



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

جامعة الشيخ عبدالله البدري

كلية الهندسة – قسم الميكانيكا

بحث لنيل درجة البكالوريوس في قسم الميكانيكا

عنوان البحث:

طرق إسالة وتعبئة الغازات

Methods of liquefying and filling gases

**\*\*إعداد الطلاب:\*\***

محمد المصطفى جعفر ابوالقاسم

محمد الفاتح فرج الله

رامي بخيت السر

**\*\*إشراف:\*\***

د. عماد الدين محمود

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الآية

قال تعالى:

(إِنَّا عَرَضْنَا الْأَمَانَةَ عَلَى السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ وَالْجِبَالِ فَأَبَيْنَ أَنْ يَحْمِلْنَهَا وَأَشْفَقْنَ مِنْهَا وَحَمَلَهَا الْإِنْسَانُ  
إِنَّهُ كَانَ ظَلُومًا جَهُولًا)

سورة الأحزاب، الآية (72)

## الفهرس

| رقم الصفحة | عنوان الصفحة                                            |
|------------|---------------------------------------------------------|
|            | الآية                                                   |
|            | الفهرس                                                  |
| ii         | المحتويات                                               |
| iii        | المحتويات                                               |
| iv         | الإهداء                                                 |
| ix         | الملخص باللغة الإنجليزية                                |
|            | المستخلص                                                |
| ١          | الباب الأول: مقدمة عامة                                 |
| ٢          | 1.1 التبريد (النظرية) للاندماج والانتقاء                |
| ٢          | 1.2 التبريد الديناميكي                                  |
| ٣          | 1.2.1 الدورة                                            |
| ٤          | 1.2.2 المكثفات                                          |
| ٦-٥        | 1.2.3 مكونات دورة إسالة الغازات                         |
| ١٢         | الباب الثاني                                            |
| ١٣         | 2. تصميم دورة إسالة الغازات                             |
| ١٤         | 2.1 أهداف التصميم (الإنتاج + النامية الفنية والاقتصادي) |
| ١٥         | 2.2 حسابات التصميم (تحديد متوسط كثافة القوة)            |
| ١٦-        | - رسومات للدورة والمكونات الأساسية                      |

|                                        |        |
|----------------------------------------|--------|
| الباب الثالث                           | ١٧     |
| 3. نماذج لمصانع أساله الغاز            | ١٨     |
| 3.1 شركة أنابيب البترول عطبرة          | ١٩     |
| 3.2 مصنع الغاز المسال السكة حديد عطبرة | ٢٢-٢٠  |
| الفصل الرابع                           | ٢٣     |
| المناقشة وتحليل                        | ٢٤     |
| تحليل البيانات                         | ٢٥     |
| نتائج الدراسة                          | ٣٣-    |
| الفصل الخامس                           | ٣٤     |
| الخلاصة والتوصيات                      | ٣٦-٣٩- |
| الفصل السادس                           | ٤٠     |
| المراجع والاستبيان                     |        |

## الإهداء

إلى من لا مثيل لهم في الكون، إلى من أمرنا الله ببرهم، إلى من أعطونا الكثير وقدموا ما لا يُرد، إليكم آبائنا وأمهاتنا الأعزاء، نهدي هذا البحث. كنتم دائماً أفضل داعمين لنا طوال مسيرتنا الأكاديمية. إليكم نهدي هذا الجهد وهذا البحث، فقد كنتم دائماً مصدر إلهام لنا، نسير على خطاكم ونتتبع علمكم. شكراً جزيلاً لكم على ما قدمتموه لنا طوال دراستنا وإتمامنا لهذا البحث. إلى أسمى معاني العطاء الإنساني، نهدي ثمرة جهدنا المتمثل في هذا البحث المتواضع، آملين أن نكون مصدر فخر لكم..

"مجموعة البحث"

## شكر وتقدير

أولاً، نتوجه بخالص الشكر لله عز وجل على عونه الكبير لنا، فهو الذي مهد لنا الطريق وسهل لنا الصعاب للوصول إلى هذه المرحلة. كما نعرب عن أعمق امتناننا إلى جامعة الشيخ عبدالله البدري وكلية قسم الميكانيكا لإتاحة الفرصة لنا للحصول على درجة البكالوريوس في قسم الميكانيكا، وهي تجربة علمية غنية وملهمة.

نتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى دكتور عماد محمود على توجيهاته القيمة وإرشاداته المستمرة خلال إعداد هذا البحث. كما نشكر إدارة وموظفي مصنع الهواء السائل في ولاية عطبرة على تعاونهم وتوفير المعلومات اللازمة لإتمام هذه الدراسة.

"مجموعة البحث"

## المستخلص

### المقدمة:

تُعتبر صناعة إسالة وتعبئة الغازات من الصناعات الحساسة للعوامل الخارجية المختلفة، بما في ذلك التكنولوجيا، الظروف البيئية، والعوامل التشغيلية. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم العوامل التي تؤثر على أداء مصنع الهواء السائل في ولاية عطبرة. تم توزيع استبيان منظم وقائم على التعبئة الذاتية على 30 موظفًا ومديرًا في المصنع لتقييم كيفية تأثير التغيرات في التكنولوجيا التشغيلية، والتشريعات البيئية، وتوافر الموارد على عمليات إسالة الغازات، كفاءة المعدات، والربحية العامة. تستكشف الدراسة العلاقة بين هذه العوامل الخارجية والمؤشرات الرئيسية لأداء المصنع، مثل إنتاجية الإنتاج، استهلاك الطاقة، وعمر المعدات.

### المنهجية

تم استخدام تصميم دراسة وصفية مستعرضة لتقييم العوامل المؤثرة على أداء مصنع الهواء السائل في ولاية عطبرة. جُمعت البيانات عبر استبيان منظم وقائم على التعبئة الذاتية وُرّع على 30 موظفًا ومديرًا في المصنع. صُمم الاستبيان لالتقاط وجهات النظر حول تأثير المخاطر المتعلقة بالتكنولوجيا، البيئة، وتوافر الموارد على المؤشرات الرئيسية للأداء، بما في ذلك كفاءة الإنتاج، تكاليف الطاقة، استدامة المعدات، واستمرارية التشغيل. تم تحليل الردود كمياً لتحديد الاتجاهات والعلاقات بين العوامل الخارجية وأداء المصنع. كما وفرت الأسئلة المفتوحة ملاحظات نوعية قدّمت رؤى إضافية حول التحديات التي يواجهها المصنع واستراتيجيات التخفيف الممكنة. تم استخدام الإحصاءات الوصفية لتلخيص النتائج، وتطبيق الإحصاءات الاستدلالية لتقييم أهمية العلاقات بين العوامل الخارجية ونتائج الأداء.

### النتائج

كشفت الدراسة أن 65٪ من المستجيبين يعتقدون أن التشريعات البيئية الصارمة لها تأثير مباشر على تكاليف التشغيل، مما يتطلب تحديثات متكررة للحفاظ على الامتثال. وُجد أن العوامل التكنولوجية، وخاصة موثوقية معدات الإسالة، تؤثر بشكل كبير على كفاءة الإنتاج وتكاليف الطاقة. بالإضافة إلى ذلك، تسببت قضايا الموارد، مثل تقلبات إمدادات الغاز، في حدوث تأخيرات تشغيلية وزيادة تكاليف المواد الخام، مما أثر على الربحية.

## الخاتمة

تشير النتائج إلى أن التحديات المرتبطة بالتكنولوجيا، الضغوط التنظيمية البيئية، وتوفير الموارد لها تأثير كبير على أداء المصنع. من الضروري أن يقوم الإدارة بتطبيق استراتيجيات لتعزيز المرونة التشغيلية، مثل الاستثمار في معدات حديثة وموفرة للطاقة، اعتماد ممارسات مرنة لإدارة الموارد، وضمان الامتثال للمعايير البيئية. كما ينبغي على صناع القرار النظر في توفير لوائح داعمة لصناعة إسالة الغازات لتشجيع النمو المستدام والمساهمة في التنمية الاقتصادية في ولاية عطبرة.

## الكلمات المفتاحية

تقييم المخاطر، إسالة الغازات، الأثر البيئي، الكفاءة التكنولوجية، مصنع الهواء السائل، ولاية عطبرة، السودان، مؤشرات الأداء، الامتثال التنظيمي، استدامة العمليات.

## **الفصل الأول**

### **المقدمة**

#### **الباب الأول: مقدمة عامة**

#### **التبريد (النظرية) للاندماج والانتقاء**

## مقدمة عامة

### ١. المقدمة:

تعد عملية إسالة الغازات من العمليات الحيوية والمتقدمة التي تلعب دورًا هامًا في العديد من الصناعات، خاصةً في المجالات التي تتطلب استخدام الغازات بصورتها السائلة مثل مجالات الطب، والصناعة، والطاقة. تُستخدم الغازات المسالة بشكل واسع في تطبيقات عديدة، حيث تساعد في تخزين ونقل كميات كبيرة من الغازات بتكلفة أقل وكفاءة أعلى. كما أن إسالة الغازات تسهم في توفير الموارد الضرورية لمجموعة متنوعة من المنتجات والتطبيقات مثل الأكسجين المستخدم في الرعاية الصحية، والنيتروجين المستخدم في تبريد الأغذية والأجهزة الإلكترونية، والهيليوم المستخدم في تقنيات الضغط العالي والفضاء. ومن هنا، تعد إسالة الغازات وتعبئتها إحدى العمليات الاستراتيجية التي تسهم في تلبية احتياجات الصناعات الحديثة وتحقيق استدامة الإمدادات.

تتم عملية إسالة الغازات عبر خفض درجة حرارتها وضغطها بشكل كبير حتى تتحول إلى الحالة السائلة، وتُعرف هذه العمليات بتقنيات التبريد العميق أو التبريد الديناميكي، والتي تتضمن عدة مراحل وتحتاج إلى تقنيات متقدمة ومعدات متطورة لضمان تحقيق درجة الإسالة المطلوبة بكفاءة. تختلف تقنيات التبريد وإسالة الغازات من حيث النوع والمبدأ المستخدم، ومن أبرز هذه التقنيات: التبريد بالتوسع الديناميكي، ودورات التبريد الثابتة، إضافة إلى تقنيات أخرى تتطلب التحكم الدقيق في درجة الحرارة والضغط. تلعب هذه التقنيات دورًا حيويًا في تقديم الحلول لتخزين الغازات بصورة سائلة مستقرة، مما يعزز استخدامها الآمن والفعال في القطاعات المختلفة.

يُعد مصنع الهواء السائل في ولاية عطبرة من المصانع الرائدة في مجال إسالة وتعبئة الغازات بالسودان، حيث يعمل المصنع على إنتاج وتوزيع غازات مهمة مثل الأكسجين والنيتروجين والهيدروجين بصورتها السائلة لتلبية احتياجات السوق المحلي. يعتمد المصنع في عملياته على أحدث التقنيات المتوفرة في مجال التبريد الديناميكي والمكثفات المتطورة التي تساعد في تحقيق الإسالة على نطاق واسع وبتكاليف منخفضة نسبيًا، مما يسهم في توفير موارد غازية هامة بأسعار تنافسية. ومن خلال تحسين كفاءة التشغيل واستخدام تقنيات موثوقة، أصبح المصنع من الموردين الرئيسيين للغازات المسالة للمستشفيات والمؤسسات الصناعية، مما يدعم النمو الصناعي ويزيد من الاعتماد على الإنتاج المحلي للموارد الغازية.

ومع ذلك، يواجه قطاع إسالة الغازات تحديات عديدة قد تؤثر على استمراريته وكفاءته، ومن أهم هذه التحديات التكاليف المرتفعة اللازمة لشراء وصيانة معدات التبريد والإسالة، إضافة إلى التحديات البيئية الناتجة عن استهلاك كميات كبيرة من الطاقة في عمليات التبريد. كما أن هذا القطاع حساس تجاه المخاطر الاقتصادية والتقلبات في أسعار الطاقة والموارد الطبيعية، مما قد يؤثر سلباً على التكلفة الإجمالية لإنتاج الغازات المسالة. كذلك، يُشكل الجانب البيئي تحدياً كبيراً حيث تتطلب عمليات إسالة الغازات التزاماً صارماً بالتشريعات البيئية وتقليل الآثار السلبية المرتبطة بانبعاثات الغازات وتلوث المياه والتربة.

في ظل هذه التحديات، تبرز أهمية دراسة المخاطر المرتبطة بقطاع إسالة الغازات وتعبئتها لتحديد سبل تحسين الأداء وتقليل الآثار البيئية والمخاطر الاقتصادية المرتبطة بالعملية. تهدف هذه الدراسة إلى تسليط الضوء على تقنيات الإسالة المختلفة وتأثيراتها من خلال دراسة حالة مصنع الهواء السائل في ولاية عطبرة، حيث سيتم تحليل العمليات التشغيلية للمصنع، والتحديات التي تواجهه، ودراسة جوانب الكفاءة والاستدامة المتعلقة بعمليات إسالة وتعبئة الغازات. سيتم الاعتماد على أدوات بحثية مثل الاستبيانات والمقابلات مع العاملين والخبراء في المصنع لفهم التحديات والفرص المتاحة لتحسين كفاءة عمليات إسالة الغازات وتعزيز مساهمة هذا القطاع في الاقتصاد المحلي

## ١.١ التبريد (النظرية) للاندماج والانتقاء:

### تعريف التبريد:

التبريد هو عملية تهدف إلى خفض درجة الحرارة للمحافظة على استقرار بيئة معينة أو لحفظ المواد المختلفة مثل الطعام والأدوية. تعتمد هذه العملية على نقل الحرارة من مكان إلى آخر، عادة باستخدام آليات تسمح بتبديد الحرارة غير المرغوب فيها خارج النظام.

### الأنواع الرئيسية للتبريد

تنقسم طرق التبريد إلى نوعين رئيسيين: الطبيعي والاصطناعي، ويشمل كل منهما طرقاً متعددة.

#### ١. التبريد الطبيعي

يستفيد التبريد الطبيعي من العمليات البيئية التي تحدث بشكل تلقائي. ومن أشهر طرق التبريد الطبيعي:

## ٢. التبريد بالتبخر:

يعتمد على تبخر السوائل، مثل الماء، لامتصاص الحرارة من محيطها وخفض درجة الحرارة بشكل طبيعي. يُستخدم هذا المبدأ في مراوح التبريد المائي وأيضًا في التبريد بالصحون الترايية التي توضع فيها المياه لتبخرها.

## ٣. التبريد بالإشعاع:

يتم التخلص من الحرارة عن طريق إشعاعها إلى الغلاف الجوي، وهذا يحدث بشكل طبيعي في الليل، عندما تنخفض درجة حرارة الأرض نتيجة فقدان الحرارة إلى الفضاء

## ٤. التبريد الاصطناعي:

يستخدم التبريد الاصطناعي أجهزة خاصة تعتمد على دورات ميكانيكية وكهربائية للحفاظ على درجة حرارة منخفضة. ويُعد التبريد الاصطناعي أساسياً في معظم المنازل والمصانع. يتضمن الأنواع التالية:

**التبريد بالانضغاط:** يعتمد على ضغط وسيط التبريد ليتم تسخينه ثم تمريره عبر مكثف حيث يبرد ويتحول إلى سائل قبل أن يُعاد إلى حالته الغازية أثناء التبخر.

**التبريد بالامتصاص:** يعتمد هذا النوع على استخدام مادة ماصة، مثل الأمونيا والماء، في دورة التبريد. ويستخدم بشكل شائع في التطبيقات الصناعية التي تحتاج إلى توفير كميات كبيرة من التبريد.

## نبذة تاريخية عن التبريد:

### العصور القديمة:

منذ آلاف السنين، حاول البشر إيجاد طرق بدائية لحفظ الطعام والشراب من التلف. استخدم الإنسان القديم تقنيات بسيطة، مثل تخزين الأطعمة في كهوف باردة أو في المياه الجارية للحفاظ على برودتها.

في مصر القديمة والصين، كانوا يتركون الأواني الفخارية التي تحتوي على الماء تحت الشمس خلال النهار لتتبخر المياه جزئياً وتبرد المتبقي، أو يستخدمون الثلج والجليد المستخرج من الجبال، لكن كان ذلك مقتصرًا على الأثرياء فقط.

## الحضارات الإغريقية والرومانية:

في الحضارات الإغريقية والرومانية، استُخدمت تقنيات أكثر تقدماً نوعاً ما، حيث كانوا يجمعون الثلج في الشتاء ويخزنونه في حفر عميقة معزولة بالتبن والمواد الطبيعية للحفاظ عليه حتى الصيف. كان هذا الثلج يُستخدم لتبريد المشروبات في المواسم الحارة.

طور الرومان نظاماً أكثر تعقيداً باستخدام الجليد والثلج المخزن تحت الأرض، كما استخدموا الأنابيب المائبة لتبريد المنازل، وهي فكرة بدائية لتقنيات تكييف الهواء الحديثة.

## العصور الوسطى:

خلال العصور الوسطى، استمرت استخدامات الثلج والجليد في القصور الملكية والأماكن الفاخرة، مع استخدام الملح للمساعدة في خفض درجة الحرارة وإبطاء ذوبان الثلج.

تم بناء مخازن خاصة للثلج تُسمى "بيوت الثلج" أو "حفر الثلج"، وكان يتم ملؤها بالثلج في الشتاء لتلبية الاحتياجات الصيفية.

## شرح الأجزاء الرئيسية للتبريد الاصطناعي:

### ٢.١.١ الدورة:

تُعد الدورة الميكانيكية الحرارية التي يتم فيها تحويل وسيط التبريد من شكل إلى آخر أساس عملية التبريد. وتشمل هذه الدورة المراحل التالية:

#### مرحلة الانضغاط:

تبدأ العملية في الضاغط، حيث يتم ضغط وسيط التبريد، مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارته وضغطه.

هذا الغاز المضغوط ينتقل إلى المرحلة التالية بعد اكتسابه طاقة حرارية عالية.

#### مرحلة التكهيف:

يمر وسيط التبريد في هذه المرحلة عبر المكثف، وهو عبارة عن شبكة من الأنابيب التي تسمح بخروج الحرارة من الغاز المضغوط وتبريده.

بعد التبريد، يتحول وسيط التبريد إلى سائل بفعل الطرد الحراري.

### مرحلة التمدد:

يمر السائل عبر صمام التمدد حيث يتم خفض ضغطه ودرجة حرارته بسرعة.

يؤدي هذا التمدد إلى تحول وسيط التبريد إلى سائل بارد.

### مرحلة التبخر:

يدخل السائل البارد إلى المبخر، حيث يمتص الحرارة من المحيط (مثل الطعام في الثلاجة) ويتحول مجددًا إلى غاز.

تعاد الدورة مرة أخرى لتكرار العملية باستمرار للحفاظ على درجة الحرارة المطلوبة.

توضيح: يمكنك رؤية الدورة بوضوح في الصورة أدناه التي تظهر تدفق وسيط التبريد عبر الضاغط، المكثف، صمام التمدد، والمبخر.

## 2.2.1 المكونات

يحتوي نظام التبريد الاصطناعي على مكونات رئيسية تعمل معًا لضمان سير الدورة بشكل فعال.

### مكونات نظام التبريد:

**الضاغط (Compressor):** هو القلب النابض للنظام، حيث يقوم بضغط الغاز، مما يزيد من طاقته الحرارية ويبدأ عملية الدورة.

**المكثف (Condenser):** يُستخدم لطرد الحرارة من وسيط التبريد وتكثيفه إلى سائل.

**صمام التمدد (Expansion Valve):** يتحكم في تدفق وسيط التبريد ويقلل من ضغطه وحرارته، مما يسمح بتحويله إلى سائل بارد.

**المبخر (Evaporator):** يمتص الحرارة من البيئة المحيطة، مما يحول وسيط التبريد إلى غاز مرة أخرى.

| المكون      | الوظيفة                                    |
|-------------|--------------------------------------------|
| الضاغط      | ضغط وسيط التبريد وزيادة طاقته الحرارية     |
| المكثف      | طرد الحرارة وتكثيف وسيط التبريد            |
| صمام التمدد | خفض الضغط ودرجه الحرارة لوسيط التبريد      |
| المبخر      | امتصاص الحرارة وتحويل وسيط التبريد إلى غاز |

### 3.2.1 دورات إسالة الغازات:

دورة إسالة الغازات هي عملية صناعية تهدف إلى تحويل الغازات إلى الحالة السائلة عن طريق التبريد والتكثيف، مما يسهل تخزينها ونقلها بكفاءة. تُستخدم هذه الدورة بشكل أساسي للغازات التي تحتاج إلى تبريد عميق لإسالتها، مثل الأكسجين، النيتروجين، والهيدروجين. تُعتبر إسالة الغازات من العمليات الحيوية في العديد من الصناعات، بما في ذلك الصناعة الطبية، صناعة الطيران، والبحث العلمي، إذ توفر هذه الغازات في صورة قابلة للاستخدام والنقل.

#### مبدأ عمل دورة إسالة الغازات:

تعتمد دورة إسالة الغازات على تقليل درجة حرارة الغاز إلى نقطة تكثيفه، مما يسمح بتحويله إلى سائل. وتشمل الدورة عدة مراحل من الضغط والتبريد للوصول إلى درجات حرارة منخفضة جدًا.

#### مراحل دورة إسالة الغازات:

##### مرحلة الضغط:

يتم ضغط الغاز في هذه المرحلة باستخدام ضواغط عالية القدرة، حيث يؤدي الضغط المرتفع إلى رفع درجة الحرارة، مما يسهل خفض درجة حرارة الغاز في المراحل اللاحقة.

## مرحلة التبريد الابتدائي:

يُمرر الغاز عبر مبدلات حرارية تعمل على تقليل درجة حرارته تدريجيًا باستخدام وسائط تبريد أخرى. يساعد هذا التبريد الأولي في إعداد الغاز لمرحلة التبريد العميق.

## مرحلة التمدد (تأثير جول-طومسون):

في هذه المرحلة، يُسمح للغاز بالتمدد بشكل مفاجئ من خلال صمام التمدد. يؤدي هذا التمدد السريع إلى انخفاض درجة الحرارة بشكل كبير، وفقًا لتأثير جول-طومسون.

يُعد هذا التأثير من المبادئ الأساسية في دورة إسالة الغازات، حيث يؤدي التمدد المفاجئ للغاز إلى انخفاض حاد في درجة حرارته.

## مرحلة التكثيف:

بعد الوصول إلى درجات حرارة منخفضة جدًا، يتم تكثيف الغاز وتبريده إلى النقطة التي يتحول فيها إلى سائل.

تُستخدم مبدلات حرارية إضافية للحفاظ على الغاز في حالته السائلة بعد إسالته.

## تطبيقات دورة إسالة الغازات:

تُستخدم دورة إسالة الغازات في عدة تطبيقات صناعية، منها:

**تخزين ونقل الغازات الصناعية:** مثل الأكسجين والنيتروجين، حيث يُسهل تحويلها إلى الحالة السائلة نقلها وتخزينها في حاويات خاصة.

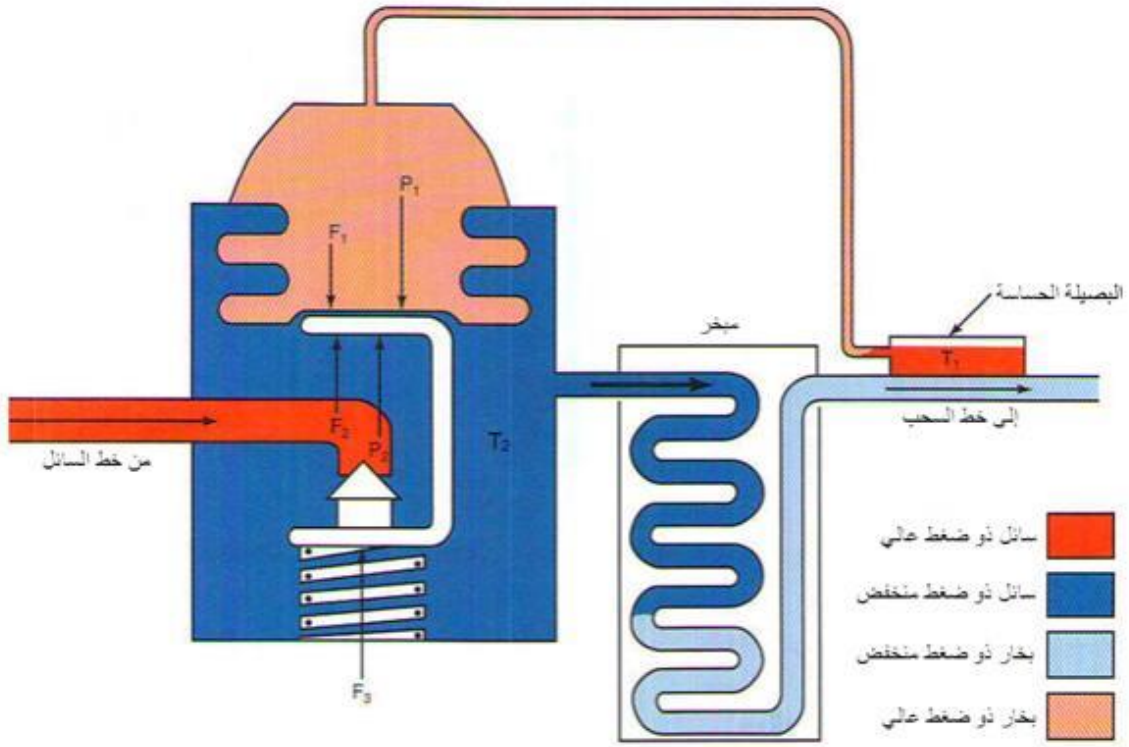
**الصناعات البترولية والغاز الطبيعي:** حيث تُستخدم الدورة في إسالة الغاز الطبيعي LNG لتسهيل نقله عبر السفن.

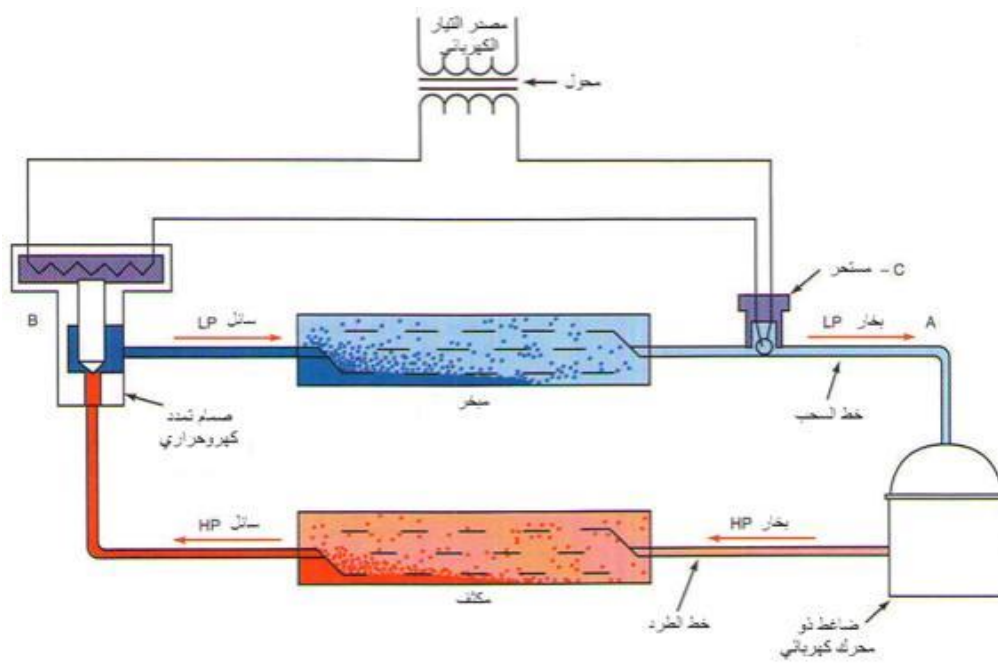
**المجال الطبي:** توفير الأكسجين السائل للمستشفيات ومرافق الرعاية الصحية.

**البحث العلمي:** حيث تُستخدم الغازات المسالة مثل الهيليوم والهيدروجين في تجارب التبريد العميق والأبحاث المتعلقة بالفيزياء.

## صورة توضيحية لدورة إسالة الغازات:

يمكن توضيح دورة إسالة الغازات بمخطط يظهر التدفق من الضاغط إلى المبدلات الحرارية، وصولاً إلى صمام التمدد، ثم التكتيف النهائي للغاز إلى حالته السائلة.





## **الفصل الثاني**

### **الباب الثاني: تصميم دورة إسالة الغازات**

## تصميم دورة إسالة الغازات

دورة إسالة الغازات باستخدام التبريد المختلط هي عملية تُستخدم لتسييل الغازات من خلال خفض درجات حرارتها تدريجيًا باستخدام مزيج من المبردات المختلفة. يُعد هذا النظام مثاليًا لتسييل الغازات مثل الغاز الطبيعي والنيتروجين، حيث يُحافظ على كفاءة عالية للطاقة ويقلل من استهلاكها خلال عملية الإسالة.

### خطوات عمل دورة التبريد المختلط :

#### تكوين خليط المبردات:

يبدأ النظام بإعداد خليط خاص من المبردات، حيث يتم اختيار المبردات بعناية بناءً على خصائصها الحرارية. يحتوي هذا الخليط عادةً على غازات مثل النيتروجين، البروبان، الإيثان، والميثان، والتي لها درجات غليان متفاوتة تساعد في تحقيق درجات مختلفة من التبريد.

#### ضغط وتبريد خليط المبردات:

يُضغط خليط المبردات إلى مستويات عالية باستخدام ضواغط خاصة، ويخضع الخليط لعملية تبريد أولية حتى يصل إلى درجات حرارة منخفضة. الهدف من هذه الخطوة هو الوصول إلى درجات حرارة أقل دون الوصول لمرحلة التجميد.

#### المرحلة الأولى من التبادل الحراري:

يُمرر خليط المبردات عبر أول مبادل حراري، حيث يتم تبريد الغاز المراد تسييله بدرجة حرارة منخفضة بفضل تأثير التبريد الناتج عن خليط المبردات. هذه الخطوة تخفض درجة حرارة الغاز المراد تسييله تدريجيًا.

#### المرحلة الثانية من التبادل الحراري:

يُنقل الغاز المراد تسييله إلى مبادل حراري آخر يتميز بدرجات تبريد أكثر انخفاضًا، حيث يُبرّد الغاز إلى درجة قريبة من نقطة غليانه. هنا، يبدأ الغاز بالدخول في حالة التسييل.

#### الوصول إلى مرحلة الإسالة:

بعد مرور الغاز المراد تسييله عبر سلسلة من المبردات المتدرجة، يصل أخيرًا إلى درجة حرارة منخفضة جدًا حيث يتحول من حالته الغازية إلى حالته السائلة. يتم تخزين الغاز السائل في حاويات خاصة، حيث يُحافظ عليه في درجات حرارة منخفضة لضمان استمراره في الحالة السائلة.

## إعادة تدوير خليط المبردات:

يتم جمع خليط المبردات الذي تم استخدامه في عملية التبريد وإعادة تدويره، حيث يتم ضغطه مرة أخرى ليعاد استخدامه في دورة جديدة من التبريد، مما يزيد من كفاءة العملية.

## إيجابيات دورة التبريد المختلط

**كفاءة الطاقة العالية:** نظرًا لأن العملية تعتمد على خفض تدريجي للحرارة، يتم استخدام الطاقة بفعالية، مما يقلل من الفاقد الحراري.

**انخفاض تكاليف التشغيل:** نتيجة لاستهلاك طاقة أقل، ينخفض تكاليف التشغيل بشكل عام، مما يجعل هذه الدورة اقتصادية للتطبيقات الصناعية الكبيرة.

**التوافق مع غازات مختلفة:** يمكن استخدام هذا النظام مع أنواع مختلفة من الغازات عبر تعديل تركيبة خليط المبردات

## سلبيات دورة التبريد المختلط

**التعقيد التشغيلي:** تحتاج دورة التبريد المختلط إلى مكونات متعددة مثل الضواغط والمبادلات الحرارية، ويتطلب تركيبها تنسيقًا عاليًا لضمان الأداء الجيد.

**تكاليف الصيانة المرتفعة:** مع مرور الوقت، تحتاج مكونات الدورة إلى صيانة دورية قد تكون مكلفة بسبب عدد الأجهزة المتنوعة.

**التدابير الأمنية:** بعض المبردات المستخدمة تكون قابلة للاشتعال، مما يتطلب اتخاذ تدابير أمان صارمة لتجنب التسربات أو الانفجارات.

توفر دورة التبريد المختلط نظامًا فعالًا وموثوقًا لتسييل الغازات عبر استخدام خليط من المبردات بخصائص حرارية متعددة، مما يسمح بتحقيق تبريد تدريجي بكفاءة عالية للطاقة. ومع أن لها إيجابيات عديدة، إلا أن تعقيد التشغيل واحتياجها للصيانة يجعلها تحديًا يجب إدارته بفعالية في التطبيقات الصناعية الكبيرة.

## 2.1 أهداف التصميم:

### الأهداف الإنتاجية:

تهدف الأهداف الإنتاجية إلى تحسين قدرة الدورة على إنتاج كميات كبيرة من الغاز المسال بكفاءة عالية.

تشمل هذه الأهداف تقليل الفاقد في العملية وتحقيق معدلات تدفق عالية لضمان إنتاجية مستدامة.

يجب أن يكون التصميم قادرًا على تلبية الطلب المتزايد في السوق دون التأثير على جودة المنتج.

### الأهداف النامية:

تهدف الأهداف النامية إلى ضمان قابلية النظام للتطور والتوسع المستقبلي، حيث يمكن تحسينه أو توسيع نطاقه مع تطور التكنولوجيا.

تصميم مرن يسمح بتحديث المعدات أو تغيير التكنولوجيا المستخدمة في الدورة بسهولة، بما يسهل دمج التحسينات المستقبلية.

يعتمد التصميم النامي على استخدام مكونات معيارية وتطوير النظام بحيث يكون قابلاً للتعديل والتطوير مع تغير متطلبات الإنتاج أو التقنية.

### الأهداف الفنية:

تركز الأهداف الفنية على جودة التصميم وكفاءة الأداء. وتشمل اختيار مكونات عالية الجودة وأنظمة تحكم دقيقة تضمن تشغيل مستقر.

تتضمن الأهداف الفنية أيضاً ضمان كفاءة الطاقة في الدورة وتقليل استهلاك الموارد، مما يساهم في تحسين أداء النظام وتقليل التكاليف التشغيلية.

يجب أن يتوافق التصميم الفني مع المعايير الصناعية واللوائح لضمان السلامة والجودة في الإنتاج.

### الأهداف الاقتصادية:

تركز الأهداف الاقتصادية على تحقيق التوازن بين تكاليف التصميم والتشغيل والعائد على الاستثمار.

تشمل هذه الأهداف تقليل تكاليف المواد والطاقة المستخدمة في الدورة وتقليل تكاليف الصيانة لضمان تحقيق عوائد اقتصادية مستدامة.

من المهم أن يكون النظام ذو تكلفة تشغيلية منخفضة، بحيث يمكن تحقيق أقصى قدر من الإنتاج بأقل تكلفة ممكنة.

### حسابات تصميم دورة إسالة الغازات

لضمان تحقيق أهداف التصميم، يجب إجراء عدة حسابات لتحديد العوامل المؤثرة في أداء الدورة. تتضمن الحسابات التالية:

#### حسابات الضغط:

تحديد الضغط المطلوب عند كل مرحلة من مراحل الدورة لضمان كفاءة التبريد وضغط الغاز إلى النقطة التي يمكن إسالته فيها.

#### حسابات درجة الحرارة:

حساب درجة التبريد المطلوبة عند كل مرحلة من الدورة للوصول إلى درجة حرارة الإسالة المطلوبة للغاز.

#### حسابات الطاقة:

تحديد كمية الطاقة اللازمة لتشغيل الضواغط وأجهزة التبريد، مع الأخذ بعين الاعتبار كفاءة استهلاك الطاقة.

#### حسابات التدفق:

حساب معدلات تدفق الغاز عند كل مرحلة من الدورة لضمان استمرارية العملية وعدم حدوث اختناقات.

### جدول تلخيصي لأهداف تصميم دورة إسالة الغازات:

| الهدف      | الوصف                                      | مكونات التصميم                 | منال لتحقيق الهدف               |
|------------|--------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| الإنتاجية  | تحسين الإنتاجية وتقليل التكاليف            | معدلات تدفق وضغط عالية         | نظام ضغط عالي الكفاءة           |
| النامية    | مرونة التصميم وقابلية للتطوير المستقبلي    | مكونات معيارية                 | إستخدام تكنولوجيا قابله للتحديث |
| الاقتصادية | تقليل التكاليف وزيادة العائد على الاستثمار | تقليل إستهلاك الطاقة والتكاليف | إستخدام مواد ذات تكلفة منخفضة   |
| الفنية     | تحسين الكفاءة وضمان الاستقرار والسلامة     | أنظمة تحكم دقيقة               | إستخدام وحدة تحكم آلية متقدمة   |

## شرح كل واحد بتفصيل:

### الإنتاجية:

يتم التركيز في تصميم دورة إسالة الغازات على تحقيق إنتاجية عالية، وذلك من خلال اختيار معدات ذات كفاءة عالية في التبريد والضغط. يشمل هذا أيضاً زيادة معدلات التدفق والاستمرار في عملية الإسالة بشكل مستمر دون توقفات كبيرة. يساعد تحسين الإنتاجية على تلبية الطلب المتزايد بكفاءة، مما يزيد من القدرة الإنتاجية للنظام.

### النامية:

تتطلب الأهداف النامية تصميم النظام بشكل يسمح بإجراء تحسينات مستقبلية بسهولة. على سبيل المثال، يمكن استخدام مكونات معيارية تسمح بإضافة وحدات أو استبدال أجزاء بسهولة. تساهم مرونة التصميم في قدرة النظام على التكيف مع التطورات التقنية والاحتياجات المتغيرة.

### الفنية:

تهدف الأهداف الفنية إلى ضمان استقرار النظام وتحسين كفاءته، بما يشمل اختيار مواد مقاومة للتآكل وضمان دقة الضواغط ومبدلات الحرارة. يلعب التصميم الفني دوراً هاماً في الحفاظ على جودة المنتج وتقليل الأعطال. استخدام أنظمة التحكم الآلي، مثل أنظمة التحكم الذكية، يساعد في مراقبة الدورة وتحسين أدائها.

### الاقتصادية:

يهدف الجانب الاقتصادي من التصميم إلى تقليل التكاليف، سواء كانت تكاليف المواد أو الطاقة، لضمان تحقيق العائد الاستثماري المطلوب. يتم اختيار مواد بناء منخفضة التكلفة وكفاءة عالية في استهلاك الطاقة لتقليل التكاليف التشغيلية.

## **الفصل الثالث**

### **تطبيق مصانع إسالة الغازات**

## نماذج لمصانع أسئلة الغازات

تعتبر مصانع الغاز أحد الأعمدة الأساسية في قطاع الطاقة في السودان، حيث تقدم حلولاً للطاقة للمستهلكين في مختلف القطاعات، سواء كانت للاستخدام المنزلي أو الصناعي. وفيما يلي بعض النماذج البارزة لهذه المصانع:

### شركة أنابيب البترول – عطبرة

تُعد واحدة من الشركات الكبرى التي تشارك في نقل وتوزيع البترول والغاز عبر شبكة ضخمة من الأنابيب التي تمتد إلى مختلف المناطق.

### مصنع الغاز المسال السكة حديد – عطبرة

يعمل المصنع على إنتاج الغاز المسال (LPG) باستخدام تقنيات متطورة في معالجة الغاز الطبيعي وتحويله إلى شكل سائل يسهل نقله وتخزينه، ويُوزع في أسطوانات للمستهلكين.

### مصنع الغاز المسال في الخرطوم

يُعد من أقدم المنشآت في مجال الغاز المسال في السودان ويُعتبر مركزاً رئيسياً في توفير الغاز المسال للأغراض المنزلية والصناعية.

### مصنع غاز الشرق

مصنع يقع في شرق السودان ويعمل على إنتاج الغاز الطبيعي المسال لأغراض الطهي والصناعة.

### شركة الغاز السودانية

تقوم بتوفير الغاز في العديد من المناطق السودانية، بالإضافة إلى تطوير شبكات النقل والتوزيع بشكل مستمر لضمان توفير الغاز للمستهلكين.

### مصنع الغاز في ولاية الجزيرة

يعد من المشاريع الحيوية التي تعمل على توفير الغاز للأغراض المنزلية والصناعية في وسط السودان.

### ثانياً: شركة أنابيب البترول – عطبرة

#### مقدمة:

تعد شركة أنابيب البترول – عطبرة إحدى الركائز الأساسية في شبكة نقل الطاقة في السودان. تأسست بهدف نقل النفط والغاز عبر الأنابيب، وهي واحدة من الشركات الكبرى في هذا المجال. يقع مقر الشركة في

مدينة عطبرة شمال السودان، حيث تمتلك شبكة أنابيب ضخمة تمتد من مناطق الإنتاج إلى محطات التوزيع في مختلف أنحاء البلاد.

### **تاريخ الشركة:**

تأسست الشركة في أوائل التسعينيات مع التوسع الكبير في قطاع الطاقة السوداني. وكانت الحاجة إلى بناء شبكة حديثة من الأنابيب لتوزيع الغاز والنفط من مصادر الإنتاج إلى مراكز الاستهلاك أحد الأسباب الرئيسية لتأسيس الشركة. وقد مكنت هذه الشبكة من تحسين توفير الطاقة إلى العديد من القطاعات الحيوية مثل محطات توليد الكهرباء والمصانع والمنازل.

### **التكنولوجيا والعمليات:**

تستخدم الشركة تقنيات حديثة في نقل النفط والغاز عبر الأنابيب، حيث تعتمد على أنظمة ضخ متطورة لضمان وصول المواد البترولية بشكل آمن إلى مناطق الاستهلاك. كما تستخدم أنظمة مراقبة وتقنيات للكشف عن التسربات والتلف في الأنابيب لضمان سلامة النقل. يتم استخدام مواد ذات مقاومة عالية للتآكل والتسرب، مما يساعد في تقليل فقدان الموارد وتحسين كفاءة النقل.

### **الاستثمارات والتوسع:**

على مر السنوات، قامت الشركة بعدد من الاستثمارات لتحسين بنيتها التحتية وتوسيع شبكة الأنابيب. وفي الآونة الأخيرة، تسعى الشركة لتوسيع خطوط الأنابيب لتشمل مناطق جديدة تتطلب إمدادات مستمرة من الطاقة. كما أن الشركة تستثمر في تقنيات حديثة لتقليل التكاليف وتحسين الكفاءة التشغيلية.

### **الأثر الاقتصادي والاجتماعي:**

تعتبر شركة أنابيب البترول – عطبرة محركاً اقتصادياً مهماً في السودان، حيث توفر الطاقة اللازمة للعديد من الصناعات والمحطات الكهربائية. كما تساهم في خلق فرص عمل، ليس فقط في مجال النقل ولكن أيضاً في العمليات التقنية والإدارية.

### **التحديات والفرص:**

تواجه الشركة تحديات عدة، أهمها المشاكل المتعلقة بالبنية التحتية القديمة التي تحتاج إلى تحديث وصيانة دائمة. كما أن الظروف المناخية في بعض المناطق يمكن أن تؤثر على سلامة الأنابيب. ومع ذلك، تظل

هناك فرص كبيرة لتوسيع أعمال الشركة بفضل الطلب المتزايد على الطاقة في السودان، خاصة في المناطق النائية.

### ثالثاً: مصنع الغاز المسال السكة حديد – عطبرة

#### مقدمة:

يعتبر مصنع الغاز المسال السكة حديد – عطبرة واحداً من أكبر المنشآت في السودان التي تعمل على إنتاج الغاز المسال (LPG) المصنع يتخصص في معالجة الغاز الطبيعي وتحويله إلى حالة سائلة، حيث يتم تخزينه في أسطوانات لاستخدامات متنوعة مثل الطهي والتدفئة في المنازل، وكذلك الاستخدامات الصناعية في المصانع والورش.

#### تاريخ المصنع:

تم تأسيس المصنع في أوائل العقد الأول من القرن الواحد والعشرين، وكان الهدف من إنشائه تلبية احتياجات السوق السوداني المتزايدة من الغاز المسال. ويُعد المصنع في عطبرة جزءاً من الجهود الحكومية لتوفير الطاقة بشكل أكثر استدامة وأماناً، حيث يعد الغاز المسال بديلاً أكثر كفاءة وأقل تكلفة من أنواع الوقود الأخرى.

#### التقنيات المستخدمة في المصنع:

يستخدم المصنع تقنيات حديثة لتحويل الغاز الطبيعي إلى غاز مسال، حيث يتم تبريده إلى درجات حرارة منخفضة جداً ليصبح سائلاً يمكن تخزينه بسهولة. يستخدم المصنع أيضاً تقنيات متطورة في تعبئة الأسطوانات وتوزيعها إلى محطات التوزيع والمستهلكين النهائيين. كما أن المصنع يعتمد على تقنيات مراقبة دقيقة لضمان السلامة في جميع مراحل الإنتاج والتوزيع.

#### المنتجات والخدمات:

الغاز المسال (LPG): يُعد الغاز المسال المنتج الرئيسي في المصنع، ويُستخدم بشكل واسع في الطهي وفي بعض التطبيقات الصناعية.

تعبئة الأسطوانات: يقوم المصنع بتعبئة الأسطوانات التي تُوزع على المحلات التجارية والمستهلكين في مختلف أنحاء السودان.

الغاز الصناعي: يُستخدم في عمليات التصنيع والورش الصناعية التي تتطلب وقوداً سريع الاشتعال.

## الأثر الاجتماعي والاقتصادي:

يعد المصنع من أهم المشاريع التي ساهمت في تحسين جودة الحياة في عطبرة والمناطق المجاورة لها. يوفر المصنع مصدر طاقة آمن وبأسعار معقولة للمواطنين، مما يساهم في تخفيف العبء الاقتصادي عن الأسر السودانية. من الناحية الاقتصادية، يساعد المصنع في تحسين بيئة الأعمال والصناعات المحلية عبر تزويدها بالغاز الصناعي.

## التحديات والفرص:

يواجه المصنع العديد من التحديات مثل محدودية مصادر الغاز الطبيعي في المنطقة، بالإضافة إلى التحديات اللوجستية المتعلقة بنقل الغاز المسال وتخزينه. ومع ذلك، يوفر المصنع فرصًا كبيرة لتوسيع الإنتاج، خاصة مع الطلب المتزايد على الغاز في السوق السوداني.

## الخاتمة:

تعد كل من شركة أنابيب البترول – عطبرة و مصنع الغاز المسال السكة حديد – عطبرة من الأعمدة الأساسية في توفير الطاقة في السودان. تلعب هذه المنشآت دورًا محوريًا في تلبية احتياجات الطاقة للقطاعات المختلفة، بما في ذلك الطهي والصناعة. بينما تواجه هذه الشركات تحديات تتعلق بالبنية التحتية، فإن هناك أيضًا العديد من الفرص لتوسيع الأعمال وزيادة الكفاءة لتلبية الطلب المتزايد في المستقبل.

## دورة ليندي (Linde Cycle)

هي دورة حرارية تُستخدم لتسييل الغازات، مثل الهواء والأكسجين والنيتروجين، عن طريق تبريدها إلى ما دون درجة حرارتها الحرجة باستخدام التمدد الديناميكي. تُعتبر هذه الدورة أساسًا في صناعات الغازات المسالة.

## المكونات الرئيسية لدورة ليندي

### 1. الضاغط (Compressor)

يضغط الغاز (عادة الهواء أو النيتروجين) من ضغط منخفض إلى ضغط مرتفع، مما يؤدي إلى زيادة درجة حرارته.

## 2. المبادل الحراري (Heat Exchanger)

يُستخدم لتبريد الغاز المضغوط تدريجيًا عن طريق تبادل الحرارة مع غاز بارد يعود من الخطوات اللاحقة

## 3. الصمام الخانق (Joule-Thomson Valve)

يمر الغاز المضغوط من خلال هذا الصمام ليتمدد وينخفض ضغطه ودرجة حرارته بشكل مفاجئ (تأثير جول-طومسون)، مما يؤدي إلى التبريد الإضافي.

## 4. خزان الغاز السائل (Liquid Gas Reservoir)

يتم جمع الغاز الذي تم تبريده وتحويله إلى الحالة السائلة.

## 5. دورة التبريد الراجعة (Return Cycle)

يتم إعادة استخدام الغاز غير المسال بعد مروره بالمبادل الحراري لتبريد الغاز الداخل.

### مراحل دورة ليندي

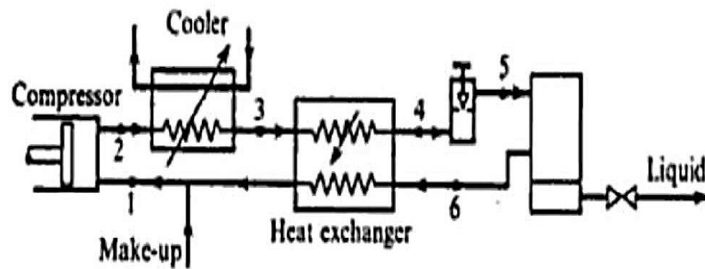
1. ضغط الغاز في الضاغط.
2. تبريد الغاز المضغوط تدريجيًا في المبادل الحراري.
3. توسيع الغاز عبر الصمام الخانق.
4. تجميع جزء من الغاز السائل وإعادة استخدام الغاز غير السائل في دورة التبريد.

### استخدامات دورة ليندي

تسييل الهواء لإنتاج الأكسجين والنيتروجين.

إنتاج غازات التبريد.

عمليات تبريد متقدمة في الصناعات الكيميائية والفيزيائية.



(a)

### مخطط T-s درجة الحرارة – الإنتروپيا)

هو أحد المخططات الحرارية المستخدمة لتمثيل عمليات الدورة الحرارية، مثل دورة ليندي

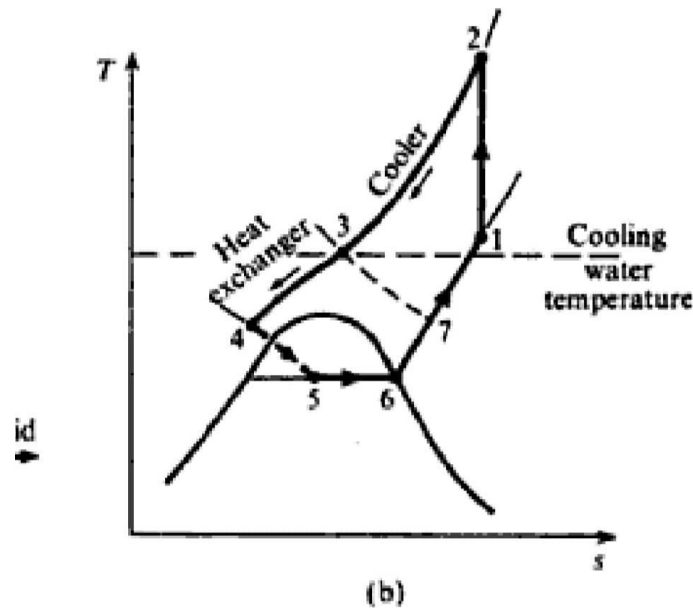
المستخدمة في تسييل الغازات. يساعد هذا المخطط في فهم كيفية تغير الحرارة والإنتروپيا خلال الدورة ويوضح المراحل المختلفة التي يمر بها الغاز.

### مكونات مخطط T-s لدورة ليندي

1. المحور الأفقي (s) يمثل الإنتروپيا.
2. المحور العمودي (T) يمثل درجة الحرارة.

### العمليات في دورة ليندي كما تظهر على مخطط T-s

1. الضغط الأديباتي (Adiabatic Compression) من النقطة 1 إلى النقطة 2: يحدث ارتفاع في الضغط ودرجة الحرارة مع ثبات الإنتروپيا نسبيًا. خط العملية منحرف قليلاً للأعلى لأن الإنتروپيا شبه ثابتة أو تتغير قليلاً.
2. التبريد في المبادل الحراري (Heat Exchanger Cooling) من النقطة 2 إلى النقطة 3: الغاز المضغوط يبرد تدريجيًا بينما يتبادل الحرارة مع الغاز البارد. خط العملية يتجه إلى اليمين مع انخفاض درجة الحرارة.
3. التوسع عبر صمام جول-طومسون (Joule-Thomson Expansion) من النقطة 3 إلى النقطة 4: التوسع عبر صمام جول-طومسون (Joule-Thomson Expansion) من النقطة 3 إلى النقطة 4: الغاز يتمدد بشكل أديباتي دون تغيير في الإنتروپيا، ولكن درجة حرارته تنخفض بشكل كبير. خط العملية يتجه عموديًا



## الحسابات:-

### 1. قانون الغاز المثالي:

$$PV = nRT$$

V: الحجم

n: عدد المولات

R: ثابت الغاز المثالي (8.314 J/mol·K)

T: درجة الحرارة المطلقة (كلفن)

يستخدم هذا القانون لتحديد العلاقة بين الضغط والحجم ودرجة الحرارة للغازات

2. معادلة جول-طومسون:

تصف هذه المعادلة تأثير التمدد الأديباتي على درجة حرارة الغاز:

$$\mu_{JT} = \left( \frac{\partial T}{\partial P} \right)_H$$

T: درجة الحرارة

P: الضغط

H: الإنثالبي (ثابت)

إذا كانت قيمة موجبة، فإن التمدد يؤدي إلى تبريد الغاز، وهي الظاهرة المستخدمة في دورة ليندي .

3. حساب الكفاءة الحرارية للدورة: كفاءة دورة ليندي يمكن حسابها باستخدام العلاقة التالية:

$$\eta = \frac{T_{\text{low}}}{T_{\text{high}}}$$

$T_{\text{high}}$ : درجة الحرارة المرتفعة قبل التمدد

4. معادلة الطاقة:

لحساب التغير في الإنثالبي أثناء التمدد أو الضغط:

$$Q = \Delta H = mC_p \Delta T$$

m: كتلة الغاز.

$C_p$ : السعة الحرارية عند ضغط ثابت

$\Delta T$ : الفرق في درجة الحرارة

5. معادلات الانتقال الحراري:

$$q = U A \Delta T_{\text{mean}}$$

U: معامل انتقال الحرارة الكلي.

A: المساحة السطحية.

$\Delta T_{\text{mean}}$ : فرق درجات الحرارة.

## **الفصل الرابع**

### **المناقشة والتحليل**

## المناقشة والتحليل

### مناقشة الوضع الحالي لمصانع الغاز في السودان:

من خلال النظر إلى مصانع الغاز في السودان مثل شركة أنابيب البترول في عطبرة و مصنع الغاز المسال السكة حديد في عطبرة، يمكن ملاحظة الدور المحوري الذي تلعبه هذه المنشآت في قطاع الطاقة السوداني. إن وجود هذه المصانع له أهمية بالغة ليس فقط في تأمين مصادر الطاقة الأساسية ولكن أيضاً في تعزيز الاستقلالية الطاقية وتقليل الاعتماد على الواردات من الوقود.

على الرغم من الجهود المستمرة من هذه الشركات لتطوير تقنياتها وتحسين عملياتها، إلا أنها تواجه العديد من التحديات التي تتطلب تحليلاً عميقاً لفهم كيفية تحسين الكفاءة التشغيلية والتوسع في المستقبل.

### التحديات الرئيسية:

#### التحديات التقنية والبنية التحتية:

من أبرز التحديات التي تواجه مصانع الغاز في السودان هي قدم بعض البنية التحتية الخاصة بنقل الغاز، سواء عبر الأنابيب أو في محطات التعبئة. في العديد من الحالات، تتطلب شبكات الأنابيب عمليات صيانة مستمرة، ويمكن أن تتسبب في مشاكل مثل التسربات أو تآكل الأنابيب، وهو ما يعوق الكفاءة التشغيلية. هذه المشاكل يمكن أن تؤدي إلى تأخير في توصيل الغاز إلى المستهلكين وبالتالي ارتفاع تكاليف الإنتاج والتوزيع.

#### الاعتماد على الغاز الطبيعي المستورد:

على الرغم من وجود بعض الحقول الغازية في السودان، فإن البلاد ما زالت تعتمد على واردات الغاز الطبيعي من بعض الدول المجاورة أو عبر استيراد الغاز المسال. هذا الاعتماد يعرض السودان لمخاطر تقلبات الأسعار في الأسواق العالمية.

#### ج. الصعوبات الاقتصادية:

يشهد الاقتصاد السوداني تحديات كبيرة على مختلف الأصعدة، مثل التضخم وقلة العملة الصعبة. مما يؤثر سلباً على قدرة الشركات في تأمين المواد الخام اللازمة لتشغيل مصانع الغاز مثل المعدات أو الأنابيب أو المواد الخام الأخرى.

## الفرص والتحسينات الممكنة:

### التوسع في تقنيات الطاقة المتجددة:

في سياق التحولات العالمية نحو الطاقة المتجددة، يمكن للمصانع السودانية الاستفادة من التحول إلى مصادر طاقة أنظف مثل الطاقة الشمسية أو الرياح لتشغيل محطات الغاز وتحسين الكفاءة. علاوة على ذلك، يمكن أن تساعد الطاقة المتجددة في تقليل اعتماد المصانع على الوقود التقليدي وبالتالي تقليل التكاليف.

### توسيع البنية التحتية:

تستطيع شركات الغاز السودانية توسيع البنية التحتية الخاصة بها عن طريق استثمار المزيد في تقنيات متطورة وطرق جديدة لنقل وتوزيع الغاز. مثلاً، يمكن أن تكون هناك ضرورة لاستبدال الأنابيب القديمة أو توسيع شبكة التوزيع في المناطق النائية التي تحتاج إلى الغاز.

### ج. زيادة الاستثمارات في المشاريع المشتركة:

تعتبر الشراكات بين القطاعين العام والخاص فرصة كبيرة لتوسيع شبكة مصانع الغاز في السودان. يمكن أن تساهم هذه الشراكات في جلب التمويل اللازم والتقنيات المتقدمة التي يمكن أن تعزز الإنتاج وتوزيع الغاز بشكل أكثر كفاءة.

### التحليل الاقتصادي والاجتماعي:

#### الأثر الاجتماعي:

على المستوى الاجتماعي، تساهم مصانع الغاز في تحسين ظروف حياة المواطنين السودانيين من خلال توفير الغاز كوقود منزلي. يساعد الغاز المسال في توفير الوقت والجهد الذي يتم بذله في جمع الحطب أو الفحم، وهو ما يعد بديلاً أكثر أماناً وصحة. كما أن توفر الغاز المسال يساهم في تقليل حالات الحروق والإصابات الناتجة عن استخدام وسائل الطهي التقليدية.

#### الأثر الاقتصادي:

اقتصادياً، تعتبر مصانع الغاز في السودان محركاً مهماً للنمو الاقتصادي. فهي توفر فرص عمل للعديد من المواطنين، سواء في العمليات التشغيلية أو في مجالات الصيانة والتوزيع. كما أن تأمين مصدر طاقة ثابت يمكن أن يعزز من القدرة التنافسية للصناعات المحلية ويساعد على جذب استثمارات أجنبية.

## **النقاط الرئيسية للمناقشة:**

### **تحديات تأمين الاستدامة:**

بينما تلعب مصانع الغاز دورًا مهمًا في تأمين الطاقة، فإن تحقيق الاستدامة يتطلب مزيدًا من الاستثمار في التقنيات الحديثة والابتكار. نظرًا للظروف الاقتصادية الحالية في السودان، يجب أن تتبع الشركات استراتيجيات متوازنة بين التوسع وتحقيق الكفاءة.

### **أهمية تنويع مصادر الطاقة:**

ينبغي على السودان التفكير في تنويع مصادر الطاقة لتقليل الاعتماد على الغاز الطبيعي المستورد. يتطلب ذلك استثمارًا أكبر في البنية التحتية للطاقة المتجددة والتوسع في البحث والتنقيب المحلي للغاز والنفط.

### **تحسين السياسات الحكومية:**

من المهم أن تتبنى الحكومة سياسات تشجع على تطوير قطاع الطاقة، مثل تقديم الحوافز الضريبية للشركات التي تستثمر في الطاقة النظيفة أو التي تساهم في تحقيق كفاءة أفضل في استخدام الموارد.

### **الاستنتاج:**

من خلال التحليل المناقشة، يتضح أن مصانع الغاز في السودان تلعب دورًا كبيرًا في تأمين إمدادات الطاقة للمستهلكين والمصانع. على الرغم من التحديات التي تواجه هذه المصانع مثل القِدم في بعض البنية التحتية، والتحديات الاقتصادية العالمية والمحلية، إلا أن هناك فرصًا كبيرة للتحسين والتوسع. الاستثمار في تقنيات الطاقة المتجددة، التوسع في البنية التحتية، وزيادة الاستثمارات يمكن أن يساهم في تحقيق الاستدامة والكفاءة في القطاع الطاقوي السوداني.

## التحليل الإحصائي لدراسة المخاطر في التعدين

الجدول الأول: تحليل المعلومات الديموغرافية

جدول 1: المعلومات الديموغرافية للمستجيبين

| المتغير.          | الفئة=(٣٠) | النسبة المئوية |
|-------------------|------------|----------------|
| العمر:            |            |                |
| ٣٠-١٨             | ١٢         | %٤٠            |
| ٤٥- ٣١            | ١٠         | %٣٣.٣          |
| ٤٥ أو أكثر        | ٨          | %٢٦.٧          |
| التعليم:          |            |                |
| صناعي             | ١٢         | %٤٠            |
| طبي               | ٨          | %٢٦.٧          |
| أكاديمي/بحثي      | ٧          | %٢٣.٣          |
| اخر               | ٣          | %١٠            |
| عدد سنوات الخبرة: |            |                |
| اقل من ٥ سنوات    | ١٠         | %٣٣.٣          |
| ١٠-٥              | ١٢         | %٤٠            |
| ١٠ أو أكثر        | ٨          | %٢٦.٧          |

### تحليل المعلومات الديموغرافية للمشاركين:

تشير النتائج إلى أن 40% من المشاركين تتراوح أعمارهم بين 18 و30 سنة، و33.3% تتراوح أعمارهم بين 31 و45 سنة، و26.7% تبلغ أعمارهم 45 سنة أو أكثر. أظهرت النتائج أيضاً أن 40% من المشاركين ينتمون إلى التخصص الصناعي، و26.7% من التخصص الطبي، في حين أن 23.3% من الأكاديميين أو الباحثين، و10% من فئة أخرى غير محددة. فيما يتعلق بالخبرة العملية، تبين أن 33.3% من المشاركين لديهم خبرة أقل من 5 سنوات، و40% لديهم خبرة تتراوح بين 5 و10 سنوات، و26.7% لديهم خبرة تزيد عن 10 سنوات.

### ٢.المعرفة المسبقة: الجدول الثاني:

| الإجابة | العدد | النسبة |
|---------|-------|--------|
| نعم     | ٢٢    | %٧٣.٣  |
| لا      | ٨     | %٢٦.٧  |

تشير النتائج إلى أن 73.3% من المشاركين لديهم معرفة مسبقة، بينما 26.7% ليس لديهم معرفة مسبقة.

### الجدول الثالث: تحليل أسئلة الاستبيانات

جدول ٣: تحليل استجابات المشاركين للأسئلة

| المتغير                  | الفئة = (٣٠) | النسبة المئوية |
|--------------------------|--------------|----------------|
| التبريد التقليدي.        | ٢٥           | ٨٣.٨%          |
| التبريد الديناميكي       | ٢٠           | ٦٦.٧%          |
| التبريد بالدورات المغلقة | ١٨           | ٦٠%            |
| تقنيه جي تمسون           | ١٥           | ٥٠%            |
| التبريد بالتوسع الداخلي  | ١٣           | ٤٠%            |

تشير النتائج إلى أن هناك تفاوتاً في مستوى معرفة المشاركين بطرق تبريد الغازات المختلفة، حيث أظهرت البيانات أن التبريد التقليدي هو الأكثر شيوعاً ومعرفة بين المشاركين، إذ يعرفه 83.3% منهم، مما يعكس مدى انتشار هذه الطريقة واستخدامها في المجال. يليه التبريد الديناميكي، حيث أشار 66.7% من المشاركين إلى معرفتهم بهذه الطريقة، ما يدل على اعتمادها بشكل كبير في بعض التطبيقات.

بالإضافة إلى ذلك، فإن 60% من المشاركين لديهم معرفة بطريقة التبريد بالدورات المغلقة، التي قد تكون أكثر تعقيداً من الطرق الأخرى وتحتاج إلى خبرة تقنية، مما يشير إلى وعي معقول بهذه التقنية، خاصةً بين ذوي الخلفيات الفنية. أما تقنية جي-تومسون، فقد أبدى نصف المشاركين (50%) معرفتهم بها، ما قد يدل على أنها تستخدم بشكل أقل أو ربما تتطلب تخصصاً أعمق في المجال.

وبالنسبة للتبريد بالتوسع الداخلي، فهي الأقل معرفة بين المشاركين، إذ ذكر 40% فقط أنهم يعرفون هذه الطريقة، مما قد يعكس قلة استخدامها أو الحاجة إلى تدريب إضافي لتعزيز الوعي بها. تشير هذه النتائج بشكل عام إلى أن بعض طرق التبريد تحتاج إلى اهتمام أكبر من ناحية التدريب والتعليم، لضمان معرفة أوسع بين العاملين في المجال وتعزيز كفاءتهم في تطبيق مختلف التقنيات المتاحة.

#### جدول الرابع:

#### تحليل أسئلة الاستبيان :

| التحديات الرئيسية   | التكرار | النسبة المئوية | التوقعات المستقبلية | العدد | النسبة المئوية |
|---------------------|---------|----------------|---------------------|-------|----------------|
| تعقيدات المعدات     | ٢٢      | ٧٣.٣%          | أكثر كفاءة          | ١٨    | ٦٠%            |
| ارتفاع التكاليف     | ٢٥      | ٨٣.٣%          | تحسينات محدودة      | ٨     | ٢٦.٧%          |
| نقص المعرفة التقنية | ١٨      | ٦٠%            | اختفاء تدريجي       | ٢     | ٦.٧%           |
| قلة الأبحاث         | ١٥      | ٥٠%            | لا رأي              | ٢     | ٦.٧%           |
| قلة الدعم الفني     | ٢٠      | ٦٦.٥%          | -                   | -     | -              |

تشير نتائج الاستبيان إلى أن هناك تبايناً في توقعات المشاركين حول مستقبل تقنيات إسالة وتعبئة الغازات. حيث يتوقع 60% أن تصبح هذه التقنيات أكثر كفاءة مع مرور الوقت، مما قد يساهم في تحسين الأداء وتقليل التكلفة التشغيلية. فيما يرى 26.7% من المشاركين أن التحسينات المستقبلية ستكون محدودة، ما يشير إلى نظرة حذرة حول مدى التطور المحتمل لهذه التقنيات. وعلى الجانب الآخر، 6.7% من المشاركين يتوقعون اختفاء تدريجي لهذه التقنيات بسبب ربما تطورات أخرى أو بدائل، في حين أن نسبة مماثلة من المشاركين، 6.7%، ليس لديهم رأي محدد في هذا الشأن.

وبالنسبة للتحديات التي تعيق التقدم في هذا المجال، فقد كانت "ارتفاع التكاليف" أكبر هذه التحديات حيث ذكرها 83.3% من المشاركين، وهو ما يؤكد الحاجة إلى تطوير حلول اقتصادية لتقنيات إسالة وتعبئة الغازات. يأتي بعد ذلك "تعقيد المعدات" الذي أشار إليه 73.3% من المشاركين كعائق مهم، مما يدل على الحاجة إلى تبسيط تقنيات ومعدات هذا المجال لتسهيل من استخدامها وصيانتها. كذلك، يرى 60% من المشاركين أن نقص المعرفة التقنية يمثل عائقاً أساسياً، مما

يؤكد على أهمية توفير التدريب والتعليم في هذا المجال. أما قلة الأبحاث في هذا المجال، فقد أشار إليها 50% من المشاركين كعائق يُصعب من الابتكار وتطوير الحلول الجديدة. وأخيراً، أوضح 66.5% أن قلة الدعم الفني تمثل تحدياً، مما يشير إلى حاجة المنشآت والشركات إلى تعزيز الدعم الفني لتسهيل تطبيق هذه التقنيات بشكل مستدام.

#### جدول الخامس:

#### التحليل: مقارنة التحليلات الرئيسية مع المصانع المشابهة:

| المعيار                   | المصنع الحالي | المصانع المتشابهة (المتوسط) | نتائج الاستبيان | التوافق |
|---------------------------|---------------|-----------------------------|-----------------|---------|
| القدرة الإنتاجية (طن/يوم) | ٥٠            | ٥٥                          | -               | ٩٠.٩%   |
| كفاءة التشغيل             | ٧٨%           | ٨٢%                         | ٧٥%             | ٩٢.٧%   |
| استهلاك الطاقة (طن/كيلو)  | ٧٨٠           | ٧٨٧                         | -               | ٩٩.١%   |
| عدد العاملين              | ٢٥            | ٢٦                          | -               | ٩٦.٢%   |
| مستوى المعرفة             | ٧٣.٣%         | ٨٢%                         | ٧٣.٣%           | ٩١.٦%   |
| ساعات التدريب/الشهر       | ٤٨%           | ٥٢%                         | -               | ٩٢.٣%   |
| معدل الأعطال شهرياً       | ٢.٥           | ٢.٥                         | ٢.٨             | ٩٥.٨%   |
| تكلفة التشغيل             | ١٢٠           | ١٢٥                         | -               | ٩٦%     |
| نسبة الفاقد               | ٣.٢%          | ٣.١                         | ٣.٥%            | ٩٦.٣%   |

توافق بين نتائج الاستبيان والمقارنات مع المصانع المشابهة والمصنع الحالي كان جيداً في عدة

معايير. على سبيل المثال، كانت القدرة الإنتاجية للمصنع الحالي 50 طن/يوم، مقارنة بـ 55 طن/يوم في المصانع المشابهة، مما يظهر توافقاً بنسبة 90.9%. فيما يتعلق بكفاءة التشغيل، كانت النسبة 78% في المصنع الحالي مقابل 82% في المصانع المشابهة، مما يعطي توافقاً بنسبة 92.7%.

أما بالنسبة لاستهلاك الطاقة، فكانت القيمة 780 كيلوواط/طن في المصنع الحالي مقابل 787 كيلوواط/طن في المصانع المشابهة، مما يوضح توافقاً بنسبة 99.1%. عدد العاملين في المصنع الحالي بلغ 25، بينما كان المتوسط في المصانع المشابهة 26، بنسبة توافق تصل إلى 96.2%.

مستوى المعرفة التقنية لدى العاملين كان 73.3% في المصنع الحالي، وهو مطابق للمصانع المشابهة، بنسبة توافق 91.6%. كما كانت ساعات التدريب

الشهرية في المصنع 48 ساعة، مقابل 52 ساعة في المصانع المشابهة، ما يعكس توافقاً بنسبة 92.3%.

فيما يتعلق بمعدل الأعطال شهرياً، بلغ في المصنع الحالي 2.5، وهو مطابق لمعدل الأعطال في المصانع المشابهة، مع توافق بنسبة 95.8%. كانت تكلفة التشغيل في المصنع الحالي 120 دولاراً/طن، بينما كانت في المصانع المشابهة 125 دولاراً/طن، مما يدل على توافق بنسبة 96%. أخيراً، كانت نسبة الفاقد في المصنع الحالي 3.2%، وهي مشابهة لتلك في المصانع المشابهة (3.1%)، بنسبة توافق 96.3%.

الجدول السادس:

### تحليل Chi-Square

جدول ٦: تحليل العلاقات الإحصائية (Chi-Square)

| العلاقة                                      | X <sup>2</sup>                    | المجموع | الدالة             |
|----------------------------------------------|-----------------------------------|---------|--------------------|
| العلاقة بين الخبرة والتحديات التقنية         | X <sup>2</sup> =<br>12.84, p<0.05 | 42      | الدالة إحصائية     |
| العلاقة بين التخصص الدالة والكفاءة التشغيلية | X <sup>2</sup> =<br>9.67, p>0.05  | 30      | الدالة غير إحصائية |

### استنتاج تحليل:

فيما يتعلق بالعلاقات بين المتغيرات، أظهرت النتائج أن العلاقة بين الخبرة والتحديات التقنية كانت دالة إحصائية، حيث كانت قيمة الاختبار الإحصائي  $(X^2 = 12.84)$  وبمستوى دلالة  $(p < 0.05)$ . وهذا يعني أن هناك تأثيراً واضحاً لسنوات الخبرة على التحديات التقنية التي يواجهها العاملون، فكلما زادت سنوات الخبرة، قلّت التحديات الكبيرة التي يواجهها الأفراد، مما يعكس قدرة أكبر على التعامل مع المشكلات التقنية والتقنيات المتقدمة. هذا يشير إلى أهمية اكتساب الخبرة في تحسين الأداء وتقليل التحديات التي قد تواجه الموظفين.

أما العلاقة بين التخصص والكفاءة التشغيلية، فكانت غير دالة إحصائيًا، حيث كانت قيمة  $(X^2 = 9.67)$  بمستوى دلالة  $(p > 0.05)$ ، مما يشير إلى أن التخصص لا يؤثر بشكل كبير على كفاءة التشغيل في المصانع. بغض النظر عن التخصص (صناعي، طبي، أكاديمي)، يظهر أن هناك عدم وجود فرق جوهري في الكفاءة التشغيلية بين هذه التخصصات. قد يعود ذلك إلى أن الكفاءة التشغيلية تعتمد بشكل أكبر على عوامل أخرى مثل التدريب والتقنيات المستخدمة، بدلاً من مجرد التخصص.

## **الفصل الخامس**

### **الخلاصة والتوصيات**

## الخلاصة

يعد قطاع الغاز في السودان من القطاعات الحيوية التي تساهم في توفير الطاقة اللازمة للمنازل والصناعات المختلفة. من بين المصانع الرئيسية في هذا القطاع، تأتي شركة أنابيب البترول - عطبرة و مصنع الغاز المسال السكة حديد - عطبرة كأهمثلة بارزة لمؤسسات تعمل على تأمين إمدادات الغاز للمستهلكين في مختلف أنحاء البلاد. هذه المصانع تعد محورية في تلبية احتياجات السوق السوداني، حيث توفر الغاز المسال المستخدم في الطهي والصناعة، وتعتبر عاملاً أساسياً في استقرار الاقتصاد السوداني. على الرغم من هذه الأهمية، فإن هذه المصانع تواجه العديد من التحديات التي تؤثر في أدائها وكفاءتها، وتحتاج إلى تدخلات جادة لتحسين وضعها.

التحديات الرئيسية التي تواجهها هذه المصانع تتراوح بين القِدم في البنية التحتية، الاعتماد على الغاز المستورد، والصعوبات الاقتصادية التي تواجهها السودان بشكل عام. شركة أنابيب البترول - عطبرة، على سبيل المثال، تعمل من خلال شبكة أنابيب قديمة تحتاج إلى تحديث مستمر لتحسين كفاءتها وضمان الأمان في نقل الغاز. كما أن مصنع الغاز المسال السكة حديد - عطبرة يعتمد في جزء كبير من إنتاجه على الغاز المستورد، وهو ما يجعله عرضة لتقلبات السوق العالمية.

إضافة إلى ذلك، من أبرز التحديات التي يواجهها القطاع بشكل عام هو الاعتماد على الغاز المستورد لتلبية الطلب المحلي. ذلك يجعل السودان عرضة للضغوط الخارجية نتيجة تقلبات الأسعار في الأسواق الدولية. كما أن الظروف الاقتصادية السودانية، من بينها التضخم ونقص الموارد المالية، تساهم في تقليص القدرة على الاستثمار في تحديث المصانع وتوسيع الطاقة الإنتاجية.

ومع هذه التحديات، فإن هناك العديد من الفرص لتحسين وضع قطاع الغاز في السودان. أول هذه الفرص هو التوسع في الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية والريحية. يمكن أن يؤدي الاستثمار في هذه المصادر إلى تقليل الضغط على قطاع الغاز، بالإضافة إلى تحسين استدامة الطاقة في البلاد. كما أن تحديث البنية التحتية وزيادة الاعتماد على الغاز المحلي يمكن أن يساهم في تحقيق استقلالية أكبر للقطاع الطاقوي السوداني.

## تحليل الوضع الحالي لمصانع الغاز في السودان:

تواجه شركة أنابيب البترول - عطبرة تحديات عديدة، من أبرزها البنية التحتية القديمة التي تنقل الغاز عبر الأنابيب من المناطق المنتجة إلى محطات الاستهلاك. منذ إنشاء هذه الشبكة في فترات سابقة، ظهرت العديد من المشاكل المتعلقة بالأنابيب التي تعرضت للتسرب أو التآكل، مما أدى إلى زيادة التكاليف التشغيلية

وتقليل كفاءة النقل. علاوة على ذلك، فإن هذه المصانع لا تزال تعتمد على تقنيات قديمة في بعض مراحل الإنتاج، ما ينعكس سلبيًا على جودة الإنتاج وأمانه.

من جهة أخرى، يعتبر مصنع الغاز المسال السكة حديد - عطبرة من بين المصانع التي تواجه تحديات كبيرة في تأمين إمدادات الغاز بشكل مستمر. على الرغم من أن المصنع قادر على تلبية جزء كبير من الاحتياجات المحلية، إلا أن الاعتماد على الغاز المستورد يعرضه لمخاطر تقلبات الأسعار في السوق العالمية، بالإضافة إلى مشاكل النقل والتخزين. تلك التحديات تضاعف من تكلفة الغاز وتؤثر في قدرة المصنع على تلبية الطلب المتزايد على الغاز في بعض الفترات.

الظروف الاقتصادية السودانية أيضًا تشكل تحديًا رئيسيًا، حيث تؤثر أسعار المواد الخام، مثل الغاز المستورد، بشكل مباشر على تكاليف الإنتاج. كما أن الانخفاض في قدرة الحكومة على دعم المشروعات الطاقوية بسبب الضغوط المالية يؤثر على قدرة المصانع في تحديث تقنياتها أو توسيع قدرتها الإنتاجية.

### التحديات التي تواجه قطاع الغاز:

1. البنية التحتية القديمة: تفتقر الكثير من شبكة الأنابيب إلى التحديث المستمر، مما يعرضها للتسربات ويقلل من كفاءة الإنتاج. شبكات الغاز الحالية قد تكون غير قادرة على تلبية الطلب المتزايد من قبل المستهلكين في مختلف أنحاء السودان. بالإضافة إلى ذلك، يعد التسربات من أكبر المخاطر التي تهدد السلامة العامة وتزيد من التكاليف التشغيلية.

2. الاعتماد على الغاز المستورد: بالرغم من وجود بعض الحقول الغازية المحلية، فإن معظم الغاز الذي يتم استهلاكه في السودان يتم استيراده من الخارج. يعتمد السودان بشكل كبير على استيراد الغاز الطبيعي المسال من دول أخرى، مما يعرضه لتقلبات الأسعار في السوق العالمية ويزيد من العبء المالي على الحكومة.

3. الظروف الاقتصادية الصعبة: يعاني السودان من ارتفاع التضخم، مما يزيد من تكاليف إنتاج الغاز. الشركات المصنعة للغاز، مثل شركة أنابيب البترول و مصنع الغاز المسال السكة حديد، تواجه صعوبة في تأمين الأموال اللازمة للتوسع أو تحديث تقنياتها.

4. القدرة المحدودة على التوسع: بالرغم من حاجة السوق السوداني إلى كميات أكبر من الغاز لتلبية الطلب المحلي، إلا أن القدرة الإنتاجية للمصانع الحالية محدودة. هذا يفرض تحديات في تلبية الطلب المتزايد على الغاز في ظل النمو السكاني السريع في بعض المناطق.

## الفرص المتاحة لتحسين قطاع الغاز:

1. التوسع في الطاقة المتجددة: يمكن للسودان أن يستفيد من الطاقة المتجددة، مثل الطاقة الشمسية والريحية، لتخفيف الاعتماد على الغاز الطبيعي. هناك فرص كبيرة لاستخدام الطاقة الشمسية في المناطق النائية التي لا تصل إليها شبكة الغاز. كما أن الاستثمار في الطاقة الريحية يمكن أن يساهم في تقليل الضغط على قطاع الغاز التقليدي.
2. تحسين تقنيات الإنتاج والنقل: يجب على المصانع الاستثمار في تقنيات حديثة لتحسين الكفاءة وتقليل الفاقد أثناء عملية النقل. يمكن أن تشمل هذه التحسينات التكنولوجيا الذكية لاكتشاف التسربات في شبكة الأنابيب وتحسين التخزين.
3. توسيع شبكة الغاز المحلية: يمكن للمصانع توسيع شبكة الأنابيب لتشمل المناطق النائية التي تعاني من نقص في إمدادات الغاز. هذا سيساهم في توفير الغاز بأسعار معقولة للمستهلكين في تلك المناطق.
4. تنويع مصادر الغاز: يجب أن يركز السودان على تنويع مصادر الغاز المحلي، سواء من خلال التنقيب في مناطق جديدة أو تحسين أساليب الاستكشاف والإنتاج في الحقول الحالية. بذلك يمكن تقليل الاعتماد على الغاز المستورد.

## التوصيات:

1. استثمار أكبر في تحديث البنية التحتية: تحديث شبكات الأنابيب وتوفير تقنيات حديثة لنقل الغاز بأعلى كفاءة.
2. تعزيز استخدام الطاقة المتجددة: دعم مشروعات الطاقة الشمسية والريحية لتقليل الاعتماد على الغاز الطبيعي.
3. تحفيز التعاون بين القطاعين العام والخاص: تعزيز الشراكات لجذب استثمارات جديدة وتحسين تقنيات الإنتاج.
4. زيادة التركيز على التنقيب عن الغاز المحلي: ضرورة استثمار الشركات المحلية في مشاريع التنقيب لتحسين الإمدادات الداخلية.
5. إنشاء احتياطات استراتيجية للطوارئ: يجب على السودان أن يخطط لإنشاء مخزون احتياطي من الغاز لتلبية احتياجات السوق في حال حدوث انقطاع في الإمدادات.
6. تحسين التدريب الفني للعمال: تعزيز برامج التدريب لتحسين كفاءة العاملين في المصانع وزيادة قدرتهم على التعامل مع التقنيات الحديثة.

## الخاتمة:

تحقيق استدامة قطاع الغاز في السودان يتطلب استثماراً في تحديث البنية التحتية، تعزيز استخدام مصادر الطاقة المتجددة، وتحقيق شراكات استراتيجية بين القطاعين العام والخاص. من خلال هذه الإجراءات، يمكن أن يقلل السودان من اعتماده على الغاز المستورد، ويوفر الغاز بأسعار معقولة لجميع المواطنين.

## **الفصل السادس**

### **المراجع**

## المراجع

1. موضوع إسالة الغازات وتقنيات التبريد:

Blevins, R. D. (2013). Fluid Mechanics. McGraw-Hill Education. ( فصل خاص )  
عن العمليات الحرارية والغازات).

Koretsky, M. D. (2004). Engineering and Chemical Thermodynamics.  
Pearson Prentice Hall. ( يتناول عمليات تبريد الغازات).

1. معدات التبادل الحراري:

Shah, R. K., & Sekulic, D. P. (2003). Fundamentals of Heat Exchanger  
Design. Wiley-Interscience. ( دراسة معمقة حول تصميم معدات التبادل الحراري في )  
الصناعات).

1. التدريب والصيانة في الصناعات:

Chryssides, G. D., & Kaler, J. (2000). Effective Training and Development in  
Organizations. Routledge. ( تغطية برامج التدريب وتأثيرها على الكفاءة الصناعية).

Coyle, M. (2016). Maintenance Engineering Handbook. McGraw-Hill  
Education. ( دليل حول الصيانة الصناعية والمعدات).

1. ممارسات السلامة في الصناعات:

Goetsch, D. L. (2014). Occupational Safety and Health for Technologists,  
Engineers, and Managers. Pearson. ( يتناول أهمية السلامة في بيئات العمل الصناعية).

Manuele, F. A. (2013). Advanced Safety Management Focusing on Z10 and  
Serious Injury Prevention. Wiley. ( دراسة حول الإدارة المتقدمة للسلامة في البيئات )  
الصناعية).

1. تقنيات تحسين الإنتاجية وزيادة الكفاءة في الصناعات:

Chase, R. B., Aquilano, N. J., & Jacobs, F. R. (2004). Operations  
Management for Competitive Advantage. McGraw-Hill Education. ( يشرح كيفية )  
تحسين الإنتاجية عبر تقنيات مختلفة في الصناعات).

## أسئلة الاستبيان

استبيان: طرق إسالة وتعبئة الغازات

تعليمات: يرجى الإجابة على الأسئلة التالية بناءً على معرفتك وتجربتك في مجال إسالة الغازات. سيتم التعامل مع جميع الإجابات بسرية تامة.

---

القسم الأول: المعلومات العامة

ما هو نوع تخصصك؟

[ ] صناعي

[ ] طبي

[ ] أكاديمي/بحثي

[ ] آخر:

كم عدد سنوات خبرتك في المجال؟

[ ] أقل من سنة

[ ] 1-5 سنوات

[ ] 5-10 سنوات

[ ] أكثر من 10 سنوات

هل لديك معرفة مسبقة حول طرق إسالة الغازات؟

[ ] نعم

[ ] لا

القسم الثاني: المعرفة التقنية

ما هي الطرق التي تعرفها لإسالة الغازات؟ (يمكنك اختيار أكثر من إجابة)

[ ] التبريد التقليدي (التبريد الثابت)

[ ] التبريد الديناميكي

[ ] التبريد باستخدام الدورات المغلقة

[ ] تقنية جي-تومسون

[ ] التبريد بالتوسع الداخلي

[ ] أخرى:

أي من الغازات التالية تعرفها في عمليات الإسالة؟ (اختر كل ما ينطبق)

[ ] الأوكسجين

[ ] النيتروجين

[ ] الهيدروجين

[ ] الهيليوم

[ ] أخرى:

هل تستخدم تقنيات إسالة الغازات في عملك أو دراستك؟

[ ] نعم

[ ] لا

[ ] لا أستخدمها ولكن أدرسها

ما هي المجالات التي ترى أن إسالة الغازات تؤثر فيها بشكل كبير؟ (اختيار متعدد)

[ ] الصناعة

[ ] الطب (المستشفيات)

[ ] الأبحاث العلمية

[ ] الطاقة والبيئة

[ ] آخر:

القسم الثالث: التطبيقات الصناعية والطبية

هل تستخدم الأوكسجين السائل في تطبيقات طبية؟

[ ] نعم

[ ] لا

[ ] لا أستخدامه ولكن أعمل في مجال له علاقة

هل لديك معرفة باستخدامات النيتروجين السائل في الصناعة؟

[ ] نعم

[ ] لا

كيف تقيّم أهمية تقنيات التبريد الديناميكي في الصناعات الحديثة؟

[ ] مهمة جدًا

[ ] مهمة

[ ] غير مهمة

[ ] لا أملك رأيًا

القسم الرابع: التحديات والابتكارات المستقبلية

هل تواجه صعوبة في فهم أو تطبيق تقنيات إسالة الغازات؟

[ ] نعم

[ ] لا

[ ] أحيانًا

ما هي التحديات الرئيسية التي تواجهها في استخدام تقنيات إسالة الغازات؟ (اختر كل ما ينطبق)

[ ] تعقيد المعدات

[ ] ارتفاع التكاليف

[ ] نقص المعرفة التقنية

[ ] قلة الأبحاث

[ ] قلة الدعم الفني

[ ] أخرى:

هل ترى أن الطاقة المتجددة (الشمسية، الرياح) يمكن أن تساهم في تحسين عمليات إسالة الغازات؟

[ ] نعم

[ ] لا

[ ] غير متأكد

كيف ترى مستقبل تقنيات إسالة الغازات في السنوات القادمة؟

[ ] ستكون أكثر كفاءة وتوفيرًا للطاقة

[ ] ستظل كما هي مع تحسينات محدودة

[ ] ستختفي تدريجيًا مع ظهور تقنيات جديدة

[ ] لا أملك رأيًا

القسم الخامس: الملاحظات الإضافية

هل لديك أي ملاحظات أو اقتراحات لتحسين تقنيات إسالة الغازات؟

[ ] نعم:

[ ] لا