Comprehensive Journal of Science
Volume (9), Issue (36), (Sept 2025)
ISSN: 3014-6266

مجلة العلوم الشاملة
المجلد(9) ملحق العدد (36) (سبتمبر 2025)
ردمد: 3014-6266

دراسة هندسية لتحسين أداء وحدة تجفيف الغاز الطبيعي باستخدام ثلاثي إيثيلين جلايكول: وتصميم منظومة تجفيف للغاز الطبيعي في مجمع مليتة الصناعي "غرب ليبيا"

أحمد ميلاد أبو سروال

كلية التقنية الهندسية / زوارة

قسم هندسة النفط.

تاريخ الاستلام:2025/8/23 –تاريخ المراجعة: 2025/9/24– تاريخ القبول: 2025/10/4– تاريخ للنشر : 2025 /10/10

الملخص:

يهدف هذا البحث إلى تصميم عملية تجفيف للغاز الطبيعي باستخدام ثلاثي إيثيل جلايكول (TEG) لتطبيقها في مجمع مليتة الصناعي، وذلك بخفض محتوى بخار الماء في الغاز إلى مستويات تتوافق مع مواصفات التصدير ومتطلبات المعالجة اللاحقة، مع الحد من تكوّن الهيدرات ومظاهر التآكل داخل خطوط الأنابيب.

تم إجراء مراجعة شاملة للدراسات السابقة وتتبع توصياتها التقنية واستخلاص النتائج المهمة لتقييم كفاءة وموثوقية عملية التجفيف باستخدام .TEG كما تم تصميم وحدة تجفيف بطاقة 60 مليون قدم مكعب قياسي يوميًا (60 MMscf/d) كنموذج محاكاة يمكن اعتماده في تصميم مشروع واسع النطاق داخل مجمع مليتة.

ونظرًا لارتفاع معدلات الإنتاج في المجمع، تُعد تقنية التجفيف باستخدام TEG حلاً فعالًا لتحقيق مواصفات غاز عالية الجودة، وزيادة موثوقية التشغيل في بيئة غازية بحرية، إضافة إلى تبسيط أعمال الصيانة وتقليل التكاليف التشغيلية، مع إمكانية معالجة كميات كبيرة من الغاز المنتج يوميًا .

الكلمات الرئيسية

تجفيف الغاز الطبيعي، الهيدرات ، نقطة الندي ،الامتصاص ،الامتزاز، TEG .

Abstract

This study presents the design of a natural gas dehydration process using Triethylene Glycol (TEG) for application at the Mellitah Complex. The primary objective is to reduce the water vapor content in natural gas streams to levels that satisfy export specifications and downstream processing requirements, while preventing hydrate formation and corrosion within pipeline networks.

An extensive review of previous studies was carried out, following their technical recommendations and extracting critical insights to assess the efficiency and reliability of TEG-based dehydration systems. A dehydration unit with a design capacity of 60 MMscf/d was developed, serving as a simulation model for a large-scale system that could be implemented at the Mellitah industrial facilities.

Given the high production rates in Mellitah, TEG dehydration represents an efficient and practical solution for achieving high-purity gas, enhancing operational reliability in offshore gas environments,

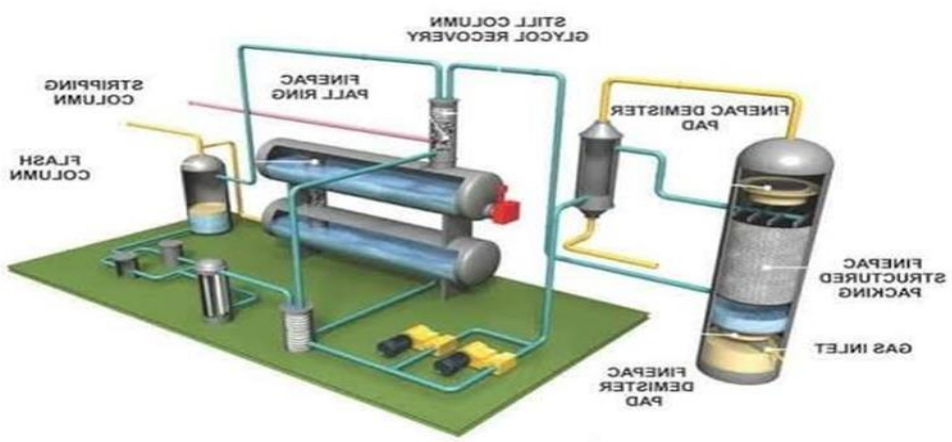
simplifying maintenance procedures, and reducing operating costs. The process also enables the daily treatment of substantially larger quantities of produced natural gas.

مقدمة:

تزايد الاهتمام بالغاز طبيعي من خلال السنوات الماضية وأخذ يحتل مكانا مميزا على مستوى العالم كأحد مصادر الطاقة النظيفة ، وذلك يرجع إلي الوعي العالمي بخصوص تلوث البيئة ، والعواقب المترتبة على صحة الإنسان ، إضافة إلى تواجد احتياطات كبيرة من الغاز الطبيعي في هذه الدول يجب استغلالها ، وأيضا إضافة إلى تمتعه بتركيب كيميائي بسيط واحتراق سهل ونضيف واستخدامه الواسع في مجال الصناعات البتروكيميائية حيث أنه يتطلب معالجة سهلة وبسيطة مقارنة بمصادر الطاقة الأخرى.

وكما نعلم أن الغاز طبيعي يحتوي بالإضافة للمركبات الهيدروكربونية على بعض الشوائب الميكانيكية والغازات غير الهيدروكربونية مثل (co2–H2s)و التي تسبب في العديد من المشاكل وتسيء إلى المواصفات المثلى للغاز، كما أنها تحتوي أيضاً عمليا في الشروط النظامية على كميات محددة من بخار الماء تتراوح بين40/m3n–20g/m3 بالإضافة إلى كميات ناتجة من عمليات المعالجة السابقة (التحلية) حيث تعتبر من أصعب المشاكل بسبب تشكل الهيدرات، من هنا حتى أتت عملية الإحاطة بعمليات تجفيف الغاز من أثار بخار الماء وذلك باستخدام مجموعة من التقنيات إما باستخدام المجففات الصلبة (solid desiccants) أو المجففات السائلة(desiccants liquid)، حيث تعتبر رطوبة الغازات الطبيعية من أهم العوامل في تكنولوجيا معالجة الغاز حيث تهدف عمليات التصميم التكنولوجية لأنظمة التجفيف بشكل رئيسي على تحديد التركيز الأصغر (TEG) المستخدم ومعدل دورانه ووزنه وأبعاد برج تجفيف المستخدم (طول – قصر –عدد الصواني)اكما في الشكل التصميمي الموضح (الشكل 1–5) ومن هنا قمنا في هذه الورقة بدراسة موضوع التجفيف على الغاز المعالج في محطة مليتا غرب ليبيا وذلك باستخدام مادة(TEG) وهي رمز(تلاتي إيثيلين الجليكول)كما تم التركيز على الأمور التصميمية لوحدة التجفيف والتي تهدف بشكل رئيسي إلى تحديد أبعاد البرج كمان ذكرنا آنفًا .

الشكل (5_1) وحدة التجفيف(Natural Gas Dehydration Unit



الدراسات السابقة.

- **Optimization of triethylane glycol dehydration of natural gas**

نشرت هذه الدراسة في نوفمبر 2019 حيث تم التحسين باستخدام برنامج محاكاة **Aspen hysys** وأداه المحسن لتقليل تكلفة المعالجة حيث تم فيه أيضا توفير وإيجاد تكلفة الحد الأدنى من المعالجة وتكلفة المرافق ورأس المال.

- دراسة أخرى أجراها **Dr. ministe obonukut** حيث نشرت في مجلة لندن للأبحاث الهندسية(**المجلد 22 العدد 1العام 2022 simlation (and optimazition of a natural gas dehydration plant with triethylene gly col** , تناولت هذه الدراسة عملية تجفيف الغاز طبيعي وتجنب تكون الهيدرات وثم استخدام محاكاة عن طريق برامج **Design – Expert – Aspe Hysys** على التوالي واستخدم المحاكاة استعمال جليكول ونبغ روبنسون كحزمة مائع ترامودايناميكية حيث أشارت هذه الدراسة إلى أن تقنية TEGأثبتت جدارها وأنها الأفضل وكذلك أوصت على أن لا تتجاوز درجة حرارة مرجل إعادة توليد TEG 206c حيث يتحلل TEG عندها وهي أقل بكثير من درجة الغليان البالغة 285C أيضا أوصت لكي تكون هذه العملية مثلي يجب أن تكون درجة الحرارة والضغط ومعدل التدفق في ألغاز الرطب 25 م، 6320 كيلو باسكال، 1883 كجم مول/ساعة على التوالي وبذلك يتم تحديد أقصى إنتاجية.
- دراسة أخرى نشرت عام 2023
- **gas dehydration plant Using of a new gas ejector for a TEG/TREG natural**

تناقش تحسين نظام التجفيف للغاز وكيفية الاستفادة منه من TEG/TREG
عبر التفريغ في عملية التجديد

- كذلك دراسة أخرى نشرت (عام 2017 إبريل العدد 19 المجلد 2) في ليبيا تناقش تجفيف الغاز طبيعي باستخدام MEG TEG ,مع ذكر حقول ليبيا كمثال لعنوان الدراسة أو الورقة

Natural gas dehydration process by mono & triethylene – glycol (case cbya) حيث تضمنت هذه الدراسة استخدام وحدات تلاتي الإيثلين جليكول (TEG) وأحادي إيثلين جليكول (MEG) لتجفيف الغاز من خلال نوعين، وحدات امتصاص TEG ، حقن MEGوخلصت الدراسة إلى أن أفضل خيار لتجفيف الغاز الطبيعي وأكثر المعدات شيوعا لإزالة الماء من الغاز.

- **دراسات أخرى وأبحاث في تركيبة الغاز طبيعي في ليبيا**

- **Libyan gas composition analysis and prediction** دراسة تحليلية ركزت على بيانات تركيب الغاز الطبيعي في ليبيا(313 عينة + 60 حديثة)وحاولت توقع التركيب.
- **Country analysis brief Libya u.s energy in formation(EIA)** تقرير يوفر بيانات و خلفية عامة عن قطاع الغاز الطبيعي في ليبيا بما في ذلك الاحتياطات والتنقيب
- **Evalution of correlations for Libyan natural gas compressibility**

دراسة أيضا نشرت عام 2015 تتناول العلاقة بين خصائص الغاز الليبي والتي تتطلب معرفة (z – factor)وتركيب الغاز.

منهجية الدارسة (مبدأ العمل)

تعتمد عملية التجفيف على الامتزاز الكيميائي لبخار الماء بواسطة (TEG)عبر برج الامتصاص (Absorber)حيث يتلامس الغاز الرطب مع TEG النقي.

بعد امتصاص الماء يتم إرسال TEGالمشبع إلى منظومة التجديد (Regeneration) لإزالة الماء واستعادة فعاليته ثم يعاد استخدامه في دورة مستمرة.

العمليات الرئيسية لآلية عمل هذه الطريقة :-

- **دخول الغاز الرطب**

يدخل الغاز إلى البرج تحت ضغط تشغيلي عالي ودرجة حرارة متحكم بها

- **برج امتصاص**

الغاز يتدفق من الأسفل إلى الأعلي,– ال TEG يتدفق من الأعلى إلى الأسفل – يتم امتصاص بخار الماء داخل طبقة التعبئة (packing)

- **فصل الغاز الجاف**

يخرج الغاز من أعلى البرج بعد الوصول لمستوى التجفيف المطلوب

- **فصل TEG المشبع**

يتم إرسال TEG الغني بالماء إلى خزان فصل وفصل الغاز المصاحب له

- **وحدة التجديد**

تسخين TEG لإزالة الماء – مبادل حراري، برج التجديد (still column) مبخر (Reboiler) ومكثف

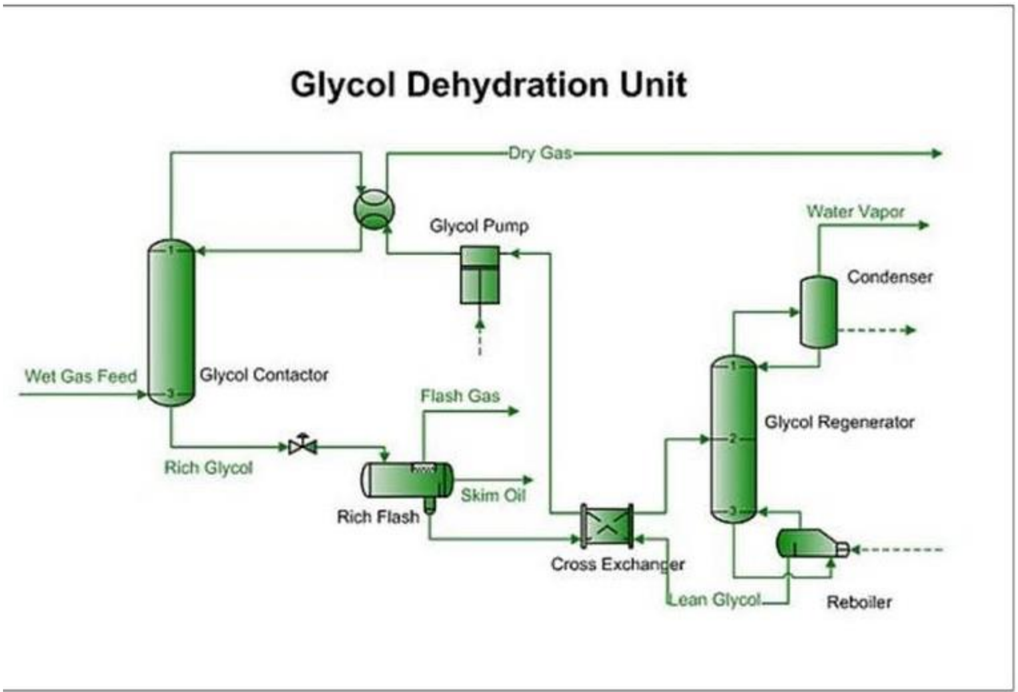
- **إعادة الضخ**

يتم تبريد وإعادة ضخ TEG النقي إلى البرج ، الشكل (1).

شكل (1) لبرج تجفيف للغاز

اعتبارات التصميم الرئيسية (النتائج والحسابات

حيث يتم ذلك بناء على معدل تدفق الغاز في وحدة التجفيف الغاز حيث تم اختيار المواصفات المعمول بها في كثير من عمليات التصميم وأيضا على خصائص ومكونات الحقول ذات التراكيب الغازية التي ربما تكون مختلفة من بيئة إلى أخرى أو دولة إلى أخرى ومواد الحقل بحري أو بري .وفي الجدول (1-1)مكونات الغازالطبيعي ، حيث الكمية المراد تجفيفها حوالي 60mmscf/dمعدل تدفق الغاز بناء على مراجع وابحاث على حقل مليتا وتوقع كمية المكونات وكذلك آلية تكوين تصميم نموذجي لهذه العملية .



افترضنا على اساس تصميمي علمي شروط التجفيف كالتالي

جدول (1-1)

P=913.74psia

T=113F.

q=60.mmscf/d

هذا التصميم سيتم فيه تعيين أو إيجاد ما يلي:

– تعيين تركيز (TEG) الحصول على ($7lb_{water/MMscf}$)في التيار الغازي المتدفق الخارج من برج تجفيف

– تعيين عدد الصواني أو ارتفاع عمود التجفيف أو ما يسمى بالحشوة الإنشائية في بعض الأحيان اللازم تركيبها داخل برج التجفيف للحصول على نقطة الندى المطلوبة للتيار الغازي

-إيجاد قطر التجفيف اللازم لإنجاح هذه العملية وإنشاؤها بالمواصفات المطلوبة حيث أن شروط عمل برج التجفيف من ضغط ودرجة حرارة ومعدل تدفق كما ذكرنا سابقا بناء على ابحاث من مصادر حول مجمع مليته.

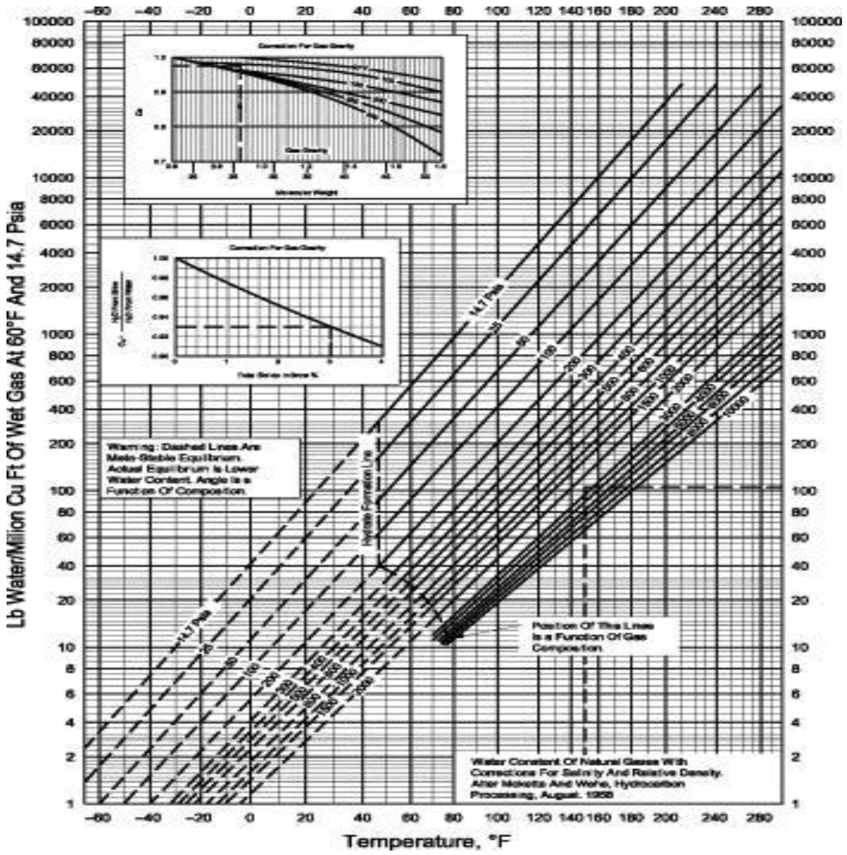
أولا- الحسابات العملية.

حيث تم إجراؤها على المزيج وتم تحديد الكثافة النوعية أو النسبة للمزيج الغازي وكذلك معامل الانضغاطية z – factor

حيث تم إيجاد معامل الإنضغاطية (compressibility factor)$z = 0.998$

والكثافة النوعية(Real relative density) $\& = 0.6051$

- تحديد تركيز(TEG) المطلوب وذلك الحصول على (7 lbwater/mmscf)في الغاز المتدفق الخارج من برج التجفيف نجد من الشكل (2-5) أن نقطة الندى المكافئة للمحتوى ($7lb_{water/MMscf}$)وذلك عند الضغط $p = 913.7psia$
  Dew (H_2o point =29F).



الشكل (2-5)

ومع الأخذ بعين الاعتبار قيمة التوازن الذي يمكن بلوغه (10f)نجد أن التركيز المطلوب(TEG = 99.1wt%)

حساب عدد مراحل التوازن (N).

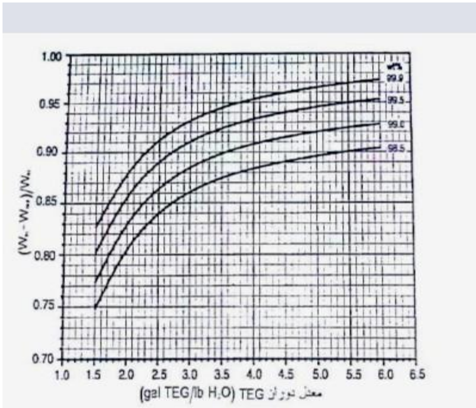
لحساب عدد مراحل التوازن نقوم بالآتي:-

أولا حساب كفاءة إزالتي الماء من الشكل (2−5)وذلك مقابل شروط عمل التجفيف من الوزن المعلومة من P.T حيث T = 113f. P =913.74psia

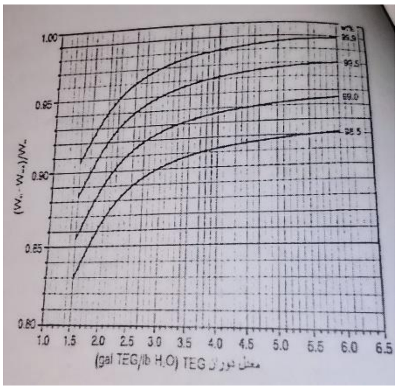
نجد أن ($win = 91lb_{water /MMscf}$) ومن ذلك المعادلة المعروفة يكون

Win – wout /win =91−7/91 =0.923

من الشكل (3−5) وعنده معدل الدوران [3gal TEG /16H2o]والتركيز هو (TEG=99.1wt%)نجد أن win−wout/win =0.89



الشكل(3−5) عند N=1.5



الشكل(4−5) عند N=2

من الشكل (4−5)وعنده معدل دوران (TEG = 99.1wt) (3gal TEG/lbH2o)سوف نجد أن win – wout /win = 0.93

من هنا سوف يتم استعمال(N=2)

- بما أن الكفاءة الكلية 25% العينة الواحدة هذا يعني عمليا أن عدد مراحل التوازن (N = 2)تكافئ (8)ثواني البعد فيما بينها يساوي (24) إذا أن

(N=2).تكافئ عمليا عمود تجفيف بارتفاع. 10ft

- معرفة أو إيجاد أبعاد برج التجفيف;

- إيجاد الكتلة المولية الظاهرية للمزيج الغازي (mm)

Mm = & *28.96 =0.6015 *28.96 =17.54 lb/lb.mel

- إيجاد حتى تدفق الكتلة في الشروط القياسية (m)

M = ps . Qs =59.4132*10 / 379.3*24*3600*17.54 =31.78 lb/sec

- إيجاد كثافة مزيج الغاز في شروط التصميم (pm)

Pm = p.Mm/Zm.Ru.T =913.74*17.74 /0.998*10.73*572.67 =2.631 lb/ft3

- إيجاد التدفق الحجمي v

V = m/pm = 31.78/2.612 = 12.167 ft3/sec

- إيجاد السرعة الحدية للغاز

Vt=k.pl – pq / pg = 0.16*69.6−2.612/2.612 =0.812ft/sec

الآن سوف يتم تحديد قطر برج التجفيف بجهاز بسواني من العلاقة التالية

A=v/vt = 12.167/0.812 = 14.984ft3

(Ds =√ 4.A/TL = √(4 × 14.984 / πL=

ft 4.1369

سيتم تحديد قطر برج التجفيف الجاهز بحشوة إنشائية من العلاقة التالية

Ds = (Bubble cap / Structured)$^{0.5}$

Bubble cap = (567 / 1200)$^{0.5}$ × 4.1369=

ft 3.0277

حيث أن من وظيفة الحشوة الإنتاجية زيادة مساحة السطح التلامس بين الغاز و TEG وتقليل فقدان ضغط البرج ورفع كفاءة التجفيف.

- **النتائج والتوصيات**

تستدعى المؤشرات التكنو الاقتصادية ضرورة تجفيف الغاز طبيعي وذلك للآتي:-

- منع تشكل الهيدرات وبالتالي تجنب انسداد خطوط الأنابيب والأجهزة السطحية الأخرى.
- لتجنب مشاكل تآكل وذلك حال احتواء الغاز الطبيعي على غازات حمضية.
- يمكن أن يشكل وجود الماء السائل في أنابيب نقل الغاز أحد أهم الأسباب الرئيسية حدوث الجريان الدفقي (slugging fluw) مخفض كفاءة خط الأنابيب.
- من الدراسات السابقة والحسابات الحقلية يمكن اعتماد الاعتبارات الآتية;

-استخدام EGالاختبارات الأفضل لأنه يحقق أكبر انخفاض في نقطة الندى

-يستخدم EGفي حماية الخزانات والأجهزة الموجودة في تماس مع العناصر الهيدروكربونية.

-إذا أخذنا في الاعتبار الفاقد الناج من التبخر (vaporilation losses)من المستحسن استخدام (TEG)(DEG) بسبب ضغوطهم البخارية المنخفضة(dehydrators)

- تمتاز أبراج التجفيف (Glycol) التي تستخدم (TEG)مقارنة مع طرق التجفيف الأخرى(بالتبريد، الانضغاط ثم التبريد والامتصاص بالمميزات التالية;

1- كلفة اقتصادية منخفضة للأجهزة الأولية .

2 – هبوط بسيط للضغط على طول أبراج الامتصاص

3– يفترض أن لو تم استخدام هذه الطريقة أن أبعاد المجفف المصمم في محطة مليتا هي التالية;

قطر المجفف أكبر، وارتفاع قسم التجفيف أكبر، عدد الصوان أكثر بناء على القدرة الإنتاجية لشركة مليتا ولذلك وبالمقارنة مع النتائج التي تحصلنا عليها في تصميم على أساس شروط تشغيلية الحالية نجد أننا حصلنا على عدد صواني أقل

وارتفاع أقل وقطر أقل وهذا يعود اللي بناء حساباتنا التصميمية على الشروط التشغيلية لتصميم محطة نموذجية وأن الزيادة في القطر والارتفاع وعدد الصواني في مليتا ينبئنا بإمكانية زيادة طاقة عمل المجفف بزيادة تدفق الغاز بقيم أكبر لما لهذا النموذج التصميمي من مزايا قد ذكرت آنفاً من أهمها انخفاض التكلفة والمحافظة على جودة الغاز وكذلك كفاءة العملية ومنع تكوين الهيدرات وكذلك التقليل من التآكل.

وفي الختام نرجو من الله أن نكون قد وفقنا في إنجاح هذه الورقة بما يخدم بلدنا وإخواننا من المهندسين العاملين في مجال الغاز في ليبيا ،العالم

المراجع العلمية

1. Engineering data book 15thed
2. gas processing supplies association, tulsa ,ok1987
3. Arnold K. and Steward M Surface production operations Gulf Publishing Houston TX, 1989, Vol2
4. Abdel-Aal H.K. Surface Petroleum Operations Publishing and Distributing House – Jeddah, 1988.
5. Sivalls C.R Glycol Dehydration Design Manual Odessa, TX, 1976
6. Campbell J.M Gas Conditioning and Processing Campbell Vault, Norman OK, 1978.
7. موقع شركة مليتا لنفط والغاز الصفحة العامة، مشاريع الغاز .
8. إعلان مناقصة دراسة منظومة تجفيف ثنائي /ثلاثي الإيثلين جلايكول (TEG) مشروع صبراتة
9. مقالات ومنشورات المؤسسة الوطنية للنفط

10-أوراق جامعية ورسائل ماجستير /دكتوراه في الجامعات الليبية (جامعة الأسمرية جامعة الزاوية)

11-أطروحات /بحوث عربية مثل بحث/ مشروع طلاب عن تجفيف الغاز في محطة الآر آ ك باستخدام TEG-جامعة سورية/ عربية .

12-متناول عربي /تقني عن معالجة الغاز –تقرير النبك الدولي (نسخة عربية)إرشادات بشأن معالجة الغاز.

- **مراجع لتركيبة الغاز طبيعي في ليبيا**

Libyan Gas Composition Analysis and prediction.

دراسة تحليلية ركزت على بيانات تركيب الغاز طبيعي في ليبيا (313 عينة +60حديث) محاولة توقع التركيب باستخدام مثلثات النسب.

Country Analysis Brief: Libya — U.S. Energy Information (EIA)

تقرير يوفر بيانات و خلفية عامة عن قطاع الغاز الطبيعي في ليبيا بما في ذلك الاحتياطات والتنقيب

Evaluation of Correlations for Libyan Natural Gas Compressibility

دراسة نشرت عام 2016 تتناول العلاقة بين خصائص الغاز الليبي والتي تتطلب معرفة(Z-Factor) تركيب الغاز.