الاقتصادية المذكورة أدناه مجموع استهلاك سنوي 10٪ و12٪عائد على رأس المال المستثمر و بما أن المعاملات الاقتصادية المستخدمة تخضع لتغيرات كبيرة فقد تمّ إجراء دراسات لتحديد حساسية تكاليف عملية الفصل في ظل المتغيرات الاقتصادية والتشغيلية التالية: 1. تركيز CO_2 في تيار الدخل ،2.تركيز H_2S في تيار التغذية،3. معدل تدفق تيار الدخل،4.ضغط تيار التغذية،5. تكلفة خسارة CH_4، 6. نفاذية CO_2 ، انتقائية CO_2/CH_4، 7. العمر المتوقع والسماكة الفعالة وتكلفة استبدال الأغشية.

يعتمد التقييم الاقتصادي لأي عملية فصل على المنهجية المستخدمة، وعلى القيم المخصصة للمعاملات الاقتصادية ولذلك تكون نتائج التقييم الاقتصادي لعملية الفصل المعطاة من قبل الباحثين متنوعة بشكل كبير عن بعضها البعض وهذا أمر متوقع، وذلك نتيجة للاختلافات في التكاليف المفترضة للمواد الخام والمعدات (على سبيل المثال).

📖 طرق حساب الاستثمار الرئيسي الكلي[7]:

📄 الطريقة الحسابية التقليدية لحساب كلفة الأغشية :

✓ الاستثمار الرئيسي الكلي total cost investment (TCI):

- كلفة النموذج النفاذ =5$ لكل قدم مربع (~54$ لكل متر ربع).
- كلفة الضاغط (المركب)=$\$33,400x(HP/10)^{0.72}$

الاستثمار الرئيسي الكلي = كلفة النموذج النفاذ+ كلفة الضاغط

✓ كلفة التشغيل الكلية total operating cost (TOC) :

- كلفة الاسترداد الرئيسية = 0.277x(TCI).
- فقدان الميتان =2 $ / مليون قدم مكعب قياسي.
- كلفة استبدال عنصر الغشاء=5 $ لكل قدم مربع(~54$لكل متر مربع).
- كلفة الطاقة =0.05 $ لكل كيلو وات ساعي.
- كلفة اليد العاملة = 15$ لكل ساعة.
- كلفة الصيانة =0.05*(TCI)

- حساب نفقات التشغيل =كلفة استبدال عنصر الغشاء+ كلفة الطاقة+ كلفة اليد العاملة+ كلفة الصيانة

كلفة التشغيل الكلية = نفقات التشغيل+ كلفة الاسترداد الرئيسية + فقدان الميتان

الطريقة الحسابية التقليدية لحساب كلفة المحاليل المائية للأمينات:

ونأخذ مثالاً عليها حساب كلفة برج الامتصاص فالظروف التشغيلية المطلوبة للتصميم:

- المذيب المستخدم: التركيز الوزني لثنائي إيتانول أمين (DEA) هو 30%
- عدد مراحل التوازن النظري:7.
- الضغط التصميمي:1.2 من قيمة ضغط الدخل
- عدد الصواني :16 صينية البعد بين كل صينيتين متعاقبتين 24 انش

تعطى كلفة برج امتصاص الغاز متضمنة التركيب و الملحقات بالمعادلة التالية:

$$C_a = C_b * fm + C_{pl} + N_T * C_{bt} * F_{TM} * F_{NT} * F_{TT}$$

C_a : كلفة برج الامتصاص،

C_b : كلفة هيكل برج الامتصاص، وتعطى بالعلاقة التالية:

$$C_b = 1.545 \exp [6.329 + 0.18255 (\ln Ws) + 0.02297 (\ln Ws)^2]$$

Ws: وزن هيكل برج الامتصاص، و يحسب ضمن المجال [4250 lb-980000lb] بالعلاقة التالية:

$$W_s = \pi D_i(L_t + 0.8116 D_i)T_s \rho_s$$

Ts: سماكة الهيكل بالقدم،

ρ_s: كثافة المعدن=490 ليبرة / قدم مكعب،

F_m: عامل كلفة مادة إنشاء معدن هيكل برج الامتصاص،

Fm =1(carbon steel) , 1.7 (SS304)

C_{pl}: كلفة المنصات و السلالم $C_{pl} = 182.0 D_i^{0.7396} L_i^{0.70684}$

Di: القطر الداخلي للهيكل بمجال من 2 الى 21 قدم،

L_t: طول البرج الكلي بمجال من 27 إلى 40 قدم ،

N_T: عدد الصواني المنخلية،

C_{bt}: كلفة كل صينية منخلية $Di = 430.1 \exp (0.1739D)$،

D: قطر الصينية بمجال من 2 إلى 16 قدم،

F_{TM}: عامل الكلفة لمادة الإنشاء

sieve trays = $1.189 + 0.0577\ D_i$ (for SS304)

F_{NT}: عامل كلفة عدد الصواني $(N_T<20) = 2.25/(1.0414)^{N_T}$،

F_{TT}: عامل كلفة نوع الصينية من أجل الصواني المنخلية = 0.85.

📖 تحاليل الكلفة لعملية الامتصاص:

تبنى التحاليل على الطريقة الموصوفة من قبل (Peters and Timmerhaus) وفقاً لما تعبر عنه المكونات المختلفة لتكاليف الاستثمار الرئيسي كنسبة من كلفة المعدات المشتراة وفق التالي :

الاستثمار الرئيسي الكلي:

1 الكلف المباشرة :

- كلفة المعدة المشتراة=PEC معطاة من الملحق أ،
- التركيب=0.47 PEC،
- الأجهزة الدقيقة والمتحكمات=0.18 PEC،
- خطوط أنابيب العمليات=0.66 PEC،
- الكهرباء =0.11 PEC،
- البناء متضمنة الخدمات=0.18 PEC،
- تحسينات الموقع=0.1 PEC،
- تسهيلات الخدمة =0.7 PEC،
- كلفة المذيبات PS،
- الكلفة المباشرة=3.4 PEC،

الكلفة المباشرة الكلية =3.4 PEC+PS

2 الكلف غير المباشرة

- الهندسة والمراقبة =0.33 PEC،
- نفقة الإنشاء =0.41 PEC،

الكلف غير المباشرة الكلية 0.74 PEC=TIC

الكلف الكلية و تساوي مجموع الكلف المباشرة و غير المباشرة.

📖 طريقة البرامج الحاسوبية لحساب الكلفة[8]:

يستخدم برنامج *Capcost* لتقييم تكاليف رأس المال الثابت للعمليات، ففي الآونة الأخيرة تم استخدام عامل التكلفة لتحديث تكلفة عمليات إنتاج الغاز، فهذا البرنامج مكتوب وفق بيئة برمجة مايكروسوفت ويندوز، حيث يتطلب البرنامج من المستخدم إدخال المعلومات عن المعدات المستخدمة فعلى سبيل المثال القدرة، وضغط التشغيل، ومواد الإنشاء و يطلب معلومات أخرى مثل اسم ملف الإخراج وعدد الوحدات، وقبل استخدام *Capcost*، يجب أن تتوافر بعض المعلومات اللازمة لتقدير تكلفة المعدات مثلاً منطقة التبادل الحراري للمبادلات، وحجم الخزانات الومضية والفواصل، وحجم الأبراج.

📖 النتائج و مناقشتها:

يظهر الجدول(2) النتائج التي تم التوصل اليها من العمل على الغاز الطبيعي المنتج في حقول الجبسة .

المركب الكيميائي	الغاز الحامضي الكسر المولي	الغاز المباع والمحلى بالعملية التقليدية الكسر المولي	الغاز المباع والمحلى بالعملية المركبة الكسر المولي
الميتان	0.721	0.797893	0.808926
الإيتان	0.088	0.098779	0.097572
البروبان	0.051	0.055559	0.05193
ايزو البوتان	0.02	0.022263	0.020791
نظامي البوتان	0.01	0.011132	0.010395
ايزو البنتان	0.003	0.003339	0.002079
نظامي البنتان	0.003	0.003339	0.002079
نظامي الهكسان	0.0041	0.005562	0.004157
ثنائي أكسيد الكربون	0.09987	0.001148	0.00104
كبريت الهيدروجين	0.00002	0.000001	0
الماء	0.00001	0.000985	0.001031

الجدول (2)، التركيب الكيميائي للغاز الطبيعي المحلى بالطريقة التقليدية والمركبة.

و يظهر الجدول (3) نتائج البحث عند تطبيق الطريقة المركبة و الطريقة التقليدية و تأثيرها على حجم المعدات.

المعدة	المعاملات		عملية التحلية في الحالة الأولى (التقليدية)	عملية التحلية في الحالة الثانية(الهجينة)	
برج الإمتصاص	عدد الصواني	18	192593.12	10	94088.385
	نوع الصينية	مثقبة		مثقبة	
	قطر المقطع م	1.524		0.9144	
	ارتفاع الحاجز ملم	50.8		50.8	
	طول الحاجز ملم	1367		512.4	
برج التنشيط	عدد الصواني	18	137642.094	10	71133.594
	نوع الصينية	مثقبة		مثقبة	
	قطر المقطع م	1.524		0.9144	
	ارتفاع الحاجز ملم	50.8		50.8	
	طول الحاجز ملم	1367		723.8	
المبرد	$LMTD$فهرنهايت	92.06	43351.10286	36.04	14380.903
	معامل التبادل الحراري Q و ح ب/ ساعة	$1.899*10^7$		$1.096*10^7$	
المبادل الحراري	$LMTD$فهرنهايت	37.6	14580.40045	72.65	4596.283
	UA و ب/ف* ساعة	$3.172*10^5$		$5.280*10^4$	

	معامل التبادل الحراري Q و ح ب/ ساعة	$1.258*10^7$		$3.838*10^6$	
الفاصل الومضي	الحجم م^3	17.82	67314.4828	7.4	45005.845
	القطر م	1.829		1.5	
	الارتفاع م	6.783		4.188	
المضخات	الضغط بالمتر	859.3	24395.22542	876.4	13517.585
الفلاتر	التدفق م^3/ساعة	100	3000	42.14	1700
المجمع المفلتر	الحجم م^3		0	13.1	83377.935
	القطر م		0	1.829	
	الارتفاع م		0	4.987	
المسخن	$LMTD$فهرنهايت		0	16.954	2408.926
	معامل التبادل الحراري Q		0	$1.162*10^5$	
	و ح ب/ ساعة		0		
الفلاتر	التدفق م^3/ساعة		0	78.55	2200
عنصر الغشاء	المساحة م^2		0	2667	144018
المجموع$			482876.4255		476427.455

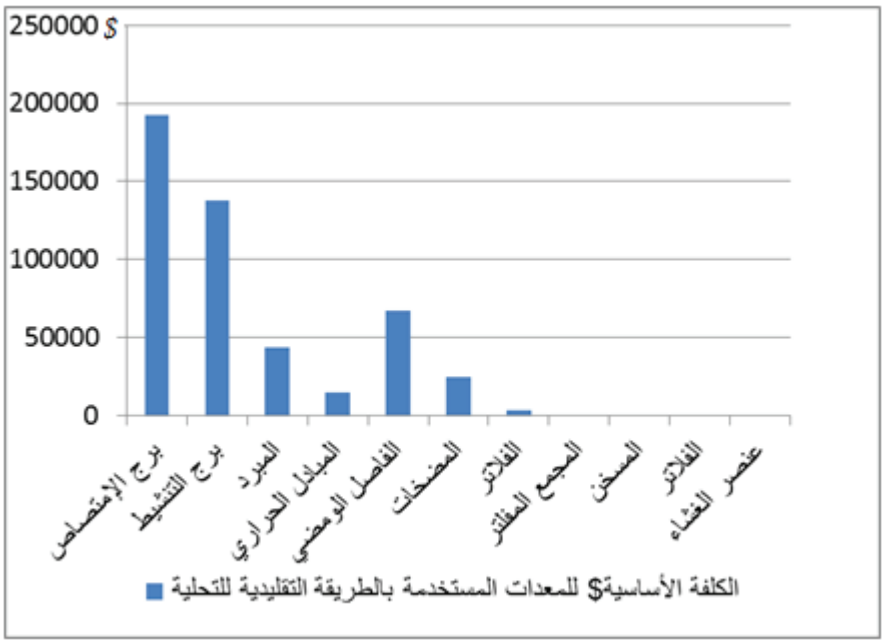
الجدول (3) نتائج البحث لناحيث ابعاد و مواصفات المعدات

تلعب نسبة الغازات الحامضية في الغاز الطبيعي دوراً كبيراً في حجم المعدات ، و نأخذ مثالاً برج الامتصاص حيث يؤدي الانخفاض في نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون إلى تقليل عدد الصواني بمقدار 8 صواني وإلى تقليل طول البرج بمقدار 16 قدم و هذا ما يؤدي إلى تقليص سعر البرج بمقدار 48.5 % ،أي بمقدار 98505$.

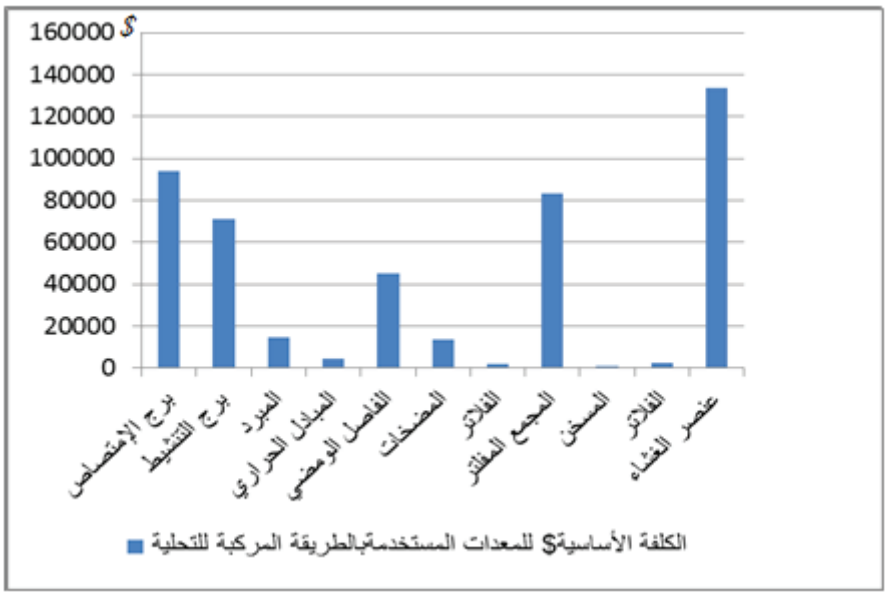
المعدة	المعاملات	عملية التحلية بالأمينات في الحالة الأولى (التقليدية)	عملية التحلية بالأمينات والأغشية في الحالة الثانية (الهجينة)
برج الامتصاص	عدد الصواني	18	10
	نوع الصينية	مثقبة	مثقبة
	قطر المقطع، (م)	1.524	0.9144
	ارتفاع الحاجز، ملم (ملم)	50.8	50.8
	طول البرج، (م)	14.63	9.75
التكلفة ($)		192593.1	94088.385

الجدول(4)، كلفة برج الامتصاص المستخدم في عملية التحلية التقليدية وعملية التحلية المركبة وفق الطريقة الحسابية التقليدية.

وبالنظر إلى المخططين البيانيين التاليين (1) و(2) سنلاحظ وكما في حالة برج الامتصاص أن هناك انخفاض في الكلفة الأساسية للمعدات المستخدمة.



المخطط (1)، كلفة المعدات المستخدمة في وحدات التحلية التقليدية



المخطط (2)، كلفة المعدات المستخدمة في وحدات التحلية المركبة

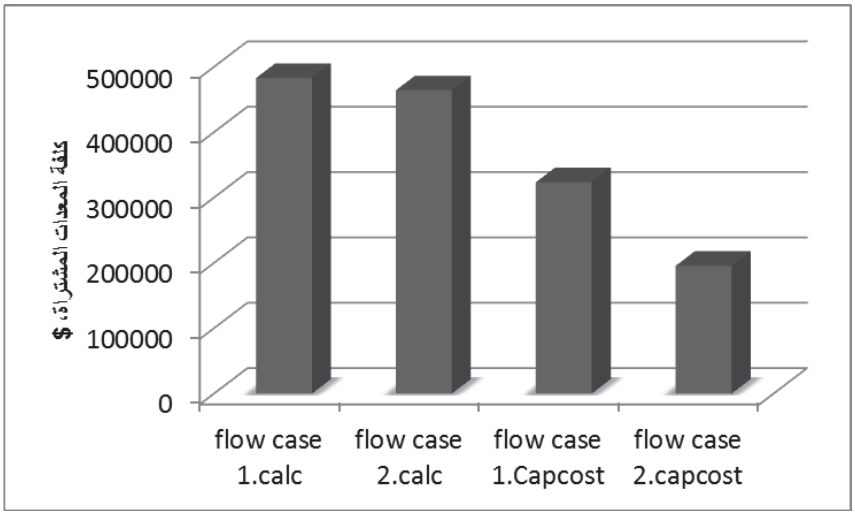
وبالمقابل من برنامج *Capcost* نحصل على النتائج التالية بالنسبة لبرج الامتصاص:

Adsorber	وصف البرج	الارتفاع	القطر	مادةانشاء البرج	الضغط	الكلفةالأساسية للمعدات	كلفة التشغيل
	Tower Description	Height (meters)	Diameter (meters)	Tower MOC	Pressure (barg)	Purchased Equipment Cost$	Bare Module Cost$
Case 1 Amine system T 101	18 Stainless Steel Sieve Trays	14.6	1.52	Carbon Steel	108	62800	1020000
Case 2 Hybrid system T 201	10 Stainless Steel Sieve Trays	9.75	0.914	Carbon Steel	108	23100	251000

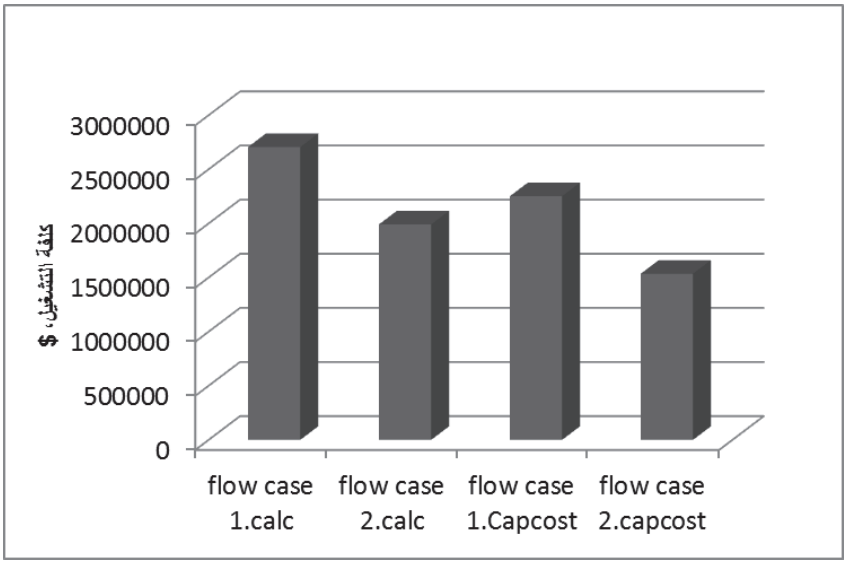
الجدول (5)، كلفة برج الامتصاص المستخدم في عملية التحلية التقليدية وعملية التحلية المركبة وفق برنامج *Capcost*.

يمكن برنامج *Capcost* من تقديم كلفة التشغيل وذلك لكل معدة على حدة في حين نحصل عليها بشكل كامل لكل الوحدة من خلال الطريقة التقليدية، نلاحظ انخفاض في الكلفة الأساسية بمقدار 39700$ وانخفاض في كلفة التشغيل بمقدار 769000 $.

ويمكن تلخيص مجمل النتائج لمعيار الكلفة الأساسية للمعدات المستخدمة في طريقتي التحلية (التقليدية والمركبة) من خلال المخطط (3) ولمعيار كلفة التشغيل من خلال المخطط (4).



المخطط (3)، الكلفة الأساسية للمعدات المستخدمة في طريقتي التحلية (التقليدية والمركبة) وفق الطريقة الحسابية وبرنامج *Capcost*.



المخطط (4)، كلفة التشغيل في وحدات التحلية (التقليدية والمركبة) وفق الطريقة الحسابية وبرنامج *Capcost*.

المقترحات :

و مما سبق من ذكر النتائج و مناقشتها نتوصل الى مايلي :

1–يؤدي إدخال الغاز المحلى جزئياً باستخدام وحدة الأغشية إلى تخفيض كلفة المعدات الأساسية في وحدة الأمينات بمقدار النصف تقريباً فيما لو قورنت مع الكلفة فيما لو تمت تحلية الغاز بدون وحدة الأغشية فيما يتبع ذلك من تخفيض في كلفة الغاز المعالج.

2– تبين المعطيات الاقتصادية الناتجة حسب برنامج ال Capcost (أسعار عام 2009) أن سعر المعدات المشتراة (الكلفة المباشرة الأساسية) لتحقيق مواصفات الغاز المباع المطلوبة تعتبر أقل في حالة تحلية الغاز الطبيعي باستخدام الطريقة المركبة بالمقارنة مع طريقة التحلية باستخدام المحاليل المائية للأمينات وتعتبر أيضاً كلفة معالجة الغاز باستخدام الطريقة المركبة أقل.

3–من نتائج الغاز المحلى نجد أن نسبة الميتان ازدادت عند تحلية الغاز باستخدام الطريقة المركبة بنسبة تصل ل1% و هي نسبة تزيد من كفاءة المرحلة التالية في معالجة الغاز و المتمثلة بمرحلة التقطير حيث تزداد لدينا نسبة الميتان المرسل للعنفات الغازية العاملة لتوليد الطاقة الكهربائية و بكلام اخر الحصول على ناتج اكبر من الكهرباء بازدياد نسبة الميتان وهذا يعتبر مؤشراً جيداً و قوياً ومشجعاً على استخدام الطريقة المركبة لعملية التحلية وخصوصاً بعد الوصول لنتائج اقتصادية مشجعة حول عملية تطبيقها و عليه يقترح بتطبيق الطريقة المركبة في تحلية الغاز الطبيعي في حقول الجبسة.

المراجع

1 **GPSA Gas Processing Handbook**
2 **www.hyprotech.com**
3 **"Amine Sweetening",** Isaac Jerges ,TriStar،(Rev. 0) Mar. 2007
4 **"Membrane separation processes"** RGhosh/ChemEng/McMaster/4M03/2005-06
5 **"Hybrid Systems: Combining Technologies Leads to More Efficient Gas Conditioning"**, William Echt UOP LLC
6 Hayan petroleum company, **Gas Processing plant/stage 3/ operation manual**
7 **"hybrid process for the removal of acid gases from natural gas"** B.D.Bhide , A.Voskericyan , S.A.Stern
8 **www.capcost.com ,** Steps in using CAPCOST from the CD in the 2nd edition of Turton et al.