الجمهورية العربية السورية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم الميكانيك العام

# تأثير أنواع الوقود المستخدم على كفاءة محطات توليد الطاقة في سورية - النموذج الدراسي محطة دير علي

رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الحرارية

**إعداد**

**المهندس محمد رأفت القصيباتي**

**المشرف العلمي**

**الأستاذ الدكتور جمال العباس**

**أستاذ في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية**

**جامعة دمشق**

العام الدراسي

2024

# قرار لجنة الحكم

دققت هذه الرسالة، عنوان الرسالة:

" **تأثير أنواع الوقود المستخدم على كفاءة محطات توليد الطاقة في سورية – النموذج الدراسي محطة دير علي**"

وأجيزت **يوم الأربعاء** الواقع في **02/10/2024** من قبل السادة أعضاء لجنة الحكم التالية أسماؤهم:

| الاسم | المرتبة العلمية | الصفة<br>عضواً أو مشرفاً | التوقيع |
|---|---|---|---|
| د. جمال العباس | أستاذ في قسم هندسة الميكانيك العام<br>الاختصاص : الآلات الحرارية | عضواً مشرفاً | |
| د. حسين تينة | أستاذ في قسم هندسة الميكانيك العام<br>الاختصاص : ديناميك الغازات | عضواً | |
| د. أيمن الخباز | أستاذ مساعد في قسم هندسة الميكانيك العام<br>الاختصاص : آلات حرارية عنفية | عضواً | |

أجريت التعديلات، وأصبحت الرسالة صالحة لمنح درجة الماجستير في هندسة الميكانيك العام، اختصاص هندسة حرارية.

# تصريح خطي

أنا الموقع أدناه أصرح بعلمي الكامل وقبولي:

1- أن كل ما ينتج عن البحث والأطروحة هو ملكية فكرية ومالية بالتشارك مع جامعة دمشق، وأنني ألتزم بأخذ موافقة الجامعة في حال رغبتي بنشر البحث أو الأطروحة أو جزء منها نصاً أو مضموناً خارج إطار الجامعة (من دور نشر أو مواقع إلكترونية وغيرها من وسائل النشر).

2- أنه لا يوجد أي جزء من هذه الأطروحة تم اقتباسه من عمل علمي آخر أو أنجز للحصول على شهادة أخرى في جامعة دمشق أو أية جامعة أو معهد تعليمي داخل أو خارج الجمهورية العربية السورية.

الاسم والتوقيع:

المهندس محمد رأفت القصيباتي

# كلمـــــــــة شـــــــــــكر

أتقدم بخالص الشكر والتقدير لكل من ساهم في إنجاز هذا العمل، وأخص بالشكر أساتذتي الأفاضل الذين لم يبخلوا عليّ بعلمهم وتوجيهاتهم السديدة. لقد كان لدعمهم وتشجيعهم الأثر الكبير في تحقيق هذا الإنجاز. كما أتوجه بالشكر الجزيل لعائلتي الكريمة التي كانت سندي ودعمي الدائم، ولأصدقائي وزملائي الذين كانوا مصدر إلهام وتحفيز لي طوال فترة الدراسة. هذا الإنجاز ما كان ليتحقق لولا دعمكم وتشجيعكم المستمر، وأتمنى أن أكون عند حسن ظنكم دائماً.

وأتوجه بالشكر الكبير إلى عمادة كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، وأساتذة قسم هندسة الميكانيك العام، وإلى كل من ساهم في إنجاز هذا العمل وأخص بالشكر:

أستاذي المشرف **الأستاذ الدكتور جمال العباس** على متابعته وإرشاده الأبوي في كل خطوة من خطوات هذا البحث، أستاذ مقتدر في حقل الإشراف العلمي، حيث أننا نقف دائماً عاجزين عن رد الجميل إلا بكلمات شكر متواضعة، لك مني كل التقدير والاحترام....

والشكر موصول إلى إدارة محطة دير علي الحرارية التي كانت بيدر عطاء فيه جهد الزند وعرق الإنسان، وأخص بالشكر العاملون فيها على دعمهم الكبير لي بعلمهم ومعلوماتهم وبياناتهم وبرامجهم العلمية التي أغنت أطروحتي وساهمت في إتمام هذا البحث....

**م. محمد رأفت القصيباتي**

# فهرس المحتويات


| رقم الفقرة | عنوان الفقرة | رقم الصفحة |
|---|---|---|
| | عنوان الرسالة | 1 |
| | قرار لجنة الحكم | 2 |
| | تصريح خطي | 3 |
| | كلمة شكر | 4 |
| | فهرس المحتويات | 5 |
| | فهرس الأشكال التوضيحية | 11 |
| | فهرس الجداول | 14 |
| | الرموز والمصطلحات | 16 |
| | الاختصارات العلمية | 16 |
| | ملخص البحث العلمي | 17 |
| | **الفصل الأول**<br>**منهجية البحث والدراسات المرجعيَة** | 19 |
| 1-1 | مقدمة البحث | 20 |
| 2-1 | مشكلة البحث وأهميته | 23 |
| 3-1 | مسوغات البحث | 23 |
| 4-1 | الهدف من البحث | 24 |
| 5-1 | أدوات ومنهجية البحث | 24 |
| 6-1 | فرضيات البحث | 25 |

| | | |
|---|---|---|
| 7-1 | الدراسات المرجعيَة | 27 |
| | **الفصل الثاني**<br>**دراسة أنواع الوقود المختلفة، شبكة الغاز والنفط السورية** | 33 |
| 1-2 | مقدمة عن الوقود | 34 |
| 2-2 | تصنيف أنواع الوقود | 34 |
| 3-2 | احتراق الأنواع المختلفة من الوقود | 35 |
| a-3-2 | احتراق الوقود الصلب | 35 |
| b-3-2 | احتراق الوقود السائل | 36 |
| c-3-2 | احتراق الوقود الغازي | 37 |
| 4-2 | الغاز الطبيعي | 38 |
| 1-4-2 | مقدمة الغاز الطبيعي | 38 |
| 2-4-2 | أصل الغاز الطبيعي وتركيبه | 38 |
| 3-4-2 | مصادر الغاز الطبيعي | 40 |
| 4-4-2 | عمليات معالجة الغاز الطبيعي | 43 |
| 5-4-2 | استخدامات الغاز الطبيعي | 44 |
| 6-4-2 | المواصفات المثالية للغاز الطبيعي | 45 |
| 5-2 | الوقود السائل | 46 |
| 1-5-2 | مقدمة الوقود السائل | 46 |
| 2-5-2 | تصنيف النفط | 46 |

| | | |
|---|---|---|
| 3-5-2 | الخصائص الفيزيائية والكيميائية للوقود السائل | 47 |
| 4-5-2 | استخدامات الوقود السائل | 48 |
| 5-5-2 | القيمة الحرارية المثالية للوقود السائل $I_p$ | 49 |
| 6-5-2 | الحرارة النوعية المثالية للوقود السائل $C_{fuel}$ | 49 |
| 7-5-2 | خصائص الوقود السائل | 49 |
| 6-2 | تطور إنتاج النفط في سورية | 50 |
| 7-2 | شبكة خطوط نقل النفط الخام الخفيف والثقيل | 51 |
| 8-2 | وصف حقول النفط السوريَة | 53 |
| 9-2 | وصف شبكة الغاز السورية | 55 |
| | **الفصل الثالث**<br>**العنفات الغازية العاملة على إنتاج الطاقة الكهربائية** | 60 |
| 1-3 | محطات توليد الطاقة الكهربائية | 61 |
| 1-1-3 | أنواع محطات توليد الطاقة الكهربائية | 61 |
| 2-3 | محطات توليد الطاقة الكهربائية بالعنفات الغازية | 71 |
| 1-2-3 | لمحة تاريخية عن تطوُر العنفات الغازية | 71 |
| 2-2-3 | مزايا محطات العنفات الغازية | 74 |
| 3-2-3 | الجوانب السلبية في محطات العنفات الغازية | 75 |
| 4-2-3 | مقارنة بين العنفات الغازية والعنفات البخارية | 75 |
| 5-2-3 | الأجزاء الرئيسية لمحطات توليد الكهرباء بالعنفات الغازية | 76 |
| 3-3 | دارات العنفات الغازية | 78 |
| 1-3-3 | الدارة المفتوحة | 78 |
| 2-3-3 | الدارة المغلقة | 84 |
| 3-3-3 | الدارة النصف مغلقة | 86 |

| | | |
|---|---|---|
| 4-3-3 | الدارة المشتركة | 87 |
| | **الفصل الرابع**<br>**وصف ودراسة محطة دير علي الحرارية** | 88 |
| 1-4 | وصف محطة دير علي الحرارية | 89 |
| 2-4 | أقسام محطة دير علي الحرارية | 90 |
| 3-4 | الأجزاء الرئيسية للمخطط الحراري لمحطة دير علي | 91 |
| 4-4 | وصف الموقع العام لمحطة دير علي الحرارية | 92 |
| 5-4 | العنفة الغازية المدروسة | 93 |
| 1-5-4 | الأقسام الرئيسية للعنفة الغازية المدروسة | 93 |
| 2-5-4 | المواصفات الفنية للعنفة الغازية المدروسة | 95 |
| 3-5-4 | مستويات الضغط ودرجة الحرارة | 97 |
| 4-5-4 | منحنيات الأداء وظروف التشغيل | 99 |
| 6-4 | دراسة منحنيات الأداء للعنفة الغازية المدروسة | 100 |
| 1-6-4 | دراسة منحنيات الأداء للعنفة الغازية خلال أشهر سنة 2023 | 101 |
| | **الفصل الخامس**<br>**وصف عمل برنامج المحاكاة المقترح للبحث** | 125 |
| 1-5 | مقدمة عن برنامج Aspen Tech HYSYS v11.0 | 126 |
| 2-5 | الميزات الرئيسية لبرنامج Aspen Tech HYSYS v11.0 | 126 |
| 3-5 | التطبيقات العملية لبرنامج Aspen Tech HYSYS v11.0 | 126 |
| 4-5 | أهمية استخدام برنامج Aspen Tech HYSYS v11.0 في الصناعة | 127 |
| 5-5 | تقدير استهلاك الطاقة في برنامج Aspen Tech HYSYS v11.0 | 127 |
| 6-5 | وصف معادلة Peng–Robinson | 128 |

| | | |
|---|---|---|
| 7-5 | الصيغة الرياضية لمعادلة Peng–Robinson | 128 |
| 8-5 | أهمية معادلة Peng–Robinson | 129 |
| 9-5 | تطبيقات معادلة Peng–Robinson | 129 |
| 10-5 | برنامج محاكاة العمليات Aspen Tech HYSYS v11.0 | 130 |
| 1-10-5 | واجهة البرنامج Aspen Tech HYSYS v11.0 | 130 |
| 2-10-5 | لوحة أيقونات المعدَات Aspen Tech HYSYS v11.0 | 132 |
| | **الفصل السادس**<br>**دراسة الوقود الغازي وفق برنامج المحاكاة ودراسة الوقود السائل** | 135 |
| 1-6 | مقدمة | 136 |
| 2-6 | تركيب الغاز الواصل إلى محطة دير علي الحرارية | 136 |
| 3-6 | منظومة تكرير الغاز الطبيعي المقترحة | 137 |
| 1-3-6 | برج نزع الإيتان | 138 |
| 2-3-6 | برج نزع البوتان | 142 |
| 3-3-6 | برج نزع البروبان | 146 |
| 4-6 | مقارنة الوقود الغازي بين النموذج الموجود في المحطة والنموذج المقترح | 150 |
| 1-4-6 | مقارنة الوقود الغازي من حيث التركيب | 150 |
| 2-4-6 | المقارنة في الكميَات المنتجة | 151 |
| 3-4-6 | المقارنة في الطاقة المستهلكة | 152 |
| 5-6 | دراسة احتراق الوقود السائل | 153 |
| 1-5-6 | المقارنة بين القيمة الحرارية للوقود السائل (الحالية والمثلى) لمحطة دير علي | 155 |

| | | |
|---|---|---|
| | **الفصل السابع**<br>**الدراسة الترموديناميكية للعنفة الغازية المدروسة** | 156 |
| 1-7 | الدراسة النظرية | 157 |
| 1-1-7 | العنفة الغازية البسيطة | 157 |
| 2-1-7 | الدراسة النظرية لدارة العنفة الغازية البسيطة | 157 |
| 3-1-7 | مردود الدارة البسيطة | 158 |
| 4-1-7 | الدارة الفعلية للعنفة الغازية | 161 |
| 2-7 | مردود الدارة الفعلية | 162 |
| 3-7 | حساب مردود العنفة الغازية قيد الدراسة | 166 |
| 1-3-7 | مردود الدورة النظرية للعنفة الغازية المدروسة | 166 |
| 2-3-7 | مردود الدورة الفعلية للعنفة الغازية المدروسة | 168 |
| | مناقشة النتائج | 170 |
| | 1- حالة الوقود الغازي | 170 |
| | 2- حالة الوقود السائل | 171 |
| | المقترحات والتوصيات | 172 |
| | **قائمة المراجع العلمية** | 173 |
| | المراجع العربية | 173 |
| | English References | 174 |

# فهرس الأشكال التوضيحية


| رقم الشكل | اسم الشكل | رقم الصفحة |
|---|---|---|
| 1-1 | نسب إنتاج الطاقة الكهربائية في وزارات الجمهورية العربية السورية | 22 |
| 2-1 | مخطط توضيحي لسير عملية معالجة الغاز الطبيعي | 43 |
| 2-2 | شبكة خطوط نقل النفط الخام الخفيف والثقيل ضمن القطر العربي السوري | 51 |
| 2-3 | مسارات خطوط الغاز ضمن القطر العربي السوري | 55 |
| 2-4 | محطة صمام مقطعي | 59 |
| 3-1 | محطة توليد بخارية | 62 |
| 3-2 | الأجزاء الرئيسية لمحطات التوليد البخارية | 62 |
| 3-3 | مقطع داخلي للعنفة الغازية | 65 |
| 3-4 | محطة توليد نووية | 65 |
| 3-5 | محطة توليد مائية | 67 |
| 3-6 | مقطع داخلي لمحرك احتراق داخلي (ديزل) | 67 |
| 3-7 | محطة توليد ريحية | 68 |
| 3-8 | محطة طاقة شمسية | 69 |
| 3-9 | محطة توليد من المدَ والجزر | 70 |
| 3-10 | الأجزاء الرئيسية للعنفات الغازية | 71 |
| 3-11 | مقطع داخلي بغرفة الاحتراق | 76 |
| 3-12 | الدورة الحرارية للعنفة الغازية البسيطة | 79 |
| 3-13 | الدارة البسيطة المفتوحة مع مبادل حراري | 80 |
| 3-14 | الدارة البسيطة المفتوحة مع تمدد على مرحلتين | 80 |
| 3-15 | الدارة البسيطة المفتوحة مع تمدد على مرحلتين ومبادل حراري | 81 |
| 3-16 | الدارة البسيطة المفتوحة مع تمدد على مرحلتين وبغرفتي احتراق | 82 |
| 3-17 | الدارة البسيطة المفتوحة مع تمدد وانضغاط على مرحلتين | 82 |

| | | |
|---|---|---|
| 3-18 | الدارة البسيطة المفتوحة مع تبريد وتمدد على مرحلتين مع إعادة تسخين | 83 |
| 3-19 | الدارة البسيطة المفتوحة البسيطة مع غرفة احتراق بعد العنفة | 83 |
| 3-20 | الدارة المغلقة | 84 |
| 3-21 | الدارة النصف مغلقة | 86 |
| 3-22 | مخطط الدارة المشتركة | 87 |
| 4-1 | شبكة التمديدات الكهربائية لمحطة دير علي الحرارية | 89 |
| 4-2 | عنفة غازية لشركة سيمنس الألمانية SGT5-4000F | 93 |
| 4-3 | توزع ثابت للضغط على كامل تدفق الضاغط عند حمولة 100% | 94 |
| 4-4 | كتالوك الشركة الصانعة للعنفة الغازية المدروسة | 96 |
| 4-5 | مسار تدفق الغاز في العنفة الغازية المدروسة | 97 |
| 4-6 | دورة برايتون الحرارية | 98 |
| 4-7 | تطور كفاءة العنفات الغازية | 99 |
| 4-8 | منحني أداء العنفة الغازية خلال شهر كانون الثاني – 2023 | 102 |
| 4-9 | منحني أداء العنفة الغازية خلال شهر شباط – 2023 | 104 |
| 4-10 | منحني أداء العنفة الغازية خلال شهر آذار– 2023 | 106 |
| 4-11 | منحني أداء العنفة الغازية خلال شهر نيسان – 2023 | 108 |
| 4-12 | منحني أداء العنفة الغازية خلال شهر أيار – 2023 | 110 |
| 4-13 | منحني أداء العنفة الغازية خلال شهر حزيران – 2023 | 112 |
| 4-14 | منحني أداء العنفة الغازية خلال شهر تموز – 2023 | 114 |
| 4-15 | منحني أداء العنفة الغازية خلال شهر آب – 2023 | 116 |
| 4-16 | منحني أداء العنفة الغازية خلال شهر أيلول – 2023 | 118 |
| 4-17 | منحني أداء العنفة الغازية خلال شهر تشرين الأول – 2023 | 120 |
| 4-18 | منحني أداء العنفة الغازية خلال شهر تشرين الثاني – 2023 | 122 |
| 4-19 | منحني أداء العنفة الغازية خلال شهر كانون الأول – 2023 | 124 |
| 5-1 | واجهة برنامج Aspen Tech HYSYS v11.0 | 130 |

| | | |
|---|---|---|
| 5-2 | إضافة تيارات التغذية للبرنامج Aspen Tech HYSYS v11.0 | 131 |
| 5-3 | اختيار النموذج الترموديناميكي للعملية المدروسة | 131 |
| 5-4 | اختيار النموذج الترموديناميكي للعملية المدروسة | 132 |
| 5-5 | لوحة أيقونات المعدّات في برنامج Aspen Tech HYSYS v11.0 | 133 |
| 6-1 | الشروط التصميمية لبرج نزع الإيتان | 138 |
| 6-2 | الشروط التصميمية لبرج نزع البوتان | 142 |
| 6-3 | الشروط التصميمية لبرج نزع البروبان | 146 |
| 7-1 | دارة العنفة الغازية البسيطة | 157 |
| 7-2 | الدورة الحرارية للعنفة الغازية البسيطة | 158 |
| 7-3 | تمثيل دورة جوُل على مخطط الأنتروبي للعنفة الغازية المدروسة | 161 |
| 7-4 | دارة عنفة غازية ذات دارة مفتوحة تعمل وفق دورة جوُل | 161 |

# فهرس الجداول


| رقم الجدول | اسم الجدول | رقم الصفحة |
|---|---|---|
| 2-1 | تصنيف أنواع الوقود الطبيعي | 35 |
| 2-2 | تصنيف أنواع الوقود الصناعي | 35 |
| 2-3 | المواصفات المثالية للغاز الطبيعي | 45 |
| 2-4 | القيمة الحرارية المثالية للوقود السائل | 49 |
| 2-5 | الحرارة النوعية المثالية للوقود السائل | 49 |
| 4-1 | المواصفات الفنية للعنفة الغازية المدروسة | 95 |
| 4-2 | أداء العنفة الغازية خلال شهر كانون الثاني/2023 | 101 |
| 4-3 | أداء العنفة الغازية خلال شهر شباط/2023 | 103 |
| 4-4 | أداء العنفة الغازية خلال شهر آذار/2023 | 105 |
| 4-5 | أداء العنفة الغازية خلال شهر نيسان/2023 | 107 |
| 4-6 | أداء العنفة الغازية خلال شهر أيار/2023 | 109 |
| 4-7 | أداء العنفة الغازية خلال شهر حزيران/2023 | 111 |
| 4-8 | أداء العنفة الغازية خلال شهر تموز/2023 | 113 |
| 4-9 | أداء العنفة الغازية خلال شهر آب/2023 | 115 |
| 4-10 | أداء العنفة الغازية خلال شهر أيلول/2023 | 117 |
| 4-11 | أداء العنفة الغازية خلال شهر تشرين الأول/2023 | 119 |
| 4-12 | أداء العنفة الغازية خلال شهر تشرين الثاني/2023 | 121 |
| 4-13 | أداء العنفة الغازية خلال شهر كانون الأول/2023 | 123 |
| 6-1 | تركيب الوقود الغازي الواصل إلى محطة دير علي الحرارية | 136 |
| 6-2 | الشروط التشغيلية التي يعمل عليها برج نزع الإيتان | 139 |
| 6-3 | الخصائص الترموديناميكية للمنتجات | 139 |
| 6-4 | تركيب التيارات الناتجة من برج نزع الإيتان وذلك حسب خط الغاز العربي ونموذج المحاكاة (المقترح) | 140 |
| 6-5 | الحسابات التصميمية لكلٍ من غلاية ومكثف برج نزع الإيتان | 141 |
| 6-6 | الشروط التشغيلية التي يعمل عليها برج نزع البوتان | 143 |
| 6-7 | الخصائص الترموديناميكية للمنتجات | 143 |
| 6-8 | تركيب التيارات الناتجة من برج نزع البوتان وذلك حسب خط الغاز العربي ونموذج المحاكاة (المقترح) | 144 |

| | | |
|---|---|---|
| 6-9 | الحسابات التصميمية لكلٍ من غلاية ومكثف برج نزع البوتان | 145 |
| 6-10 | الشروط التشغيلية التي يعمل عليها برج نزع البروبان | 147 |
| 6-11 | الخصائص الترموديناميكية للمنتجات | 147 |
| 6-12 | تركيب التيارات الناتجة من برج نزع البروبان وذلك حسب خط الغاز العربي ونموذج المحاكاة (المقترح) | 148 |
| 6-13 | الحسابات التصميمية لكلٍ من غلاية ومكثف برج نزع البروبان | 149 |
| 6-14 | المقارنة في تركيب الغاز الطبيعي بين النموذج الموجود حالياً في المحطة والنموذج المقترح لها | 150 |
| 6-15 | المقارنة في الكميَات المنتجة للوقود الغازي المقترح لمحطة دير علي | 151 |
| 6-16 | المقارنة في الطاقة المستهلكة للوقود الغازي بين النموذج الموجود حالياً في المحطة والنموذج المقترح لها | 152 |
| 6-17 | المقارنة بين المحتوى الحراري للوقود السائل الحالي والأمثل لمحطة دير علي الحرارية | 155 |

# الرموز والمصطلحات:

| الرمز | الوحدة | الشرح |
|---|---|---|
| $I_p$ | $Kj/Kg$ | القيمة الحرارية للوقود السائل |
| $C_{fuel}$ | $Kj/Kg\,.K$ | الحرارة النوعية للوقود السائل |
| $P$ | $bar$ | الضغط |
| $T$ | ℃ | درجة الحرارة |
| $V$ | $m^3$ | الحجم |
| $\rho_{mol}$ | $Kg.mol/m^3$ | الكثافة المولَية |
| $\rho$ | $Kg/m^3$ | الكثافة الكتلَية |
| Q | $m^3/h$ | حجم التدفق الحقيقي |
| I | $Kj/Kg$ | انتالبية الكتلة |
| S | $Kj/Kg.$℃ | انتروبية الكتلة |
| $\eta_{th,r}$ | - | مردود الدارة الفعلية |
| $\eta_{cc}$ | - | مردود غرفة الاحتراق |
| $\eta_m$ | - | المردود الميكانيكي |
| $\eta_c$ | - | المردود الفعلي للضاغط |
| $\eta_t$ | - | المردود الفعلي للعنفة |
| $Z$ | — | نسبة الانضغاط |

# الاختصارات العلمية:

| الرمز | الشرح |
|---|---|
| $LPG$ | الغاز البترول المسَال (Liquefied Petroleum Gas) |
| $LNG$ | الغاز الطبيعي المسَال (Liquefied Natural Gas) |
| $CNG$ | الغاز الطبيعي المضغوط (Compressed Natural Gas) |
| $GCV$ | القيمة الحرارية الإجمالية (General Calorific Value) |
| $HHV$ | القيمة الحرارية العالية (High Heating Value) |
| $NCV$ | القيمة الحرارية الصافية (Net Calorific Value) |
| $LHV$ | القيمة الحرارية المنخفضة (Low Heating Value) |

# ملخص البحث العلمي

نظراً لأهمية الطاقة الكهربائية كمورد طبيعي حيوي وضروري للحياة، وكونها أساس التطور العمراني والتنمية الزراعية والتقدم الصناعي، حيث تعتمد غالبية المصانع في البلاد على الطاقة الكهربائية كقوة أساسية مشغلة، كان من الضروري البحث عن الصيغة المثلى للتركيب الكيميائي للوقود المستخدم في محطات توليد الطاقة للحصول على أعلى كفاءة ممكنة، مع الأخذ بعين الاعتبار تأثير العوامل الأخرى كغرف الاحتراق وكفاءتها.

تم وضع خطة بحث ممنهجة، مسترشدًا بالدراسات المرجعية السابقة المتعلقة بأنواع الوقود. ثم التواصل مع كلية الهندسة البتروكيميائية في جامعة البعث للاستفادة من رسائل الدكتوراه والماجستير المتعلقة بهذا الموضوع، والاستعانة بالتجارب والخبرات العراقية والخليجية لتحديد الصيغة المثلى للوقود السائل والغازي.

كما تم التواصل مع محطة دير علي الحرارية من خلال المهندسين والخبراء هناك، لتكون النموذج الدراسي المقترح للرسالة. بعد ذلك الاطلاع على جميع المواصفات المتعلقة بالعنفات البخارية والغازية من خلال جداول الكشوفات اليومية في المحطة.

تم أيضًا التواصل مع وزارة النفط السورية للحصول على مواصفات الوقود الغازي السوري وحقول النفط في سوريا، وذلك من خلال كميات الإنتاج ومواصفات الوقود الغازي والسائل الواصل إلى محطة دير علي، عن طريق خط الغاز العربي الواصل إلى المحطة.

بعد جمع المعلومات المطلوبة، تم دراسة الوقود الذي تعمل به محطة دير علي الحرارية وتبيان استطاعة العنفة الغازية المدروسة والتابعة لشركة سيمنس الألمانية، استنادًا إلى الاستطاعة الفعلية للعنفة بناءً على نوع وكمية الوقود المستخدم، ومن ثم وضع جداول للاستطاعة الفعلية للعنفة على مدار السنة الماضية بالشهر واليوم.

لتحسين أداء محطة دير علي الحرارية، تم تحديد الصيغة المثلى لنوع الوقود الغازي المطلوب توفره، حيث تبين إمكانية فصل مكونات البروبان والإيتان من الغاز الطبيعي لزيادة نسبة الميثان. لهذا الغرض، تم وضع خوارزمية للحساب على برنامج Aspen Tech HYSYS.

أجريت مقارنة بين الوقود الموجود في المحطة والوقود الغازي المثالي الذي يعطي أعلى كفاءة حرارية للمحطة بناءً على الخصائص الترموديناميكية التي حسبها البرنامج. ومن ثم، استُخلصت النتائج المطلوبة للاستفادة منها في بقية المحطات الحرارية في سورية، بهدف الوصول إلى أعلى كفاءة حرارية ممكنة لهذه المحطات.

تم أيضاً دراسة الوقود السائل الواصل إلى محطة دير علي الحرارية حسابياً، وبعد إيجاد الصيغة المثلى تبين إمكانية رفع قيمة محتواه الحراري.

فكانت النتيجة رفع من قيمة المردود الحراري للعنفة الغازية الموجودة في محطة دير علي الحرارية.

# الفصل الأول:

# منهجية البحث والدراسات المرجعيَة

## 1.1 مقدمة البحث:

في ظل التحديات المتزايدة التي تواجهها البشرية في الحفاظ على بيئة مستدامة، تبرز أهمية البحث العلمي في مجال توليد الطاقة الكهربائية وتحسين كفاءة محطاتها. يأتي هذا البحث ليسلط الضوء على أحد أبرز جوانب هذا المجال، وهو تأثير أنواع الوقود المستخدم على كفاءة محطات توليد الطاقة الكهربائية.

مع تنامي الطلب العالمي على الطاقة، يصبح من الضروري دراسة وتقييم الوقود المستخدم حاليًا في محطات توليد الطاقة، ومدى تأثيره على الكفاءة الإنتاجية والبيئية لهذه المحطات. يهدف هذا البحث إلى دراسة الوقود الغازي والسائل على محطة دير علي الحرارية في الحالتين (الحالة الأولى: الواقع الحالي للمحطة، الحالة الثانية: المثالية للوقود المدروس)

سيتم في هذا البحث مناقشة الدراسات السابقة التي تناولت هذا الموضوع، و عرض البيانات المتعلقة باستهلاك الوقود بمحطة دير علي. كما سيتم دراسة الوقود الغازي عن طريق برنامج حاسوبي، بغية الوصول إلى الحالة المثالية للوقود الداخل إلى محطة دير علي الحرارية.

من خلال هذا البحث، تم إلقاء الضوء على ضرورة وأهمية الاختيار الأمثل لأنواع الوقود في محطات توليد الطاقة، والدور الذي يمكن أن يلعبه هذا الاختيار في تحقيق الاستطاعة الكهربائية الأفضل لمحطات التوليد.

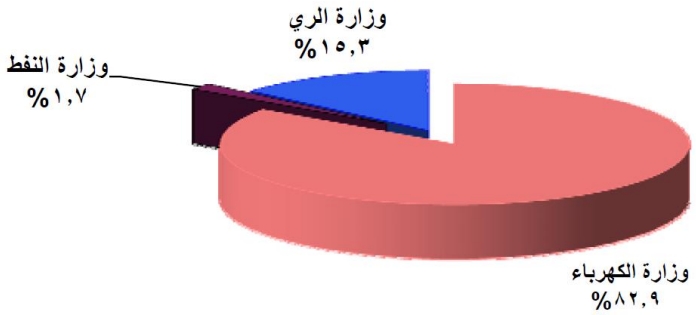
وقد دخلت الطاقة الكهربائية في كافة أنماط الحياة ومن أبرز المجالات الهامة لاستخدامها:

- المجال الصناعي: تعدُ الطاقة الكهربائية الشريان الرئيسي لتشغيل الكثير من الألات الصناعية التي تُسير عمليات الصناعة المختلفة وتعتبر العصب الرئيسي في الصناعة فلولا وجودها لما كان للصناعة الحديثة وجود. فالمصانع تقوم بإنتاج الكثير من المنتجات على خطوط التجميع وذلك باستخدام الأحزمة الناقلة التي تعمل بالكهرباء، ويستخدم المصنعون الأجهزة الكهربائية لضبط أحجام المنتجات ونوعيتها، وتعمل العديد من الأدوات الصغيرة كالمثاقب بالطاقة الكهربائية، وكذلك تدير المحركات الكهربائية (المصاعد والروافع ....) وغيرها من المعدات الكبيرة.

- المجال الصحي: القطاع الصحي واحداً من أهمِّ القطاعات التي يحتاج الإنسان لها وباستمرار وبشكلٍ يوميّ وعلى مدار الساعة، حيث هذا القطاع يعتمد بشكل رئيسي على الطاقة الكهربائيّة في تشغيل معظم الأجهزة الطبية الضرورية المتواجدة في المستشفيات وأغلب المراكز الصحية، الأمر الذي جسد أهمية اقتناء المولّدات الكهربائية والاعتماد عليها في توليد الطاقة الكهربائية في الحالات الطارئة.
- المجال المنزلي: أيضاً لا يمكن وفي ظلّ التقنيات الحديثة أن يستغني الإنسان في منزله عن الطاقة الكهربائية، فإن أغلب الأجهزة الضرورية والهامة المتواجدة في المنزل هي أجهزة كهربائية مثل (المكانس والغسالات الكهربائية) التي توفر الكثير من الوقت والجهد، وكذلك تساعد أجهزة الطبخ الكهربائية وأفران المايكرويف في تحضير الوجبات بسرعة وسهولة، كما تحفظ الثلاجات والمجمِّدات الطعام، وتبرِّد المكيفات والمراوح الكهربائية منازلنا، بينما توفر السخانات الكهربائية الدفء والماء الساخن، ويتيح التلفاز والراديو فرص التسلية، وبواسطة الضوء الكهربائي يمكننا الاستفادة من ساعات الليل.
- المجالات الأخرى: تدخل الطاقة الكهربائية في مجالات أخرى متعدّدة، منها في مجال المواصلات، وفي القطاع التجاري، وفي المجال التعليمي، وفي العديد من المجالات الأخرى. فالكهرباء تضيء الشوارع بالإضافة إلى العديد من الأماكن التي تستخدم لتقديم الخدمات للزبائن مثل المخابز والمحال التجارية.

يزداد الطلب العالمي على الطاقة الكهربائية عامًا بعد عام، ومعظم الطاقة الكهربائية التي نستخدمها يأتي مصدرها من محطات القدرة التي تحرق الوقود الأحفوري مثل الفحم والزيت والغاز الطبيعي، ونحصل على جزء من الطاقة الكهربائية من المحطات النووية والكهرومائية، كما نحصل على كميات صغيرة من الطاقة عن طريق الخلايا الشمسية والعنفات الريحية وغيرها من مصادر الطاقة.

في الجمهورية العربية السورية في عام 2019 تم تغطية القسم الرئيسي من الطلب المتزايد على الطاقة الكهربائية من خلال محطات التوليد الحرارية العائدة لوزارة الكهرباء التي ساهمت 82.9% من اجمالي التوليد، في حين ساهمت محطات التوليد العائدة لوزارة الري بنسبة 15.3% وساهمت محطات التوليد العائدة لوزارة النفط 1.3% كما هو مبين في الشكل (1-1).




الشكل (1-1) نسب إنتاج الطاقة الكهربائية في وزارات الجمهورية العربية السورية

حيث يتواجد في سورية 16 محطة حرارية لتوليد الكهرباء وقد شكلت العنفات البخارية 39% من إجمالي الطاقة الكهربائية المنتجة، والعنفات الغازية نسبة 8 %، والمحطات ذات الدورة المركبة 40% والعنفات المائية 14%.

ولكن نتيجة المشاكل التقنية التي تعاني منها بعض محطات الطاقة حالياً وتغير أدائها خلال فصول السنة، انخفض انتاج محطات توليد الكهرباء إلى أقل من 30% من حاجة سوريا للكهرباء بما معناه أن " محطات توليد الطاقة الكهربائية في سوريا تنتج اليوم 1500-2500 MW حسب مواقع توفر الوقود فقط، علماً أن حاجة سوريا من الطاقة عام 2010 وصلت إلى نحو أكثر من 9000 MW.

بشكل عام إن تحسين أداء المحطات الحرارية الموجودة في سوريا سوف ينعكس ايجابياً على مستوى الطاقة، لذا تم التطرق الى هذا البحث لتحسين أداء عنفة غازية حسب نوع الوقود المقترح لمحطة دير علي الحرارية وإيجاد أفضل الطرق لزيادة المردود الحراري لها.

## 2.1 مشكلة البحث وأهميته:

تتمثل المشكلة العلمية في هذا البحث في تحديد تأثير أنواع الوقود المستخدمة على كفاءة هذه المحطات( غازية، بخارية ومشتركة) من خلال مجموعة من العمليات التي تساعد في الحصول على الوقود الأمثل.

إن فهم تأثير أنواع الوقود المختلفة على كفاءة محطات توليد الطاقة يمكن أن يسهم في تحسين أداء المحطات بشكل عام.

من الضروري التأكيد على أن البحث في هذه المشكلة لا يقتصر على الجانب النظري فحسب، بل يتعداه إلى التطبيقات العملية التي يمكن أن تساهم في تحسين الأداء العام لمحطات توليد الطاقة، وتقليل الانبعاثات الضارة، وتخفيض التكاليف المالية المرتبطة بإنتاج الطاقة وزيادة الاستطاعة الكهربائية لمحطات التوليد.

## 3.1 مسوغات البحث:

نظرًا لتفاوت أنواع الوقود المستخدم في محطات توليد الطاقة الكهربائية، كان من الضروري البحث عن الصيغة المثلى لكلٍ من الوقود الغازي والسائل، بهدف رفع الكفاءة الحرارية لمحطات توليد الطاقة. على سبيل المثال، كانت استطاعة العنفة الغازية المدروسة تتراوح بين 230–240 ميغاواط، مما يشير إلى انخفاض عن الاستطاعة الاسمية للعنفة الغازية والتي تقدر بـ 278 ميغاواط. وتبين من خلال الدراسات المرجعية السابقة إمكانية رفع قيمة المحتوى الحراري للوقود بنوعيه الغازي والسائل، وذلك من خلال تعديل التركيب الكيميائي للوقود.

## 4.1 الهدف من البحث:

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير أنواع الوقود المستخدمة على كفاءة محطات توليد الطاقة الكهربائية من خلال عدة أهداف رئيسية:

**حراريًا:**

- تقييم الأداء الحراري لمحطات توليد الطاقة عند استخدام أنواع وقود مختلفة، وتحديد العلاقة بين نوع الوقود والكفاءة الحرارية للمحطة، أخذين بعين الاعتبار محطة دير علي الحراريَة.
- حساب المردود الحراري لمحطة دير علي الحرارية، وذلك عند عملها بالوقود المثالي.

**هندسيًا:**

- تحسين الأنظمة الهندسية المتعلقة بتصفية الوقود لمحطات توليد الطاقة، لرفع المحتوى الحراري من الوقود المستخدم وتقليل الفاقد الحراري.
- تعيين الدراسة الهندسية التي تساهم في تحسين الكفاءة الإنتاجية للمحطات وتقليل التأثيرات السلبية للوقود.

## 5.1 أدوات ومنهجية البحث:

**أدوات البحث:**

- الدراسات المرجعية: جمع وتحليل الدراسات السابقة ذات الصلة بموضوع البحث لبناء أساس نظري متين.
- المحاكاة الحاسوبية: استخدام برامج المحاكاة الهندسية والحرارية لتقييم الأداء الفعلي للمحطة تحت ظروف مختلفة من استخدام الوقود.
- القياسات الميدانية: إجراء قياسات مباشرة لمتغيرات إنتاج الطاقة في محطة دير علي الحرارية.

**منهجية البحث:**

- دراسة أنواع الوقود المختلفة من خلال خصائصهم الفيزيائية والحرارية.
- جمع الجداول المتعلقة بإنتاج الطاقة: من خلال التعاون مع الكوادر الفنية في محطة دير علي.

- المقارنة في أداء محطة دير علي الحرارية، وذلك عند عملها بالحالة المثالية للوقود والحالة الموجودة.

تم تصميم هذه الأدوات والمنهجية لتوفير فهم عميق للمتغيرات المؤثرة في كفاءة محطة دير علي الحرارية ولتقديم مساهمات علمية يمكن أن تساهم في تحسين الأداء العام لمحطات توليد الطاقة الكهربائية.

## 6.1 فرضيات البحث:

تم الحصول على البارمترات اللازمة لإتمام دراسة البحث من خلال الاستعانة ببرنامج Delphi المبرمج مع الشبكة الالكترونية لمحطة دير علي، ليواكب التغييرات الحاصلة على أداء محطة دير علي الحرارية في كل ثانية وعلى مدار 24 ساعة.

تم تمثيل هذه البيانات على شكل جداول بيانيَة باستخدام برنامج Excel وإجراء تقييم لأداء العنفة الغازية خلال الأعوام الماضيَة وقد تم تحليل النتائج على أرض الواقع بالتعاون مع المختصين والقائمين على العمل في محطة دير علي الحرارية.

**الفرضية الأولى:** يُتوقع أن يكون لنوع الوقود المستخدم تأثير مباشر وملموس على الكفاءة الحرارية لمحطة دير علي الحرارية، حيث أن الوقود ذو القيمة الحرارية العالية سيؤدي إلى زيادة الكفاءة الإجمالية للمحطة.

**الفرضية الثانية:** يُفترض أن استخدام برنامج Aspen Tech HYSYS سيساهم في تحسين دقة التنبؤ بالأداء الحراري لأبراج فصل الغاز الطبيعي، مما ينعكس إيجابًا على تحسين عمليات التشغيل والصيانة للمحطة.

**الفرضية الثالثة:** من المتوقع أن يؤدي استخدام أنواع وقود بديلة وأكثر نظافة إلى تقليل الانبعاثات الضارة والبصمة الكربونية لمحطة دير علي الحرارية، مما يساهم في تحقيق أهداف التنمية المستدامة.

**الفرضية الرابعة:** يُرجح أن يكون لتحسين الكفاءة الحرارية للمحطة تأثير إيجابي على الكفاءة الاقتصادية، بحيث يؤدي إلى خفض التكاليف التشغيلية وزيادة العائد على الاستثمار.

**الفرضية الخامسة:** يُظن أن تطبيق التعديلات الهندسية المستندة إلى نتائج البحث سيعزز من مرونة محطة دير علي الحرارية في التعامل مع تقلبات الطلب على الطاقة والتغيرات في أسعار الوقود.

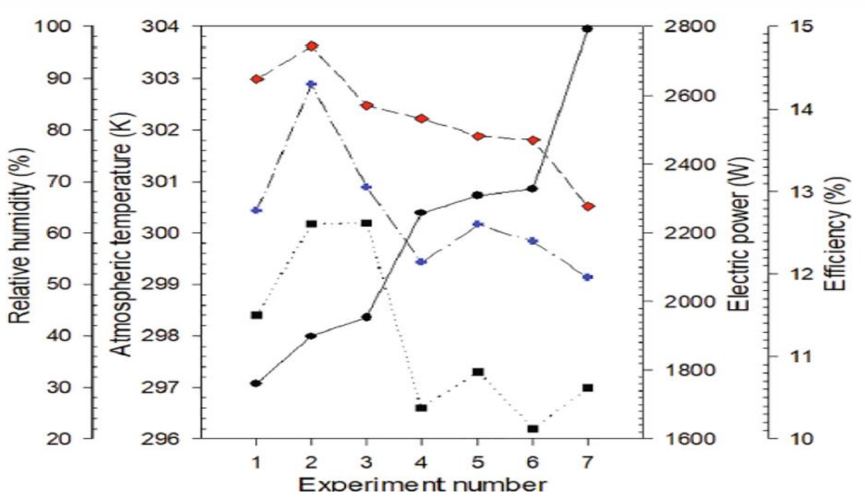
تم وضع هذه الفرضيات لتوجيه البحث وتحديد مسار التحليل والتقييم. ستُختبر هذه الفرضيات من خلال التجارب العملية والمحاكاة باستخدام برنامج Aspen Tech HYSYS ، وستُقيم النتائج لتحديد مدى صحتها وتأثيرها على تحسين كفاءة المحطة.

## 7.1 الدراسات المرجعية:

تم الاطلاع على عدد من الدراسات المرجعية، والتي تتعلق بعنوان البحث "تأثير أنواع الوقود المستخدم على كفاءة محطات توليد الطاقة في سورية – النموذج الدراسي محطة دير علي":

**1- الدراسة المرجعية الأولى: Cappelletti A, Martelli F, Bianchi E, Trifoni E. "Numerical redesign of 100kw MGT combustor for 100% H2 fueling", Japan, 15/03/2010.**

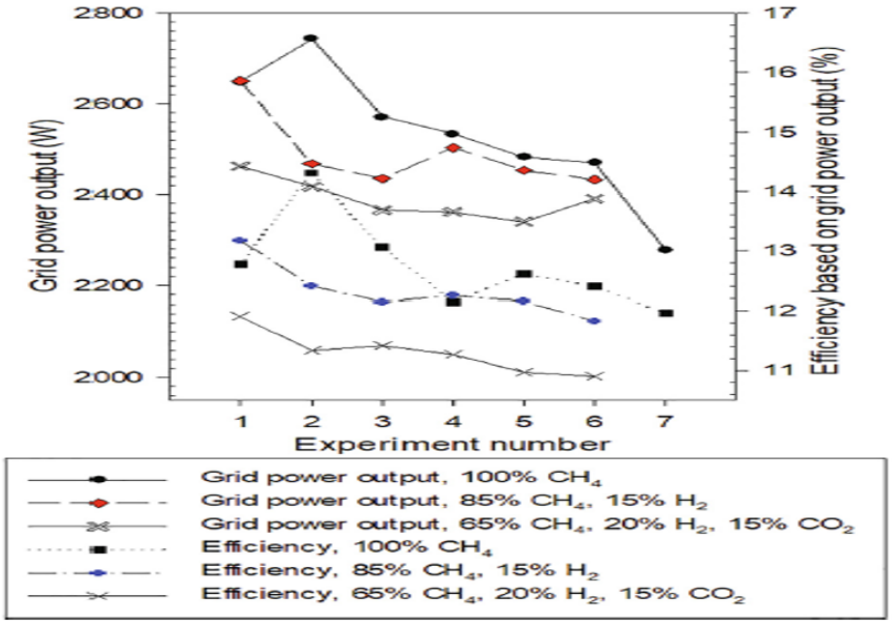
قام الباحث Cappelletti في اليابان عام 2010 بإجراء 7 اختبارات عملية لخرج الطاقة الكهربائية المستفادة بمحطة توليد الطاقة من الغاز الطبيعي الحاوي على نسبة ميثان مرتفعة 98-100% مع الإشادة إلى اختلاف تلك المنحنيات نظراً لاختلاف الشروط المناخية على سبيل المثال درجة الحرارة، والرطوبة النسبية الخارجية وعوامل أخرى.




| | |
|---|---|
| **العنوان:** | **Numerical redesign of 100kw MGT combustor for 100% CH4 fueling** |
| **الهدف:** | توضيح خرج الطاقة، عند العمل بنسبة غاز ميثان 100% |
| **المنطقة التي تم تحديد الدراسة فيها:** | اليابان – 2010 |
| **النتائج:** | – نتائج 7 اختبارات على كفاءة الطاقة المستفادة وكفاءة المحطة للوقود .<br>– اختلاف الاستفادة الفعلية من الوقود المستخدم، نظراً لاختلاف الشروط المناخية. |

**2- الدراسة المرجعية الثانية: Kawasaki Heavy Industries L.t.d. Kawasaki develops low-NOx hydrogen-fueled gas turbine combustion technolgy, Japan, 2015.**

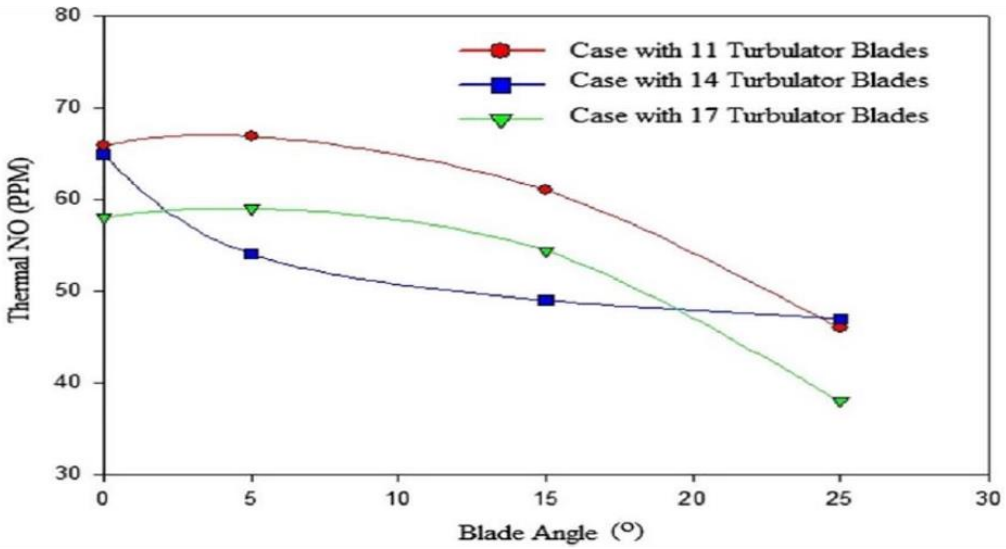
قام الباحث Kawasaki في اليابان عام 2015 بتقييم خرج الطاقة المستفادة من المحطة الحرارية بإستخدام أنواع مختلفة من الوقود الطبيعي والمختلف بتركيبه الكيميائي في حين تم الإشادة بدراسته على أن ارتفاع نسبة ميثان $CH_4$ يؤدي إلى ارتفاع المردود الحراري للمحطة الحرارية الغازية وذلك عند ثبات الشروط الخارجية.




| | |
|---|---|
| **العنوان:** | **Kawasaki develops low-NOx hydrogen-fueled gas turbine combustion technolgy** |
| **الهدف:** | تقييم خرج الطاقة المستفادة من المحطة بإستخدام أنواع مختلفة من الوقود الطبيعي والمختلف بتركيبه الكيميائي. |
| **المنطقة التي تم تحديد الدراسة فيها:** | اليابان – 2015 |
| **النتائج:** | – إذا كان خليط الغاز يحتوي على رقم ميثان 80، فإنه مكون من 80٪ ميثان و 20٪ هيدروجين. هناك مكونات غاز تحتوي على رقم ميثان أعلى من 100 ، لذلك من الممكن أيضًا أن يكون لمركب الغاز رقم ميثان أعلى من 100. |
| **النقد:** | – لم يتم ذكر الشروط الخارجية الأخرى, على سبيل المثال:<br>– درجة الحرارة الخارجية ونوع وآلية عمل غرف الاحتراق المستخدمة. |

**3- الدراسة المرجعية الثالثة: Gökalp I, Lebas E. "Alternative fuels for industrial gas turbines (AFTUR), Germany", 4/9/2016.**

قام الباحث Gökalp في ألمانيا عام 2016 بدراسة العلاقة بين نسبة انبعاثات أكاسيد النتروجين في غازات العادم وزاوية انحراف الشفرات وذلك بغية الحصول على الحد الأدنى من انبعاثات $NO_x$ في غازات العادم وقد تبين أن دخول الهواء لغرفة الاحتراق بزاوية ميل $17^{\circ}$ هي الزاوية الأفضل لجعل اللهب في غرفة الاحتراق أكثر تجانساً، مع التأكيد على ضرورة معالجة الغاز الطبيعي ليصبح حاوي على نسبة ميثان مرتفعة إلى حدٍ ما، وبالتالي عمل غرفة الاحتراق بمردودها الأعظمي والحصول على مردود حراري عالي من المحطة الحرارية.




| | |
|---|---|
| **العنوان:** | **Alternative fuels for industrial gas turbines** |
| **الهدف:** | الحصول على الحد الأدنى لانبعاثات $NO_x$ الحرارية في غازات العادم. |
| **المنطقة التي تم تحديد الدراسة فيها:** | ألمانيا – 2016 |
| **النتائج:** | – زيادة عدد الفتحات الهوائية تسبب في تقليل الانبعاثات $NO_x$ الحرارية في غازات العادم, ويجعل اللهب في غرافة الاحتراق أكثر تجانساً |

**4- الدراسة المرجعية الرابعة: Tomas, Rafael, "Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)", USA, 2018.**

قام الباحث Tomas في أمريكا عام 2018، بإعداد:"تقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ". يُقدم هذا التقرير معلومات شاملة حول تأثيرات استخدام الوقود الأحفوري على البيئة والمناخ، ويُسلط الضوء على الحاجة إلى الانتقال نحو مصادر الطاقة المتجددة لتحسين الكفاءة الحرارية وتقليل الانبعاثات.

**5- الدراسة المرجعية الخامسة: م.محمد ياسر، "دراسة التأثيرات البيئية والاقتصادية لاستخدام الوقود الحيوي في محطات توليد الطاقة"، العراق، سنة النشر 2021.**

قام الباحث Yasser في العراق عام 2021، تُقدم هذه الدراسة تحليلًا للتأثيرات البيئية والاقتصادية لاستخدام الوقود الحيوي كبديل مستدام للوقود الأحفوري في محطات توليد الطاقة.

**6- الدراسة المرجعية السادسة: م.باسل عبد القادر، "تقييم عملية حقن البخار لإنتاج النفط الثقيل في أحد الحقول السورية"، جامعة البعث، إشراف: د.غادة الخضور عام 2022.**

قام الباحث Abd Alqader في سوريا عام 2022، بإجراء دراسة نظرية عن طرق انتاج النفط الثقيل والتوسع بطريقة حقن البخار الدوري، كما تم توصيف باقي حقول النفط الثقيل في سوريا (حقل عودة، الورد، العمر...) مبيناً مقدار الإنتاجية النفطية لكل حقل من هذه الحقول.

**7- الدراسة المرجعية السابعة: م. عباس هاشم كاظم، " كتاب طرق توليد الطاقة الكهربائية "، تاريخ النشر 2017.**

قام الباحث Kazem في عام 2017، بنشر مقال يتعلق بأنواع محطات توليد الطاقة الكهربائية مع وضع الرسوم التوضيحية لأهم الأجزاء الفنية المطلوب تواجدها في محطات توليد الطاقة المختلفة.

**8- الدراسة المرجعية الثامنة: M.M. Rahman, M.Y. Taib, A.R. Ismail, A.R. Yusoff, and M.A.M. Romlay, "Effects of Operating Conditions on the Performance of a Gas Turbine Power Plant", Malaysia, 2010.**

قام الباحثين Rahman, Taib, Ismail, Yusoff, and Romlay في ماليزيا عام 2010، بدراسة تأثير ظروف التشغيل على أداء محطة توليد الطاقة بالتوربين الغازي، ووجد أنه يزداد استهلاك الوقود النوعي مع زيادة درجة حرارة البيئة المحيطة وانخفاض درجة حرارة مدخل التوربين. يكون تأثير تغير استهلاك الوقود النوعي أكثر

وضوحاً عند درجات حرارة البيئة المحيطة العالية مقارنة بالمنخفضة. لوحظ أن الكفاءة الحرارية تزداد خطياً عند نسب ضغط أقل وكذلك درجات حرارة مدخل التوربين الأعلى حتى قيمة معينة لنسبة الضغط. على الرغم من أن انخفاض درجة حرارة مدخل التوربين يقلل الكفاءة الحرارية بشكل كبير، إلا أن استهلاك الوقود النوعي ينخفض خطيًا مع زيادة نسبة الضغط ودرجة حرارة مدخل التوربين في النطاق الأدنى حتى قيمة معينة ثم يزداد بشكل كبير عند درجات حرارة مدخل التوربين المنخفضة.

**9- الدراسة المرجعية التاسعة: Rainer Kurz, Klaus Brun, Cyrus Meher-Homji, Jeff Moore and Francisco Gonzalez, "Gas Turbine Performance and Maintenance", USA, 2013**

قام الباحثين Gonzalez, Kurz, Brun, Meher-Homji, Moore في أمريكا عام 2013، بدراسة أداء وصيانة التوربينات الغازية، وقد تبين أنه يمكن أن تؤثر ممارسات الصيانة والتشغيل السليمة بشكل كبير على مستوى تدهور الأداء وبالتالي الوقت بين الإصلاحات أو عمليات التجديد للتوربين الغازي. يساعد فهم خصائص أداء التوربينات الغازية في التطبيقات الصحيحة وكذلك في تحديد حجم المعدات المدفوعة وعملية التشغيل. سيسمح المراقبة الاستباقية للحالة لمشغل التوربين الغازي باتخاذ قرارات خدمة ذكية بناءً على الحالة الفعلية للتوربين الغازي بدلاً من الاعتماد على فترات الصيانة الثابتة والمبنية على التقويم. ستقلل المحافظة على جودة الهواء الداخل والوقود وزيت التشحيم من تدهور وتآكل التوربين الغازي. يوفر هذا الدليل مناقشة حول خصائص الأداء وكيفية تقليل تدهور الأداء. يتم تقديم توصيات حول كيفية تقليل المشغل لتدهور وتآكل التوربينات الغازية من خلال ممارسات الصيانة السليمة. يتم التركيز على مراقبة معايير أداء التوربينات الغازية، وأهمها نوع الوقود المستخدم وذلك لتأسيس ممارسات صيانة مبنية على الحالة.

**10- الدراسة المرجعية العاشرة: م.وليد الناصر، "دراسة نظرية لتأثير أنواع الوقود المختلفة على أداء محطة توليد الطاقة بالتوربينات الغازية المفتوحة"، الكويت، سنة النشر 2019.**

قام الباحث الناصر من العراق عام 2019، بدراسة كيفية تأثير أنواع الوقود المختلفة بما في ذلك الهيدروكربونات والوقود الهيدروجيني، على الكفاءة الحرارية ومعدل استهلاك الوقود ونسبة الاستطاعة المستفادة للتوربينات الغازية

**11- الدراسة المرجعية الحادية عشرة: Candel, Luis, "Study of solid, liquid and gaseous fuels with their chemical compositions and pollutants", Britain, 9/8/2016.**

قام الباحث Candel من بريطانيا عام 2016 بتوصيف أنواع الوقود الغازي والسائل والصلب وتحديد الوقود النظيف والملوث منها مع تبيان مخطط الاستخدام لكلٍ منها.

**12- الدراسة المرجعية الثانية عشرة: Mohammadi K, Khaledi MSE, Saghafifar M, Powell K. "Hybrid systems based on gas turbine combined cycle for trigeneration of power", India, 14/4/2019.**

قام الباحث محمد من الهند عام 2019 بإجراء توصيف كامل لعناصر الوقود المختلفة (السائل-الغاز-الصلب) من ناحية التراكيب الكيميائية $CO_2, CH_4, N_2O, CO, \ldots$.

## ملخص الدراسات المرجعية:

تطرقت الدراسة المرجعية الأولى إلى نتائج اختبارات خرج الطاقة الكهربائية بناءً على نسبة عالية من الميثان في الغاز الطبيعي. ثم تطرقت الدراسة المرجعية الثانية إلى تقييم خرج الطاقة المستفادة في الآلات الحرارية باستخدام أنواع مختلفة من الوقود الطبيعي. ثم تطرقت الدراسة المرجعية الثالثة إلى دراسة العلاقة بين نسبة انبعاثات أكاسيد النيتروجين في غازات العادم والوصول إلى زاوية الميل المثلى لدخول الهواء إلى غرفة الاحتراق. ثم تطرقت الدراسة المرجعية الرابعة إلى الحاجة إلى الانتقال نحو استخدام الطاقة المتجددة لتقليل الانبعاثات. ثم تطرقت الدراسة المرجعية الخامسة إلى تقديم تحليل للتأثيرات البيئية لاستخدام الوقود الحيوي كبديل للوقود الأحفوري في محطات توليد الطاقة. ثم تطرقت الدراسة المرجعية السادسة إلى إجراء دراسة لطرق نقل النفط الثقيل في حقول النفط في سورية، مبينةً الإنتاجية النفطية لكل حقل من هذه الحقول. ثم تطرقت الدراسة المرجعية السابعة إلى توضيح أهم الأجزاء الفنية المطلوب تواجدها في محطات توليد الطاقة. ثم تطرقت الدراسة المرجعية الثامنة إلى دراسة ظروف التشغيل على أداء محطة توليد الطاقة بالتوربين الغازي. ثم تطرقت الدراسة المرجعية التاسعة إلى دراسة تأثير ممارسات الصيانة والتشغيل على مستوى الأداء للتوربين الغازي. وأخيرًا، تطرقت باقي الدراسات إلى دراسة معدل استهلاك الوقود للتوربينات وتوصيف أنواع الوقود الغازي والسائل والصلب، بالإضافة إلى دراسة التراكيب الكيميائية لكل نوع من أنواع الوقود.

سنقوم بهذا البحث: بدراسة الوقود الذي تعمل به محطة دير علي الحرارية وتبيان استطاعة العنفة الغازية المدروسة والتابعة لشركة سيمنس الألمانية، استنادًا إلى الاستطاعة الفعلية للعنفة بناءً على نوع وكمية الوقود المستخدم، ومن ثم وضع جداول للاستطاعة الفعلية للعنفة على مدار السنة الماضية بالشهر واليوم.

ثم سنقوم بوضع خوارزمية للحساب على برنامج Aspen Tech HYSYS لتحسين أداء محطة دير علي الحرارية، ومن ثم تحديد الصيغة المثلى لنوع الوقود الغازي المطلوب توفره في المحطة الحرارية.

وبعد ذلك، إجراء مقارنة بين الوقود الموجود في المحطة والوقود الغازي المثالي الذي يعطي أعلى كفاءة حرارية للمحطة بناءً على الخصائص الترموديناميكية التي حسبها البرنامج.

# الفصل الثاني:

# دراسة أنواع الوقود المختلفة، شبكة النفط والغاز السورية

# الوقود:

## 1.2 مقدمة عن الوقود:

الوقود هو المواد القابلة للاحتراق، والتي تعطي عند احتراقها طاقة حرارية، يمكن استخدامها للأغراض التقنية والاقتصادية المختلفة. ولكن هذه المواد كثيرة في الطبيعة، ولكي تسمى وقوداً يجب أن تتوافر في الطبيعة بكميات كبيرة، وأن تحترق بمردود عالٍ، وأن لا تترك نواتج احتراق ضارة بالبيئة.

بهذا يتصدر الوقود العضوي (الفحم الحجري، النفط والغاز الطبيعي) قائمة المصادر المختلفة للطاقة حيث يشكل حوالي 80% من مجموع مصادر الطاقة المستخدمة في العالم وذلك بالرغم من وجود الوقود النووي واتساع نطاق استخدام الوقود الحيوي في الآونة الأخيرة [7].

## 2.2 تصنيف أنواع الوقود:

يصنف الوقود بحسب حالته الفيزيائية إلى وقود صلب، وسائل، وغازي.

وبحسب طريقة استخراجه إلى وقود طبيعي ووقود صناعي، يستخرج الوقود الصناعي من الوقود الطبيعي بطريقة تحويل فيزيائية ميكانيكية أو فيزيائية كيميائية.

ويصنف أيضاً وبحسب طريقة الاستخدام إلى وقود الطاقة الذي يستعمل للحصول على الطاقة الحرارية والوقود التقني المستخدم للأهداف الخاصة حيث يخضع الوقود لمعالجة تقنية لاستخلاص المواد القيَمة منه التي يمكن استخدامها كمادة خام للصناعات الكيميائية، وتستخدم المواد الباقية كوقود حراري لاستخلاص الطاقة [7].

## الوقود الطبيعي

| الصلب | السائل | الغازي |
|---|---|---|
| الحطب والخشب | النفط | **الغاز الطبيعي** |
| الفحم الحجري بأنواعه المختلفة وغيرها | | **الغاز المرافق للنفط** |

يمثل الجدول (1-2) تصنيف أنواع الوقود الطبيعي

## الوقود الصناعي

| الصلب | السائل | الغازي |
|---|---|---|
| فحم الكوك بأنواعه | البنزين، الكيروسين | الغاز المضغوط والغاز المسيل من عملية تكرير النفط |
| الأنتراتسيت الحراري، الوقود الناعم (المسحوق) وغيرها | **وقود الديزل، وقود المراجل وغيرها** | غاز الكوك، غاز التوليد وغيرها |

يمثل الجدول (2-2) تصنيف أنواع الوقود الصناعي

## 3.2 احتراق الأنواع المختلفة من الوقود:

تختلف عملية احتراق الوقود باختلاف نوعيته وخواصه.

### a.3.2 احتراق الوقود الصلب:

يحترق الوقود الصلب (الفحم الحجري بأنواعه) بطريقتين:

1- بشكل طبقي في حجرة الاحتراق طبقية (طبيعية).

2- بشكل ناعم (فحم مطحون) في حجرة احتراق خاصة.

أ- يحترق الوقود الصلب في حجرة الاحتراق الطبقية على عدة مراحل وهي:

- تبخر الماء والرطوبة العالقة ( تجفيفاً أولياً).
- تفكك المواد الغازية الخفيفة واحتراقها في جو الحجرة.
- احتراق مباشر للفحم الحجري مباشر للفحم الحجري الموجود على شبكة داخل الحجرة.

ولإتمام احتراق الغازات الناتجة الخفيفة في جو الحجرة، ينبغي توافر حرارة عالية بداخلها لأن درجة اشتعال هذه المواد تزيد عن 500 °C. إن إنجاز عملية الاحتراق يرتبط مباشرة بمعامل فائض الهواء.

فإذا كانت طبقة الفحم سميكة كما هو مرغوب، فإن عدم كفاية الهواء يقود إلى الاحتراق الجزئي وإذا كانت الطبقة رقيقة أكثر من اللزوم فإن الهواء الفائض في الحجرة يسخن ويحمل الحرارة معه إلى المدخنة، مع نواتج الاحتراق مما يزيد فقدان الطاقة الحرارية، وتؤدي زيادة معامل فائض الهواء إلى انخفاض درجة حرارة الاحتراق كذلك. يعد أصغر معامل ممكن لفائض الهواء، الذي يحقق الاحتراق التام للوقود، المؤشر الاقتصادي لعملية احتراق الفحم بشكل طبقي.

ب- عملية احتراق الفحم الناعم:

يمكن اختصار العملية كما يلي: يدفع مسحوق الفحم الناعم بوساطة تيار من الهواء من خلال حراق إلى حجرة الاحتراق حيث يحترق وهو معلق في تيار الهواء. يسمى تيار الهواء هذا هو التيار الأولي وهو جزء من الهواء اللازم لعملية الاحتراق. والهواء الباقي واللازم للعملية يدخل إلى الحجرة من خلال الحراق أو بالقرب منه ويسمى الهواء الثانوي. تستخدم هذه الطريقة في مراجل محطات الطاقة الكهربائية [10].

## b.3.2 احتراق الوقود السائل:

يحترق الوقود السائل بطرائق مختلفة:

1- احتراق الوقود الخفيف:

حيث يتم تحويل الوقود الخفيف إلى بخار أولاً، ثم يمتزج بخار الوقود مع الهواء ثانياً ويحترق ثالثاً. هنا يحدث ما يمسى الاحتراق الحركي (الذي تسبقه عملية المزج). ويستخدم لحرق أنواع الوقود السائل التي تتبخر بسهولة (البنزين) في المحركات ذات المفحم (المغذي).

2- احتراق الوقود الثقيل:

وهي طريقة شائعة وتتم بحرق الوقود وهو في حالة رذاذ (قطرات خفيفة). وهنا تحدث ما تمسى عملية الاحتراق المتداخل ولتسريع عملية الاحتراق يتم تذرير الوقود إلى رذاذ ناعم أولاً ثم يشتعل الرذاذ داخل الحجرة. وعلى هذا الأساس تتكون العملية من عدة مراحل وهي:

- تذرير الوقود - تبخر الرذاذ والتفكك الحراري - تكوين مزيج الاشتعال من نواتج التبخر والهواء - اشتعال المزيج واحتراقه [10].

### c.3.2 احتراق الوقود الغازي:

يحترق الوقود الغازي باستخدام تجهيزات مساعدة تسمى الحرّاق. حيث يتم إمداد الغاز والهواء الضروريين للاحتراق من خلال الحرّاق إلى حجرات الاحتراق حيث يتشكل مخروط الغاز الساخن.

ويحدث الاحتراق بثلاثة أشكال تبعاً لطريقة الإمداد بالغاز والهواء وظروف المزج بينهما:

#### 1-الاحتراق الحركي:

يحدث للمزيج المتجانس المحضر مسبقاً والذي يحتوي على كمية من الهواء أكبر ما يلزمه نظرياً.

#### 2-الاحتراق المتداخل:

يحدث الاحتراق المتداخل عندما يدخل تيار الغاز منفرداً إلى حجرة الاحتراق، والتي يتشكل بداخلها المزيج وذلك بتداخل كلٍ من تيار الهواء والغاز فيما بينهما، حيث ترافق ذلك عملية الاحتراق.

#### 3-الاحتراق المختلط:

يحدث الاحتراق المختلط عندما يحترق المزيج الذي يحتوي على جزء فقط من الهواء الضروري ويدخل الهواء الإضافي إلى حجرة الاحتراق إما منفرداً أو من محيط الحجرة. وتعد الطريقة الثانية المتداخلة أكثر انتشاراً في الصناعة [10].

# 4.2 الغاز الطبيعي:

## 1.4.2 مقدمة:

يعتبر الغاز الطبيعي مزيجاً من المركبات الهيدروكربونية البارفينينة الخفيفة (Paraffin)، كما يمكن أن يحتوي أيضا على المركبات الحلقية (Cyclic) والمركبات العطرية (Aromatic ) ، ويكون بحالة غازية ( Gaseous State)عند الشرطين النظاميين من الضغط ودرجة الحرارة، يحتوي على نسبة عالية من الميتان بالإضافة إلى كميات متفاوتة من الإيثان (C2H6) والبروبان (C3H8) والبوتان (C4H10) ومركبات هيدروكربونية أثقل ومركبات غير هيدروكربونية مثل غاز الآزوت ($N_2$) وغاز كبريت الهيدروجين (H2S) وبخار الماء وغاز ثنائي أوكسيد الكربون (CO2)، كما يمكن أن تتواجد فيه آثار من غاز الأرغون والهيدروجين والهيليوم.

يعتبر الغاز الطبيعي وقوداً نظيفاً وصديقاً للبيئة مقارنة بالأنواع الأخرى للوقود الأحفوري. حيث إن انبعاثات ثنائي أوكسيد الكبريت وثنائي أوكسيد الكربون وأوكسيد الآزوت الناتجة عن احتراق الغاز الطبيعي مهملة مقارنة بتلك الناتجة عن الفحم أو النفط الخام.

وهذا ما ساعد في تخفيض مشاكل المطر الحامضي (Acid Rain) ومشاكل طبقة الأوزون( Ozone Layer) ومشاكل غازات الدفيئة (Greenhouse Gases).

## 2.4.2 أصل الغاز الطبيعي وتركيَبه:

يوجد الغاز الطبيعي في الطبيعة في المكامن الصخرية المنتشرة في الغلاف الأرضي، إما على شكل غازات حرة أو مرافقة أو على شكل غازات منحلة في المركبات الهيدروكربونية الأثقل. وقد تشكل الغاز الطبيعي من خلال تفسخ وتحلل المادة العضوية عبر ملايين السنين. وهناك آليتان مسؤولتان عن هذا التفسخ والتحلل هما التحول حيوي المنشأ ( Biogenic) والتحول الحراري (Thermogenic). يتشكل الغاز حيوي المنشأ في الأحواض الترسيبية ذات الأعماق الضحلة وعند درجات حرارة منخفضة من

خلال الغاز الطبيعي التحلل البكتيري اللاهوائي للمادة العضوية الرسوبية. وعلى العكس من ذلك يتشكل الغاز بآلية التحول الحراري في الأحواض الترسيبية ذات الأعماق الكبيرة من خلال:

1. التكسير الحراري للمادة العضوية الرسوبية إلى سوائل هيدروكربونية وغاز (حيث يدعى الغاز المتولد مع النفط الغاز الأولي الناتج عن التحول الحراري)
2. التكسير الحراري للنفط إلى غاز عند درجات حراري عالية (ويدعى الغاز المتولد بالغاز الثانوي الناتج عن التحول الحراري).

يتألف الغاز حيوي المنشأ بمعظمه من الميثان تقريبا. وعلى العكس من ذلك يمكن أن يتألف الغاز الناتج عن التحول الحراري من تراكيز مهمة من الإيثان والبروبان والبوتان ومركبات هيدروكربونية أثقل. ومعرفة فيما إذا كان الغاز الطبيعي ذا منشأ حيوي أو ناتج عن التحول الحراري، فإنه يمكن الحصول على معلومات مهمة وحاسمة عن تواجد المركبات الهيدروكربونية السائلة أو عدم تواجدها في الحوض الترسيبي، حيث يمكن لعلم جيوكيمياء الغاز أن يكشف بسهولة آلية تشكل الغاز الطبيعي

يختلف تركيب الغازات الطبيعية عن بعضها بعضا اختلافا ملحوظا من حقل إلى آخر سواء من جهة عدد المركبات الهيدروكربونية وغير الهيدروكربونية، أو من جهة تركيب العناصر الداخلة في تركيبها (كما ونوعا) وذلك نتيجة لتفاوت أعماق توضع الطبقات المنتجة لها وبالتالي اختلاف ظروف وشروط إنتاجها [8].

## 3.4.2 مصادر الغاز الطبيعي:

يمكن تصنيف الغاز الطبيعي بناءً على مصدره وتركيبه إلى ثلاث مجموعات منفصلة:

1. الغاز غير المرافق ( Non-Associated Gas ) الذي ظهر في حقول الغاز التقليدية.
2. الغاز المرافق ( Associated Gas ) الذي ظهر في حقول النفط التقليدية.
3. الغاز غير التقليدي ( Unconventional Gas ): تتضمن هذه المجموعة بعض أنواع الغازات من مصادر غير تقليدية، ومنها:

- غاز الرمال الكتيمة ( *Tight Sands Gas* ): يوجد في الصخور ذات النفوذية المنخفضة.
- ميثان طبقات الفحم الحجري ( Coalbed Methane ): هو عبارة عن غاز طبيعي تشكل بشكل متزامن مع العمليات الجيولوجية التي شكلت الفحم.
- الغاز الطبيعي من الطبقات الجوفية الحاملة للمياه: ينسب إلى الغاز المُنحل في المياه الملحية تحت ضغط مرتفع ودرجات حرارة عالية و يتوضع في أماكن عميقة تحت سطح الأرض.
- الهيدارت الغازية ( Gas Hydrates ): لها بنية (تشبه الجليد) وتتكون من جزيئات الماء التي تحتجز بداخلها جزيئات الغاز و تتوضع أسفل الأراضي المتجمدة بشكل دائم.
- الغاز العميق ( Deep Gas ): يتواجد على مستويات أعمق بكثير من تلك التي يتواجد عندها الغاز التقليدي.

### 1.3.4.2- الغاز غير المرافق (Non-Associated Gas):

يعرف غالباً بالغاز الحر ويطلق عليه في الصناعة الغازية اسم الغاز الطبيعي وهو عبارة عن مركبات هيدروكربونية، تكون على شكل غازات حرة في الشروط الابتدائية للمكمن الغازي (الضغط الابتدائي درجة الحرارة الابتدائية). ويشكل غاز الميتان النسبة العظمى في تركيب هذا النوع من الغازات في حين تساهم

المركبات الهيدروكربونية($C_2 \div C_6$) بنسبة ضئيلة في تركيبها، ويمكن لهذا النوع من الغازات أن يحتوي على الغازات التالية:

- الغازات الخاملة (Inert Gases) مثل ($N_2$) و ($H_e$).
- الغازات الحامضية (Acid Gases) مثل ($H_2S$) و ($CO_2$).
- الغازات ($C_2 \div C_6$).
- الغازات الأثقل من ($C_{6+}$).

يتم التحكم بالكمية المُنتجة من الغاز غير المرافق من قبل مشغلي الآبار بشكل مباشر. حيث يتدفق الغاز من القاع باتجاه السطح بفعل فرق الضغط ليصل إلى صمام الخنق أو الفالة (Chock Valve) المركبة على شجرة ميلاد رأس البئر ( Christmas Wellhead) ومنه عبر خطوط أنابيب التجميع (Flowlines) إلى وحدات المعالجة.

### 2.3.4.2- الغاز المرافق (Associated Gas):

يطلق عليه أحياناً غاز القبعة الغازية (Gases-Cap Gas) وُينتج هذا الغاز أثناء إنتاج النفط الخام. حيث لا يمكن إنتاج النفط الخام بدون إنتاج جزء من غازه المرافق الذي يخرج من المزيج نتيجة لانخفاض الضغط (على طول مساره) إلى ما دون ضغط الإشباع. لذلك أثناء الإنتاج يتبع فلسفة التقليل من إنتاج الغاز المرافق للمحافظة على طاقة أعظمية في المكمن وبالتالي زيادة معامل استرداد النفط الخام. فمن الصعب إنتاج النفط الخام المترافق مع كميات صغيرة أو معدومة من الغاز المرافق المنحل وذلك بسبب ضعف الطاقة التي تعمل على دفعه.

يقاس غِنى تيار الغاز الطبيعي بسوائل الغاز الطبيعي (Natural Gas Liquids) بواحدة (gallons/MSCF of gas). واعتماداً على محتواه من المكونات الثقيلة، يعد الغاز الطبيعي غنياً إذا احتوى من (5÷6) غالونات من المركبات الهيدروكربونية القابلة للاسترداد أو أكثر في الألف قدم مكعب، ويعد فقيرا إذا احتوى أقل من غالون واحد. وعلى أية حال فإن مصطلحي الغاز الغني والغاز الفقير

المستخدمين في صناعة معالجة الغاز الطبيعي لا يدلان بدقة إلى نوعية الغاز ولكن يشيران فقط إلى الكمية النسبية لسوائل الغاز الطبيعي في تيار الغاز المُنتج.

### 3.3.4.2- ميثان طبقات الفحم الحجري (Coalbed Methane):

يطلق هذا التعبير على غاز الميثان المحجوز في الفحم الحجري والذي يمكن إنتاجه بتخفيض ضغط الماء الموجود ضمن الفحم المدفون. وعلى الرغم من أن الكثير من هذا الغاز يمكن أن يتسرب من خلال الطبقات العلوية أو السفلية إلا أن كمية ضخمة تبقى ضمن طبقات الفحم المتشكلة. وخلافاً لمكامن الغاز التقليدية التي يكون فيها الغاز محجوزا ضمن مسامات الصخر، مثل الحجر الرملي، فإن الميثان المتشكل والمحصور في الفحم يكون ممتصاً في الواقع على سطوح حبيبات الفحم أو في المسامات المجهرية (*Micro Pores*) ومحجوزا في المكان بفعل ضغط الماء. تعتمد كمية الميثان المخزنة في الفحم بشكل أساسي على سماكة وعمق طبقات الفحم، حيث تتمتع طبقات الفحم السميكة و المتوضعة على أعماق كبيرة بقدرة أكبر على إنتاج غاز الميتان والاحتفاظ به. وبما أن للفحم مساحة سطح داخلي كبيرة جداً (أكثر من بليون قدم مربع لكل طن من الفحم) فإنه يحتفظ وسطياً بكمية من الغاز تعادل ثلاثة أضعاف الكمية التي يحتفظ بها نفس الحجم من المكمن الرملي التقليدي عند العمق والضغط ذاته.

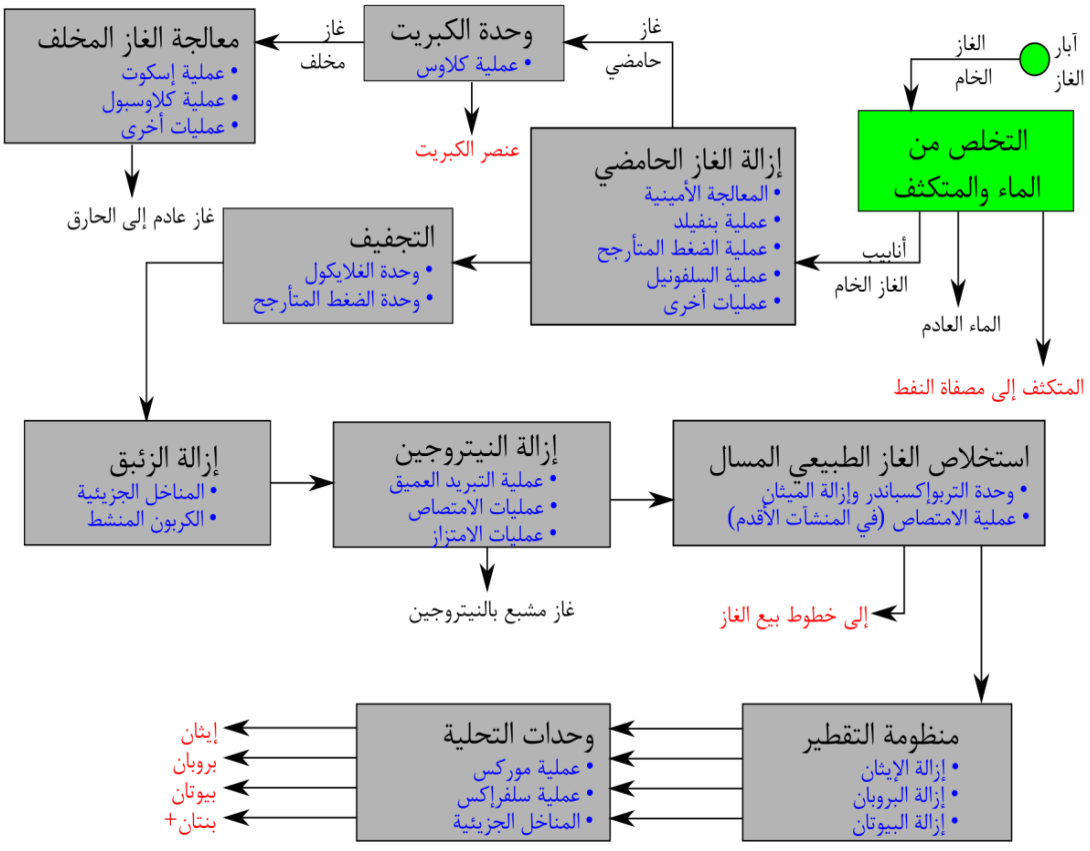
بغية السماح للغاز الممتص بالتحرر من الفحم فإنه من الضروري في أغلب الأحيان تخفيض الضغط في الفحم، وهذا يتضمن إزالة الماء المحتوى في سرير الفحم. وبعد تحرر الغاز من السطوح الداخلية للفحم، يتحرك من خلال النسيج الداخلي للفحم ( Internal Matrix ) حتى يصل إلى شبكات الشقوق الطبيعية (Natural Fracture Networks) ليتابع الغاز بعدئذ جريانه من خلال هذه الشقوق حتى يصل إلى فتحة البئر.

يكون الغاز المُنتج من طبقات الفحم نقياً وقد يتطلب عمليات معالجة بسيطة لأنه يتكون فقط من الميتان دون أن يكون ممزوجاً بالمركبات الهيدروكربونية الأثقل مثل الإيثان المتواجد غالباً في الغاز الطبيعي

التقليدي. كما يكون لغاز الميثان المُنتج من طبقات الفحم طاقة حرارية أعلى بقليل من بعض الغازات الطبيعية [9].

## 4.4.2 عمليات معالجة الغاز الطبيعي:

يوضح الشكل (1–2) مخططاً تبسيطياً لسير عمليات معالجة الغاز الطبيعي المثالية، حيث يظهر شتى الوحدات المستخدمة في معالجة الغاز الطبيعي الخام ليصل إلى خطوط غاز البيع وحتى أماكن الاستهلاك، يظهر مخطط التدفق أيضاً كيف تتم معالجة الغاز الطبيعي الخام وتحويله إلى غاز طبيعي مثالي، بناءً على عدة عمليات مختلفة ( إزالة الغاز الحامضي، عملية كلاوس (إزالة الكبريت)، والتجفيف ....) [7].




الشكل (1–2) مخطط توضيحي لسير عملية معالجة الغاز الطبيعي.

## 5.4.2 استخدامات الغاز الطبيعي:

يستعمل الغاز الطبيعي للأغراض التالية:

1. توليد الطاقة: يعتبر الغاز الطبيعي مصدراً رئيسياً لتوليد الطاقة الكهربائية من خلال استخدام التوربينات الغازية كما يمكن الحصول على مردود عالٍ من خلال توصيل العنفات الغازية في دارة مركبة، يحترق الغاز الطبيعي بشكل نظيف أكثر من أنواع الوقود الأحفورية الأخرى مثل النفط والفحم كما أنه ينتج كمية أقل من الغازات المسببة للاحتباس الحراري في الغلاف الجوي، إذ إن الغاز الطبيعي المحترق ينتج غاز ثاني أوكسيد الكربون أقل ب (30%) من احتراق البترول وكمية أقل ب(45%) من احتراق الفحم، كما أن المحطات الكهربائية التي تستخدم الغاز الطبيعي والنظام المركب( *Combined Cycle*) تشكل المصدر الأنظف للطاقة من المحطات التي تستخدم الأنواع الأخرى من الوقود الأحفوري.

كما أن تقدم التكنولوجيا سيمكن في نهاية الأمر من الحصول على خيارات أفضل من أجل التحول إلى استخدام الغاز الطبيعي في إنتاج الكهرباء، وهكذا فانه من المتوقع أن يبلغ استخدام الغاز الطبيعي الذروة عام 2030 بعد 20 سنة من بلوغ الوقود السائل ذروة الاستخدام ومن المتوقع أيضاً أن الغاز الطبيعي العالمي سيستنزف في عام2085.

2. إنتاج الهيدروجين: يمكن أن يستخدم الغاز الطبيعي في إنتاج الهيدروجين الذي يستخدم في تطبيقات متعددة باعتباره المغذي الرئيسي للصناعات الكيميائية وكوسيط في عملية الهدرجة، كما أنه مادة مهمة في المصافي النفطية ومصدر وقود مهم للسيارات التي تعمل على الهيدروجين.

3. الآليات العاملة على الغاز الطبيعي: يستخدم الغاز الطبيعي المضغوط (الميتان) كوقود نظيف للسيارات عوضاً عن الوقود السائل(الغازولين والمازوت)، فعلى سبيل المثال عام 2005 كانت البلاد التي تملك أكبر عدد من السيارات العاملة على الغاز الطبيعي هي الأرجنتين والبرازيل وايطاليا والهند وباكستان وبنغلادش ويتساوى مردود الطاقة بشكل عام في المحركات العاملة على الغاز مع المحركات التقليدية العاملة على الغازولين ولكنه أقل بالمقارنة مع المحركات الحديثة العاملة على الديزل والأبحاث مستمرة

لتطوير هذا المردود، كما يستخدم أيضا الغاز البترولي المسال (مزيج من البروبان والبوتان) في السيارات كوقود.

4. الاستخدام المنزلي: يستخدم الغاز الطبيعي في المنازل للطهي – أفران الغاز – مجفف الملابس الحراري – نظام التدفئة والتبريد (المراجل والأفران وسخانات الماء) كما يستخدم الغاز الطبيعي المضغوط CNG في البيوت الريفية.

5. السماد: الغاز الطبيعي هو المغذي الأساسي لإنتاج الأمونيا بطريقة هابير لاستخدامها في إنتاج الأسمدة.

6.الاستخدامات الاخرى: كما يستخدم الغاز الطبيعي في صنع القماش والزجاج والبلاستيك والدهانات وبعض المنتجات الأخرى [10].

## 6.4.2 المواصفات المثالية للغاز الطبيعي:[12]

إن الغاز الطبيعي المثالي يجب أن يحتوي على عدة خواص مهمة، ومن أهم تلك الخصائص: كمية من كبريتيد الهيدروجين لا تتجاوز 16.5 ppm وكمية من الكبريتات (السلفات) لا تتجاوز 115 $mg/m^3$ وكمية من غاز ثنائي أوكسيد الكربون لا تتجاوز 2% من الحجم الكلي وقيمة حرارية للوقود للغازي لا تنقص عن 36,000 $kJ/m^3$.

| المكون | H2S | Totale Sulpahte | CO2 | H2O | القيمة الحرارية |
|---|---|---|---|---|---|
| الحد الأعلى المسموح به: | 16.5 ppm | 115 $mg/m^3$ | 2%V | 65 $mg/m^3$ | 36,000 $kJ/m^3$ |

يمثل الجدول (3–2) المواصفات المثالية للغاز الطبيعي

# 5.2 الوقود السائل:

## 1.5.2 مقدمة:

يتميز الوقود السائل بقدرته على توفير طاقة عالية الكثافة وسهولة التحكم في عمليات الاحتراق، مما يجعله خيارًا مثاليًا للتطبيقات التي تتطلب استجابة سريعة ومرونة في التشغيل.

تتناول هذه الرسالة العلمية تأثير استخدام الوقود السائل على كفاءة محطات توليد الطاقة الكهربائية، مستشرفةً الآفاق المستقبلية لهذا النوع من الوقود في ظل التحديات البيئية والاقتصادية الراهنة.

وقد كان لتطور صناعة المحركات الحرارية المتنوعة والآلات والتجهيزات الميكانيكية التي لا تحصى، ضرورة كبيرة لإنتاج كميات ضخمة من الوقود والزيوت، التي يعد النفط مصدرها الأساسي، ويستخدم حالياً النفط ومشتقاته في كل فروع الاقتصاد العالمي. يزداد استخراج النفط بمعدل سريع وتزداد حصة استهلاكه في ميزان الطاقة العالمي زيادة مستمرة، وذلك بسبب سهولة استخدامه ونظافة مشتقاته بالمقارنة مع الفحم الحجري.

## 2.5.2 تصنيف النفط:

إن عملية تصنيف النفط لها أهمية كبيرة، بتحديد عملية التكرير، وأنواع المشتقات الناتجة وجودتها. ومن أهم الأسس المتخذة لتصنيف النفط هو التركيب الهيدروكربوني. ويقسم النفط تبعاً لذلك إلى:

أولاً: النفط الميتاني أو (النفط البارافيني) – النفط النفتاني – النفط العطري

ثانياً: النفط الميتاني نفتاني – النفط النفتاني العطري – النفط الميتاني النفتاني العطري.

وأكثر أنواع النفط انتشاراً هو ذو الأساس المختلط.

إذا كانت نسبة وجود مجموعة هيدروكربونية أكثر من 50% في تركيب النفط، سمي باسمها كما في التصنيف الأول (أساساً وحيداً). وإذا كانت نسبة وجود مجموعة هيدروكربونية أخرى أكثر من 25% إضافة للأولى يسمى النفط ويصنف كما في الحالة الثانية (أساساً مختلطاً).

ويصنف النفط تبعاً لنسبة الكبريت في تركيبه إلى:

- نفط من الدرجة الأولى يحتوي على نسبة 0.5% من الكبريت.
- نفط درجة ثانية يحتوي على نسبة تتراوح مابين 0.51–1.9% من الكبريت.
- نفط درجة ثالثة يحتوي على نسبة عالية من الكبريت تفوق 1.9%.

ويصنف النفط تبعاً لكمية البارافين الموجودة في تركيبه إلى:

- نفط قليل البارافين.
- نفط بارافيني.
- نفط كثير البارافين.

وتستخدم طرائق أخرى لتصنيف النفط طبقاً للخواص الفيزيائية والكيميائية، وطبقاً لجودة المشتقات التجارية التي نحصل عليها منه[9].

## 3.5.2 الخصائص الفيزيائية والكيميائية للوقود السائل:

الخصائص الفيزيائية للوقود السائل تتضمن عدة معايير مثل نقطة الاشتعال، نقطة التسحب، ونقطة الندى.

هذه الخصائص تؤثر على سلامة الوقود وتدابير نقله.

بالإضافة إلى ذلك، تختلف الخصائص الفيزيائية للوقود السائل حسب درجة الحرارة، ولكن ليس بدرجة كبيرة مثل الوقود الغازي.
الوقود السائل، مثل البنزين والديزل والكيروسين، يتميز بخصائص كيميائية محددة تجعله مثاليًا للاستخدام في محركات الاحتراق الداخلي ومولدات الطاقة. من أهم هذه الخصائص:

1. **التركيب الجزيئي:** يتكون الوقود السائل من مركبات هيدروكربونية معقدة تحتوي على سلاسل طويلة من ذرات الكربون والهيدروجين. التركيب الدقيق يختلف بين أنواع الوقود المختلفة، ولكن جميعها تشترك في القابلية للإشتعال بسبب هذه الهيدروكربونات.
2. **القابلية للاشتعال:** هذه الخاصية تعني أن الوقود السائل يمكن أن يشتعل بسهولة عند تعرضه لمصدر حرارة أو شرارة. نقطة الاشتعال للوقود السائل تختلف بناءً على تركيبه الكيميائي وهي مهمة لتحديد مدى سهولة اشتعال الوقود.
3. **الكثافة النوعية:** وهي نسبة كثافة الوقود إلى كثافة الماء عند درجة حرارة معينة، عادةً 4 °C فإذا كانت الكثافة النوعية للوقود أقل من 1، يعني الوقود أخف من الماء

4. **اللزوجة:** تؤثر على سهولة تدفق الوقود من خلال أنظمة الوقود في المحركات وإن الوقود ذو اللزوجة العالية يتطلب ضغطًا أكبر للضخ وقد يؤدي إلى تآكل المكونات بشكل أسرع.
5. **الاستقرار الكيميائي:** يجب أن يكون الوقود السائل مستقرًا كيميائيًا لتجنب التفاعلات غير المرغوب فيها التي قد تؤدي إلى تكوين رواسب أو تدهور الوقود.
6. **التوافق مع المواد الأخرى:** يجب أن يكون الوقود متوافقًا مع المواد المستخدمة في أنظمة الوقود لتجنب التآكل أو التفاعلات الكيميائية التي قد تضر بالمحرك [22].

## 4.5.2 استخدامات الوقود السائل:

استخدامات الوقود السائل متعددة وحيوية في العديد من جوانب الحياة اليومية والصناعية. يُعد البنزين، وهو أحد أشكال الوقود السائل، الوقود الأساسي لمحركات الاحتراق الداخلي في السيارات. يتم إنتاج البنزين من خلال تقطير النفط الخام، ويحتوي على مزيج من الهيدروكربونات الأليفاتية والعطرية، والتي تُستخدم لتوليد الطاقة اللازمة لحركة المركبات.

أما الديزل، فهو وقود آخر يُستخرج من البترول ويُستخدم بشكل رئيسي في الشاحنات والحافلات والمعدات الثقيلة. يتميز الديزل بكفاءة عالية في الاحتراق ويُعالج لتقليل محتوى الكبريت للحد من التلوث الناتج عن الانبعاثات.

الوقود السائل له أيضًا استخدامات صناعية مهمة، مثل توليد الطاقة الكهربائية في محطات الطاقة، حيث يُستخدم الوقود لتشغيل التوربينات البخارية أو التوربينات الغازية. كما يُستخدم في التدفئة، حيث تُستخدم الزيوت المقطرة الخفيفة لتدفئة المباني الصغيرة والمنازل.

بالإضافة إلى ذلك، يُعتبر الوقود السائل جزءًا لا يتجزأ من الصناعات الكيميائية، حيث يُستخدم كمادة خام في إنتاج البلاستيك والأسمدة والمواد الكيميائية الأخرى. وفي مجال الطيران، يُستخدم وقود الطائرات، وهو نوع خاص من الوقود السائل، لتشغيل محركات الطائرات.

وفي السنوات الأخيرة، بدأ استخدام الوقود الحيوي كبديل متجدد للوقود الأحفوري، مثل الإيثانول والديزل الحيوي، والذي يُمكن خلطه مع المنتجات النفطية أو استخدامه بشكل مستقل في محركات السيارات.

هذه الاستخدامات تُظهر الدور الحيوي الذي يلعبه الوقود السائل في دعم الاقتصاد العالمي وتسهيل الحياة اليومية، ولكنه يُمثل أيضًا تحديات بيئية تتطلب البحث عن بدائل أكثر استدامة وصداقة للبيئة[10].

### 5.5.2 القيمة الحرارية المثالية للوقود السائل $I_p$:

القيمة الحرارية للوقود السائل $I_p$ ويوجد لها نوعان وهما:

أولاً: القيمة الحرارية العالية HHV:

وهي تشير إلى الطاقة المنتجة أثناء عملية الاحتراق بما في ذلك البخار أو بخار الماء.

ثانياً: القيمة الحرارية المنخفضة LHV:

وهي تشير إلى الطاقة المنتجة أثناء عملية الاحتراق بخصم بخار الماء.[23]

| Fuel | LHV kJ/kg | HHV kJ/kg |
|---|---|---|
| Diesel | $39 * 10^3$ | $\mathbf{45 * 10^3}$ |
| Gasoline | $32 * 10^3$ | $\mathbf{(44 - 46) * 10^3}$ |
| Crude oil | $(37 - 39) * 10^3$ | $\mathbf{(42 - 44) * 10^3}$ |
| Biodiesel | – | $\mathbf{40 * 10^3}$ |

يمثل الجدول (4–2) القيمة الحرارية المثالية للوقود السائل

### 6.5.2 الحرارة النوعية المثالية للوقود السائل $C_{fuel}$:

وهي تعتبر من أهم خصائص الوقود السائل وهي كمية الطاقة اللازمة لزيادة درجة حرارة وحدة كتلة الوقود بمقدار 1 درجة مئوية. تخبرنا هذه الخاصية بكمية البخار أو أشكال الطاقة الأخرى اللازمة لتسخين الوقود وكلما كانت الزيوت أثقل زادت درجة حرارتها النوعية[23].

| Fuel | kJ/kg.k | kcal/kg.°C |
|---|---|---|
| Diesel | 2.05 | 0.48 |
| Gasoline | 2.22 | 0.53 |
| Kerosene | 2.16 | 0.52 |

يمثل الجدول (5–2) الحرارة النوعية المثالية للوقود السائل

### 7.5.2 خصائص الوقود السائل:

محتوى الكبريت: إنها كمية الكبريت الموجودة في الوقود. يعتمد محتوى الكبريت بشكل أساسي على مصدر النفط الخام وعملية التكرير. يؤدي محتوى الكبريت في الوقود إلى خطر التآكل مع تكوين حامض الكبريتيك بعد التكثيف. يتراوح محتوى الكبريت في الكيروسين بين 0.05 و0.5 بالمائة.

نسبة الرماد: يشير إلى المواد غير العضوية الموجودة في الوقود. يحتوي الوقود المتبقي الناتج بعد تقطير البنزين والديزل على مكونات عالية الرماد مثل أملاح الصوديوم والفاناديوم والكالسيوم والمغنيسيوم والسيليكون والحديد والألومنيوم والنيكل وغيرها. ويؤدي محتوى الرماد العالي في الوقود السائل إلى ترسبه في غرف الاحتراق. كما أن له تأثير تآكل على أطراف الموقد عند درجة حرارة عالية. تتراوح قيمة رماد الوقود من 0.03 إلى 0.07 بالمائة. يعد محتوى الرماد مهمًا في تصميم شبكة النقل وحجم الاحتراق ومعدات مكافحة التلوث وأنظمة معالجة الرماد.

بقايا الكربون: كمية البقايا الصلبة الكربونية الموجودة في الوقود. يرجع ترسب البقايا الكربونية الصلبة بعد تبخر المكونات القابلة للتبخر. يحتوي الزيت المتبقي من تبخر الوقود السائل عادةً على بقايا كربون بنسبة 1 بالمائة أو أكثر.

محتوى الرطوبة: الحد الأقصى للرطوبة 1% محدد في معايير الوقود السائل. يشير إلى محتوى الماء في الوقود. يؤدي الماء والأملاح الذائبة فيه إلى إتلاف أسطح الفرن الداخلية أثناء الاحتراق. يعد تناثر اللهب عند طرف الموقد وتوقف اللهب عن الاحتراق وانخفاض درجة حرارة اللهب أو إطالة اللهب من بعض المشكلات الناجمة عن احتواء وقود القصدير على الماء سواء كان خاليًا من مادة رين أو مستحلب [9].

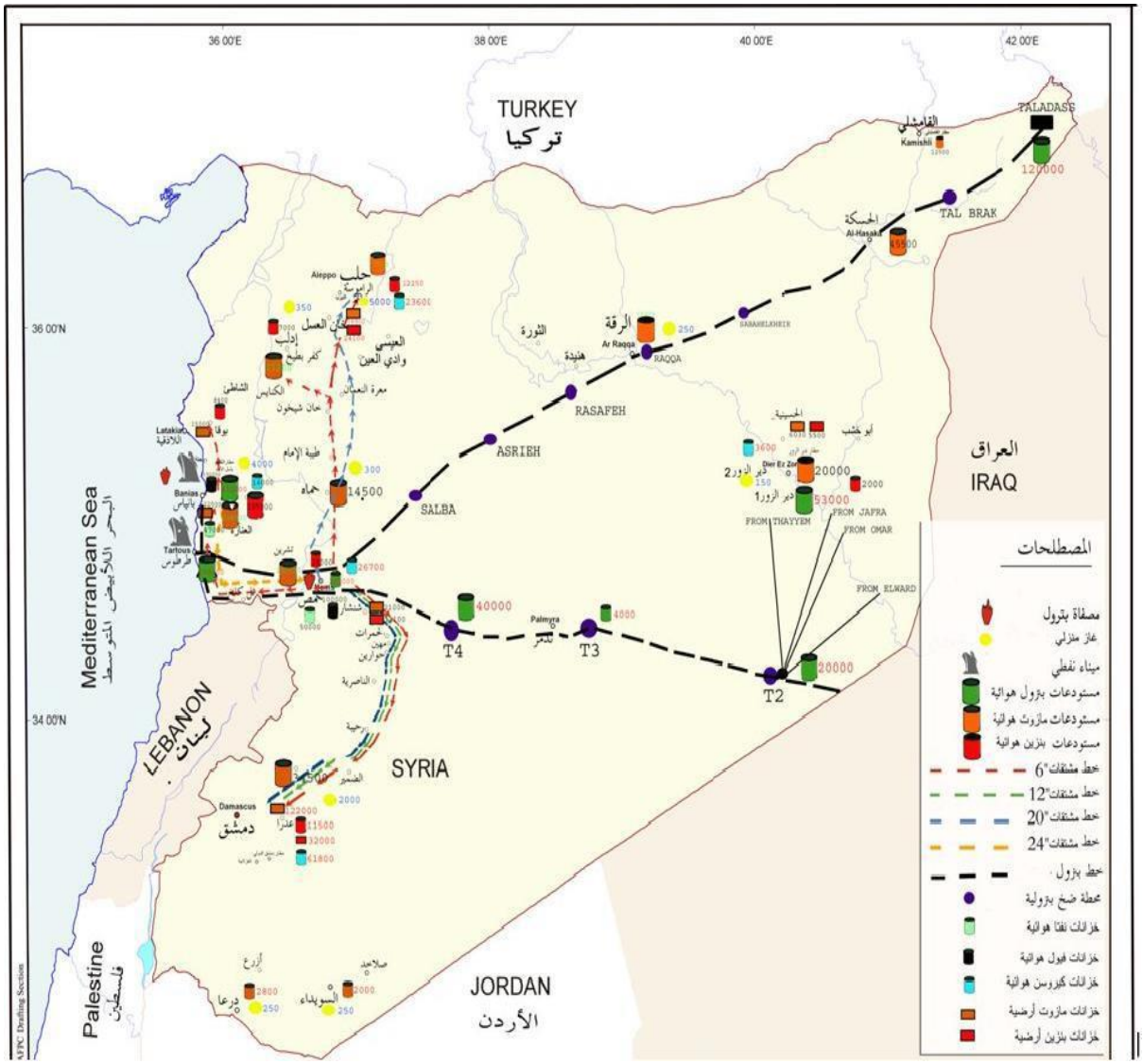
## 6.2 تطور إنتاج النفط في سورية:

بدأ التنقيب عن النفط في سورية في بدايات العقد الثاني من القرن العشرين من قبل شركة النفط العراقية، واستمرت حتى بداية العقد السادس، لتبدأ بعدها في منتصف العقد السادس شركة منهل، تلتها شركة كونكورديا الألمانية، وفي عام 1964 تكفلت الشركة السورية للنفط باستكمال أعمال التنقيب، بناءً على المرسوم التشريعي رقم 132، الذي حظر على الشركات الأجنبية حق التنقيب والاستثمار على الأراضي السورية، تبعاً لمبدأ استثمار النفط وطنياً، وتحقيق التكامل في التنقيب والاستخراج والنقل والتكرير والتسويق.

بدأ إنتاج النفط في سورية عام 1968 بكميات قليلة تجاوزت مليون طن في ذلك الوقت، ثم توسعت الاستثمارات النفطية مع مرور الزمن، من خلال نشاط الشركة السورية للنفط والشركات العاملة الأخرى، مثل شركة الفرات للنفط وشركة دير الزور للنفط، وقد زاد الإنتاج ليصل إلى 10 مليون طن عام 1976، ثم تراجع الإنتاج قليلاً ليستقر عند حدود 8.5 مليون طن حتى عام 1985.

ومن ثم ازداد الإنتاج النفطي إلى ما يقارب 31.2 مليون طن حتى عام 1995، ومن ثم وصل إلى أعلى مستوياته في عام 2002 بإنتاج 32.96 مليون طن، وفي عام 2005 عاد بالانخفاض.

## 7.2 شبكة خطوط نقل النفط الخام الخفيف والثقيل:




يمثل الشكل (2-2) شبكة خطوط نقل النفط الخام الخفيف والثقيل ضمن القطر العربي السوري

شبكة أنابيب نقل النفط الخام في سوريا تتكون من عدة خطوط، هناك خطان رئيسيان لنقل النفط الخام:

- الخط الأول (كركوك – ميناء بانياس): هو خط أنابيب نفطي (مخصص لنقل النفط الخفيف) يربط بين حقل كركوك في العراق وميناء بانياس في سورية، طول الخط 800 KM وقدرة الضخ فيه 300 ألف برميل في اليوم، افتتح الخط في نيسان من عام 1952، وإن هذا الخط متصل بعدد من محطات الضخ البترولية بالإضافة إلى وجود عدد من المستودعات البترولية الهوائية على طرفي الخط النفطي، في حين أنه هنالك عدد من حقول النفط الموجودة في دير الزور متصلة أيضاً في هذا الخط في المنطقة الشرقية من سورية.

- الخط الثاني (حقول السويدية ورميلان – ميناء طرطوس) : هو خط أنابيب نفطي (مخصص لنقل النفط الثقيل) يربط بين حقول السويدية ورميلان في المنطقة الشمالية الشرقية من سورية وميناء طرطوس على البحر الأبيض المتوسط، طول الخط 983.3 KM، وإن هذا الخط متصل بعدد من محطات الضخ البترولية على طول امتداده.

نلاحظ من الشكل (2-2):

- أنه بعد إجراء عملية التكرير النفط الخفيف في مصفاة بانياس يتم إرساله إلى مصفاة حمص بخط قطره 24"، ثم يتم إرساله إلى عدة مناطق منها شنشار، حوارين، محطة الناصرية، رحيبة، الضمير ومن ثم إلى عدرا، على أن تصب في مستودع المازوت الهوائية الموجود هنالك، وذلك عن طريق ثلاثة خطوط من المشتقات النفطية، أقطارها هي 20"، 12" و 6".
- أنه بعد وصول النفط الخفيف المكرر إلى مصفاة حمص يعاد أيضاً تكريره، ثم يتم إرساله إلى المناطق الشمالية من سورية (حماة وحلب) بأقطار أنابيب مقدارها 20" و 6"، على أن تصب في مستودعات المازوت الهوائية الموجودة هنالك.
- وجود 5 خزانات من الكيروسين الهوائية، ويتوزع تواجدها في المحافظات التالية: دير الزور، حلب، بانياس، ريف حمص، وريف دمشق.
- وجود 7 خزانات للغاز المنزلي، ويتوزع تواجدها في المحافظات التالية: الرقة، دير الزور، حلب، حماة، بانياس، وريف دمشق في الضمير.
- وجود 3 محطات ضخ بترولية على الخط الأول (كركوك – ميناء بانياس)، تقابلها 6 محطات ضخ بترولية على الخط الثاني (حقول السويدية ورميلان – ميناء طرطوس).

## 8.2 وصف حقول النفط السوريَة:

تمتلك سورية عدداً كبيراً من حقول إنتاج النفط الخفيف (دير الزور) و النفط الثقيل في باقي المحافظات السوريَة ( القامشلي، الحسكة، الرقة وحمص).

- وصف حقول النفط في محافظة دير الزور:

حقل العمر: هو أكبر حقول النفط في سوريا من حيث المساحة . يقع على الضفة الشرقية لنهر الفرات على بعد حوالي 10 كم شرق مدينة الميادين. قبل الحرب، كان إنتاجه يصل إلى 30,000 برميل يومياً.

حقل التنك: هو ثاني أكبر حقول النفط في دير الزور ويقع في بادية الشعيطات بريف دير الزور الشرقي. يُعتبر من الحقول المهمة في المنطقة.

حقل الورد: يقع بالقرب من قرية الدوير في ريف دير الزور الشرقي. في عام 2018، وصلت طاقته الإنتاجية إلى 5,000 برميل يومياً.

حقل التيم: يقع جنوب مدينة دير الزور بحوالي 17 كم. يُعتبر من الحقول المهمة في المنطقة، في عام 2019 بلغت طاقته الإنتاجية حوالي 2,500 برميل يومياً.

حقل كونيكو: هو حقل غاز ونفط يقع في محافظة دير الزور، ويُعرف محليًا باسم معمل غاز الطابية. الحقل قادر على إنتاج 450 مليون قدم مكعب من الغاز الطبيعي يومياً.

- وصف حقول النفط في محافظتي القامشلي والحسكة:

حقل السويدية: هو أكبر حقول النفط في سوريا من حيث الإنتاج. يقع في شمال شرق محافظة الحسكة بالقرب من بلدة رميلان. قبل عام 2011، كان الحقل ينتج بين 110,000 و 116,000 برميل يومياً.

حقول رميلان: تضم حوالي 1322 بئرًا نفطيًا وتُعتبر من أقدم الحقول النفطية في سوريا. تقع في شمال شرق الحسكة وتنتج حوالي 90,000 برميل يومياً. هذه الحقول كانت من أولى الحقول التي تم اكتشافها في سوريا في عام 1958.

حقل الشدادي: يقع في ريف الحسكة الجنوبي ويُعتبر من الحقول المهمة في المنطقة. يحتوي على حوالي 500 بئر نفطي ويُعد ثاني أكبر حقول النفط في محافظة الحسكة بعد حقول رميلان.

حقل الجبسة: يقع بالقرب من مدينة الشدادي ويُعتبر من الحقول النفطية الكبيرة في الحسكة. يحتوي على حوالي 500 بئر نفطي ويُعد من أهم الحقول في المنطقة الشرقية من سوريا.

حقل كراتشوك: يقع في منطقة القامشلي ويُعتبر من الحقول المهمة في المنطقة. يُساهم في إنتاج النفط والغاز ويُعتبر جزءًا من شبكة الحقول النفطية في شمال شرق سوريا.

- وصف حقول النفط في محافظة الرقة:

حقل الثورة: هو أحد أكبر حقول النفط في محافظة الرقة. يقع بالقرب من مدينة الطبقة. قبل عام 2011، كان الحقل ينتج حوالي 6,000 برميل من النفط يومياً.

حقل الصفصافة: يقع في ريف الرقة الشرقي. يُعتبر من الحقول الصغيرة نسبيًا ولكنه يُساهم في إنتاج النفط في المنطقة.

حقل الوديان: يقع في ريف الرقة الجنوبي. يُعتبر من الحقول الصغيرة ولكنه يُساهم في إنتاج النفط في المنطقة.

- وصف حقول النفط والغاز في محافظة حمص:

حقل حيان: هو أحد أكبر حقول النفط في محافظة حمص. يقع في ريف حمص الشرقي ويُعتبر من الحقول الرئيسية في المنطقة. قبل عام 2011، كان الحقل ينتج حوالي 6,000 برميل من النفط يومياً.

حقل جزل: هو حقل نفطي آخر مهم في محافظة حمص. يقع في ريف حمص الشرقي ويُعتبر من الحقول الكبيرة في المنطقة. قبل عام 2011، كان الحقل ينتج حوالي 3,000 برميل من النفط يومياً.

حقل الشاعر: هو حقل غاز كبير يقع في ريف حمص الشرقي. يُعتبر من أكبر حقول الغاز في سوريا، حيث يُنتج حوالي 3 ملايين متر مكعب من الغاز يومياً.

حقل الهيل: هو حقل غاز آخر مهم في محافظة حمص. يقع في ريف حمص الشرقي ويُنتج حوالي 2 مليون متر مكعب من الغاز يومياً.

حقل آراك: هو حقل غاز صغير يقع في ريف حمص الشرقي. يُنتج حوالي 750 ألف متر مكعب من الغاز يومياً.

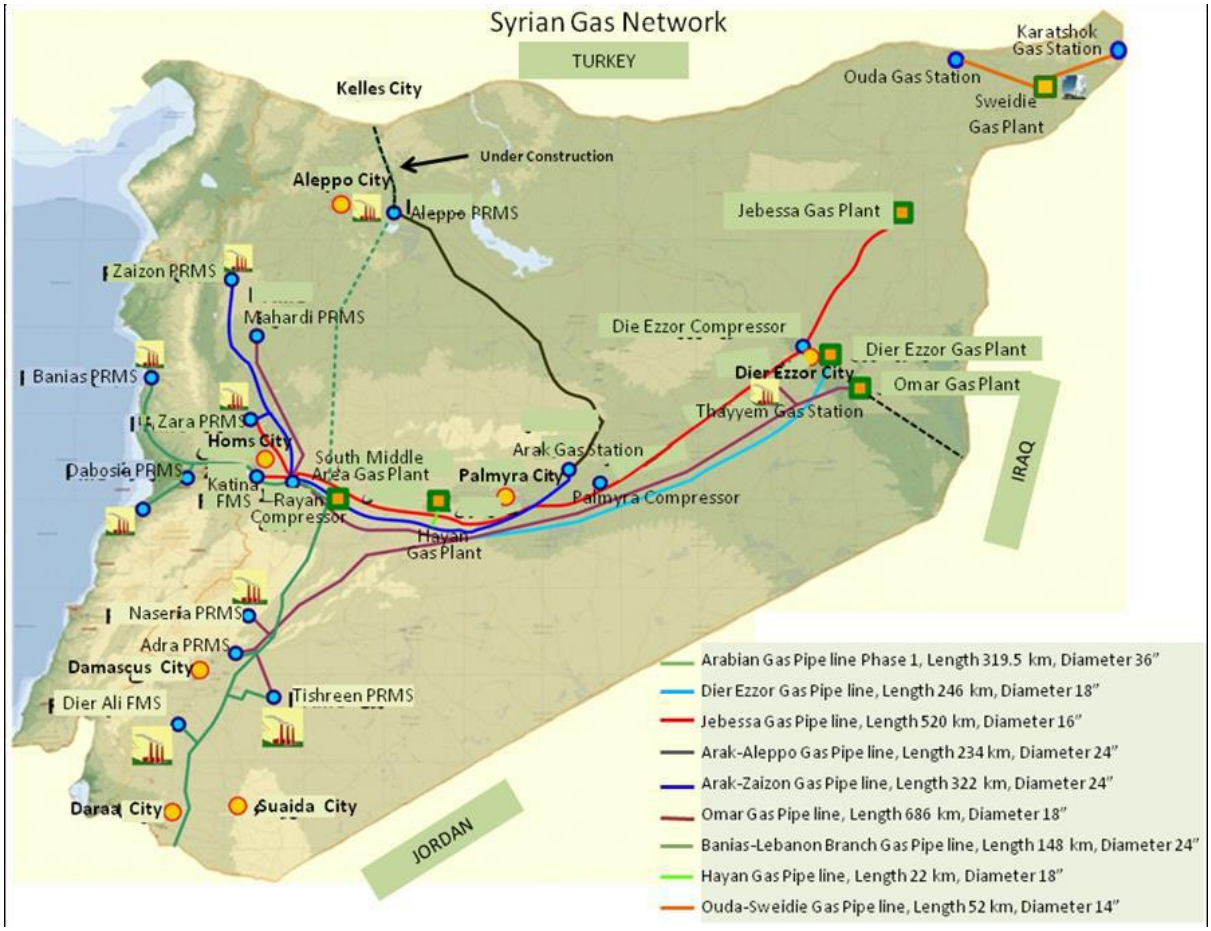
حقل جحار: هو حقل غاز صغير يقع في ريف حمص الشرقي. يُنتج حوالي 350 ألف متر مكعب من الغاز يومياً.

حقل أبو رباح: هو حقل غاز صغير يقع في ريف حمص الشرقي. يُنتج حوالي 300 ألف متر مكعب من الغاز يومياً [7].

## 9.2 وصف شبكة الغاز السوريَة:

تربط هذه الشبكة خطوط الغاز بين كافة مواقع إنتاج الغاز النظيف في معامل العمر والغاز المتكامل في دير الزور والجبسة والمنطقة الوسطى والحدود الأردنية (الغاز المصري) بكافة المستهلكين الحاليين المربوطين مع الشبكة (محطات توليد الطاقة الكهربائية في دير علي وتشرين والناصرية وحلب والزارة وزيزون وجندر ومحردة ودير الزور) بالإضافة إلى المستهلكين الآخرين التابعين لوزارتي الصناعة (معمل إسمنت عدرا ومعمل الأسمدة الآزوتية في حمص) والنفط (مصفاة حمص) والحدود اللبنانية.

يبلغ طول خطوط شبكة الغاز السورية حالياً بحدود **(2500KM)** وتتألف من أنابيب بأقطار **(16, 18, 24, 36, in)** مع محطات تنظيم وقياس وضواغط لتعزيز ضغط الغاز، كما تتمتع بمرونة كافية من حيث إمكانية نقل الغاز من أي خط إلى الخطوط الأخرى، مما يؤمن التكامل فيها والاستفادة من كامل طاقات النقل والتوزيع المتوفرة حالياً، كما هو مبين في الشكل (3-2).




يمثل الشكل (3-2) مسارات خطوط الغاز ضمن القطر العربي السوري

وتتألف الشبكة السورية للغاز من الخطوط التالية:

- خط نقل غاز جبسه – حمص – محطة قطينة – مع تفريعة الزارة:

يبلغ طول الخط حوالي (520KM) وقطره ("16) وبضغط تشغيلي (55bar)، وباستطاعة (2.5 Million $m^3$/day). يقوم هذا الخط بنقل الغاز من معمل غاز الجبسة إلى محطة غاز الريان التي تقع على بعد (15KM) شرق مدينة حمص حيث يتفرع عندها إلى تفريعتين:

- التفريعة الأولى: إلى محطة قطينة لتغذية الشركة العامة للأسمدة (معمل اليوريا) بالغاز اللازم للحرق وغاز التغذية بالإضافة لمصفاة حمص.
- التفريعة الثانية: تمتد من محطة غاز الريان إلى محطة غاز الزارة لتأمين الغاز اللازم لمحطة توليد الطاقة الكهربائية.

ويوجد على الخط ثلاث محطات لرفع الضغط في دير الزور وتدمر والريان ومحطتي تخفيض وقياس في الزارة وقطينة.

- خط نقل غاز العمر:

يقوم هذا الخط بنقل الغاز من معمل غاز العمر إلى ست محطات تخفيض ضغط وقياس في (تشرين بخارية – تشرين غازية – الناصرية– عدرا – التيم – المحطة الثالثة).

ويتألف هذا الخط من مرحلتين:

- المرحلة الأولى: من معمل غاز العمر إلى محطة تشرين ويبلغ طولها حوالي (454KM) وبقطر ("18) وبضغط تشغيلي (102 bar) وباستطاعة (4.2 Million $m^3$/day)، ويتضمن الخط ثلاث عشرة محطة صمام مقطعي.

- المرحلة الثانية: من محطة البيارات غرب مدينة تدمر إلى محطة محردة بطول حوالي (232Km) وبقطر ("18) وبضغط تشغيلي (102 bar) وباستطاعة (4.2 Million $m^3$/day)، ويتضمن الخط ثماني محطات صمام مقطعي بالإضافة لثلاث محطات تخفيض ضغط وقياس في (جندر – محردة– قطينة).

- خط نقل غاز الأرك – حمص – زاره – زيزون:

يقوم هذا الخط بنقل الغاز النظيف المعالج في محطات غاز المنطقة الوسطى من محطة غاز الأرك إلى محطتي غاز الزارة وزيزون، ويبلغ طوله حوالي (322KM) وقطره ("24) وبضغط تشغيلي (72 bar) وباستطاعة (6 Million $m^3$/day)، ويتضمن الخط عشر محطات صمام مقطعي بالإضافة لمحطتي تخفيض وقياس في (الزارة–زيزون) ومحطتي ربط مع خط غاز العمر في الريان والبيارات. وقد تم ربط حقل جحار العائد لشركة حيان للنفط مع الخط في محطة الصمام المقطعي (4902) بخط قطره ("18) وطول (22KM).

- خط غاز تدمر – حلب:

يقوم هذا الخط بنقل الغاز النظيف المعالج في محطات غاز المنطقة الوسطى من محطة غاز الأرك إلى محطة غاز حلب ويبلغ طوله حوالي (234 KM) وقطره ("24) وبضغط تشغيلي (72 bar) وباستطاعة (6 Million $m^3$/day). ويتضمن الخط ست محطات صمام مقطعي ومحطة قياس وتخفيض ضغط واحدة في حلب.

- خط نقل غاز حمص – بانياس:

يمتد هذا الخط من محطة الريان شرق مدينة حمص إلى مدينة بانياس ويهدف إلى تزويد محطة توليد الكهرباء في بانياس بالغاز كما يتضمن الخط تفريعة بطول حوالي (13 KM) تنتهي بمحطة قياس على الحدود اللبنانية السورية في الدبوسية لتزويد لبنان بالغاز. يبلغ طول الخط حوالي (144 KM) وقطره

(24") وضغطه التشغيلي (72 bar) وباستطاعة (6 Million $m^3$/day) ويتضمن أربع محطات صمام مقطعي ومحطة قياس وتخفيض ضغط واحدة في بانياس.

- خط الغاز العربي المرحلة الأولى: من الحدود السورية الأردنية إلى منطقة الريان شرقي مدينة حمص بطول (319.5 KM) وقطر (36") وضغط تشغيلي (72 bar) واستطاعة نقل 22 Million m3/ day). ويتضمن الخط اثنتي عشرة محطة صمام مقطعي بالإضافة إلى:

– تفريعة من محطة الصمام المقطعي (6003) وحتى محطة قياس دير علي بطول (11.6 KM) وقطر (36").

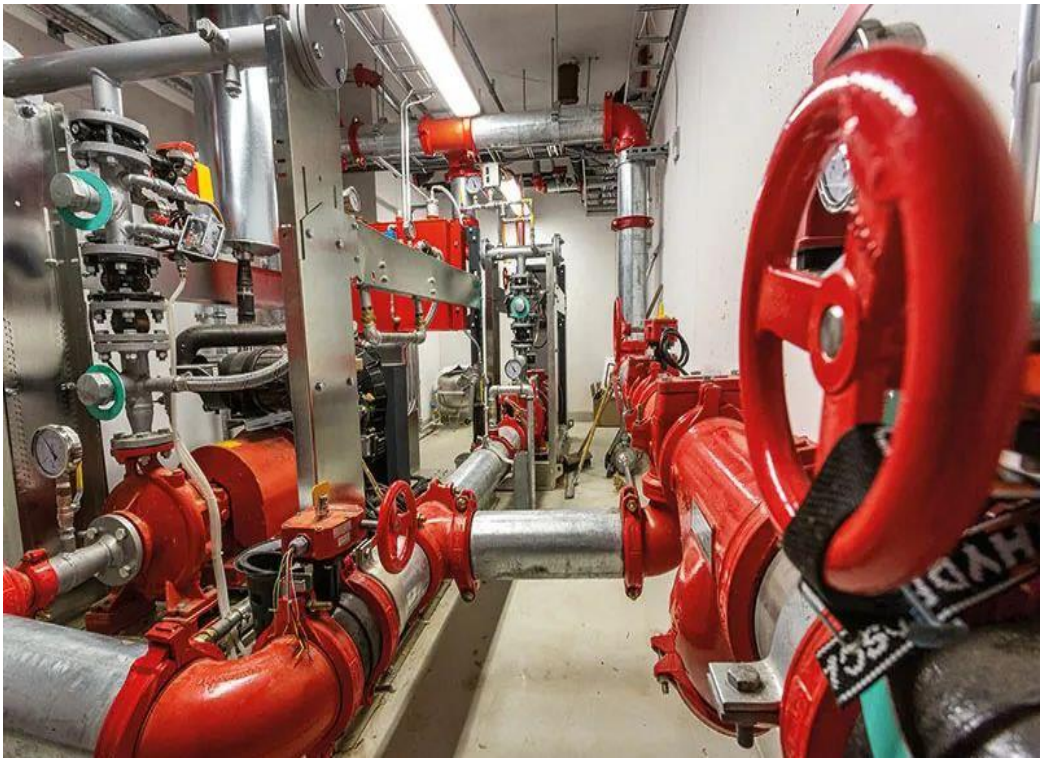
– تفريعة من محطة الصمام المقطعي (6005) وحتى محطة تخفيض الضغوط في تشرين بطول (5.5 KM) وقطر (36").

– كما تم ربط خط الغاز العربي مع خط غاز العمر في منطقة محطة (6007–أ) بداية الوصلة المغذية لمحطة الناصرية.

– كما تم ربط خط الغاز العربي مع خط غاز المنطقة الوسطى في منطقة الصمام المقطعي (4904) شرقي بلدة الفرقلس – كما تم ربط معمل غاز جنوب المنطقة الوسطى في نفس الموقع (4904).

- خط نقل غاز دير الزور – تدمر:

يبلغ طول هذا الخط حوالي (246 KM) ويمتد من معمل غاز دير الزور إلى محطة البيارات غرب مدينة تدمر حيث يرتبط مع خط غاز العمر بقطر (18") وبضغط تشغيلي (92 bar) وباستطاعة (3.92 Million $m^3$/day) بالإضافة لتسع محطات صمام مقطعي. ويرتبط الخط مع الشبكة السورية للغاز في موقع محطة غاز الريان شرقي مدينة حمص.



الشكل (4–2) محطة صمام مقطعي

يظهر الشكل (4–2) محطة صمام مقطعي تستخدم في أنظمة الحماية من الحرائق، وتوضع عند كل تفريعة موجودة لدى خطوط نقل الغاز الطبيعي، تشمل الأنابيب والصمامات الحمراء، وهي جزء من نظام التدفق السريع الذي يستخدم لتوصيل كميات كبيرة من الماء، في حال حدوث حرائق. هذه الأنظمة توجد عادةً في البيئات الصناعية وفي خطوط نقل الغاز الطبيعي، حيث يكون هناك استجابة سريعة في حال حدوث الحرائق. وتحتوي على مقاييس ضغط ومقاييس تدفق لمراقبة الأداء والسلامة.

وإن الصمامات الحمراء الموجودة في الشكل أعلاه، تلعب دوراً مهماً في التحكم بتدفق المياه، وذلك عند فتح أو إغلاق المياه إلى أجزاء معينة من النظام، مما يساعد في توجيه المياه إلى المناطق التي تحتاجها في حالة الطوارئ.

# الفصل الثالث:

# العنفات الغازيَة العاملة على إنتاج الطاقة الكهربائية

## 3-1 محطات توليد الطاقة الكهربائية:

تتنوع محطات التوليد الكهربائية بتنوع مصادر الطاقة المستخدمة في هذا المجال، ورغم اختلاف التقنيات المستخدمة من محطة إلى أخرى فإن الوحدات المكونة لهذه المحطات تعتمد على نظم متشابهة يتركز عملها على مرحلتين أساسيتين، تتمثل المرحلة الأولى في تحويل الطاقة الحرارية(الكامنة)الى طاقة ميكانيكية وذلك باستخدام التوربينات المناسبة، أما المرحلة الثانية فهي تحويل القدرة الميكانيكية الى قدرة كهربائية باستخدام المولدات الكهربائية.

تستُخدم العنفات كعنصر اساسي في محطات توليد الطاقة الكهربائية (بخارية، غازية، نووية، مائية)، وتعد العنفات البخارية الأكثر استخداماً في هذا المجال أو في محطات الأنظمة المركبة الخاصة بتوليد الطاقة الكهربائية والحرارية لأغراض التدفئة في آن معاً، إضافة إلى استخدامها كآلة رئيسية أو مساعدة مع محرك احتراق داخلي (ديزل) لتشغيل البواخر. أما العنفات الغازية فتستخدم في مجال الطيران كمحركات نفاثة وللنقل إضافة لاستخدامها في محطات التوليد.

### 3-1-1 أنواع محطات توليد الطاقة الكهربائية:

إن عملية توليد أو انتاج الطاقة الكهربائية هي في الحقيقة عملية تحويل الطاقة من شكل الى آخر حسب مصادر الطاقة المتوفرة في مراكز الطلب على الطاقة الكهربائية وحسب الكميات المطلوبة لهذه الطاقة، الأمر الذي يحدد أنواع محطات التوليد وكذلك أنواع الاستهلاك وأنواع الوقود ومصادره، كلها تؤثر في تحديد نوع المحطة ومكانها وطاقتها.

سنذكر هنا أنواع محطات التوليد المستعملة عالمياً وسنركز على الأنواع المستعملة في بلادنا:

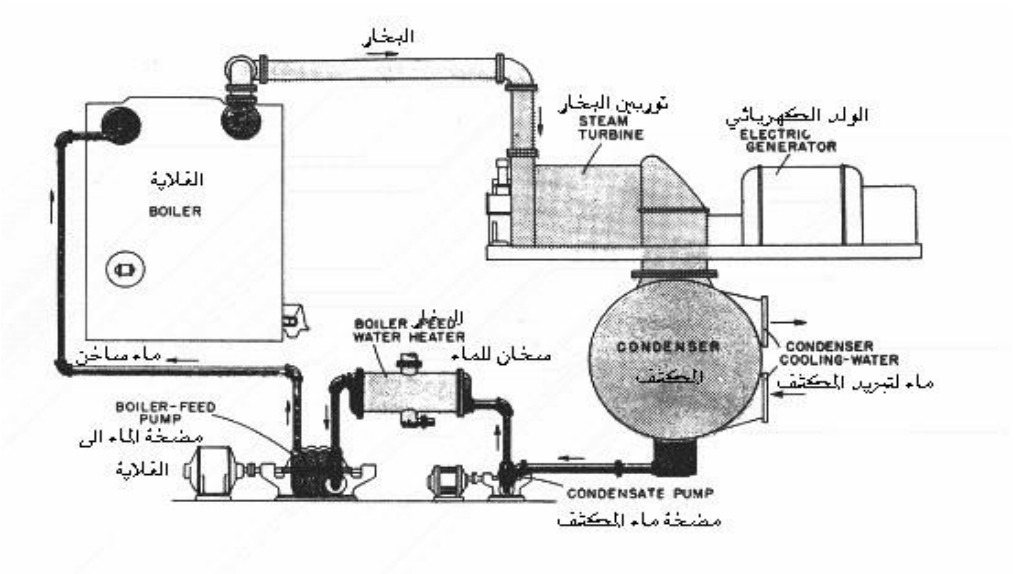
1. محطات التوليد البخارية
2. محطات التوليد الغازية
3. محطات التوليد النووية
4. محطات التوليد المائية
5. محطات التوليد ذات الاحتراق الداخلي(ديزل)
6. محطات التوليد بواسطة الرياح
7. محطات التوليد بالطاقة الشمسية
8. محطات التوليد من المد والجزر

## 1- محطات التوليد البخارية:

سميت بمحطات التوليد البخارية لاعتمادها على ضغط البخار لتحريك العنفات وتحويل الطاقة الحرارية الى طاقة ميكانيكية، وتستعمل هذه المحطات أنواع مختلفة من الوقود مثل (الفحم الحجري أو البترول السائل أو الغاز الطبيعي أو الصناعي)، ولا يوجد فوارق أساسية بين محطات التوليد البخارية التي تستعمل أنواع الوقود المختلفة إلا من حيث طرق نقل وتخزين وتداول وحرق الوقود، كما هو مبين في الشكل (1-3):



الشكل (1-3) محطة توليد بخارية




الشكل (2-3) الأجزاء الرئيسية لمحطات التوليد البخارية

**الفرن أو الغلاية:** وهو عبارة عن وعاء كبير لحرق الوقود ويختلف شكل ونوع هذا الوعاء وفقاً لنوع الوقود المستعمل، ويلحق به وسائل تخزين ونقل وتداول الوقود ورمي المخلفات الصلبة.

**المرجل:** وهو عبارة عن وعاء كبير يحتوي على مياه نقية تسُخن بواسطة حرق الوقود لتتحول هذه المياه الى بخار. وفي كثير من الأحيان يكون الفرن والمرجل في حيز واحد تحقيقاً للاتصال المباشر بين الوقود المحترق والماء المراد تسخينه. وتختلف أنواع المراجل حسب حجم المحطة وكمية البخار المنتج في وحدة الزمن.

**العنفة البخارية أو التوربين:** وهي عبارة عن عنفة من الصلب لها محور ويوصل به جسم على شكل إسطواني مثبت به لوحات مقعرة يصطدم فيها البخار فيعمل على دورانها ويدور المحور بسرعة عالية جداً حوالي 3000 دورة بالدقيقة وتختلف العنفات في الحجم والتصميم والشكل باختلاف حجم البخار وسرعته وضغطه ودرجة حرارته، أي باختلاف حجم محطة التوليد.

**المولد الكهربائي:** وهو عبارة عن مولد كهربائي مؤلف من عضو دوار مربوط مباشرة مع محور التوربين وعضو ثابت. حيث يلف العضوان بالأسلاك النحاسية المعزولة ليتم نقل الحقل المغناطيسي الدوار الى تيار كهربائي على أطراف العضو الثابت. ويختلف شكل هذه المولد باختلاف حجم المحطة.

**المكثف:** وهو عبارة عن وعاء كبير من الصلب يدخل اليه من الأعلى البخار الآتي من التوربين بعد أن يكون قد قام بتدويرها وفقد الكثير من ضغطه ودرجة حرارته، كما يدخل في هذا المكثف من الأسفل تيار من مياه التبريد داخل أنابيب حلزونية تعمل على تحويل البخار الى مياه، حيث تعود هذه المياه الى المراجل مرة أخرى بواسطة مضخات خاصة.

**المدخنة:** مصنوعة من الآجر الحراري وتكون اسطوانية الشكل ومرتفعة جداً، تعمل على طرد مخلفات الاحتراق الغازية الى الجو على ارتفاع شاهق للإسراع في طرد غازات الاحتراق والتقليل من تلوث البيئة المحيطة بالمحطة.

**الآلات والمعدات المساعدة:** وهي عبارة عن عدد كبير من المضخات والمحركات الميكانيكية والكهربائية ومنظمات السرعة ومعدات تحميص البخار التي تساعد على إتمام العمل في محطات التوليد.

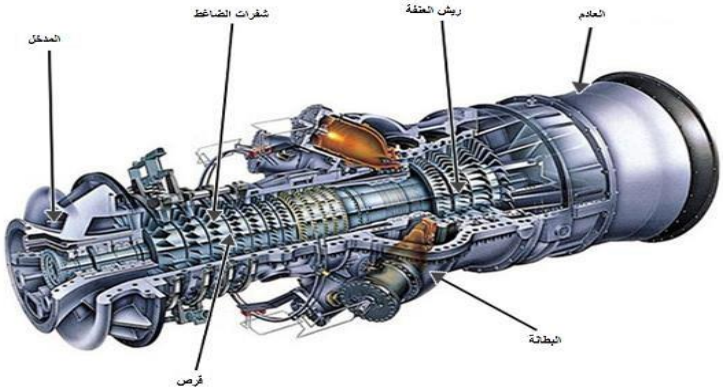
- كان استعمال الفحم الحجري شائعا في أواخر القرن الماضي وأوائل هذا القرن إلا أن اكتشاف واستخراج البترول ومنتجاته أحدث تغييرا جذريا في محطات التوليد الحرارية حيث أصبح يُستعمل بنسبة 90% لسهولة نقله وتخزينه وحرقه وذلك في حال كان بصورة وقود سائل أو غازي.
- تمتاز المحطات البخارية بكبر حجمها ورخص تكاليفها بالنسبة لإمكاناتها الضخمة وكذلك بإمكانية استعمالها لتحلية المياه المالحة، الأمر الذي يجعلها ثنائية الإنتاج خاصة في البلاد التي تقل فيها مصادر المياه العذبة.
- تعتبر محطات التوليد البخارية محولا للطاقة وتستعمل أنواعاً مختلفة من الوقود حسب الأنواع المتوفرة مثل الفحم الحجري أو البترول أو الغاز الطبيعي أو الصناعي ، حيث يتم حرقه في أفران خاصة لتحويل الطاقة الكيميائية في الوقود الى طاقة حرارية في اللهب الناتج عن عملية الاحتراق ثم استعمال الطاقة الحرارية في تسخين المياه في مراجل خاصة (Boilers) وتحويلها الى بخار عند درجة حرارة وضغط معين بعد ذلك يتم تسليط هذا البخار على عفنات بخارية صممت لهذه الغاية فيقوم البخار السريع بتدوير محور العنفات وبذلك تتحول الطاقة الحرارية الى طاقة ميكانيكية على محور هذه العنفات ، يربط محور المولد الكهربائي ربطاً مباشراً مع محور العنفات البخارية فيدور محور المولد الكهربائي (Al Ternator) بنفس السرعة وبالاعتماد على خاصية المغناطيسية الدوارة(Rotor) من المولد والجزء الثابت (Stator) تتولد على طرفي الجزء الثابت من المولد الطاقة الكهربائية اللازمة.

- يتم التحكم في اختيار المواقع المناسبة لمحطات التوليد الحرارية عدة عوامل مؤثرة نذكر منه ما يلي:

القرب من مصادر الوقود وسهولة نقله إلى هذه المواقع وتوفر وسائل النقل الاقتصادية وأيضاً القرب من مصادر مياه التبريد لأن المكثف يحتاج الى كميات كبيرة من مياه التبريد لذلك تبنى هذه المحطات عادة على شواطئ البحار أو بالقرب من مجاري الأنهار، القرب من مراكز استهلاك الطاقة الكهربائية لتوفير تكاليف انشاء خطوط النقل.

**2- محطات التوليد الغازية:**

نشأت محطات العنفات الغازية منذ عام 1791 بإستطاعات صغيرة وتطورت على مر العصور إلى أن وصلت حالياً إلى استطاعة عظمى تتراوح ما بين MW (200-300) وسوف يتم التوسع بها لاحقاً.




الشكل (3-3) مقطع داخلي لعنفة غازية

**3- محطات التوليد النووية:**



- ✓ إن أول محطة توليد حرارية نووية في العالم نفذت في عام 1954 وكانت في الاتحاد السوفيتي باستطاعة MW 5 وتعتبر محطات التوليد النووية غير مستعملة في البلاد العربية حتى الآن.

الشكل (3-4) محطة توليد نووية

- ✓ تعمل محطات التوليد النووية بنفس مبدأ عمل محطات التوليد الحرارية حيث يتم توليد البخار بالحرارة ومن ثم يعمل البخار على تدوير التوربينات التي بدورها تدير الجزء الدوار من المولد الكهربائي حيث تتولد الطاقة الكهربائية على أطراف الجزء الثابت من هذا المولد.
- ✓ تعمل محطات التوليد النووية بنفس مبدأ عمل محطات التوليد الحرارية حيث يتم توليد البخار بالحرارة ومن ثم يعمل البخار على تدوير التوربينات التي بدورها تدير الجزء الدوار من المولد الكهربائية.
- ✓ يعتبر الفارق الأساسي الموجود في محطات التوليد النووية هو أنه عوضاً عن الفرن الذي يحترق فيه الوقود يوجد هنا مفاعل ذري تتولد فيه الحرارة نتيجة انشطار ذرات اليورانيوم نتيجة تصادم الإلكترونات المتحركة في الطبقة الخارجية للذرة وتسُتغل هذه الطاقة الحرارية الهائلة في غليان الماء في المرجل وتحويله إلى بخار ذو ضغط عال ودرجة حرارة مرتفعة جداً.

**4- محطات التوليد المائية:**

تنشأ محطات التوليد المائية عادة بالقرب من السدود. حيث تم بناء السد العالي وبنيت معه محطة توليد كهربائية بلغت قدرتها المركبة 1800 MW. وكذلك بني سد على نهر الفرات في شمال سوريا ومحطة توليد كهربائية بلغت قدرتها المركبة 800 MW، بالإضافة لمحطة توليد في الصين تصل قدرتها إلى 22500 MW.

مبدأ عمل هذه المحطات يتلخص بما يلي: إن كمية المياه الموجودة على ارتفاع معين تحتوي على طاقة كامنة في موقعها وفي حال هبوط هذه الكمية إلى ارتفاع أدني تحولت الطاقة الكامنة إلى طاقة حركية أدت الى دوران توربينة مائية بسرعة كبيرة ونشأ عن ذلك طاقة ميكانيكية على محور التوربينة ونتيجة ارتباط التوربينة مع محور المولد الكهربائي يتولد على أطراف العضو الثابت من المولد طاقة كهربائية، كما هو مبين في الشكل (5-3).

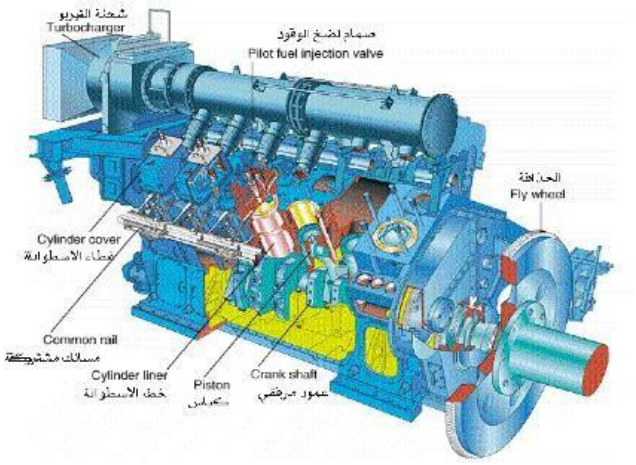




الشكل (3-5) محطة توليد مائية

✓ **محطات التوليد ذات الاحتراق الداخلي (ديزل):**

محطات التوليد ذات الاحتراق الداخلي هي عبارة عن الآلات تستخدم الوقود السائل (Fuel Oil) حيث يحترق داخل غرف الاحتراق بعد مزجه بالهواء بنسب معينة، فتتولد نواتج الاحتراق وهي عبارة عن غازات بضغط مرتفع تستطيع تحريك المكبس كما في حالة ماكينات الديزل.




**- توليد الكهرباء بواسطة ديزل**

✓ تستعمل ماكينات الديزل في توليد الكهرباء في أماكن كثيرة في دول الخليج وخاصة في المدن الصغيرة والقرى، وتمتاز بسرعة التشغيل وسرعة الإيقاف.

الشكل (3-6) مقطع داخلي لمحرك احتراق داخلي (ديزل)

✓ تحتاج الى كمية مرتفعة من الوقود نسبياً وبالتالي فإن كلفة الطاقة المنتجة منها تتوقف على أسعار الوقود.

✓ سهلة التركيب وتستعمل كثيراً في حالات الطوارئ أوأثناء فترة ذروة الحمل، وفي هذه الحالة يعمل عادة عدد كبير من هذه المولدات بالتوازي لسد احتياجات مراكز الاستهلاك.

✓ **محطات توليد الكهرباء بواسطة الرياح:**

هذا النوع مشهور باسم العنفات الريحية التي تشغلها الرياح، كما هو مبين في الشكل (7–3).

حيث طورت هذه العنفات قبل حوالي 1300 years وكان استخدامها الرئيسي في الماضي هو طحن الحبوب وضخ المياه.

✓ وفي نهاية القرن الثامن عشر الميلادي كان استخدام العنفات الريحية قد انتشر في بلدان كثيرة في جميع أنحاء العالم وعلى سبيل المثال هناك مدن صغيرة في الولايات المتحدة واوروبا تستمد الطاقة الكهربائية اللازمة للاستهلاك اليومي من محطة توليد كهربائية تعمل بالرياح يبلغ طول شفرة مروحتها 25 m، وكذلك هناك عنفات ريحية عرفت قديما في أوروبا بأنها احدى الطرق لاستغلال قدرة الرياح في تدوير حجر الرحى.



الشكل (7–3) محطة توليد ريحية

✓ في القرن التاسع عشر الميلادي بدأ في بعض البلدان استبدالها بتوربينات مغلقة ذات فعالية أفضل.

✓ خلال السبعينيات من القرن العشرين أدى نقصان النفط الى زيادة الرغبة في استخدامها لتوليد الكهرباء.

✓ وفي هذه الأيام هناك العديد من هذه المراوح التي تنتج الطاقة الكهربائية على الشاطئ الشمالي في لبنان والتي تقوم برفع المياه من البحر إلى الملاحات لإنتاج الملح.

## 7-محطات توليد الكهرباء بالطاقة الشمسية:

- ✓ قام الإنسان منذ العصور القديمة بتسخير الطاقة الشمسية (الضوء والحرارة) لمصلحته، وذلك باستخدام وسائل التكنولوجيا التي تتطور بشكل سريع.
- ✓ حيث تم استخدام الطاقة الشمسية بعدة طرق منها التسخين المباشر، أو تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة حركية أو كهربائية، كما ويمكن استخدام ألواح الخلايا الشمسية لتوليد الطاقة الكهرباء، بالإضافة إلى التصميم المعماري الذي يؤمن الاستغلال الأمثل للطاقة الشمسية.
- ✓ إن الزيادة المستمرة في أسعار الوقود الأحفوري جعلت من الطاقة الشمسية بديلاً مثالياً على مستوى العالم بعد التطور الحاصل في تقنياتها ، الأمر الذي أدى إلى انخفاض تكلفة الخلايا الشمسية الكهرومغناطيسية المنتجة للطاقة بنسبة كبيرة خلال السنوات العشر الأخيرة ، كما أنها نظيفة ، ذات أثر إيجابي على صحة الإنسان وبيئته، كما هو مبين في الشكل (8-3):

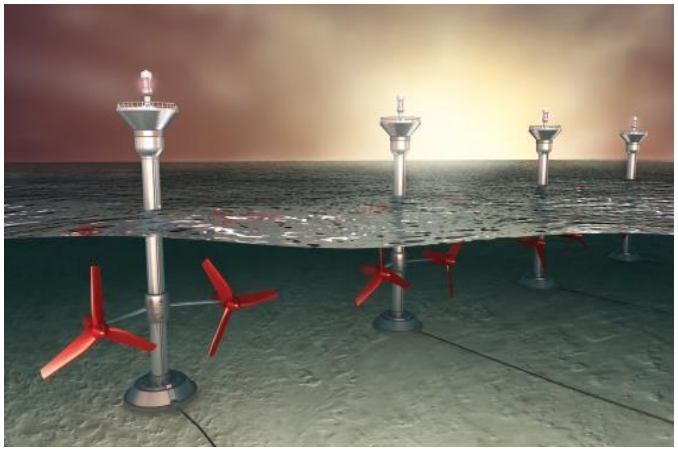


الشكل (8-3) محطة طاقة شمسية

### 8- محطات التوليد من المد والجزر:

ظاهرة المد والجزر تعتبر من الظواهر الطبيعية المعروفة عند سكان سواحل البحار، فهم يرون مياه البحر ترتفع في بعض ساعات اليوم وتنخفض في البعض الآخر. وقد لا يعلمون أن هذا الارتفاع ناتج عن جاذبية القمر عندما يكون قريبا من هذه السواحل وإن ذلك الانخفاض يحدث عندما يكون القمر بعيدا عن هذه السواحل أي عندما يغيب القمر، علما أن القمر يدور حول الأرض في مدار بيضاوي الشكل دورة واحدة كل شهر هجري، وأن الأرض تدور حول نفسها كل أربع وعشرين ساعة.

فإذا ركزنا الانتباه على مكان معين، وكان القمر ينيره في الليل، فهذا معناه أنه قريب من ذلك المكان وان جاذبيته قوية. لذا ترتفع مياه البحر، وبعد مضي أثني عشرة ساعة من ذلك الوقت يكون القمر بالجزء المقابل قطريا أي بعيدا عن المكان ذاته بعداً زائداً بطول قطر الكرة الأرضية فيصبح اتجاه جاذبية القمر معاكسة وبالتالي ينخفض مستوى مياه البحر، كما هو مبين في الشكل (9-3).



الشكل (9-3) محطة توليد من المد والجزر

إن أكثر بلاد العالم شعورا بظاهرة المد والجزر هو الطرف الشمالي الغربي من فرنسا وقد أنشأت هناك محطة لتوليد الطاقة الكهربائية بقدرة 400 MW حيث توضع توربينات خاصة في مجرى المد فتديرها المياه الصاعدة ثم تعود المياه الهابطة وتديرها مرة أخرى.

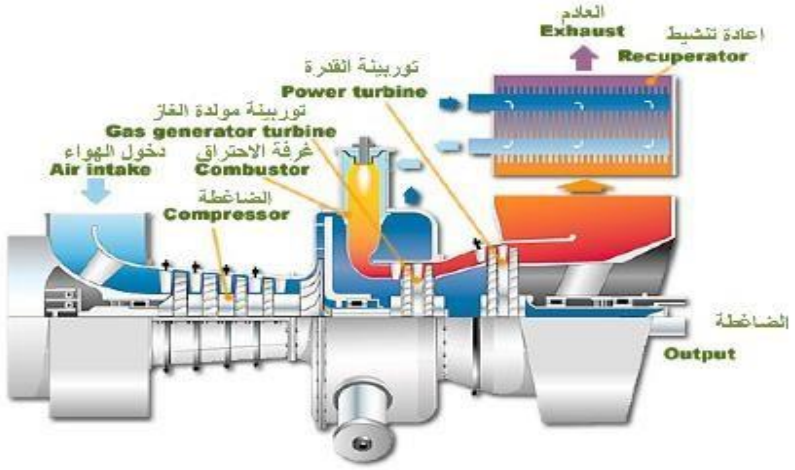
ومن الأماكن التي يكثر فيها المد والجزر السواحل الشمالية للخليج العربي في منطقة الكويت حيث يصل أعلى مد إلى ارتفاع 11 متر ولكن هذه الظاهرة لا تستغل في هذه المناطق لتوليد الطاقة الكهربائية.[5]

## 3-2 محطات توليد الطاقة الكهربائية بالعنفات الغازية:

### 3-2-1 لمحة تاريخية عن تطور العنفات الغازية:

تعرف العنفة الغازية بأنها الألة الحرارية التي تقوم بتحويل الطاقة الحرارية التي تحملها الغازات إلى طاقة ميكانيكية منقولة على شكل حركة دورانية الى محور الآلة والتي يمكن توظيفها بالشكل الذي يريده المستثمر، كما هو مبين في الشكل (3-10).

كما وهي عبارة عن محرك احتراق داخلي دوار يدخل فيه وسيط التشغيل بصورة مستمرة، ليمر بعدها بثلاثة مراحل أساسية وهي مرحلة انضغاط ومرحلة تسخين ومرحلة تمدد، وذلك لإنتاج الاستطاعة اللازمة لتشغيل الحمل، وتستخدم توربينات الغاز لتشغيل المولدات الكهربائية والسفن وسيارات السباق كما تستخدم في محركات الطائرة النفاثة.




الشكل (3-10) الأجزاء الرئيسية للعنفات الغازية

ظهرت البدايات الأولى للعنفات الغازية في البلدان الصناعية في أواخر القرن الثامن عشر وبدايات القرن التاسع عشر على يد مجموعة من العلماء الإنكليز واستعملت العنفات الغازية للمرة الأولى بصورة ناجحة في عام 1935 من قبل شركة ( مار كوس هوك )، و خلال الحرب العالمية الثانية خطى التوربين الغازي خطوات سريعة في التطورات الفعلية عندما تولدت الحاجة الى استبدال المحركات المكبسية بمحركات

الدفع النفاثة، ولكي يتحقق التمدد ضمن العنفة الغازية يجب رفع ضغط الوسيط العامل، كما يمكن كما يمكن زيادة الطاقة المتولدة في العنفة بإضافة الطاقة للوسيط العامل برفع درجة حرارته قبل التمدد، وعندما يكون الوسيط العامل هو الهواء فإنه من المناسب حرق الوقود مع الهواء المضغوط، وعندها يمكن للعنفة إنتاج طاقة قادرة على تدوير الضاغط وإعطاء طاقة دورانية مفيدة يمكن نقلها على محور الآلة، تحدث الضياعات في الواقع في الضاغط والعنفة والتي بزيادتها تزداد الطاقة اللازمة لتشغيل الضاغط وتنخفض الطاقة الناتجة عن العنفة أي تسبب خفضاً في مردود الضاغط والعنفة، ولهذا يجب إضافة الطاقة وبالتالي الوقود إلى الوسيط العامل قبل أن تتم إدارة أحد أجزاء العنفة ، وتتعلق إضافة هذا الوقود بكمية الهواء المار ضمن المنشأة وتتحدد بدرجة الحرارة الأعظمية التي تتحملها أجزاء العنفة وبنسبة الوقود للهواء الأعظمية، ودرجة الحرارة تلك تتعلق بدورها بمقاومة الزحف الحراري ونوعية المعادن والعمر الزمني للمنشأة.

وهكذا نستنتج أن هناك عاملان رئيسيان يؤثران على أداء العنفة وهما مردود أجزاء المنشأة العنفية ودرجة حرارة دخول الوسيط العامل للعنفة، فكلما كانت قيم المراديد ودرجات الحرارة أعلى كلما أدى ذلك إلى تحسين أداء المنشأة.

كما أن المردود الكلي للمنشأة يعتمد على نسبة الانضغاط في الضاغط فصعوبة الحصول على نسبة انضغاط عالية وبمردود عالي أدت إلى التفكير بتصميم عنفة غازية يتم تقديم الحرارة فيها تحت حجم ثابت نظراً لمردودها الحراري المرتفع نسبياً. قام العالم (هولتز فارت) في الفترة الواقعة ما بين(1933– 1908) بتصميم عنفة غا زية وفق اً لذلك المبدأ، وقد حصل على مردود مرتفع وصل إلى 18% واستطاعة 2 MW، ثم بعد ذلك وضعت شركة ( براون بوفيري) في عام 1939 أول عنفة غازية في العالم لتوليد الطاقة الكهربائية موضع التنفيذ وتبلغ استطاعة هذه العنفة 4 MW واستعملت كمجموعة احتياطية في (نوشاتل) بسويسرا.

إلا أن الاستمرار بهذا الاتجاه توقف نهائياً بسبب حاجة حجرة الاحتراق إلى صمامات لعزل الحجرة عن العنفة والضاغط، وكون الاحتراق متقطعاً مما يجعل الغازات تخرج على شكل نبضات تعرض شفرات العنفة للاهتزاز مولدة إجهادات دورية تسبب انكسارها. ولهذا تمت العودة إلى تطوير الدارة ذات الضغط الثابت ولم يتم حل الإشكالية المتعلقة بزيادة نسبة الانضغاط ورفع مردود الضاغط إلا بتطبيق علم الأيروديناميك (ديناميك الغازات) ومنذ ذلك الوقت تطورت العنفات الغازية يداً بيد مع هذا العلم وعلم المعادن والتي تم الوصول بفضله إلى مردود أكثر من [% 35] واستطاعة كلية للعنفة تصل إلى أكثر من [250MW].

تطورت العنفات الغازية في السنوات العشرين الأخيرة نتيجة لتقدم علم الهواء الديناميكي وعلم المعادن. وحلت محل المحركات الترددية في كثير من المجالات وخاصة في الطائرات السريعة حيث أدخلت بعض التحسينات على العنفة الغازية بغاية زيادة مردودها الحراري مقابل بعض التعقيدات في التصميم، فغالباً ما تتضمن دارة العنفة الغازية الانضغاط على مراحل مع التبريد بينهما والتمدد على مراحل مع إضافة الحرارة بينهما ثم استرجاع جزء من حرارة العادم بواسطة مبادل حراري.

كما ابتدأ خلال السنوات العشر الأخيرة بتطبيق فكرة الجمع بين العنفة الغازية والعنفة البخارية في دارة حرارية واحدة لإنتاج القدرة بمردود أعلى من مردود العنفة البخارية أوالغازية كل على حده.

ازدادت وحدات توليد الطاقة الكهربائية بواسطة العنفات الغازية بشكل مذهل، فقد كانت المنشأة عام 1950 تعمل باستطاعة أقل من 10 MW للمجموعة الواحدة، أما اليوم فقد وصلت استطاعة المنشأة إلى MW 300 من خلال الكشف عن استخدام المفاعلات النووية. هذه الزيادات جاءت نتيجة إدخال التحسينات على العنفة الغازية بغية زيادة في المردود الحراري والسير نحو الأفضل رغم وجود بعض التعقيدات في التصميم.

ولهذا الغرض بالذات تم تحسين تصميم الضواغط واستخدام الضواغط المحورية التي تتميز بمردود عالي نسبياً وبإمكانية رفع درجة حرارة غازات الاحتراق عند مدخل العنفة الى أكثر من [$^0$C] 1200 دون أن تزيد من درجة حرارة الشفرات عن [$^0$C] 800 وذلك بتبريد الشفرات بواسطة الهواء المضغوط من خلال ثقوب تصنع بالشفرات.

غالباً ما تتضمن دارة العنفة الغازية الانضغاط على مراحل مع التبريد بينهما، كذلك التمدد على مراحل مع إضافة حرارة بينهما ثم استرجاع جزء من حرارة العادم بواسطة مبادل حراري لتحسين المردود.

تمتاز العنفة الغازية مقارنة بالآلات الأخرى بخاصتين:

الخاصة الأولى: أنها ذات جريان مستمر كما هو الحال بالعنفة البخارية أي أنها لا تحتوي بجميع مقاطعها على تحولات دورية لحالة سائل التشغيل.

الخاصة الثانية: إن جميع التحولات التي تشكل الدورة الحرارية لسائل التشغيل تتم ضمن مجموعة الأجزاء المختلفة التي تشكل العنفة الغازية. بينما تتعاقب هذه التحولات في أسطوانة واحدة بالنسبة لمحركات الاحتراق الداخلي.

### 3-2-2 مزايا محطات العنفات الغازية:

- ✓ توفر الإمكانيات لرفع المردود الحراري عن طريق رفع درجة الحرارة الوسطية لإجراء إمداد الطاقة الحرارية، ولا يوجد ارتباط ما بين رفع درجة الحرارة والضغط كما هو الحال في دورة رانكين لبخار الماء، وتبعاً لنوع الوقود المستخدم يمكن رفع درجة حرارة الغازات قبل العنفة إلى أكثر من ( 1200C)
- ✓ تمتاز محطات العنفات الغازية بسرعة تشغيلها حيث لا تتجاوز عملية التشغيل بضع دقائق مقارنة بالمحطات البخارية التي تحتاج الى ساعات عديدة للبدء بالإنتاج. وتسمى هذه المحطات بمحطات البدء السريع أو محطات الدعم، حيث تستخدم لدعم الشبكة الكهربائية في أوقات ذروة الأحمال وهي تعرف أيضاً بمحطات تغطية أحمال الذروة.
- ✓ كبر الاستطاعة النوعية (الاستطاعة منسوبة لوزن المنشأة) نظراً لبساطة المخطط التقني.

- ✓ انعدام الحاجة لمياه التبريد.
- ✓ إمكانية استخدام أنواع الوقود الرخيصة.
- ✓ تمتاز بتكلفة انشائية منخفضة وبسرعة انشاء فائقة مقارنة مع محطة بخارية لها نفس الاستطاعة.

### 3-2-3 الجوانب السلبية في محطات العنفات الغازية:

- ➢ انخفاض المردود نسبياً حيث لا يتجاوز (35%) في المحطات الضخمة ويمكن في حالات خاصة رفعه باستخدام المعدات الإضافية ليصل إلى حوالي (40%).
- ➢ نظرا لتدني كفاءة العنفات الغازية التي تقدر بـ %(30÷35) وأيضا نظراً لارتفاع درجة حرارة العادم، يتم تصميم العنفات الغازية في أغلب الأحيان بدورات مركبة حيث يتم تمرير عادم العنفات الغازية على غلاية لإنتاج البخار وتشغيل عنفة بخارية. وتؤدي هذه الطريقة الى رفع كفاءة العنفة الغازية حيث تعتبر محطات الدورة المركبة من أكبر المحطات كفاءة وتقدر % (50÷62).

### 3-2-4 مقارنة بين العنفات الغازية والعنفات البخارية:

1. العنفة الغازية أكثر بساطة في التصميم لأنه لا يوجد لها متممات مثل المراجل والمضخات والمكثفات ..... الخ
2. العنفة الغازية لا تحتاج الى الماء كوسيط لتوليد الطاقة ويمكن الاستغناء عنه في التبريد.
3. إن الانشاءات المدنية التي تحتاج اليها محطات التوليد تشكل نسبة مرتفعة بالنسبة للتكاليف الكلية لمحطة جديدة، وقد تصل هذه النسبة إلى (30%) في محطات العنفات البخارية بينما لا تتجاوز هذه النسبة (12%) في محطات العنفات الغازية.
4. يقدر وزن العنفة الغازية وملحقاتها بثلث وزن العنفة البخارية المقابلة لها وذلك لأن الضغوط المستعملة في العنفات الغازية صغيرة مما يجعل أجزاء العنفة المعرضة لهذه الضغوط أخف وزناً من أجزاء العنفة البخارية التي تتعرض إلى ضغوط عالية.

5. يمكن تشغيل العنفة الغازية وتحميلها حملاً كاملاً خلال زمن يتراوح بين 20-8 min . بينما تحتاج العنفة البخارية إلى أضعاف هذا الوقت لتسخين الماء وتشكيل البخار تحت ضغط مرتفع (ساعة أو ساعة ونصف) ونتيجة لذلك فإن الحرارة المستهلكة خلال تشغيل العنفة الغازية أقل، وكذلك الحرارة الضائعة عند التوقف.
6. تحتاج العنفة الغازية إلى أجهزة مساعدة أقل بكثير من تلك التي تحتاجها العنفة البخارية وتحتاج هذه الأجهزة المساعدة إلى استطاعة أقل.
7. التكاليف الأولية لمحطة توليد تستعمل العنفات الغازية أقل من محطة توليد تستعمل العنفات البخارية.
8. تحتاج العنفة الغازية الى القليل من اليد العاملة لتشغيلها.
9. تكاليف الصيانة للعنفة الغازية تختلف حسب الدارة النظرية التي تتبعها العنفة أي كمية ونوع الأجهزة الملحقة بها، بصورة عامة تزداد هذه التكاليف بازدياد المردود، أما تكاليف الصيانة في العنفات البخارية تقدر بأربعة أضعاف تكاليف الصيانة للعنفة الغازية لكل كيلو واط واحد.

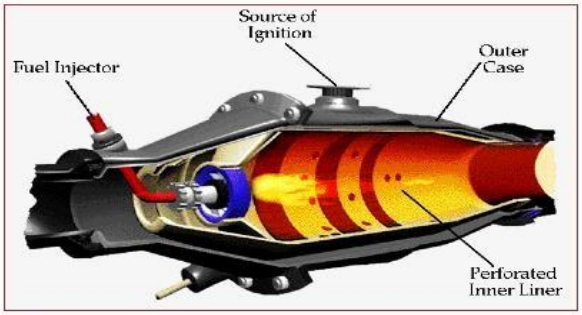
### 3-2-5 الأجزاء الرئيسية لمحطات توليد الكهرباء بالعنفات الغازية:

إن الأجزاء الرئيسية التي تتكون منها محطة توليد الكهرباء بالعنفات الغازية هي ما يلي:

#### 1. ضاغط الهواء The Air Compressor

يأخذ الهواء من الوسط المحيط ويرفع ضغطه الى عشرات الضغوط الجوية.

#### 2. غرفة الاحتراق The Combustion Chamber




الشكل (3-11) مقطع داخلي بغرفة الاحتراق

يختلط الهواء المضغوط من مكبس الهواء مع الوقود ويحترقان معا بواسطة وسائل الاشتعال، وتكون نواتج الاحتراق ذو درجات حرارة عالية وضغط مرتفع، كما هو مبين في الشكل (3-11).

### 3. التوربين The Turbine

وهي عبارة عن توربين محوره أفقي مربوط من ناحية مع محور مكبس الهواء مباشرة ومن ناحية أخرى مع المولد بواسطة صندوق تروس لتخفيف السرعة، وذلك لأن سرعة دوران التوربين عالية جداً لا تتناسب مع سرعة دوران المولد الكهربائي. تدخل الغازات الناتجة عن الاحتراق في التوربين فتصطدم بريشه الكثيرة العدد يؤدي ذلك إلى انخفاض كل من الضغط ودرجة الحرارة من خلال تمدد غازات الاحتراق ضمن مراحل الريش الثابتة والمتحركة للعنفة.

### 4. المولد الكهربائي The Genertor

يتصل المولد الكهربائي مع التوربين بواسطة صندوق تروس لتخفيف السرعة كما ذكرنا وفي بعض التوربينات الحديثة تقسم التوربينة الى توربينتين إحداهما للضغط والسرعة العالية وتكون متصلة مباشرة مع مكبس الهواء والثانية تسمى توربينة القدرة متصلة مباشرة مع محور المولد الكهربائي.

### 5. الآلات والمعدات المساعدة Auxiliaries

تحتاج محطات التوربينات الغازية الى بعض المعدات والآلات المساعدة على النحو التالي:

- مصافي الهواء قبل دخوله الى مكبس الهواء.
- مساعد التشغيل الأولي وهو اما محرك ديزل أو محرك كهربائي.
- وسائل المساعدة على الاشتعال وآلات لتبريد مياه تبريد المحطة.
- معدات قياس الحرارة والضغط في كل مرحلة من مراحل العمل.
- معدات القياس الكهربائية المعروفة المختلفة.[3]

## 3-3 دارات العنفات الغازية:

يتم اختيار دارة عنفة معينة بحيث تحقق هذه الدارة أعلى مردود ممكن واقتصادية عالية اثناء الاستثمار.

بشكل عام تصنف دارات العنفة الغازية حسب مردود الوسيط العامل إلى:

1. الدارة المفتوحة
2. الدارة المغلقة
3. الدارة نصف المغلقة
4. الدارة المشتركة

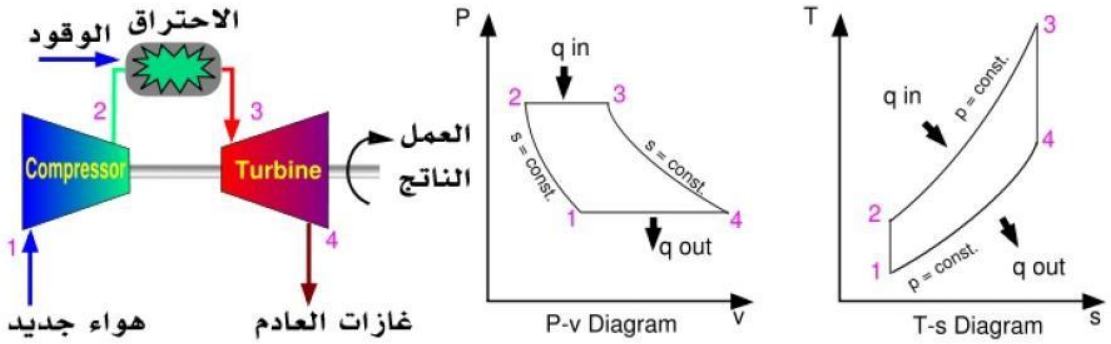
### 3-3-1 الدارة المفتوحة:

في هذه الدارة يدخل الهواء الى الضاغط من الجو المحيط ثم يحرق الوقود الممزوج بالهواء الساخن القادم من الضاغط الى داخل غرفة الاحتراق، واخيراً تطرد غازات الاحتراق الى الجو الخارجي وذلك بعد تمددها في العنفة. لذلك لا تحتاج هذه الدارة الى مجموعة تبريد وهذا ما جعلها تنتشر بشكل كبير لبساطة تنفيذها. إلا أن العنفة الغازية ذات الدارة المفتوحة لديها بعض المشاكل حيث تتطلب لتشغيلها أنواع جديدة من الوقود وعند الاحتراق قد يترسب قسم من الرماد والقطرات وغيرها ويؤدي ذلك الى تكون طبقة من الاوساخ في العنفة قد تؤدي بعد فترة من الزمن الى تلفها. بالإضافة الى ذلك أن الهواء الداخل الى الضاغط يحمل معه كميات لا بأس بها من الاوساخ (ذلك حسب مكان المنشأة) والتي تؤثر على شفرات الضاغط فينخفض مردود هذه الآلة فيما إذا لم يتم تنظيف دوري لفلاتر الضاغط.

# أنواع الدارات المفتوحة

## 1- الدارة المفتوحة المثالية البسيطة (دورة بريتون):

يدخل الهواء تحت الظروف الجوية إلى الضاغط حيث يقوم برفع درجة حرارة وضغط الهواء ومن ثم يدخل الى غرفة الاحتراق لتتم عملية اشتعال الوقود عند ضغط ثابت، بعد ذلك تخرج الغازات بدرجة حرارة مرتفعة وتدخل للتوربين حيث تتمدد هذه الغازات إلى مقدار الضغط الجوي وتطرح غازات الاحتراق خارجاً دون إمكانية الاستفادة منها، كما هو مبين في الشكل (12-3):




الشكل (12-3) الدورة الحرارية للعنفة الغازية البسيطة

إجراءات دورة برايتون على مخطط T-S

**الإجراء (1-2)** إجراء انضغاط الهواء اديباتياً، حيث ترتفع درجة الحرارة وضغط الهواء ونحصل على اعلى ضغط في الدورة.

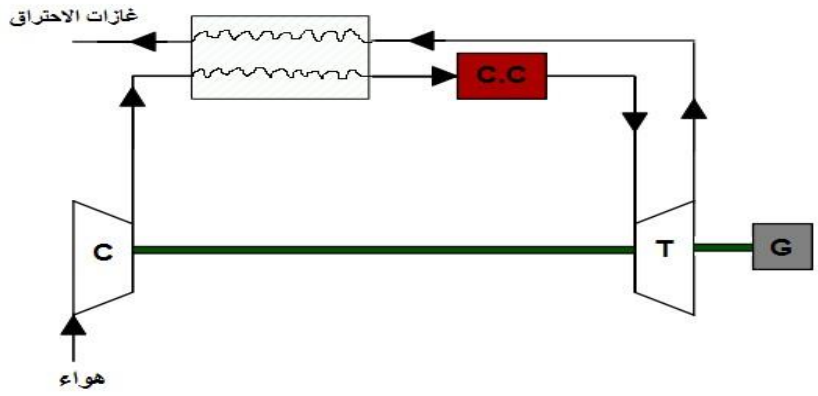
**الإجراء ( 2-3)** إجراء إضافة حرارة بثبوت الضغط، حيث ترتفع درجة الحرارة ونحصل على أعلى درجة حرارة في الدورة.

**الإجراء (3-4)** إجراء التمدد الاديباتي حيث تتحول فيه الطاقة الحرارية الى عمل.

**الإجراء (4-1)** إجراء طرح غازات الاحتراق الى الوسط المحيط مع انخفاض درجة الحرارة وثبوت الضغط.

### 2- الدارة البسيطة المفتوحة مع مبادل حراري:

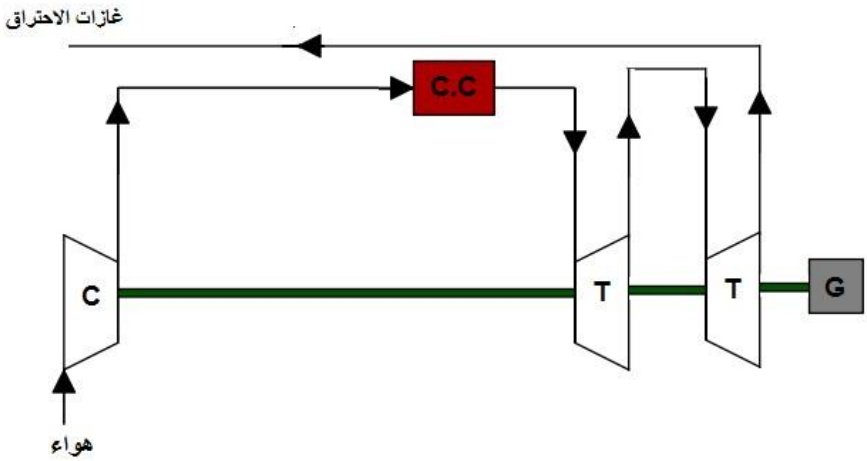
ويتم في هذه الحالة الاستفادة من حرارة غازات الاحتراق بعد خروجها من العنفة وتستخدم هذه الحرارة في تسخين الهواء الخارج من الضاغط مما يؤدي إلى رفع مردود المنشأة، كما هو مبين في الشكل (13-3):




الشكل (13-3) الدارة البسيطة المفتوحة مع مبادل حراري

### 3- الدرارة المفتوحة مع تمدد على مرحلتين:

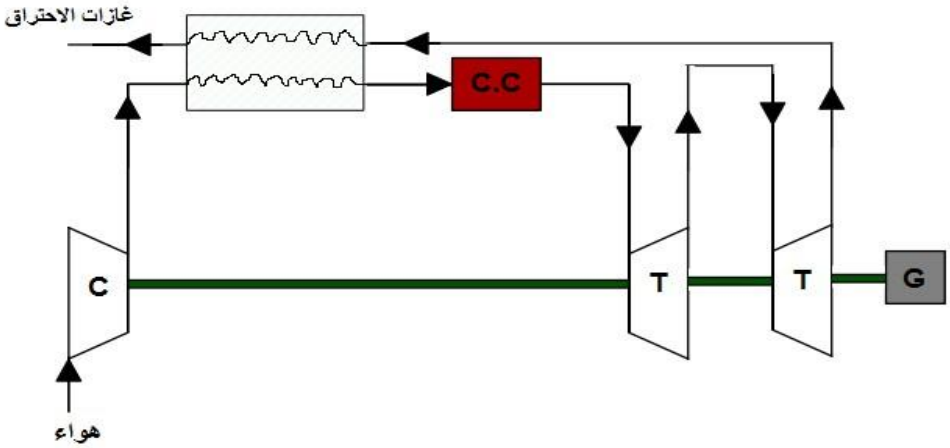
في هذه الدارة يتم التمدد على مرحلتين وخلال عنفتين تدور بسرعتين مختلفتين إحدى هاتين العنفتين تستخدم لتدوير الضاغط والأخرى تستخدم لتدوير المولد الكهربائي، كما هو مبين في الشكل (14-3):




الشكل (14-3) الدارة المفتوحة مع تمدد على مرحلتين

### 4- الدارة المفتوحة مع تمدد على مرحلتين ومبادل حراري:

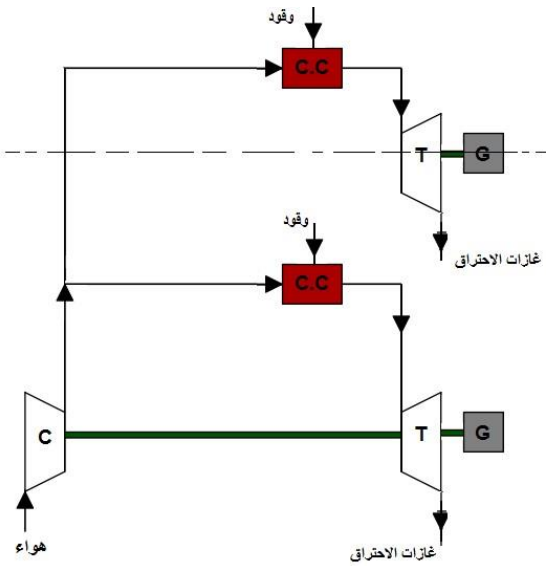
حيث تم إضافة مبادل حراري الى الدارة السابقة بهدف زيادة المردود الحراري، كما هو مبين في الشكل (3-15):




الشكل (3-15) الدرارة المفتوحة مع تمدد على مرحلتين ومبادل حراري

### 5- الدارة المفتوحة مع تمدد على مرحلتين وبغرفتي احتراق:

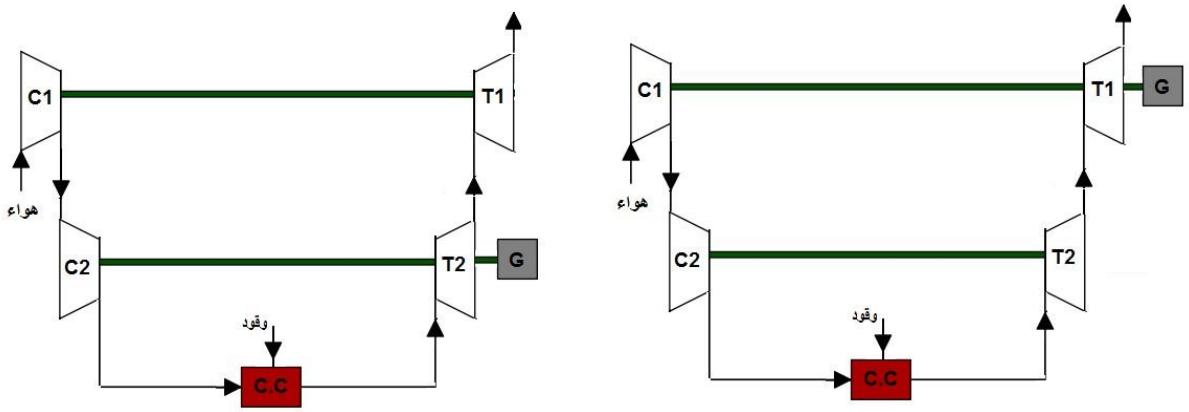
في هذه الحالة تكون العنفة التي تعطي الاستطاعة مربوطة على التوازي مع العنفة التي تحرك الضاغط مع وجود غرفتي احتراق منفصلتين وهكذا نحصل على مرونة أكثر في اختيار السرع، وفي حال أردنا زيادة المردود نستطيع إضافة مبادل حراري، كما هو مبين في الشكل (3-16).




الشكل (3–16) الدارة المفتوحة مع تمدد على مرحلتين وبغرفتي احتراق

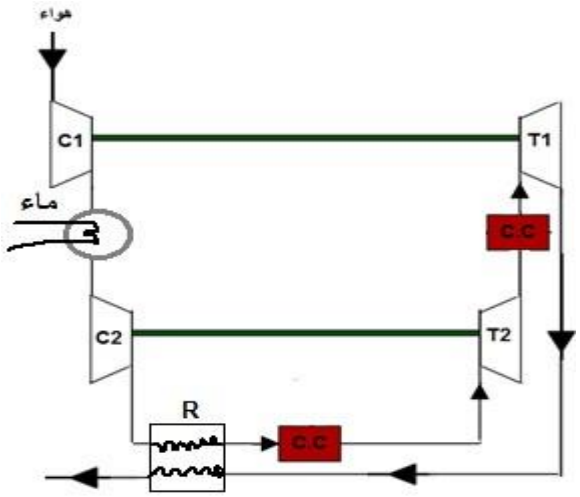
### 6- الدارة المفتوحة مع تمدد وانضغاط على مرحلتين:

في حال كانت نسبة الانضغاط أعلى من تلك التي يمكن الحصول عليها من مرحلة واحدة فإنه يمكن اللجوء إلى الانضغاط على مراحل، حيث يقود الضواغط فيها عدد من العنفات يساوي إلى عدد من المراحل، بحيث تقود العنفة ذات الضغط العالي الضاغط ذو الضغط العالي والعنفة ذات الضغط المنخفض الضاغط ذو الضغط المنخفض مع ملاحظة عملية سحب القدرة تتم من احدى المرحلتين، كما هو مبين في الشكل (3–17):




الشكل (3–17) الدارة المفتوحة مع تمدد وانضغاط على مرحلتين

## 7- الدارة المفتوحة مع انضغاط على مرحلتين مع تبريد وتمدد على مرحلتين مع إعادة تسخين باستخدام المبادل الحراري:



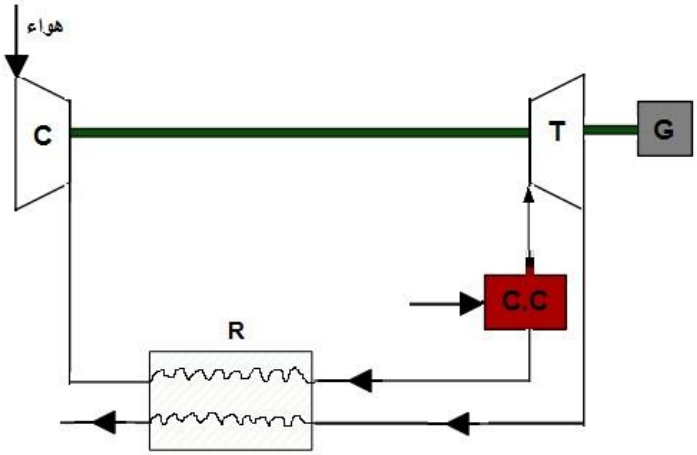

يؤدي التبريد بين مرحلتي الانضغاط وكذلك التسخين خلال التمدد الى زيادة المردود للدارة بشكل ملحوظ، وكذلك عملية إضافة مبادل حراري يؤدي الى تحسين هذا المردود بشكل أفضل. ولكن من مساوئ هذه الدارة انخفاض الاقتصادية وزيادة حجم الآلة وزيادة التعقيد في التصميم.

الشكل (3-18) الدارة المفتوحة مع وتمدد وإعادة تسخين باستخدام المبادل الحراري

## 8- الدارة المفتوحة البسيطة مع غرفة احتراق بعد العنفة:

إذا كان لغازات الاحتراق تأثير سيء على شفرات العنفة يمكن وضع غرفة احتراق بعد العنفة ومبادل حراري نستعمله لتسخين الهواء المضغوط.

تمتاز هذه الدارة بمرونة اختيار نوع الوقود ولكن السيئة الرئيسية لهذه الدارة هو الحجم الكبير للمبادل الحراري ونستطيع تصغير هذا الحجم بوضع غرفة الاحتراق في دارة ثانوية اما ان تعمل بالضغط الجوي او بالهواء المضغوط ويتم انتقال الحرارة الى الدارة الأولية بواسطة المبادل الحراري، وفي حال أغلقت هذه الدارة وعملت تحت الضغط فإننا نحصل على نظام الدارة المغلقة.

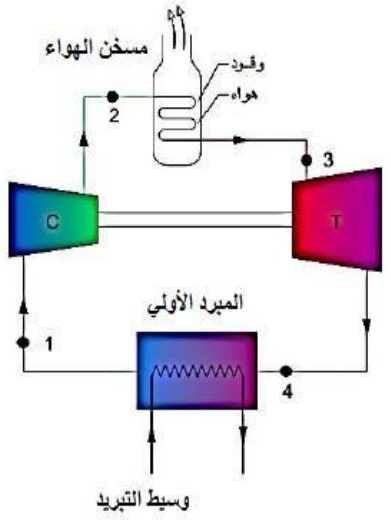



الشكل (3-19) الدارة المفتوحة البسيطة مع غرفة احتراق بعد العنفة

## 3-3-2 الدارة المغلقة:

يستخدم في هذه الدارة نفس الكمية من وسيط التشغيل بصفة دائمة لإنتاج العمل ولا يوجد أي اتصال بينها وبين الجو المحيط، وتعتبر الدارة المغلقة هي الوحيدة المهيئة لاستخدام الوقود الصلب (الفحم مثلاً) أو وقود نووي.

السيئة الرئيسية للدارة المغلقة هي الحاجة الى نظام تسخين خارجي والذي يتطلب استخدام دارة إضافية مساعدة. وهذا يؤدي الى توليد فرق في درجات الحرارة بين غازات الاحتراق وجسم التشغيل وبالتالي فإن درجة الحرارة المسموح بها لسطوح المسخن سوف تفرض حداً معيناً على درجة الحرارة العظمى في الدارة الرئيسية.




الشكل (3-20) الدارة المغلقة

هناك مميزات عديدة للدارة المغلقة وأهمها هو إمكانية استخدام ضغط عالي خلال الدارة (أي أن كثافة الغاز تكون مرتفعة) وهذا ينتج عنه إنقاص في حجم منشأة العنفة الغازية. وبالإضافة الى أنه يمكن تغيير استطاعة المنشأة بتغيير مستوى الضغط في الدارة، وباستخدام أجهزة تحكم يمكن التحكم بمقدار الحمولة المطبقة دون تغيير درجة الحرارة العظمى للدارة وبتغير بسيط في المردود الكلي.

بالإضافة الى ميزة استخدام ضاغط وعنفة أصغر وكذلك سهولة التحكم بالاستطاعة، فإن الدارة المغلقة تحافظ على شفرات العنفة من التعرض للتأكل وتجنبها كذلك من الاثار الضارة الناتجة عن نواتج الاحتراق وكذلك تجنبها الحاجة الى اجراء تصفية لهواء الدخول والتي هي عبارة عن مشكلة هامة وصعبة عند استخدام الدارة المفتوحة.

تؤدي الكثافة العالية لسائل التشغيل الى تحسين عملية انتقال الحرارة وبالتالي هذا يحسن من فعالية المبادل الحراري. وأخيرا فإن الدارات المغلقة تفتح المجال أمام استخدام غازات غير الهواء كجسم تشغيل والتي تتمتع بخواص ترموديناميكية أفضل.

وبما أن الحرارة النوعية لسائل التشغيل تلعب دوراً هاماً في تحديد أداء منشأة العنفة الغازية التي تعمل بدارة مغلقة، فإن زيادة الحرارة النوعية من 1.44 الى 1.66 وذلك عند استخدام الهيليوم بدلاً من الهواء يؤدي الى زيادة المردود الحراري بشكل كبير وكذلك استخدام الهيليوم بدلاً من الهواء يقلل من فواقد الضغط بسبب الاحتكاك وبالتالي نسب الانضغاط تكون أقل وخواص انتقال الحرارة تكون أفضل، وكذلك حجم المبادل الحراري والمبرد المقدم عند استخدام الهيليوم تكون نصف حجمها عند استعمال الهواء.

مما سبق نلاحظ أن استخدام الدارات المغلقة في العنفة الغازية يتميز بما يلي:

1- إمكانية استخدام أنواع عديدة من الغازات الوسيطة كجسم تشغيل مثل الهواء، ثاني أكسيد الكربون، الهيليوم، الهيدروجين أو النتروجين.

2- إمكانية استخدام أنواع مختلفة من الوقود مثل: الفحم، الوقود الغازي أو السائل، الوقود النووي أو الطاقة الشمسية.

3- إمكانية استخدام ضغوط عالية في الدارة حيث أن زيادة الضغط يقلل من الحجم النوعي والذي يؤدي بدوره الى تحسين عملية انتقال الحرارة لجسم التشغيل المستخدم.

4- إمكانية تغيير الضغط الكلي للدارة وبالتالي التحكم في الاستطاعة عند الحمولات الجزئية دون تغيير درجة حراة الدخول الى العنفة. يمكن كذلك تغيير الضغط الكلي عن طريق إضافة أو سحب جسم التشغيل من العنفة الغازية ويمكن تحقيق ذلك باستخدام خزانات مضغوطة.

5- جسم التشغيل المستخدم لا يتم تلوثه بنواتج الاحتراق.

6- عملية طرح الحرارة تتم بشكل جيد وذلك إما باستخدام التبريد الجاف أو التبريد الرطب أو كلاهما. ويمكن تحقيق عملية التبريد في الدارة المغلقة باستخدام برج تبريد بالهواء الجاف وذلك يسبب فرق كبير بين درجة حرارة غازات الاحتراق ودرجة حرارة الهواء المحيط.

وكذلك من عيوب الدارة المغلقة:

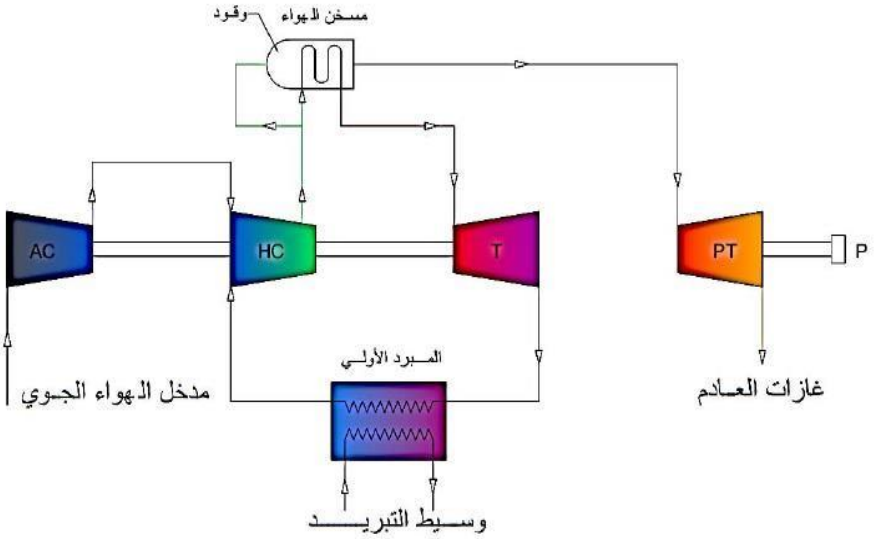
1- تسرب المائع المحرك (هواء أو الهيليوم ...) يحتاج الامر الى تعويضه.

2- تحتاج الدارة الى مبادلات حرارية والى وسط للتبريد مما يؤدي الى التعقيد.

3- ارتفاع سعر الوحدة وتعقيدها مقارنة مع الدارة المفتوحة.

### 3-3-3 الدارة نصف مغلقة:

الوسيط العامل يكون عادة الهواء الذي يتم ضغطه بواسطة ضاغط مساعد والهواء الخارج من العنفة التي تدور الضاغط يمرر عبر مبرد أولي ومن ثم إلى ضاغط الضغط العالي حيث يندمج مع الهواء الخارجي، يرتفع ضغط الهواء ثم ينقسم إلى قسمين الأول يستخدم للاحتراق مع الوقود ضمن مسخن الهواء ليدفع إلى عنفة الطاقة المربوط مع المنوبة والباقي يسخن ضمن مسخن الهواء بالتبادل الحراري وبعدها ليتمدد ضمن العنفة التي تدور الضاغط، هذا القسم من الهواء يبقى نظيفاً لكونه ضمن دارة مغلقة، أما الهواء المسحوب من الوسط الخارجي فيتم طرحه إلى الوسط الخارجي بعد تسخينه من الهواء وتمدده عبر عنفة الطاقة، كما هو مبين في الشكل (21-3):

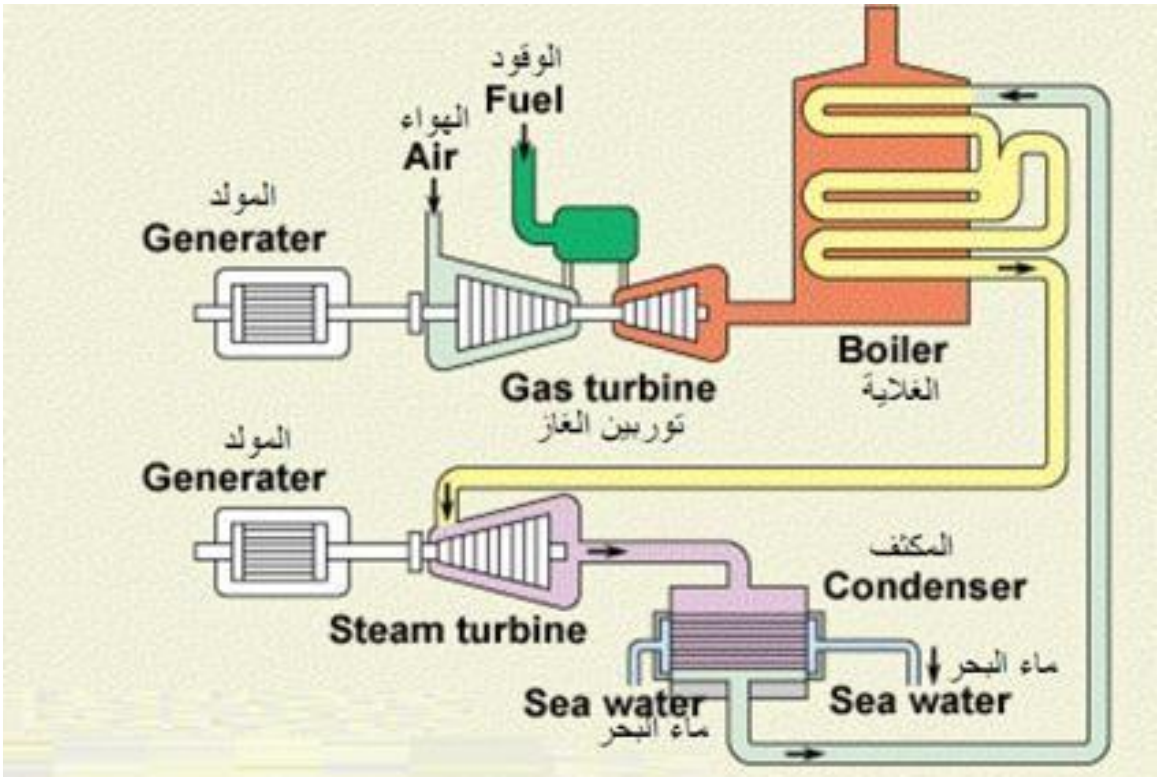



الشكل (21-3) الدارة النصف مغلقة

### 3-3-4 الدارة المشتركة:

يتم استخدام غازات الاحتراق الناتجة من العنفة الغازية التي تصل درجة حرارتها إلى نحو 500 °C لتسخين الماء وتحويله إلى بخار يستخدم لتشغيل عنفة بخارية. وقد نتج عن ذلك زيادة مردود محطة التوليد المشتركة، وخفض درجة حرارة غازات الاحتراق الناتجة عن العنفة الغازية، كما هو مبين في الشكل (3-22).

هناك عدة طرق للجمع بين العنفات الغازية والعنفات البخارية كالجمع بين العنفات الغازية والعنفات البخارية ذات الضغط المقابل، والجمع بين العنفات الغازية والعنفات البخارية ذات التكاثف.[2]




الشكل (3-22) مخطط الدارة المشتركة

# الفصل الرابع:

# وصف ودراسة محطة دير علي الحرارية

## 4-1 وصف محطة دير علي الحرارية:

تقع محطة توليد الكهرباء دير علي على بعد 35 km جنوب مدينة دمشق قرب بلدة دير علي على بعد 8 km إلى الجنوب من بلدة الكسوة ( ريف دمشق) وتمتد مساحتها بشكل مستطيل من أوتوستراد درعا الحديث إلى قرية (خربة الشياب) شرقا والمحاذية لطريق عام دمشق–السويداء، يبلغ ارتفاع موقع المحطة تقريباً 625 m فوق مستوى سطح البحر.

وقد بلغت تكلفة المحطة حوالي 400 مليون يورو، وتتغذى بالغاز الطبيعي الذي تحصل عليه من أنبوب الغاز العربي القادم من مصر عبر الأردن ويستمر حتى بانياس. يربط محطة دير علي الحرارية خط توتر عالي 400kV بمحطة تحويل الديماس، كما هو مبين في الشكل (1-4):



الشكل (1-4) شبكة التمديدات الكهربائية لمحطة ديرعلي

## 2-4 أقسام محطة دير علي الحرارية:

وتتألف المحطة من ثلاث أقسام:

- القسم الأول: يشمل العنفة الغازية الأولى باستطاعة 278 MW، وتجهيزات استقبال الغاز وتوزيعه ضمن حدود المحطة، وتجهيزات توسيع التحويل الخاصة واللازمة لاستثمار العنفة الغازية، والمحولة الرئيسية للعنفة والطرقات، ونظام للوقود السائل، ونظام الوقود الغازي للعنفة، ونظام إطفاء الحريق.
- القسم الثاني: ويشتمل العنفة الغازية الثانية باستطاعة 278 MW، والمحولة الرئيسية للعنفة، ونظام الوقود الغازي للعنفة وكل ما يلزم لتشغيل القسم الثاني بشكل أمن.
- القسم الثالث: ويشتمل العنفة البخارية باستطاعة 236 MW ، والمسترجعات البخارية (المراجل)، ونظام التبريد والتكاثف، والمحولة الرئيسية للعنفة البخارية، ويشتمل كافة التجهيزات الخاصة بربط العنفة البخارية وتشغيلها مع القسمين الأول والثاني لتشكيل دارة مركبة تعمل على الوقود الغازي والوقود السائل باستطاعة تصميمية اجمالية 792 MW حسب شروط الموقع، وذلك عند تشغيل نظام تبريد هواء دخول العنفة (نظام الشلر).

– تمت المباشرة بإنشاء محطة دير علي/ 1/ في أواخر عام 2006 من قبل شركة سيمنس الألمانية، بطاقة إجمالية تصل الى 750 MW وقد وضعت المحطة بالخدمة في عام 2010، وهذا المشروع يعتبر من المشاريع الاستراتيجية الهامة على مستوى الدولة بأكملها.

– بالإضافة لذلك في عام 2014 تم العمل على استكمال تنفيذ توسع محطة توليد دير علي/ 2 / للوصول الى طاقة توليد اجمالية تبلغ 1500 MW مع الإشارة الى أن هذا المشروع يسمى " مشروع الربط الكهربائي العربي" الذي يربط عدة دول عربية على نفس الشبكة ، أي أن المشروع يرقى أيضا إلى مستوى الأمن القومي العربي، ففي بداية عام 2015 تم استكمال تنفيذ الجزء الأخير من المشروع والمتعلق بمجموعة بخارية استطاعتها 250 MW، وقد وضعت بالخدمة خلال النصف الأول من عام 2016، إضافة إلى

انطلاق أعمال التجهيز للمباشرة بتنفيذ مشروع توسع محطة توليد دير علي / 3 / بدارة مركبة استطاعتها الإجمالية 750 MW، وبلغت نسبة الإنجاز 95% وهي الآن قيد الاختبار .

– بلغ عدد العاملين في الشركة ( 450) عاملاً من مختلف الاختصاصات الفنية والمالية والإدارية لتشغيل المحطة واستثمارها وقد تم تدريب الكادر الفني بشكل متميز من خلال دورات التدريب الخارجية والداخلية التي تتم ضمن الشركة بشكل مستمر وفي مركز تدريب تابعة لوزارة الكهرباء.

– يوجد في محطة ديرعلي 300 شقة سكنية للعاملين في الشركة، وتحتوي المدينة السكنية على كافة الخدمات الضرورية مثال (دار روضة وحضانة، سوق تجارية، مستوصف، مدرسة، نادي رياضي، مسابح، حدائق وملاعب وألعاب أطفال).

– تعتبر محطة ديرعلي مماثلة لمحطة جندر لكن عنفاتها ضعف استطاعة جندر وتتمتع بأداء أكبر وتقنيات تكنولوجية أكثر تطوراً.

– تكمن أهمية محطة ديرعلي الكهربائية على انها تعمل على توليد الكهرباء عن طريق الاستفادة من غازات العادم كوقود أساسي مما ينعكس على تكلفة انتاج منخفضة، كما انها تعمل على توليد استطاعة اضافية 50% من استطاعة العنفات الغازية الأخرى. والمحطة تتصف باقتصادية استهلاك المياه حيث يبلغ استهلاكها مع البنى السكنية والتحتية الملحقة $30\ m^3/h$ [11] .

## 4-3 الأجزاء الرئيسية للمخطط الحراري لمحطة دير علي:

يتألف المخطط الحراري لمحطة ديرعلي الحرارية من الأجزاء الرئيسية التالية:

فلاتر الهواء – مخمد صوت مدخل الهواء – العنفة الغازية – ضاغط العنفة الغازية – حراقات العنفة الغازية – قسم العنفة – مولدة العنفة الغازية – قسم التشغيل والتحكم بالعنفة الغازية – نواقل المولدة الكهربائية – المحولة الرئيسية – المحولة المساعدة – الرافعة – مرجل توليد البخار – حلة بخار الضغط العالي – حلة بخار الضغط المتوسط – حلة بخار الضغط المنخفض – المدخنة – العنفة البخارية – قسم الضغط العالي والمتوسط – العنفة البخارية – قسم الضغط المنخفض – المولدة الكهربائية للعنفة البخارية

– المكثف – قسم القيادة والتحكم –مضخات مياه التغذية – خزانات المياه – مجموعة التوليد الطارئة – محطة التحويل – مرجل الإقلاع – مدخنة مرجل الإقلاع – محطة معالجة المياه – خزانات المازوت – محطة معالجة الغاز– محطة تقديم المازوت.

## 4-4 وصف الموقع العام لمحطة دير علي الحرارية:

صالة التحكم بمحطة التحويل – صالة التحكم والتشغيل المحلية – محولات الرفع – المحولة المساعدة (الاحتياجات الذاتية) مجموعة التوليد الطوارئية – صالة التحكم الرئيسية – محطة تفريغ المازوت – خزانات المازوت – محطة تقديم المازوت – محطة معالجة الغاز– محطة قياس وتنقية الغاز – دارة غاز الاشعال – مبنى محطة معالجة المياه – مرجل توليد البخار – المرجل المساعد – صالة قياس وتحليل غازات العادم – مضخات مياه التغذية – مبنى العنفة البخارية – مبنى العنفات الغازية – برج التبريد – مبردات التجهيزات المساعدة – مبنى مضخات مياه اطفاء الحريق – مبنى الات التشغيل والمستودع – المستودع المركزي – المخبر – مبنى تخزين الغاز – مستودع المواد الكيميائية – المبنى الاداري – مبنى المطعم – مبنى الحراسة والاستعلامات – مرأب اصلاح السيارات – برج المراقبة.

إن العنفة الغازية المدروسة SGT5-4000F هي عنفة غازية مصمَمة بطريقة تعدد الحراقات وتعمل بنوعين من الوقود الغازي والسائل، فكان من الضروري دراسة جزء العنفة الغازية من المحطة المشتركة بكلا الحالتين:

1- عند عملها بالوقود الغازي.

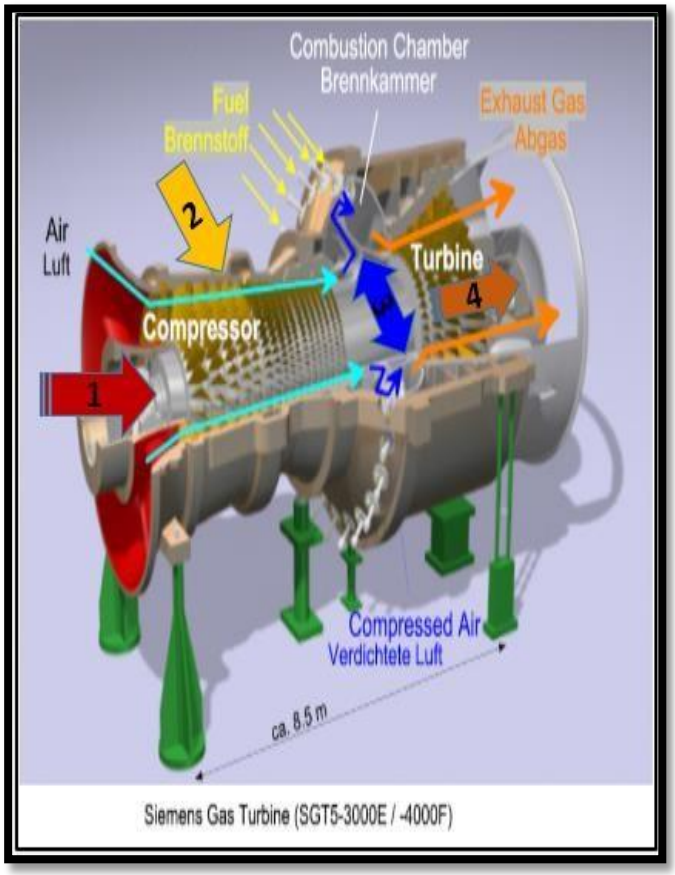
2- عند عملها بالوقود السائل.

وإن عدد حرّاقات الوقود الغازي والسائل(مازوت) للعنفة الغازية المدروسة: (24) حرّاق وكل حرّاق يتكون من خمس فالات، حيث يتم استخدام الفالتان الأولى والثانية أثناء التشغيل على الغاز وتستخدم الفالات الثلاث أثناء التشغيل على المازوت، في حين يقابل ذلك التوقف المتكرر للجزء للبخاري عن العمل.

ولهذه الأسباب، تم اختيار جزء العنفة الغازية من المحطة المشتركة للدراسة [11].

## 4-5 العنفة الغازية قيد الدراسة:

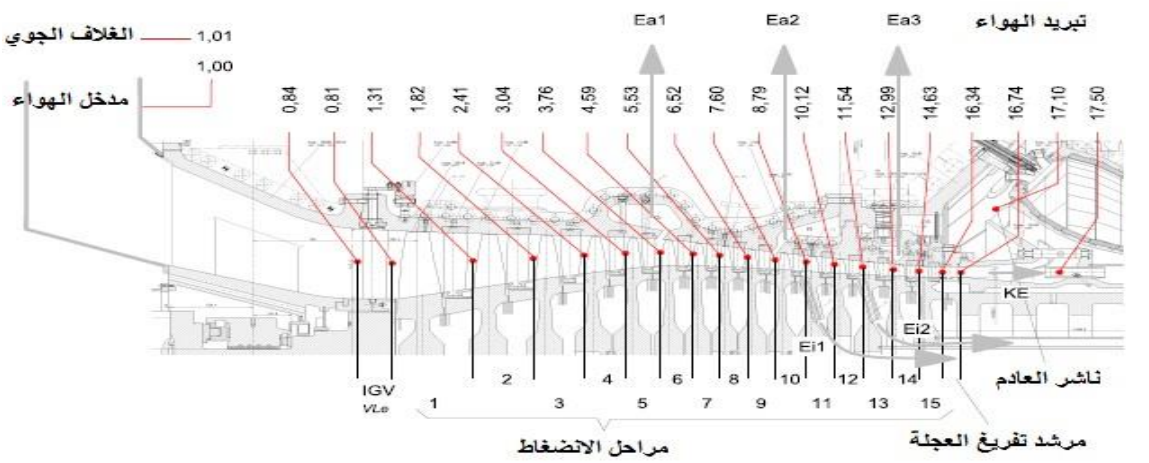
### 4-5-1 الأقسام الرئيسية للعنفة الغازية المدروسة




الشكل (4-2) عنفة غازية لشركة SIEMENS (SGT5 – 3000E/-4000F)

**الأقسام الثابتة:**

1. **مدخل الهواء وفلاتر تنقية الهواء:** التي يبلغ عددها حوالي 1200 فلتر، يتم بواسطتها تنقية الهواء على مرحلتين (فلاتر تنقية أولية وفلاتر تنقية ثانوية).
2. **ضاغط العنفة الغازية:** كما هو مبين في الشكل (4-3) والذي يتكون من القسم العلوي للضاغط والقسم السفلي له مع ريش المراحل الثابتة للضاغط ويعتبر ذو تصميم محوري يتألف من 17 مرحلة من الريش الثابتة والمتحركة، حيث يؤخذ الهواء من الجو المحيط بضغط قدره 1 bar ثم يُرفع ضغطه إلى 17 bar.




توزع ثابت للضغط ( bar ) على كامل تدفق الضاغط عند حمولة 100%

الشكل (3-4) توزع ثابت للضغط على كامل تدفق الضاغط عند حمولة 100%

3. **غرفة الاحتراق:** المبطنة بقطع السيراميك المقاوم لدرجات الحرارة العالية حيث يركّب على محيط ومدخل غرفة الاحتراق فالات وحرّاقات الوقود الغازي والسائل(مازوت) وعددها (24) حرّاق وكل حرّاق يتكون من خمس فالات، حيث يتم استخدام الفالتان الأولى والثانية أثناء التشغيل على الغاز وتستخدم الفالات الثلاث أثناء التشغيل على المازوت.

4. **العنفة الغازية:** وهي عبارة عن توربين محورها أفقي مربوط من ناحية مع محور مكبس الهواء مباشرة، ومن ناحية أخرى مع المولد ومن خلال صندوق تروس يتم خفض السرعة لأن سرعة دوران التوربين تكون عالية جدا. تتألف العنفة الغازية GT من أربعة مراحل من الريش الثابتة والمتحركة. ينخفض كل من الضغط ودرجة الحرارة من خلال تمدد غازات الاحتراق ضمن مراحل الريش الثابتة والمتحركة للعنفة [11].

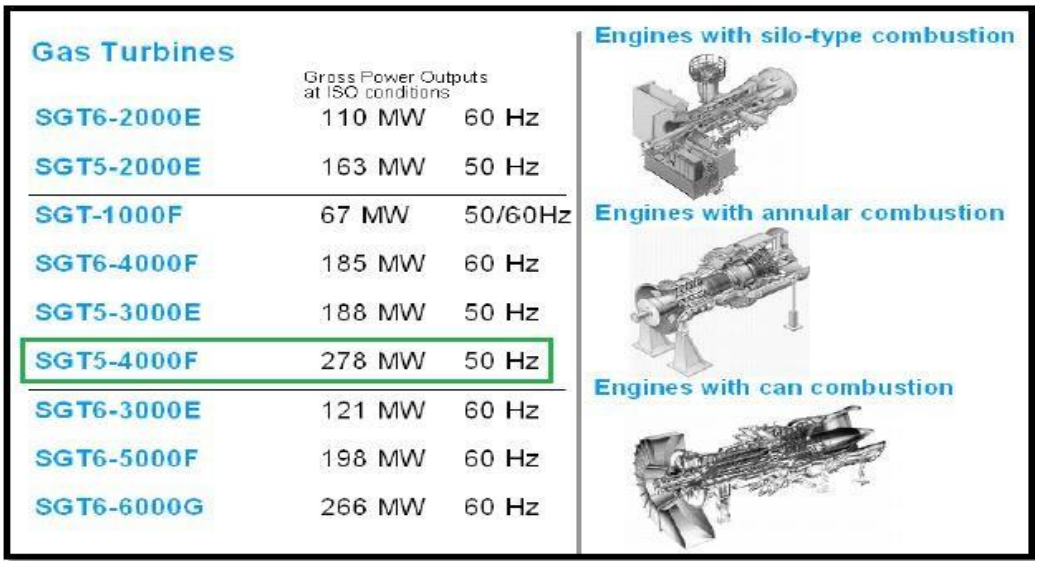
### 4-5-2 المواصفات الفنية للعنفة الغازية المدروسة على مستوى سطح البحر: [11]

يمثل الجدول (4-1) المواصفات الفنية للعنفة الغازية المدروسة

| الوصف | البيانات |
|---|---|
| الموديل | SGT5- 3000 E /4000 f |
| الاستطاعة التصميمية | 278 MW |
| درجة حرارة الهواء على مدخل الضاغط | 15 Cº |
| درجة حرارة الهواء على مخرج الضاغط | 406 Cº |
| ضغط الهواء على مدخل الضاغط | 1 bar |
| ضغط الهواء على مخرج الضاغط | 17 bar |
| درجة الحرارة داخل غرفة الاحتراق | 1200 Cº |
| درجة حرارة غازات الاحتراق | 600 Cº |
| عدد مراحل الريش الثابتة والمتحركة للعنفة | 4 |
| عدد مراحل الريش الثابتة والمتحركة للضاغط | 17 |
| مردود العنفة عند تشغيل دارة بسيطة | %38 |
| تدفق الهواء على مدخل الضاغط | 650 kg/s |
| تدفق غازات الاحتراق بعد العنفة | 665 kg/s |
| محور العنفة | ذو تصميم مفرّغ داخلياً وليس مصمتاً |
| القدرة الظاهرية | 297 MVA |
| جهد المولد وأعلى تيار للمولد | 20 kV _ 12 kA |
| نوع التحريض | تحريض ثابت |

**العنفة الغازية نوع SGT5-3000E/-4000F**

مصممة بطريقة تعدد الحراقات وبقدرة إجمالية تصل في أحسن الظروف إلى 278 MW وتعمل بنوعين من الوقود الغازي والسائل وتعتبر من أكبر التوربينات المصممة من قبل شركة سيمنس بعد التوربينة من نوع SGT5-4000F، كما هو مبين في الشكل (4-4).




الشكل (4-4) كتالوك الشركة الصانعة للعنفة الغازية المدروسة

- **نظام خروج غازات الاحتراق**، ويتكون من:

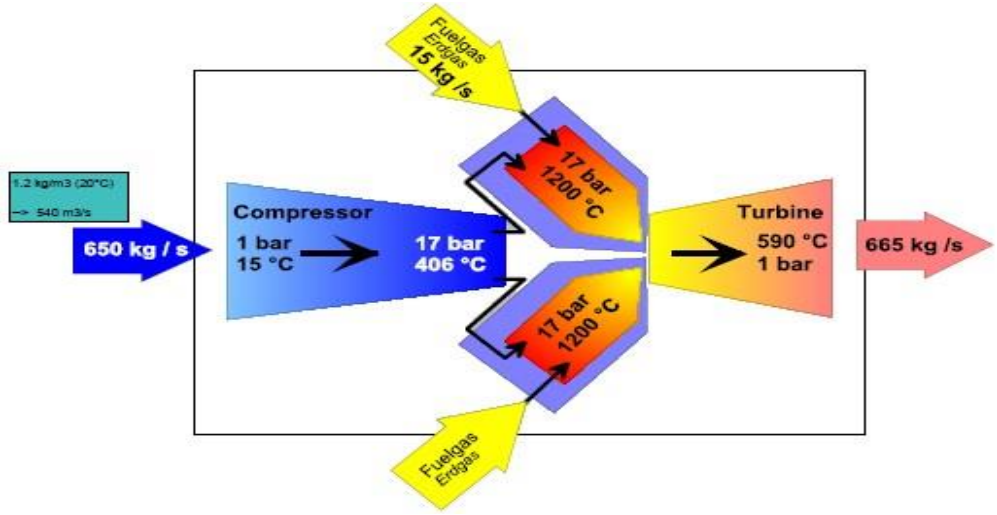
- ناشر الغازات.
- صندوق التحويل الذي يفصل العنفة الغازية عن المرجل.
- مدخنة العنفة الغازية وكواتم الصوت حيث يبلغ ارتفاع المدخنة 30m.
- مضاجع العنفة الغازية وعددها اثنان واحد للعنفة الغازية والثاني للضاغط.

**الأقسام المتحركة:**

- محور العنفة والضاغط وهو من النوع المفرّغ من الداخل حيث يتم تبريده بواسطة الهواء الخارج من الضاغط.
- الريش المتحركة للضاغط وتتكون من (17) مرحلة.
- الريش المتحركة للعنفة وتتكون من أربع مراحل وكلا الريش المتحركة للعنفة والضاغط مركّبة على محور المجموعة.

### 4-5-3 مستويات الضغط ودرجات الحرارة:

في منشآت العنفة الغازية تستخدم أنواع الضواغط المحورية والنابذة، ويقوم الضاغط بامتصاص الهواء الخارجي الذي يمر عبر المرشح التنظيفي، ليصل بعد ذلك الى مجرى الضاغط، حيث ينضغط حتى القيمة الحسابية للضغط. وتتعلق النسبة الضغطية المثالية للدورة الحرارية بعدة عوامل منها (درجة حرارة الغازات الابتدائية قبل العنفة، ومردودي الضاغط والعنفة الغازية)، كما هو موضح في الشكل (5-4):



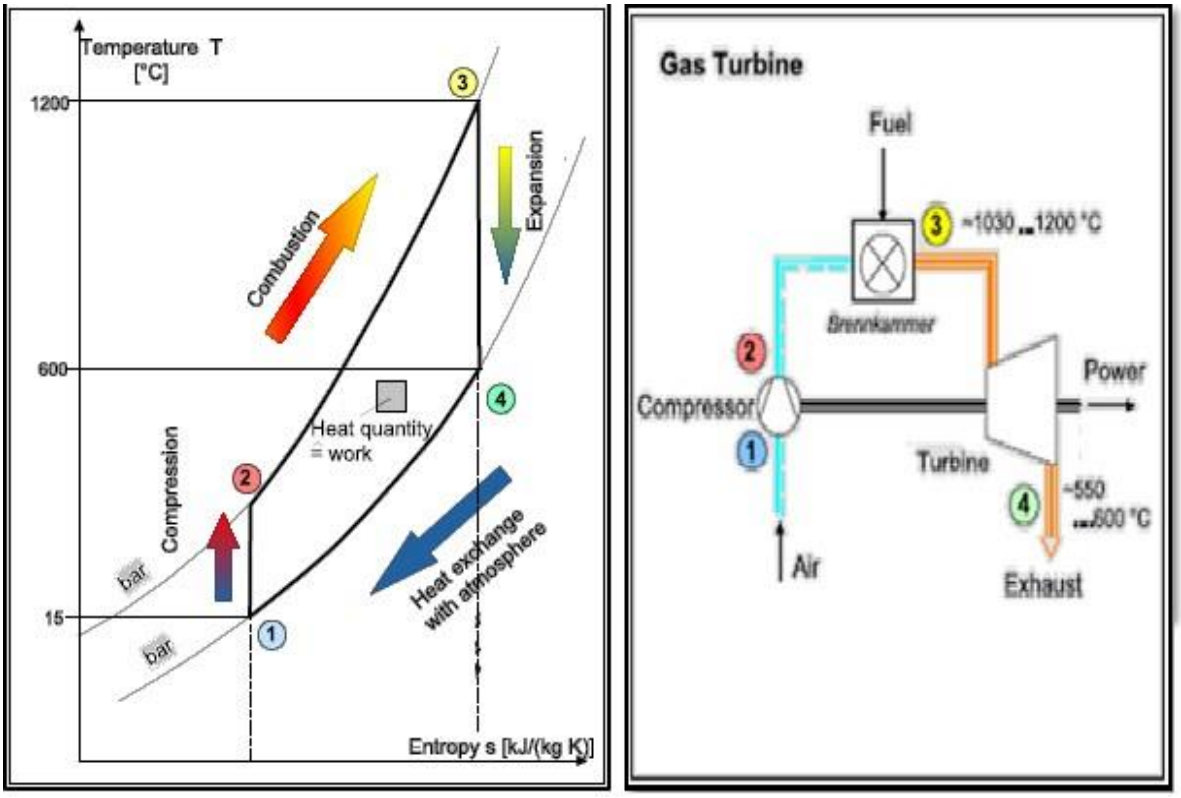

الشكل (5-4) مسار تدفق الغاز في العنفة الغازية المدروسة

في غرفة الاحتراق تجري عمليات احتراق أنواع الوقود السائلة أو الغازية أو الصلبة على شكل المساحيق، والمعلوم أن عملية الاحتراق تتم عند درجات حرارة عالية (أكثر من $1500\ C^{o}$) لذا تصمم غرف الاحتراق على الشكل الذي يسمح بتبريدها على حساب الهواء الثانوي الذي ينضم الى نواتج الاحتراق الغازية عبر ثقوب موجودة على جوانب الجسم الداخلي لغرفة الاحتراق، ويختلط القسم الأخير المتبقي من الهواء الثانوي مع غازات الاحتراق بعد غرفة الاحتراق ، ويتم بذلك تخفيض درجة الحرارة الى الحد المقبول بالنسبة للعنفة الغازية، ويتعلق تصميم غرفة الاحتراق بنوع الوقود المستخدم غازياً كان أم سائلاً أم صلباً.

وعند احراق النوع الأخير تتوضع خلف غرفة الاحتراق أجهزة خاصة تنظيفية تقوم بتخليص الغازات من الرماد والخبث.

**تعمل منشآت العنفة الغازية ذات الضغط الثابت في غرفة الاحتراق حسب أحد أشكال دورة برايتون الحرارية وتتألف الدورة المثالية من إجرائيين بثوب الضغط وإجرائيين اديباتيين،** كما هو موضح في الشكل (6-4).

- **الإجراء (2-1)** إجراء انضغاط الهواء اديباتياً، حيث ترتفع درجة الحرارة من الدرجة (15C الى 406C) ويزداد ضغط الهواء من الضغط (1-17 Bar) ونحصل على أعلى ضغط في الدورة.
- **الإجراء (3-2)** إجراء إضافة حرارة بثبوت الضغط، حيث ترتفع درجة الحرارة من(406 C الى 1200 C) ونحصل على أعلى درجة حرارة في الدورة.
- **الإجراء (4-3)** إجراء التمدد الاديباتي حيث تتحول فيه الطاقة الحرارية الى عمل وتنخفض فيه درجة الحرارة من الدرجة (1200 C الى 590 C) وكذلك الضغط من (17bar الى 1 bar).
- **الإجراء (1-4)** إجراء طرح غازات الاحتراق الى الوسط المحيط مع انخفاض درجة الحرارة من (590 C الى 15 C) وثبوت الضغط عند 1 bar.



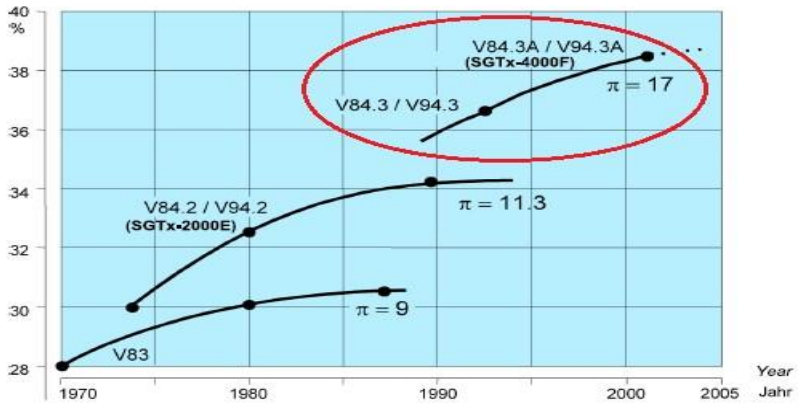

الشكل (6-4) دورة برايتون الحرارية

### 4-5-4 منحنيات الأداء وظروف التشغيل:

كما أن درجة حرارة غرفة الاحتراق تبلغ حوالي 1600 C والتي في حال دخلت غازات الاحتراق الى العنفة بنفس هذه الدرجة يمكن أن تتلف الأجزاء المختلفة من العنفة ، ولهذا السبب تم خفض درجة حرارة غازات الاحتراق إلى 1200 C عن طريق ضغط كمية إضافية من الهواء بواسطة الضاغط لتبريد الهواء حتى الدرجة المطلوبة قبل العنفة، بحيث يمكن تلافي مشكلة تلف الأجهزة عند درجات الحرارة المرتفعة، حيث أن جزءاً من إنتاج العنفة يعمل على توفير طاقة الضاغط، ومع ذلك فإن استخدام الطاقة لضغط الهواء الزائد يقلل من كفاءة العنفة ولكن في الواقع لا يمكن تجنبه بسبب قيود التصنيع. بهذه الطريقة يتم التحكم في درجة حرارة منتجات الاحتراق عن طريق إضافة الهواء الزائد إلى غرفة الاحتراق.

بالإضافة إلى أن مصممي ومصنعي العنفات الغازية يسعون الى زيادة قوة الشد الحراري والخاص بأجزاء مختلفة من العنفة الغازية، مما يسمح لغازات الاحتراق بدخول العنفة عند درجة حرارة أعلى، وبهذه الطريقة يزيد من درجة حرارة الغازات التي تدخل العنفة وسيؤدي ذلك الى تقليل كمية الهواء الإضافي المطلوب وبالتالي الى زيادة كفاءة العنفة الغازية، كما هو موضح في الشكل (4-7).

قامت شركة سيمنس الألمانية على مدى 35 years بتطوير كفاءة العنفات الغازية مع تغيير نسب الانضغاط وكان أفضل خيار هو للعنفة ذات الموديل SGT5-4000F بنسبة انضغاط 17 والكفاءة الاجمالية بما فيها خسائر المولد حوالي 38% وهذه هي العنفة المستخدمة في محطة ديرعلي والتي أجريت الدراسة عليها [11].




يمثل الشكل (4-7) تطور كفاءة العنفات الغازية

## 6-4 دراسة منحنيات الأداء للعنفة الغازية المدروسة: [11]

يعتمد عمل المحطة بشكل أساسي على برنامج **Delphi** الذي تم مسبقاً ربطه برمجياً مع جميع أجزاء المحطة بمساعدة **خبراء ألمان** ومن ثم كتابة عدة برامج مرتبطة بأحداث معينة خاصة بكل جزء من أجزاء المحطة، والعمل على مراقبة عمل المحطة عن بعد وذلك عن طريق شاشات الحاسب الموجودة في غرفة المراقبة التي تكشف الحالة الفنية لكل عنصر وتكشف عن حدوث أي عطل فجائي.

بمعنى أنه عند حدوث أي عطل في المحطة مثلاً (ارتفاع حرارة مخرج عنفة الضغط المنخفض أو ظهور انذار HUM+ACC على جميع القنوات وانخفاض الحمولة قسرياً حتى 140MW وفصل دارة HCO...الخ.

تُظهر شاشات الحاسب هذا العطل ويتم بشكل مباشر معالجته من قبل المختصين القائمين على العمل بالمحطة.

يتضمن المخزون الداخلي لهذا البرنامج كافة البارامترات الخاصة بكل جزء من أجزاء المحطة من **(درجة حرارة وضغط واستطاعة وتدفق** .... الخ) بالإضافة الى تخزينه **للرسومات البيانية التي توضح الطريقة الفنية لعمل المحطة**.

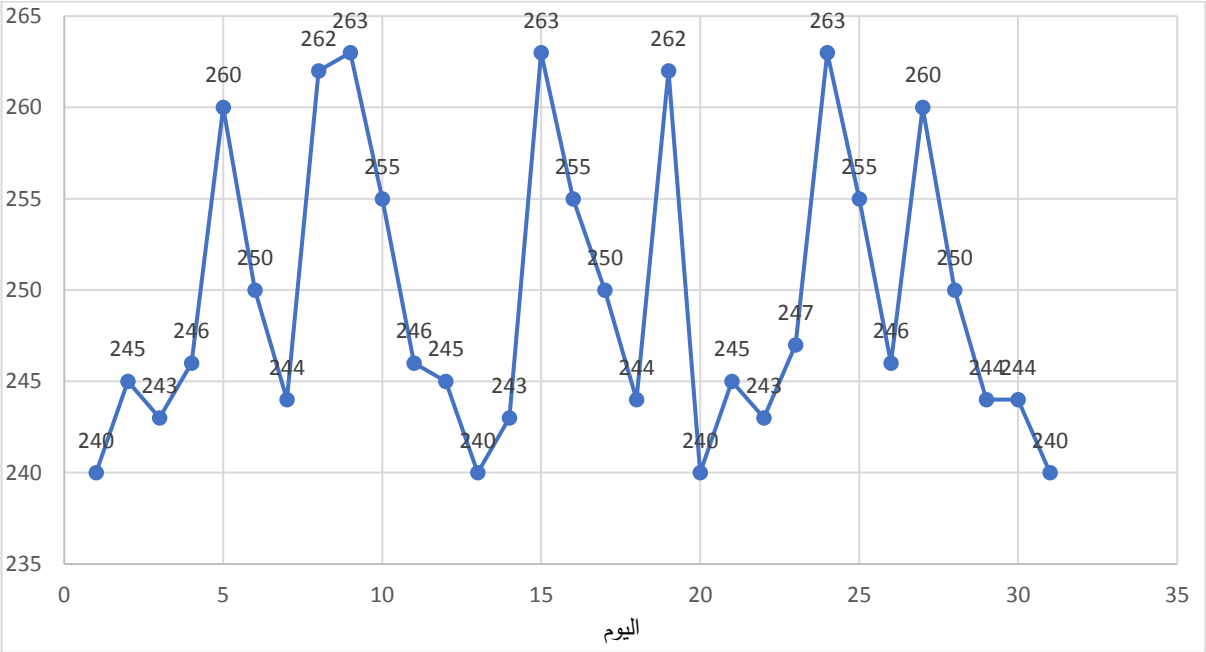
قد تم الاستعانة بهذا البرنامج للحصول على كافة متطلبات دراسة البحث (كمية تدفق الوقود الغازي الداخل إلى العنفة وتغيرات الاستطاعة والحمولة الفعلية .... الخ) ومن ثم اسقاطها على شكل جداول بيانية باستخدام برنامج Excel.

### 4-6-1 دراسة منحنيات الأداء للعنفة الغازية خلال أشهر سنة 2023 (صيفاً+شتاءاً): [11]

تتغير الحمولة الكهربائية خلال اليوم وخلال الأسبوع وخلال الشهر والسنة، ومنه تنبثق مفاهيم منحنيات الحمولة الكهربائية، التي تعكس على بناء تابع الاستطاعة خلال الزمن المعتبر، الذي هو اليوم أو الأسبوع أو الشهر أو السنة.

يمثل الجدول (2-4) أداء العنفة الغازية خلال شهر كانون الثاني / 2023

| اليوم | كمية استهلاك الوقود $m^3$ | الاستطاعة الكهربائية للعنفة الغازيةMW | اليوم | كمية استهلاك $m^3$الوقود | الاستطاعة الكهربائية للعنفة الغازيةMW |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1178118 | 240 | 17 | 1179148 | 250 |
| 2 | 1178140 | 245 | 18 | 1178137 | 244 |
| 3 | 1178135 | 243 | 19 | 1180160 | 262 |
| 4 | 1179142 | 246 | 20 | 1178118 | 240 |
| 5 | 1178158 | 260 | 21 | 1178140 | 245 |
| 6 | 1179148 | 250 | 22 | 1178140 | 243 |
| 7 | 1178137 | 244 | 23 | 1179150 | 247 |
| 8 | 1180160 | 262 | 24 | 1180161 | 263 |
| 9 | 1180161 | 263 | 25 | 1179170 | 255 |
| 10 | 1179170 | 255 | 26 | 1179142 | 246 |
| 11 | 1179142 | 246 | 27 | 1178158 | 260 |
| 12 | 1178140 | 245 | 28 | 1179148 | 250 |
| 13 | 1178118 | 240 | 29 | 1178137 | 244 |
| 14 | 1178135 | 243 | 30 | 1178137 | 244 |
| 15 | 1180161 | 263 | 31 | 1178118 | 240 |
| 16 | 1179170 | 255 | | | |



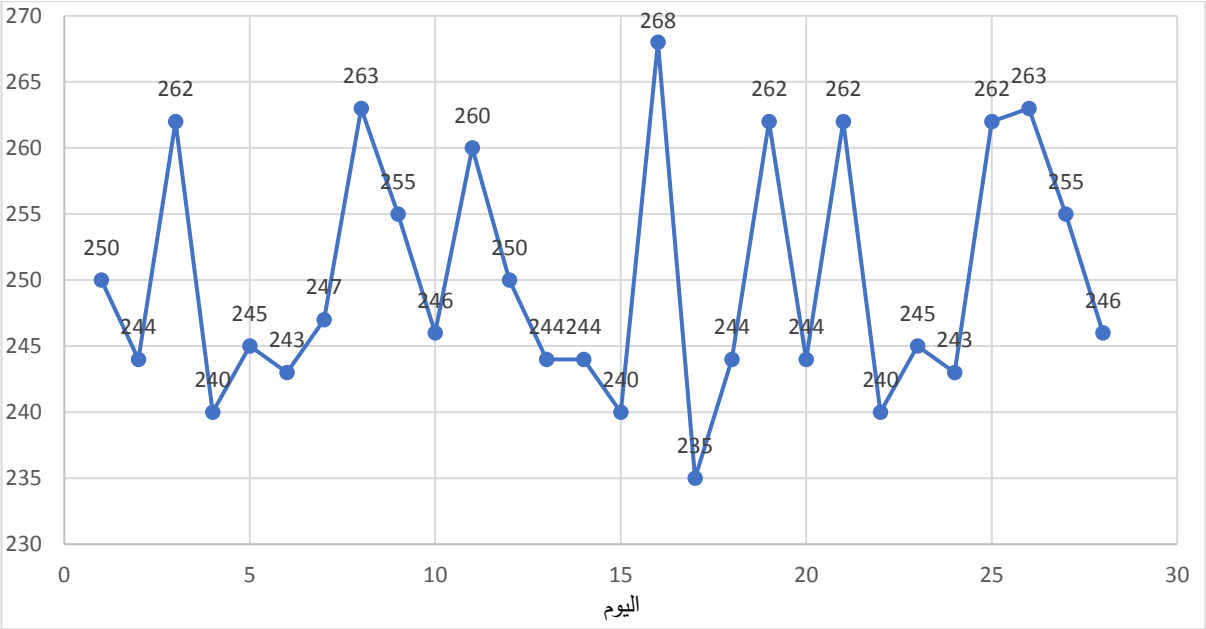

يمثل الشكل (8-4) منحني أداء العنفة الغازية خلال شهر كانون الثاني – 2023

## تائج شهر كانون الثاني / 2023

تم أخذ بارامترات العنفة الغازية من برنامج Delphi الموجود بمحطة دير علي وبعد أخذ النتائج تبين أن الاستطاعة الكهربائية على مدى شهر كانون الثاني بأكمله تتراوح مابين 240-263 MW مع استهلاك في الوقود يتراوح مابين 1.17-1.18 مليون متر مكعب من الغاز الطبيعي، وذلك عند تغير درجة الحرارة الخارجية 7. – 14 °C.

يمثل الجدول (3-4) أداء العنفة الغازية خلال شهر شباط / 2023

| اليوم | كمية استهلاك الوقود $m^3$ | الاستطاعة الكهربائية للعنفة الغازيةMW | اليوم | كمية استهلاك الوقود$m^3$ | الاستطاعة الكهربائية للعنفة الغازيةMW |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1179148 | 250 | 17 | 1178080 | 235 |
| 2 | 1178137 | 244 | 18 | 1178137 | 244 |
| 3 | 1180160 | 262 | 19 | 1180160 | 262 |
| 4 | 1178118 | 240 | 20 | 1178137 | 244 |
| 5 | 1178140 | 245 | 21 | 1180160 | 262 |
| 6 | 1178140 | 243 | 22 | 1178118 | 240 |
| 7 | 1179150 | 247 | 23 | 1178140 | 245 |
| 8 | 1180161 | 263 | 24 | 1178140 | 243 |
| 9 | 1179170 | 255 | 25 | 1180160 | 262 |
| 10 | 1179142 | 246 | 26 | 1180161 | 263 |
| 11 | 1178158 | 260 | 27 | 1179170 | 255 |
| 12 | 1179148 | 250 | 28 | 1179142 | 246 |
| 13 | 1178137 | 244 | | | |
| 14 | 1178137 | 244 | | | |
| 15 | 1178118 | 240 | | | |
| 16 | 1190870 | 268 | | | |



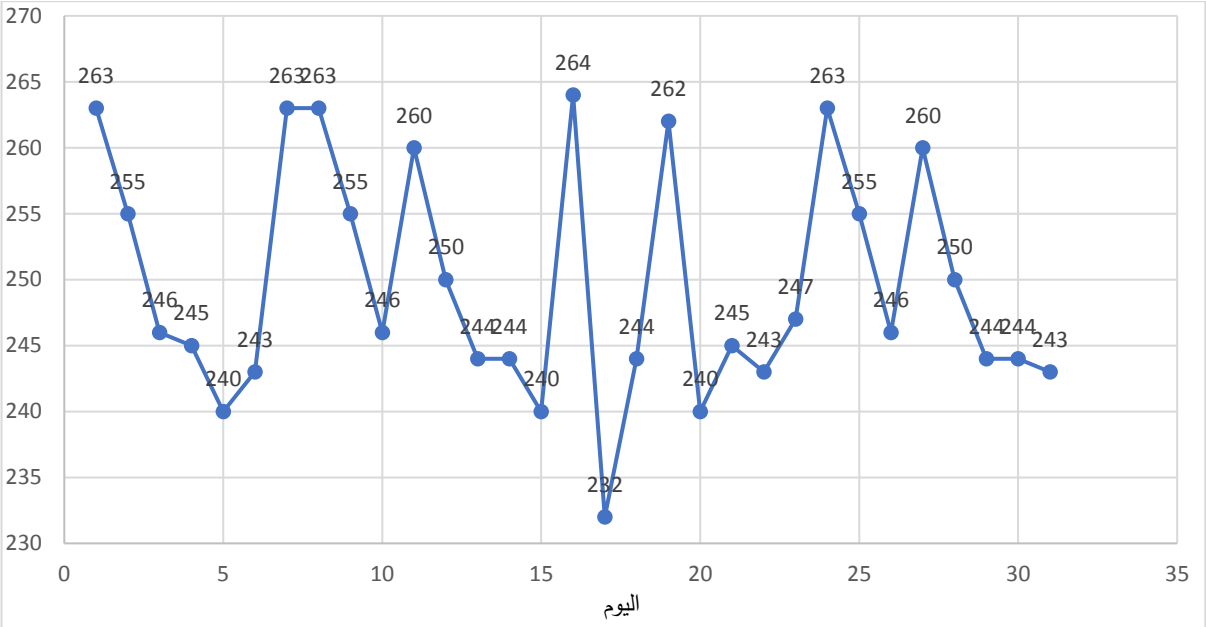

يمثل الشكل (9–4) منحني أداء العنفة الغازية خلال شهر شباط – 2023

## ننتائج شهر شباط / 2023

تم أخذ بارامترات العنفة الغازية من برنامج Delphi الموجود بمحطة دير علي وبعد أخذ النتائج تبين أن الاستطاعة الكهربائية على مدى شهر شباط بأكمله تتراوح مابين 235–268 MW مع استهلاك في الوقود يتراوح مابين 1.17–1.19 مليون متر مكعب من الغاز الطبيعي، وذلك عند تغير درجة الحرارة الخارجية – 8 .16 °C

يمثل الجدول (4-4) أداء العنفة الغازية خلال شهر آذار / 2023

| اليوم | كمية استهلاك الوقود $m^3$ | الاستطاعة الكهربائية للعنفة الغازية MW | اليوم | كمية استهلاك الوقود $m^3$ | الاستطاعة الكهربائية للعنفة الغازية MW |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1180161 | 263 | 17 | 1170189 | 232 |
| 2 | 1179170 | 255 | 18 | 1178137 | 244 |
| 3 | 1179142 | 246 | 19 | 1180160 | 262 |
| 4 | 1178140 | 245 | 20 | 1178118 | 240 |
| 5 | 1178118 | 240 | 21 | 1178140 | 245 |
| 6 | 1178135 | 243 | 22 | 1178140 | 243 |
| 7 | 1180161 | 263 | 23 | 1179150 | 247 |
| 8 | 1180161 | 263 | 24 | 1180161 | 263 |
| 9 | 1179170 | 255 | 25 | 1179170 | 255 |
| 10 | 1179142 | 246 | 26 | 1179142 | 246 |
| 11 | 1178158 | 260 | 27 | 1178158 | 260 |
| 12 | 1179148 | 250 | 28 | 1179148 | 250 |
| 13 | 1178137 | 244 | 29 | 1178137 | 244 |
| 14 | 1178137 | 244 | 30 | 1178137 | 244 |
| 15 | 1178118 | 240 | 31 | 1178135 | 243 |
| 16 | 1190520 | 264 | | | |



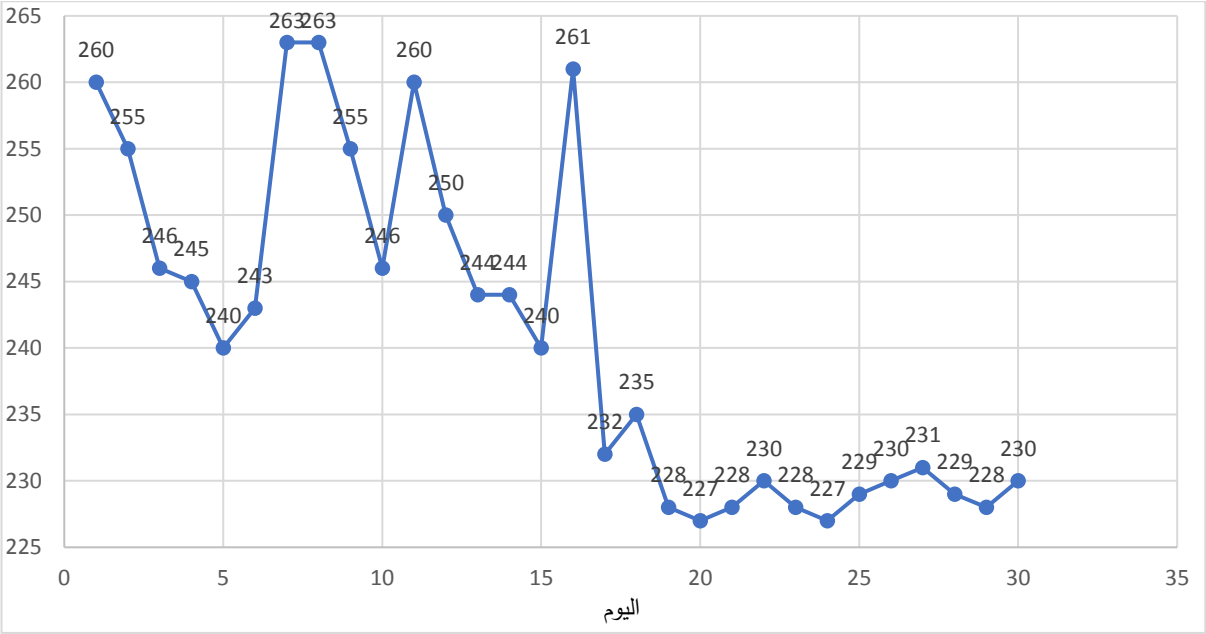

يمثل الشكل (10–4) منحني أداء العنفة الغازية خلال شهر آذار– 2023

## نتائج شهر آذار / 2023

تم أخذ بارامترات العنفة الغازية من برنامج Delphi الموجود بمحطة دير علي وبعد أخذ النتائج تبين أن الاستطاعة الكهربائية على مدى شهر آذار بأكمله تتراوح مابين 232–264 MW مع استهلاك في الوقود يتراوح مابين 17 1–1.19 مليون متر مكعب من الغاز الطبيعي، وذلك عند تغير درجة الحرارة الخارجية – 11 .21 °C

يمثل الجدول (5-4) أداء العنفة الغازية خلال شهر نيسان / 2023

| اليوم | كمية استهلاك الوقود $m^3$ | الاستطاعة الكهربائية للعنفة الغازيةMW | اليوم | كمية استهلاك الوقود$m^3$ | الاستطاعة الكهربائية للعنفة الغازيةMW |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1190089 | 260 | 17 | 1174189 | 232 |
| 2 | 1179170 | 255 | 18 | 1174137 | 235 |
| 3 | 1179142 | 246 | 19 | 1170890 | 228 |
| 4 | 1178140 | 245 | 20 | 1170790 | 227 |
| 5 | 1178118 | 240 | 21 | 1170892 | 228 |
| 6 | 1178135 | 243 | 22 | 1174080 | 230 |
| 7 | 1180161 | 263 | 23 | 1170894 | 228 |
| 8 | 1180161 | 263 | 24 | 1170870 | 227 |
| 9 | 1179170 | 255 | 25 | 1177080 | 229 |
| 10 | 1179142 | 246 | 26 | 1179080 | 230 |
| 11 | 1178158 | 260 | 27 | 1170160 | 231 |
| 12 | 1179148 | 250 | 28 | 1177088 | 229 |
| 13 | 1178137 | 244 | 29 | 1170097 | 228 |
| 14 | 1178137 | 244 | 30 | 1174080 | 230 |
| 15 | 1178118 | 240 | | | |
| 16 | 1190520 | 261 | | | |



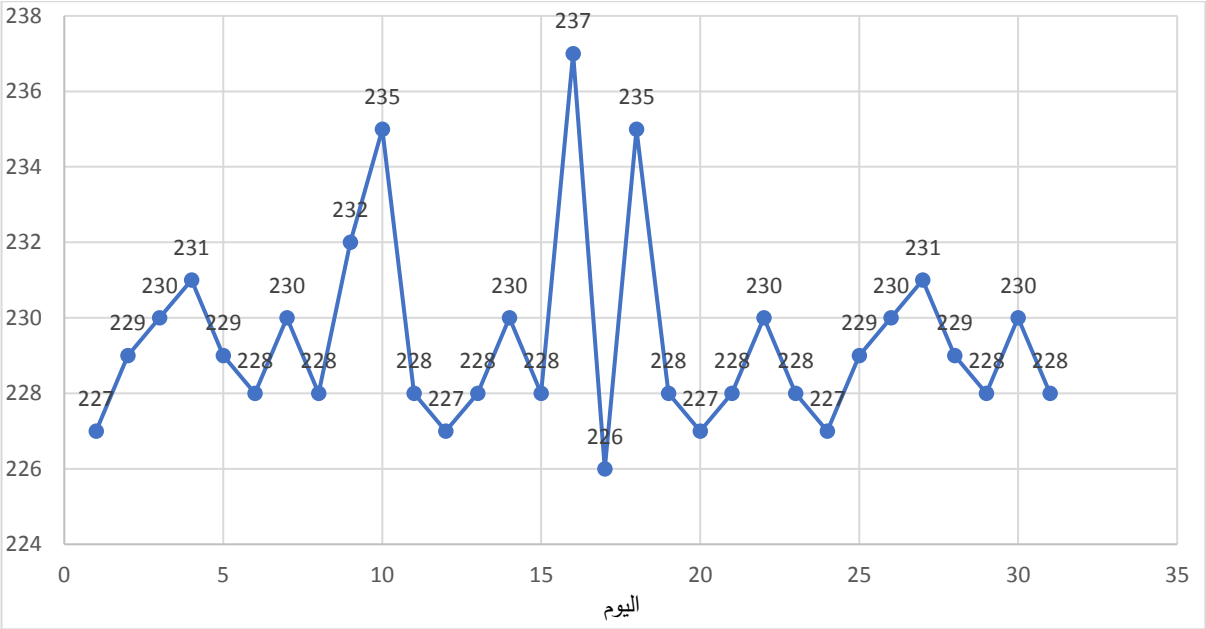

يمثل الشكل (11–4) منحني أداء العنفة الغازية خلال شهر نيسان – 2023

## نتائج شهر نيسان / 2023

تم أخذ بارامترات العنفة الغازية من برنامج Delphi الموجود بمحطة دير علي وبعد أخذ النتائج تبين أن الاستطاعة الكهربائية على مدى شهر نيسان بأكمله تتراوح مابين 227–261 MW مع استهلاك في الوقود يتراوح مابين 1.17–1.19 مليون متر مكعب من الغاز الطبيعي، وذلك عند تغير درجة الحرارة الخارجية – 15 .23 ℃

يمثل الجدول (6-4) أداء العنفة الغازية خلال شهر آيار / 2023

| اليوم | كمية استهلاك الوقود $m^3$ | الاستطاعة الكهربائية للعنفة الغازية MW | اليوم | كمية استهلاك الوقود $m^3$ | الاستطاعة الكهربائية للعنفة الغازية MW |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1170870 | 227 | 17 | 1170760 | 226 |
| 2 | 1177080 | 229 | 18 | 1174137 | 235 |
| 3 | 1179080 | 230 | 19 | 1170890 | 228 |
| 4 | 1170160 | 231 | 20 | 1170790 | 227 |
| 5 | 1177088 | 229 | 21 | 1170892 | 228 |
| 6 | 1170097 | 228 | 22 | 1174080 | 230 |
| 7 | 1174080 | 230 | 23 | 1170894 | 228 |
| 8 | 1170170 | 228 | 24 | 1170870 | 227 |
| 9 | 1174189 | 232 | 25 | 1177080 | 229 |
| 10 | 1174137 | 235 | 26 | 1179080 | 230 |
| 11 | 1170890 | 228 | 27 | 1170160 | 231 |
| 12 | 1170790 | 227 | 28 | 1177088 | 229 |
| 13 | 1170892 | 228 | 29 | 1170097 | 228 |
| 14 | 1174080 | 230 | 30 | 1174080 | 230 |
| 15 | 1170894 | 228 | 31 | 1170170 | 228 |
| 16 | 1189170 | 237 | | | |



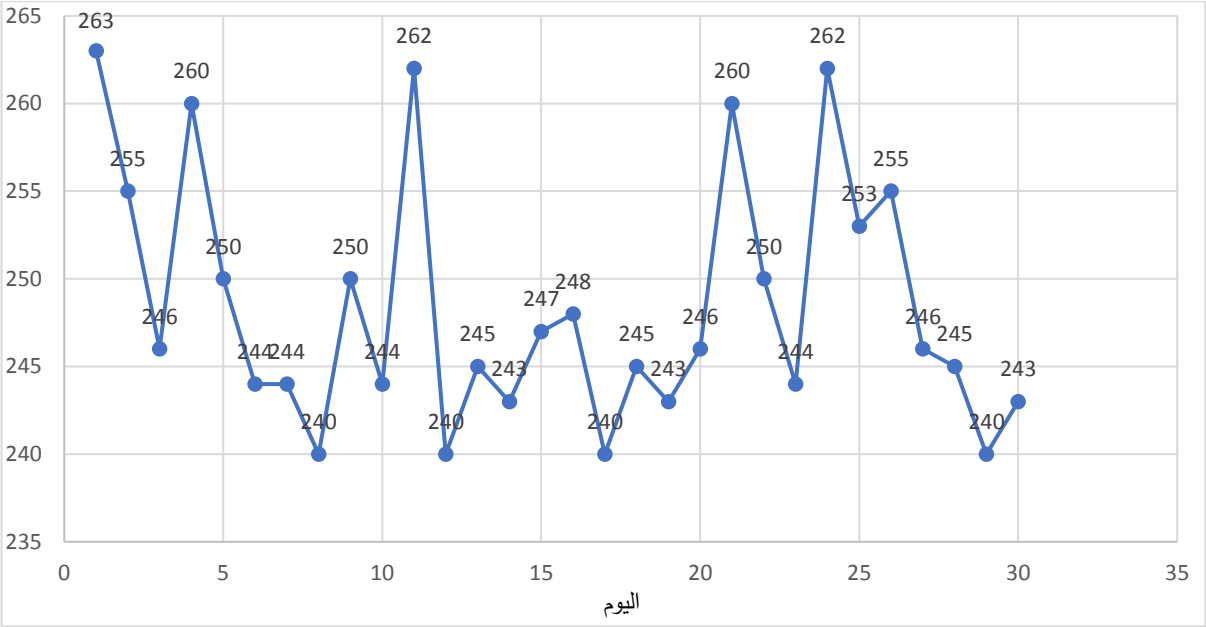

يمثل الشكل (12–4) منحني أداء العنفة الغازية خلال شهر أيار – 2023

## نتائج شهر أيار / 2023

تم أخذ بارامترات العنفة الغازية من برنامج Delphi الموجود بمحطة دير علي وبعد أخذ النتائج تبين أن الاستطاعة الكهربائية على مدى شهر آيار بأكمله تتراوح مابين 226–255 MW مع استهلاك في الوقود يتراوح مابين 1.17–1.18 مليون متر مكعب من الغاز الطبيعي، وذلك عند تغير درجة الحرارة الخارجية – 18 .27 °C

يمثل الجدول (7-4) أداء العنفة الغازية خلال شهر حزيران / 2023

| اليوم | كمية استهلاك الوقود $m^3$ | الاستطاعة الكهربائية للعنفة الغازية MW | اليوم | كمية استهلاك الوقود $m^3$ | الاستطاعة الكهربائية للعنفة الغازية MW |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1190161 | 263 | 17 | 1178118 | 240 |
| 2 | 1179170 | 255 | 18 | 1178140 | 245 |
| 3 | 1179142 | 246 | 19 | 1178135 | 243 |
| 4 | 1178158 | 260 | 20 | 1179142 | 246 |
| 5 | 1179148 | 250 | 21 | 1178158 | 260 |
| 6 | 1178137 | 244 | 22 | 1179148 | 250 |
| 7 | 1178137 | 244 | 23 | 1178137 | 244 |
| 8 | 1178118 | 240 | 24 | 1190160 | 262 |
| 9 | 1179148 | 250 | 25 | 1190161 | 253 |
| 10 | 1178137 | 244 | 26 | 1179170 | 255 |
| 11 | 1190160 | 262 | 27 | 1179142 | 246 |
| 12 | 1178118 | 240 | 28 | 1178140 | 245 |
| 13 | 1178140 | 245 | 29 | 1178118 | 240 |
| 14 | 1178140 | 243 | 30 | 1178135 | 243 |
| 15 | 1179150 | 247 | | | |
| 16 | 1190161 | 248 | | | |



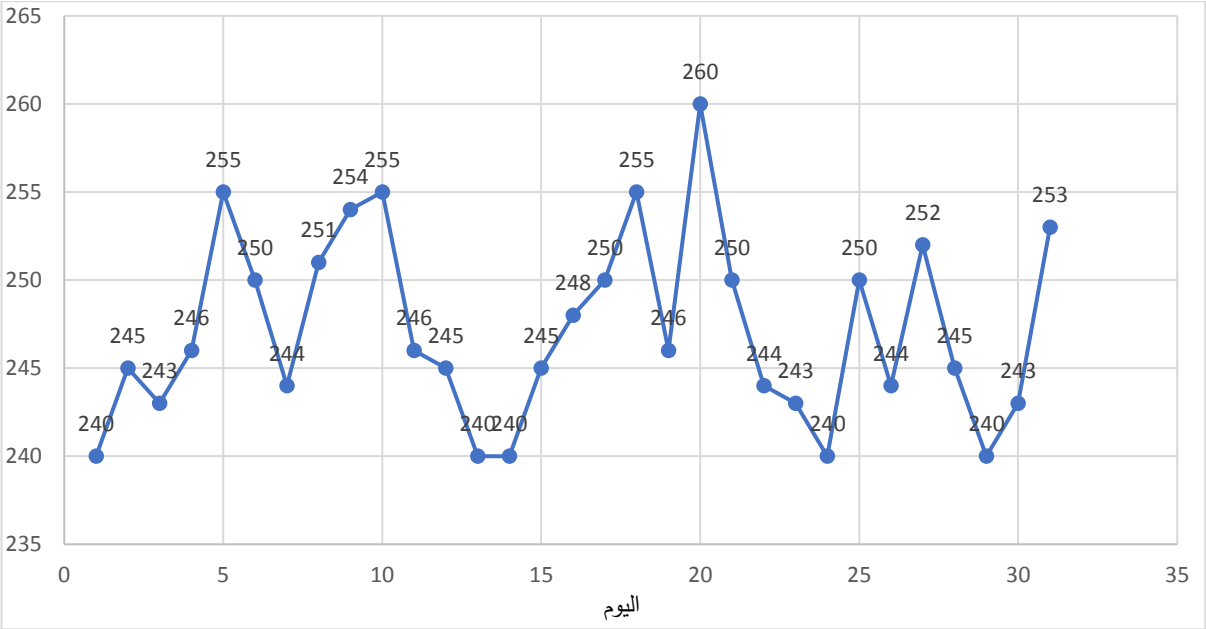

يمثل الشكل (13–4) منحني أداء العنفة الغازية خلال شهر حزيران – 2023

## نتائج شهر حزيران / 2023

تم أخذ بارامترات العنفة الغازية من برنامج Delphi الموجود بمحطة دير علي وبعد أخذ النتائج تبين أن الاستطاعة الكهربائية على مدى شهر حزيران بأكمله تتراوح مابين 240–268 MW مع استهلاك في الوقود يتراوح مابين 1.17–1.19 مليون متر مكعب من الغاز الطبيعي، وذلك عند تغير درجة الحرارة الخارجية – 19 .32 °C

يمثل الجدول (8-4) أداء العنفة الغازية خلال شهر تموز / 2023

| اليوم | كمية استهلاك الوقود $m^3$ | الاستطاعة الكهربائية للعنفة الغازية MW | اليوم | كمية استهلاك الوقود $m^3$ | الاستطاعة الكهربائية للعنفة الغازية MW |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1178118 | 240 | 17 | 1190161 | 250 |
| 2 | 1178140 | 245 | 18 | 1179170 | 255 |
| 3 | 1178135 | 243 | 19 | 1179142 | 246 |
| 4 | 1179142 | 246 | 20 | 1178158 | 260 |
| 5 | 1178158 | 255 | 21 | 1179148 | 250 |
| 6 | 1179148 | 250 | 22 | 1178137 | 244 |
| 7 | 1178137 | 244 | 23 | 1178178 | 243 |
| 8 | 1190160 | 251 | 24 | 1178118 | 240 |
| 9 | 1190161 | 254 | 25 | 1179148 | 250 |
| 10 | 1179170 | 255 | 26 | 1178137 | 244 |
| 11 | 1179142 | 246 | 27 | 1190160 | 252 |
| 12 | 1178140 | 245 | 28 | 1178140 | 245 |
| 13 | 1178118 | 240 | 29 | 1178118 | 240 |
| 14 | 1178118 | 240 | 30 | 1178135 | 243 |
| 15 | 1178140 | 245 | 31 | 1190161 | 253 |
| 16 | 1198135 | 248 | | | |



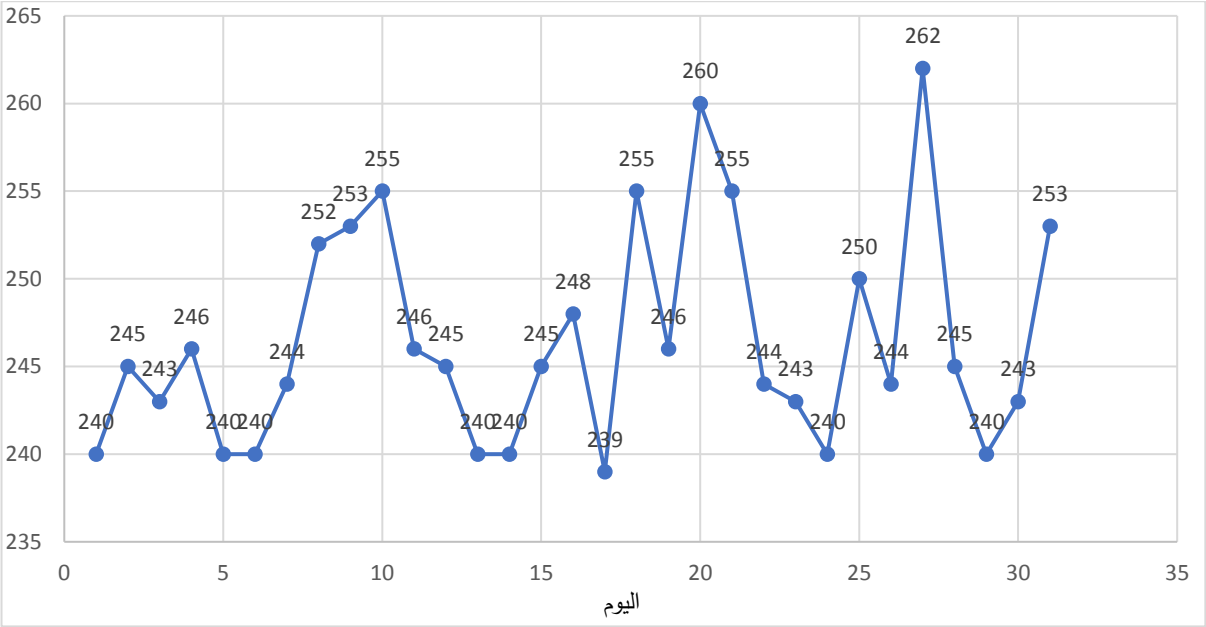

يمثل الشكل (14-4) منحني أداء العنفة الغازية خلال شهر تموز – 2023

## تائج شهر تموز / 2023

تم أخذ بارامترات العنفة الغازية من برنامج Delphi الموجود بمحطة دير علي وبعد أخذ النتائج تبين أن الاستطاعة الكهربائية على مدى شهر تموز بأكمله تتراوح مابين 240-270 MW مع استهلاك في الوقود يتراوح مابين 1.17-1.19 مليون متر مكعب من الغاز الطبيعي، وذلك عند تغير درجة الحرارة الخارجية – 21 .34 °C

يمثل الجدول (9-4) أداء العنفة الغازية خلال شهر آب / 2023

| اليوم | كمية استهلاك الوقود $m^3$ | الاستطاعة الكهربائية للعنفة الغازيةMW | اليوم | كمية استهلاك الوقود$m^3$ | الاستطاعة الكهربائية للعنفة الغازيةMW |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1178118 | 240 | 17 | 1178080 | 239 |
| 2 | 1178140 | 245 | 18 | 1179170 | 255 |
| 3 | 1178135 | 243 | 19 | 1179142 | 246 |
| 4 | 1179142 | 246 | 20 | 1178158 | 260 |
| 5 | 1178118 | 240 | 21 | 1179148 | 250 |
| 6 | 1178118 | 240 | 22 | 1178137 | 244 |
| 7 | 1178137 | 244 | 23 | 1178178 | 243 |
| 8 | 1190160 | 252 | 24 | 1178118 | 240 |
| 9 | 1190161 | 253 | 25 | 1179148 | 250 |
| 10 | 1179170 | 255 | 26 | 1178137 | 244 |
| 11 | 1179142 | 246 | 27 | 1190160 | 262 |
| 12 | 1178140 | 245 | 28 | 1178140 | 245 |
| 13 | 1178118 | 240 | 29 | 1178118 | 240 |
| 14 | 1178118 | 240 | 30 | 1178135 | 243 |
| 15 | 1178140 | 245 | 31 | 1190161 | 253 |
| 16 | 1198135 | 248 | | | |



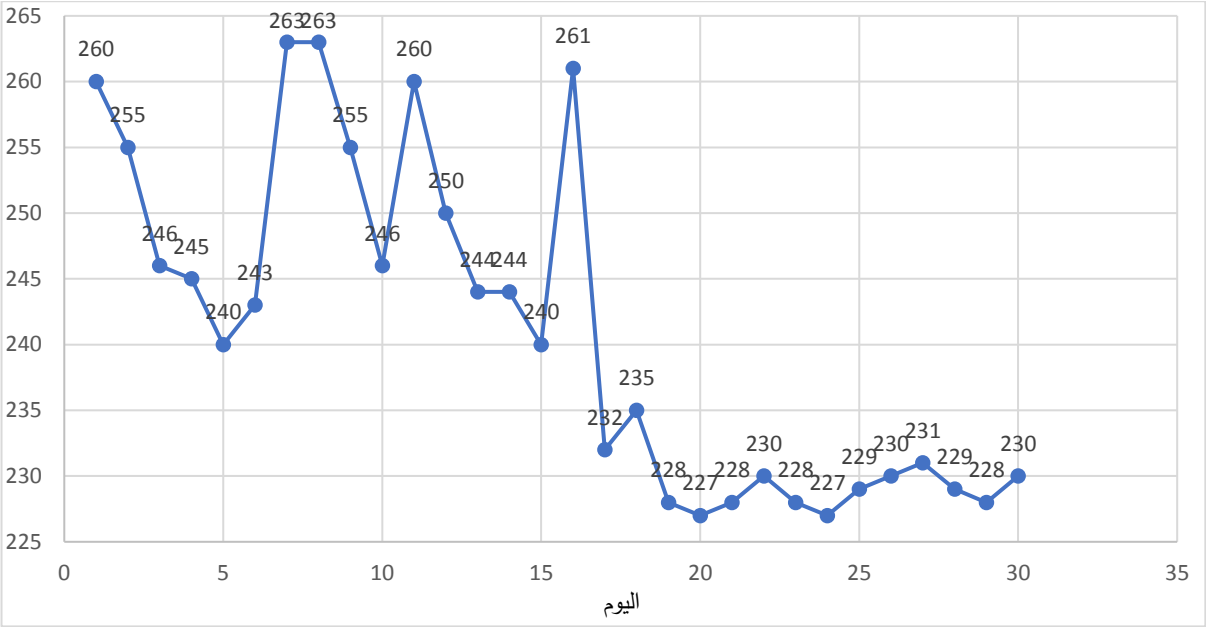

يمثل الشكل (15–4) منحني أداء العنفة الغازية خلال شهر آب – 2023

## ننتائج شهر آب / 2023

تم أخذ بارامترات العنفة الغازية من برنامج Delphi الموجود بمحطة دير علي وبعد أخذ النتائج تبين أن الاستطاعة الكهربائية على مدى شهر آب بأكمله تتراوح مابين 239–268 MW مع استهلاك في الوقود يتراوح مابين 1.17–1.19 مليون متر مكعب من الغاز الطبيعي، وذلك عند تغير درجة الحرارة الخارجية – 20 .32 °C

يمثل الجدول (10-4) أداء العنفة الغازية خلال شهر أيلول / 2023

| اليوم | كمية استهلاك الوقود $m^3$ | الاستطاعة الكهربائية للعنفة الغازيةMW | اليوم | كمية استهلاك الوقود$m^3$ | الاستطاعة الكهربائية للعنفة الغازيةMW |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1190089 | 260 | 17 | 1174189 | 232 |
| 2 | 1179170 | 255 | 18 | 1174137 | 235 |
| 3 | 1179142 | 246 | 19 | 1170890 | 228 |
| 4 | 1178140 | 245 | 20 | 1170790 | 227 |
| 5 | 1178118 | 240 | 21 | 1170892 | 228 |
| 6 | 1178135 | 243 | 22 | 1174080 | 230 |
| 7 | 1180161 | 263 | 23 | 1170894 | 228 |
| 8 | 1180161 | 263 | 24 | 1170870 | 227 |
| 9 | 1179170 | 255 | 25 | 1177080 | 229 |
| 10 | 1179142 | 246 | 26 | 1179080 | 230 |
| 11 | 1178158 | 260 | 27 | 1170160 | 231 |
| 12 | 1179148 | 250 | 28 | 1177088 | 229 |
| 13 | 1178137 | 244 | 29 | 1170097 | 228 |
| 14 | 1178137 | 244 | 30 | 1174080 | 230 |
| 15 | 1178118 | 240 | | | |
| 16 | 1190520 | 261 | | | |



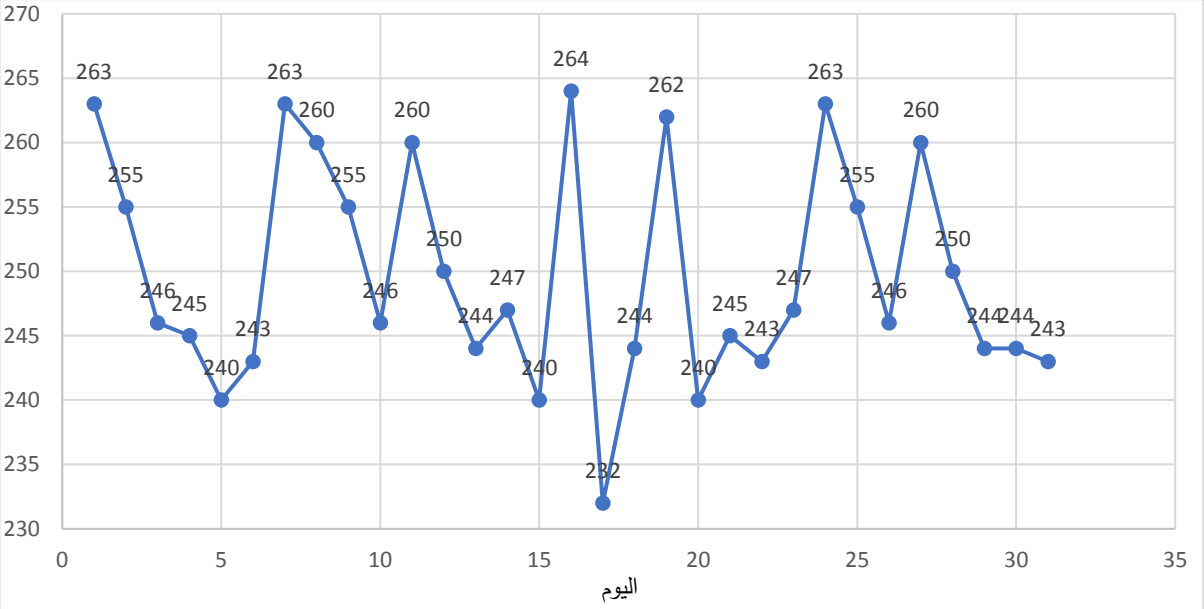

يمثل الشكل (16–4) منحني أداء العنفة الغازية خلال شهر أيلول – 2023

## نتائج شهر أيلول / 2023

تم أخذ بارامترات العنفة الغازية من برنامج Delphi الموجود بمحطة دير علي وبعد أخذ النتائج تبين أن الاستطاعة الكهربائية على مدى شهر أيلول بأكمله تتراوح مابين 227–261 MW مع استهلاك في الوقود يتراوح مابين 1.17–1.19 مليون متر مكعب من الغاز الطبيعي، وذلك عند تغير درجة الحرارة الخارجية – 17 .29 °C

يمثل الجدول (11–4) أداء العنفة الغازية خلال شهر تشرين الأول / 2023

| اليوم | كمية استهلاك الوقود $m^3$ | الاستطاعة الكهربائية للعنفة الغازيةMW | اليوم | كمية استهلاك الوقود$m^3$ | الاستطاعة الكهربائية للعنفة الغازيةMW |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1180161 | 263 | 17 | 1170189 | 232 |
| 2 | 1179170 | 255 | 18 | 1178137 | 244 |
| 3 | 1179142 | 246 | 19 | 1180160 | 262 |
| 4 | 1178140 | 245 | 20 | 1178118 | 240 |
| 5 | 1178118 | 240 | 21 | 1178140 | 245 |
| 6 | 1178135 | 243 | 22 | 1178140 | 243 |
| 7 | 1180161 | 263 | 23 | 1179150 | 247 |
| 8 | 1180161 | 260 | 24 | 1180161 | 263 |
| 9 | 1179170 | 255 | 25 | 1179170 | 255 |
| 10 | 1179142 | 246 | 26 | 1179142 | 246 |
| 11 | 1178158 | 260 | 27 | 1178158 | 260 |
| 12 | 1179148 | 250 | 28 | 1179148 | 250 |
| 13 | 1178137 | 244 | 29 | 1178137 | 244 |
| 14 | 1178137 | 247 | 30 | 1178137 | 244 |
| 15 | 1178118 | 240 | 31 | 1178135 | 243 |
| 16 | 1190520 | 264 | | | |



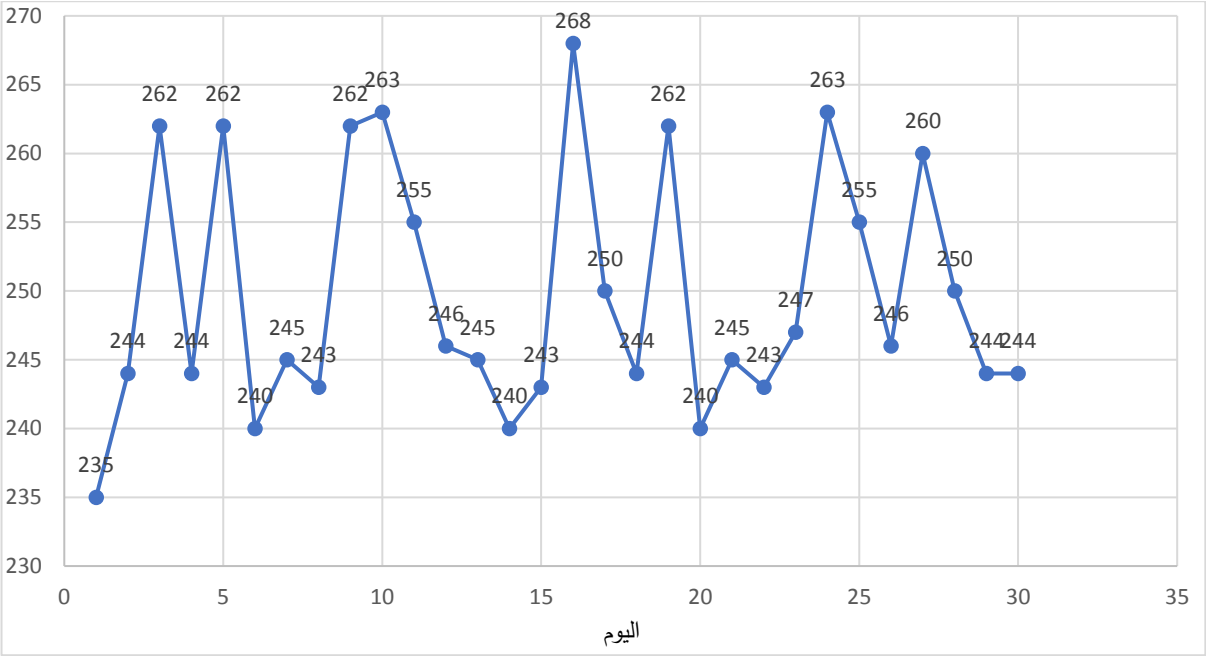

يمثل الشكل (4-17) منحني أداء العنفة الغازية خلال شهر تشرين الأول – 2023

## نتائج شهر تشرين الأول / 2023

تم أخذ بارامترات العنفة الغازية من برنامج Delphi الموجود بمحطة دير علي وبعد أخذ النتائج تبين أن الاستطاعة الكهربائية على مدى شهر تشرين الأول بأكمله تتراوح مابين 232-264 MW مع استهلاك في الوقود يتراوح مابين 17 1-1.19 مليون متر مكعب من الغاز الطبيعي، وذلك عند تغير درجة الحرارة الخارجية 14 – 24 °C.

يمثل الجدول (12-4) أداء العنفة الغازية خلال شهر تشرين الثاني / 2023

| اليوم | كمية استهلاك الوقود $m^3$ | الاستطاعة الكهربائية للعنفة الغازية MW | اليوم | كمية استهلاك الوقود$m^3$ | الاستطاعة الكهربائية للعنفة الغازية MW |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1178080 | 235 | 17 | 1179148 | 250 |
| 2 | 1178137 | 244 | 18 | 1178137 | 244 |
| 3 | 1180160 | 262 | 19 | 1180160 | 262 |
| 4 | 1178137 | 244 | 20 | 1178118 | 240 |
| 5 | 1180160 | 262 | 21 | 1178140 | 245 |
| 6 | 1178118 | 240 | 22 | 1178140 | 243 |
| 7 | 1178140 | 245 | 23 | 1179150 | 247 |
| 8 | 1178140 | 243 | 24 | 1180161 | 263 |
| 9 | 1180160 | 262 | 25 | 1179170 | 255 |
| 10 | 1180161 | 263 | 26 | 1179142 | 246 |
| 11 | 1179170 | 255 | 27 | 1178158 | 260 |
| 12 | 1179142 | 246 | 28 | 1179148 | 250 |
| 13 | 1178140 | 245 | 29 | 1178137 | 244 |
| 14 | 1178118 | 240 | 30 | 1178137 | 244 |
| 15 | 1178135 | 243 | | | |
| 16 | 1190870 | 268 | | | |



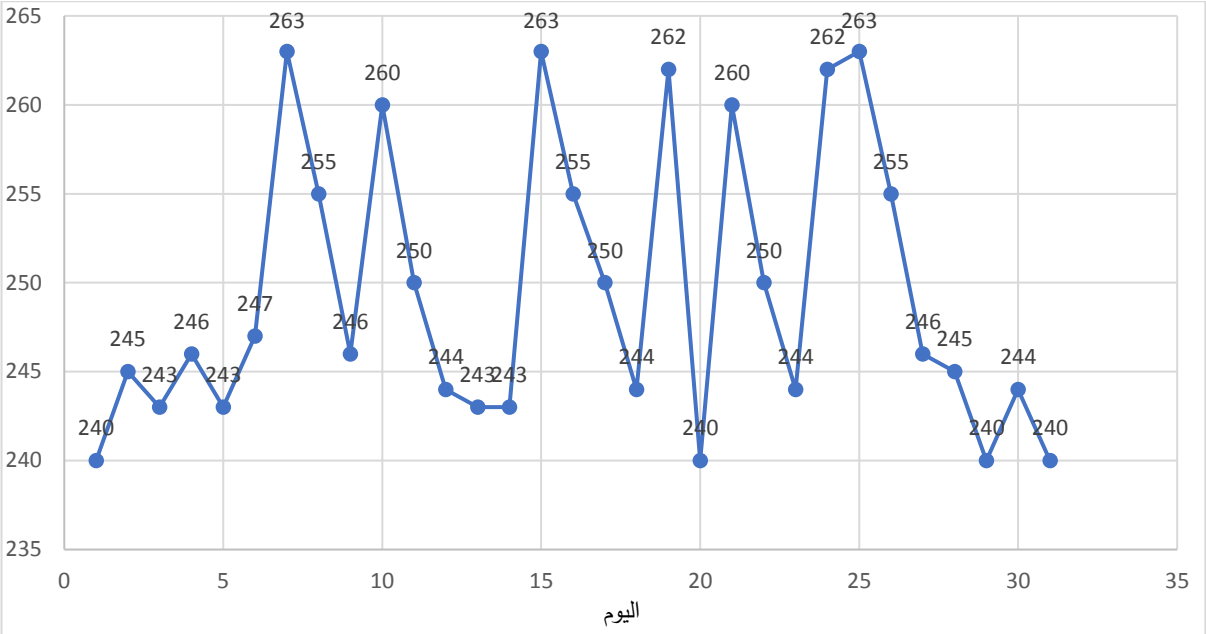

يمثل الشكل (18–4) منحني أداء العنفة الغازية خلال شهر تشرين الثاني – 2023

## نتائج شهر تشرين الثاني / 2023

تم أخذ بارامترات العنفة الغازية من برنامج Delphi الموجود بمحطة دير علي وبعد أخذ النتائج تبين أن الاستطاعة الكهربائية على مدى شهر تشرين الثاني بأكمله تتراوح مابين 235–268 MW مع استهلاك في الوقود يتراوح مابين 1.17–1.19 مليون متر مكعب من الغاز الطبيعي، وذلك عند تغير درجة الحرارة الخارجية 10 – 18 °C.

يمثل الجدول (13-4) أداء العنفة الغازية خلال شهر كانون الأول / 2023

| اليوم | كمية استهلاك الوقود $m^3$ | الاستطاعة الكهربائية للعنفة الغازية MW | اليوم | كمية استهلاك الوقود $m^3$ | الاستطاعة الكهربائية للعنفة الغازية MW |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1178118 | 240 | 17 | 1179148 | 250 |
| 2 | 1178140 | 245 | 18 | 1178137 | 244 |
| 3 | 1178135 | 243 | 19 | 1180160 | 262 |
| 4 | 1179142 | 246 | 20 | 1178118 | 240 |
| 5 | 1178140 | 243 | 21 | 1178158 | 260 |
| 6 | 1179150 | 247 | 22 | 1179148 | 250 |
| 7 | 1180161 | 263 | 23 | 1178137 | 244 |
| 8 | 1179170 | 255 | 24 | 1180160 | 262 |
| 9 | 1179142 | 246 | 25 | 1180161 | 263 |
| 10 | 1178158 | 260 | 26 | 1179170 | 255 |
| 11 | 1179148 | 250 | 27 | 1179142 | 246 |
| 12 | 1178137 | 244 | 28 | 1178140 | 245 |
| 13 | 1178140 | 243 | 29 | 1178118 | 240 |
| 14 | 1178135 | 243 | 30 | 1178137 | 244 |
| 15 | 1180161 | 263 | 31 | 1178118 | 240 |
| 16 | 1179170 | 255 | | | |




يمثل الشكل (19–4) منحني أداء العنفة الغازية خلال شهر كانون الأول – 2023

## نتائج شهر كانون الأول / 2023

تم أخذ بارامترات العنفة الغازية من برنامج Delphi الموجود بمحطة دير علي وبعد أخذ النتائج تبين أن الاستطاعة الكهربائية على مدى شهر كانون الأول بأكمله تتراوح مابين 240–263 MW مع استهلاك في الوقود يتراوح مابين 1.17–1.18 مليون متر مكعب من الغاز الطبيعي، وذلك عند تغير درجة الحرارة الخارجية 8. – 15 °C.

# الفصل الخامس:

# وصف عمل برنامج المحاكاة المقترح للبحث

## 5-1 مقدمة عن برنامج Aspen Tech HYSYS v11.0:

برنامج Aspen Tech HYSYS v11.0 هو أداة متقدمة للغاية تستخدم في مجال الهندسة الكيميائية، يتيح البرنامج للمهندسين إجراء تحليلات دقيقة وتحسين العمليات الصناعية من خلال النمذجة والمحاكاة.

ويتيح أيضاً دراسة وتحليل عملية تكرير الغاز الطبيعي باستخدام أبراج تكرير مع إجراء حساب الكميَات المنتجة من كلِ برج فصل ونسب المركبات للغاز المنتج وأيضاً مقارنة المتغيرات لعناصر الغاز الطبيعي (الميتان،الإيتان والبروبان..) بين الحالة الحقيقية للتيار الغازي الواصل إلى المحطات الحرارية، وبين الحالة المثلى للتيار الغازي المراد وصوله إلى محطات توليد الطاقة الكهربائية.

## 5-2 الميزات الرئيسية لبرنامج Aspen Tech HYSYS v11.0:

-نمذجة العمليات: يوفر البرنامج أدوات شاملة لنمذجة العمليات الكيميائية والفيزيائية، مما يسمح بتحليل وتحسين العمليات بكفاءة.

-محاكاة الحالة الثابتة والديناميكية: يمكن للمستخدمين اختيار بين نمذجة الحالة الثابتة للتصميم والتحليل الأولي، أو محاكاة الحالة الديناميكية لدراسة الاستجابات الزمنية والتحكم في العمليات.

-تحليل الطاقة والاستدامة: يشتمل البرنامج على وحدات خاصة لتحليل استهلاك الطاقة وتأثيرات العمليات على البيئة، مما يساعد في تصميم عمليات أكثر استدامة.

-تحسين العمليات: يقدم Aspen HYSYS أدوات لتحسين العمليات وزيادة الكفاءة وتقليل التكاليف.

## 5-3 التطبيقات العملية لبرنامج Aspen Tech HYSYS v11.0:

-تصميم وتحليل المبادلات الحرارية: يستخدم البرنامج لتصميم المبادلات الحرارية وتحليل أدائها، مما يساعد في تحسين نقل الحرارة وكفاءة الطاقة.

-تحليل الانفصال والتقطير: يمكن استخدام Aspen HYSYS لنمذجة وتحليل عمليات الانفصال مثل التقطير والامتزاز والاستخلاص.

## 5-4 أهمية استخدام برنامج Aspen Tech HYSYS v11.0 في الصناعة:

برنامج Aspen HYSYS يُعد أداة حيوية في الصناعة لأنه يساعد في تحسين الكفاءة والأداء والسلامة في مختلف العمليات الصناعية. بعض النقاط التي تبرز أهمية البرنامج:

تحسين الكفاءة: يمكّن Aspen HYSYS المهندسين من تحليل وتحسين العمليات الصناعية، مما يؤدي إلى تقليل استهلاك الطاقة والمواد الخام وزيادة الإنتاجية.

تسريع عملية التطوير: يسمح Aspen HYSYS بتسريع عملية تطوير العمليات الجديدة وتحسين العمليات القائمة من خلال المحاكاة الدقيقة.

دعم اتخاذ القرار: يوفر البرنامج بيانات وتحليلات دقيقة تساعد في اتخاذ قرارات مستنيرة على مستوى الإدارة والهندسة.

## 5-5 تقدير استهلاك الطاقة في برنامج Aspen Tech HYSYS v11.0:

برنامج Aspen HYSYS يُستخدم لتقدير استهلاك الطاقة في الصناعات العملية من خلال محاكاة العمليات وتحليلها. يمكن للمهندسين استخدام البرنامج لإنشاء نماذج دقيقة للعمليات الصناعية وتقييم استهلاك الطاقة في مختلف السيناريوهات والظروف التشغيلية.

إليك كيفية استخدام Aspen HYSYS لهذا الغرض:

إنشاء نموذج العملية: يبدأ المستخدمون بإنشاء نموذج للعملية الصناعية داخلAspen HYSYS ، محددين جميع المعلمات الأساسية مثل تدفقات المواد، درجات الحرارة، والضغوط.

تحليل الطاقة: يقوم البرنامج بتحليل استهلاك الطاقة لكل جزء من العملية، مثل المبادلات الحرارية، الأفران، وأبراج التقطير.

تحسين العملية: يستخدم المهندسون النتائج لتحديد فرص التحسين، مثل تقليل استهلاك الطاقة عن طريق تغيير درجات الحرارة أو الضغوط أو تحسين التكامل الحراري.

من خلال استخدام Aspen HYSYS، تمكنت الشركات من تحقيق وفورات كبيرة في تكاليف الطاقة وتقليل الانبعاثات الكربونية.

## 6-5 وصف معادلة Peng-Robinson:

معادلة بينغ روبنسون هي معادلة حالة تُستخدم لوصف سلوك الغازات والسوائل، وخاصة في المنظومات الهيدروكربونية، وتُعتبر من المعادلات الأساسية في مجال الهندسة الكيميائية والبترولية لأنها توفر طريقة دقيقة لحساب توازن البخار والسائل. تُستخدم هذه المعادلة لتقدير الضغوط والحجوم ودرجات الحرارة في الأنظمة التي تحتوي على مكونات متعددة، وهي مفيدة بشكل خاص في تصميم وتحليل عمليات الفصل مثل التقطير[16].

## 7-5 الصيغة الرياضية لمعادلة Peng-Robinson:

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a\,.\,\alpha}{V(V+b)+b(V-b)}$$

حيث:

P: الضغط $[pa]$ .

T: درجة الحرارة $[k]$.

V: الحجم المؤلي $[\frac{m^3}{mol}]$.

R: ثابت الغازات العام$[8.314\,\frac{J}{mol.k}]$

$\alpha$ : عامل يعتمد على درجة الحرارة ويستخدم لتصحيح القوى الجذابة بين الجزيئات.

a,b: هي ثوابت بعدية وتعتمد قيمها على الواحدات المستخدمة لقياس الضغط الحرج ودرجة الحرارة الحرجة، إما للغاز أو السائل.

لحساب الثابت a:

$$a = \frac{0.45724 \,.\, R^2 \,.\, T_c^2}{P_c}$$

لحساب الثابت b:

$$b = \frac{0.07780 \,.\, R \,.\, T_c}{P_c}$$

## 5-8 أهمية معادلة Peng-Robinson:

تُعد معادلة بينغ روبنسون مهمة لأنها تسمح بحساب توازن البخار والسائل بدقة عالية، وهو أمر حاسم في العديد من العمليات الصناعية. تُستخدم هذه المعادلة لتحديد كيفية تغير تركيزات المكونات في الطور السائل والطور البخاري مع تغير الضغط ودرجة الحرارة، وهذا يساعد المهندسين على تصميم المعدات والعمليات بشكل أكثر فعالية وكفاءة [16].

## 5-9 تطبيقات معادلة Peng-Robinson:

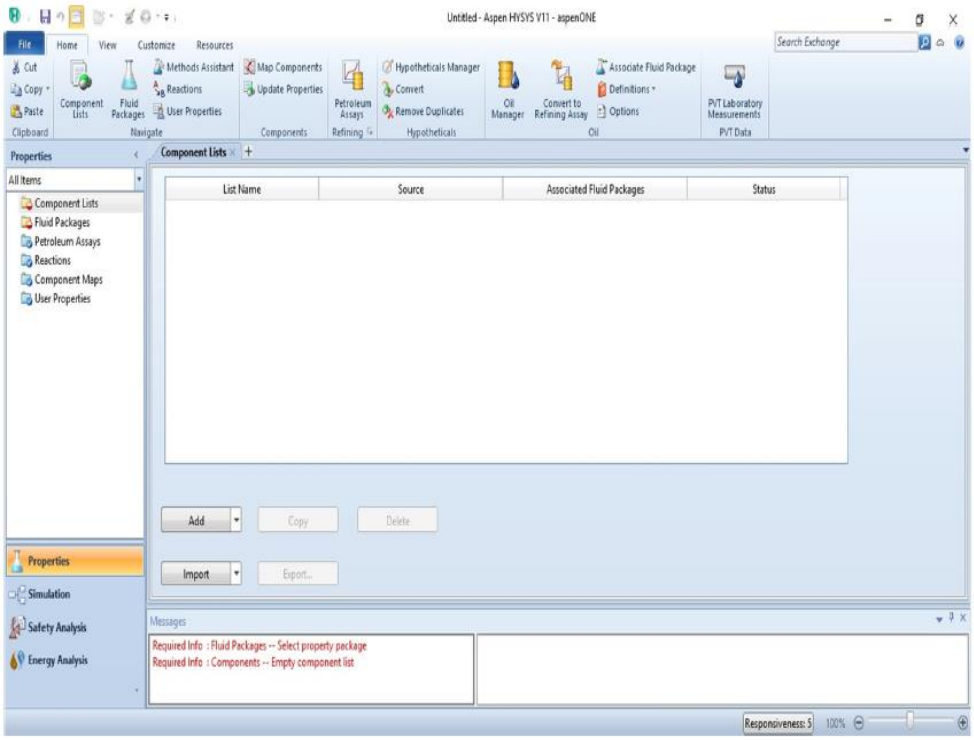
في الصناعة: تُستخدم معادلة بينغ روبنسون لتصميم أبراج التقطير والمبادلات الحرارية وأنظمة الفصل الأخرى. كما تُستخدم في تحليل الأمان لتقدير الضغوط التي قد تتطور في الأنظمة المغلقة، وهو ما يُعد مهمًا للغاية في منع الحوادث الصناعية.

في البرمجيَات: تُدمج معادلة بينغ روبنسون في العديد من البرمجيات الهندسية مثل Aspen HYSYS ، حيث تُستخدم لمحاكاة العمليات الكيميائية وتحليل توازن البخار والسائل في الأنظمة الهيدروكربونية. يُمكن للمهندسين استخدام هذه البرمجيات لتحسين التصاميم والعمليات بناءً على الحسابات التي توفرها معادلة بينغ روبنسون.

## 5-10 برنامج محاكاة العمليات Aspen Tech HYSYS v11.0:

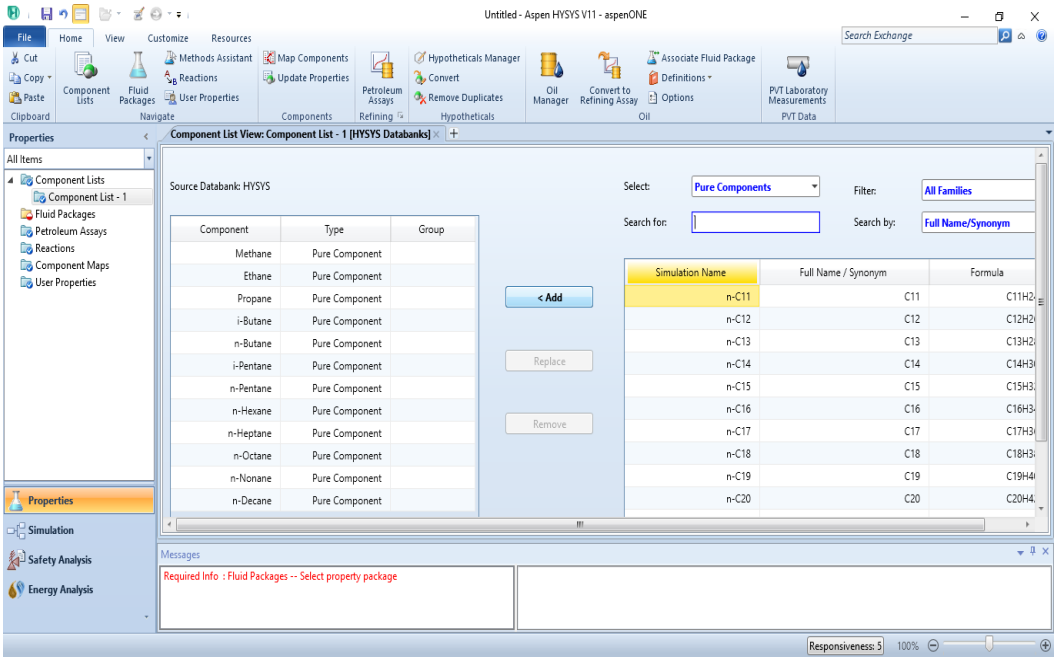
تم استخدام البرنامج كأداة للمحاكاة والتصميم، كما تم اختيار معادلة Peng-Robinson كمعادلة مفضلة وموصى بها لمزيج المركبات الهيدروكربونية في الضغوط العالية وذلك لحساب العلاقات الترموديناميكية بين متغيرات العملية.

### 5-10-1 واجهة البرنامج Aspen Tech HYSYS v11.0:

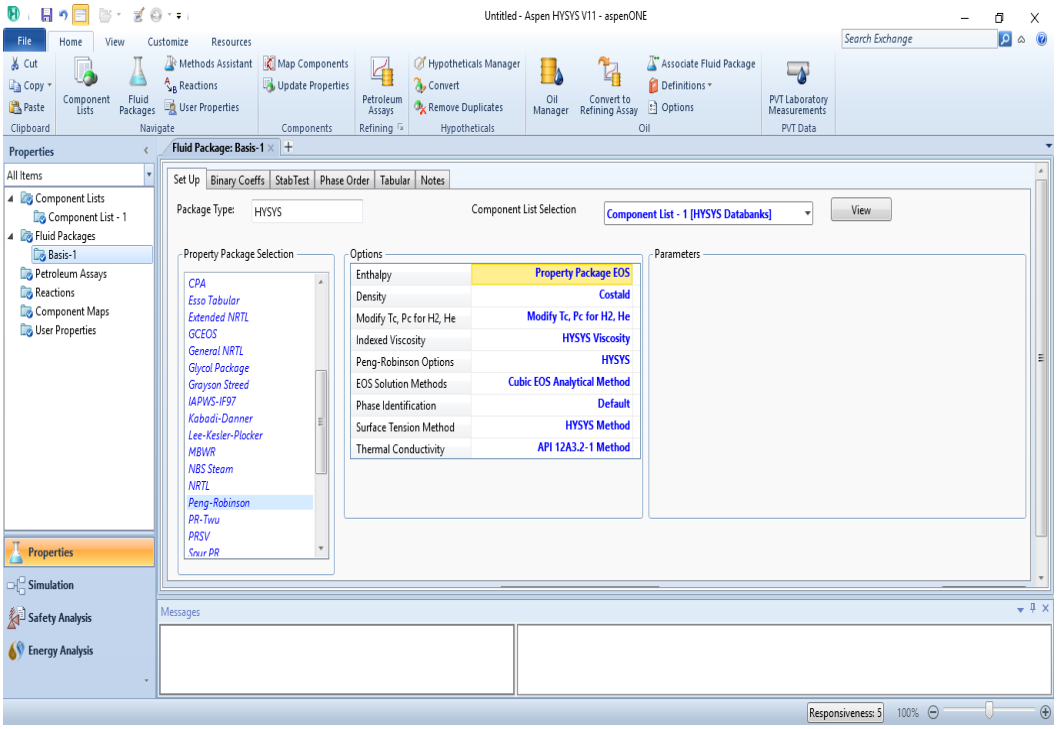



الشكل (5-1) واجهة البرنامج

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

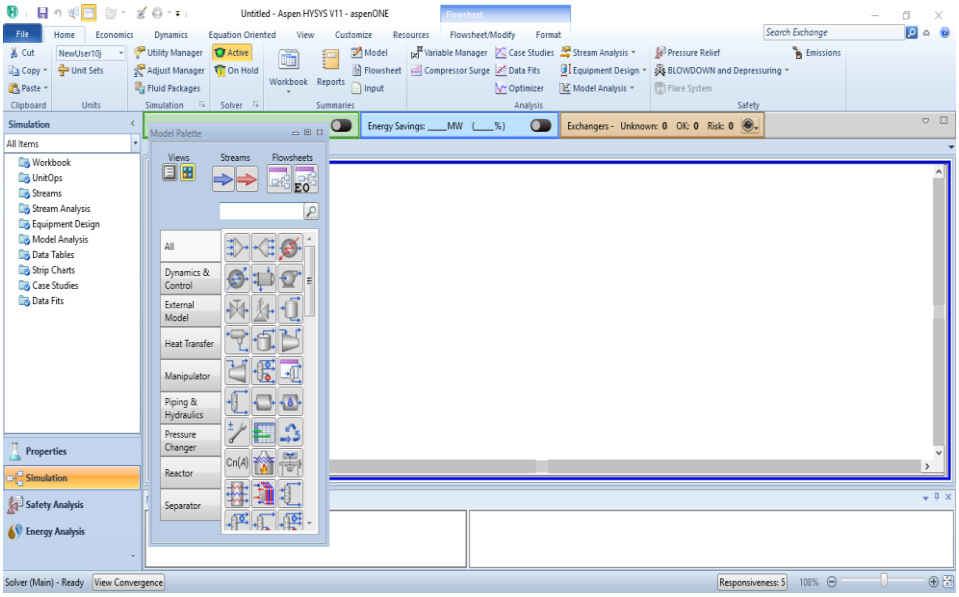



الشكل (2–5) إضافة تيارات التغذية للبرنامج




الشكل (3–5) اختيار النموذج الترموديناميكي للعملية المدروسة

بعد الإنتهاء من الخطوات السابقة ننتقل إلى Simulation من قائمة الأوامر اليسارية لإظهار الساحة التي سيتم عليها التصميم كما هو موضح بالشكل (3-5):

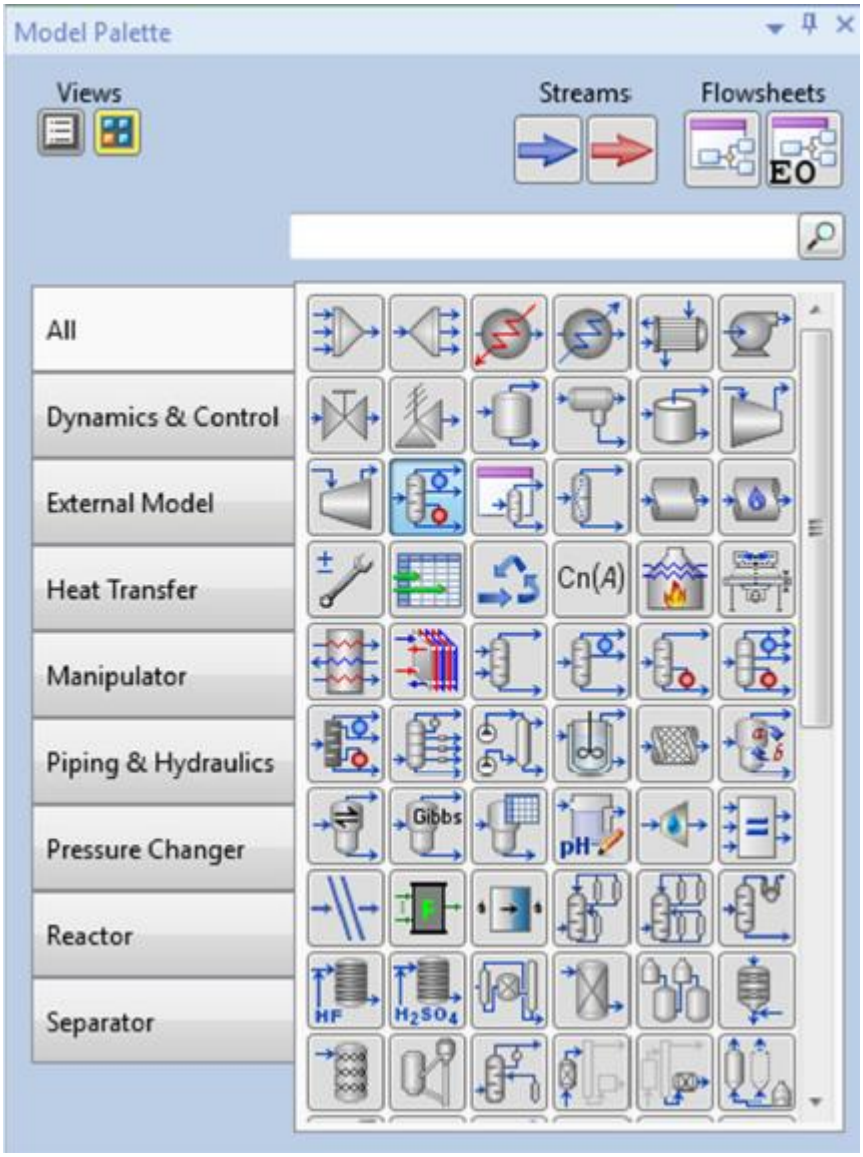



الشكل (4-5) اختيار النموذج الترموديناميكي للعملية المدروسة

## 2-10-5 لوحة أيقونات المعدَات Aspen Tech HYSYS v11.0:

يمثل المستطيل الظاهر على يسار مساحة التصميم، لوحة المعدات التي يمكن استخدامها أثناء القيام بعمليات المحاكاة والتصميم، حيث يحتوي على جميع أيقونات المعدات والأدوات التي قد نحتاجها أثناء العمل، كما هو موضح في الشكل (5-5).

سنقوم فقط بشرح الرموز المستخدمة في هذا البحث.




الشكل (5–5) لوحة أيقونات المعدَات في البرنامج

- يمثل الرمز  تيار التغذية المادية (تدفق التغذية المادية).
- يمثل الرمز  تيار الطاقة الحراريَة (الحرارة الداخلة أو الخارجة للمبادل الحراري).
- يمثل الرمز  برج تكرير يعتمد طرائق الحسابات الدقيقة في التقطير.
- يمثل الرمز  برج تكرير يعتمد على الطرائق المختصرة في حسابات التكرير (معادلات فينسك–اندروود–غليلاند) حيث يعتمد على ضغط تشغيلي ودرجة حرارة واحدة على طول البرج.
- يمثل الرمز  برج نزع (الإيتان، البوتان والبروبان) من الغاز الطبيعي.
- يدل الرمز  على صمام يسمح بالتحكم بتدفق الجريان.

- يدل الرمز  على المضخة الرافعة لضغط التيارات السائلة.
- يدل الرمز  على خلَاط يقوم بمزج عدة تيارات بتيار أحادي.
- يمثل الرمز  على فاصل فيزيائي Tee يفصل تيار أحادي إلى عدة تيارات بنفس الشروط والتركيب من درجة حرارة وضغط.
- يدل الرمز  على مبادل حراري بسيط (تسخين).
- يدل الرمز  على مبادل حراري بسيط (تبريد).
- يدل الرمز  على مبادل حراري أنبوبي، يسمح بتبادل الحرارة بين تيارين.

# الفصل السادس:

# دراسة الوقود الغازي وفق برنامج المحاكاة

# ودراسة الوقود السائل

## 6-1 مقدمة:

وصف عام لبرنامج المحاكاة Aspen Tech HYSYS وأهميته في المجالين الكيميائي والهندسي:

يعد برنامج Aspen Tech HYSYS من أهم برامج المحاكاة المستخدمة في المجالات الكيميائية والهندسية. يتميز البرنامج بواجهة مستخدم سهلة الاستخدام تتضمن لوحة أيقونات للمعدات المختلفة، مما يسهل عملية تصميم ومحاكاة العمليات الصناعية.

في هذا الفصل، سيتم إجراء دراسة شاملة لعملية تكرير الغاز الطبيعي بهدف الوصول إلى التركيب الأمثل للغاز الطبيعي المراد تغذيته من خط الغاز العربي إلى محطة دير علي. الهدف من هذه الدراسة هو تحسين المردود الحراري للعنفة الغازية SGT5-4000F في محطة دير علي الحرارية. سيتم النظر في حالتين:

الحالة الأولى: الوضع الحالي للغاز الطبيعي الواصل إلى محطة دير علي عبر خط الغاز العربي.

الحالة الثانية: إجراء عملية تكرير للغاز الطبيعي باستخدام برنامج Aspen Tech HYSYS، وذلك من خلال استخدام ثلاث أبراج نزع.

في النهاية، سيتم مقارنة الحالتين من حيث نسب المركبات، الكميات المنتجة في كل حالة، الطاقة الحرارية المستهلكة، والمردود الحراري للعنفة الغازية.

## 6-2 تركيب الوقود الغازي الواصل إلى محطة دير علي الحرارية: [11]

يمثل الجدول (6-1) تركيب الغاز الواصل إلى محطة دير علي الحرارية، عن طريق خط الغاز العربي.

| المُكَوِّن | الكسر المولي |
|---|---|
| Methane | 0.3999 |
| Ethane | 0.3084 |
| Propane | 0.2700 |
| i-Butane | 0.0026 |
| n-Butane | 0.0034 |
| i-Pentane | 0.0011 |

| | |
|---|---|
| n–Pentane | 0.0018 |
| n–Hexane | 0.0015 |
| n–Heptane | 0.0016 |
| n–Octane | 0.0013 |
| n–Nonane | 0.0017 |
| n–Decane | 0.0018 |
| Oxygen | 0.0001 |
| Nitrogen | 0.0001 |
| CO2 | 0.0057 |
| المجموع الكلي | 1.0000 |

## 3-6 منظومة تكرير الغاز الطبيعي المقترحة:

وذلك بأن تتألف المنظومة من ثلاثة أبراج وهي:

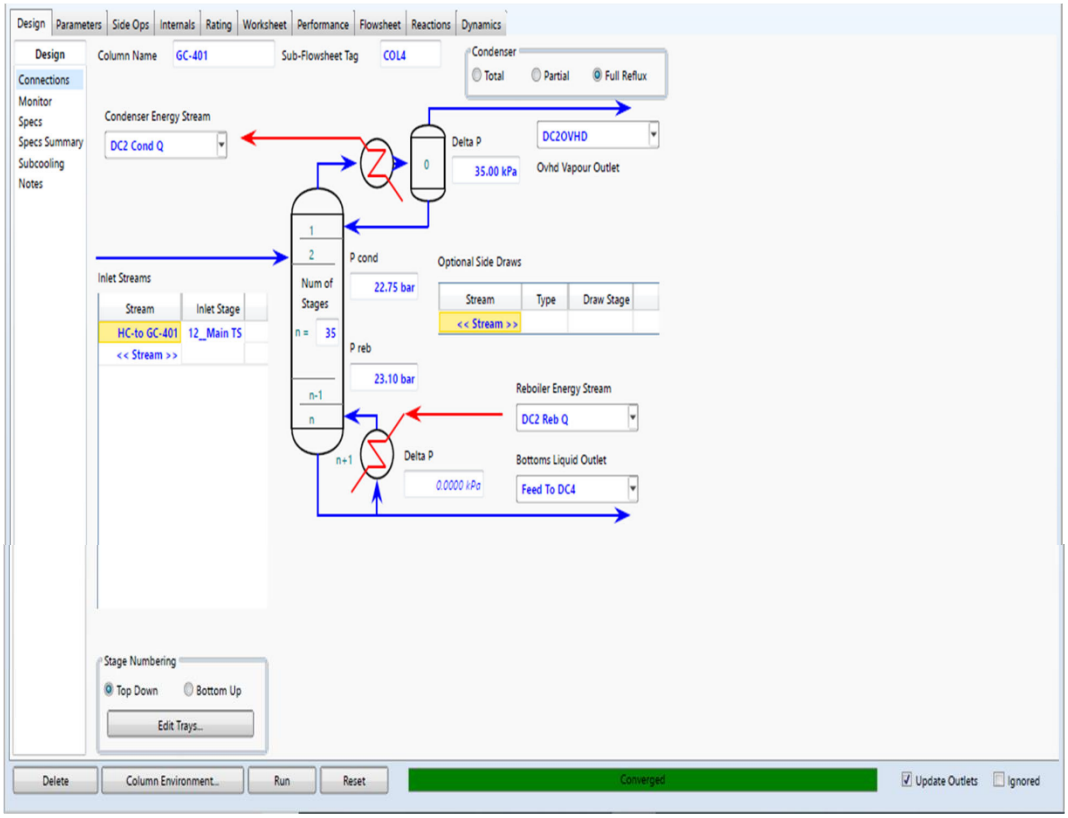
- برج نزع الإيتان (Deethanizer)
- برج نزع البوتان (Debutanizer)
- برج نزع البروبان (Depropanizer)

تلحق المنظومة بعدة ملحقات من فواصل، صمامات ومضخات تلزم لإتمام العملية بالشكل الأمثل.

## 6-3-1 برج نزع الإيتان (Deethanizer GC-401):

يستخدم هذا البرج لفصل غاز الإيتان والميتان وجزء من البروبان ومن ثم يقوم بإرساله إلى خط غاز التصدير بعد ضغطه.

يدخل تيار التغذية إلى البرج المؤلف من 35 صينية بدرجة حرارة 70 °C عند ضغط تشغيلي 23.25 $bar$ على الصينية رقم 12 ليتجمع الإيتان والميتان في مكثف البرج وتغادر باقي مركبات المزيج من أسفل البرج لتبدأ مرحلة فصل جديدة، كما هو موضح في الشكل (6-1):




الشكل (6-1) الشروط التصميميَة لبرج نزع الإيتان.

- شروط التشغيل:

يشير الجدول (2–6) إلى الشروط التشغيليَة التي يعمل عليها البرج.

| | HC to GC–401 | DC2OVHD | Feed to DC4 |
|---|---|---|---|
| درجة الحرارة ℃ | 70 | 10.4 | 152.4 |
| الضغط $bar$ | 23.25 | 22.75 | 23.1 |
| التدفق المولي $Nm^3/d(gas)$ | 106002 | 28228 | 77774 |
| التدفق الكتلي $Kg/h$ | 12186 | 1498 | 10688 |
| تدفق الحرارة $Kj/h$ | −29530068 | −4969241 | −22067184 |

- نتائج محاكاة برج نزع:

➢ الخصائص الترموديناميكية للمنتجات:

| | HC to GC–401 | Feed to DC4 | DC2OVHD |
|---|---|---|---|
| الوزن الجزيئي | 61.84 | 73.93 | 28.55 |
| الكثافة المولية $Kg.mol/m^3$ | 4.117 | 6.135 | 1.207 |
| الكثافة الكتلية $Kg/m^3$ | 254.6 | 453.6 | 34.46 |
| حجم التدفق الحقيقي $m^3/h$ | 47.87 | 23.56 | 43.46 |
| انتالبية الكتلة $Kj/Kg$ | −2423 | −2065 | −3318 |
| انتروبية الكتلة $Kj/Kg.℃$ | 2.004 | 2.080 | 5.571 |
| السعة الحراريَة $Kj/(Kg.mol.℃)$ | 160.3 | 254.4 | 61.23 |
| ثابت واطسن $K$ | 13.52 | 13.10 | 17.03 |
| ضغط ريد 37.8℃ $at(bar)$ | 11.26 | 2.661 | – |
| ضغط نقطة الفقاعة $bar$ | 36.88 | 23.10 | 72.68 |

يمثل الجدول (3–6) الخصائص الترموديناميكية لتيارات برج نزع الإيتان

- تركيب المنتجات:

يشير الجدول (4-6) إلى تركيب التيارات الناتجة من برج نزع الإيتان وذلك حسب خط الغاز العربي (الموجود حالياً) وبين نموذج المحاكاة (المقترح):

| | DC2OVHD | | الارتياب بين القيمة الحقيقية والقيمة الناتجة عن عملية المحاكاة | Feed to DC4 |
|---|---|---|---|---|
| | تركيب التيار وفق نموذج المحاكاة | القيم الموجودة في خط الغاز العربي | - | - |
| Methane | 0.3999 | 0.386 | 0.0139 | 0.0000 |
| Ethane | 0.3044 | 0.306 | 0.0024 | 0.0000 |
| Propane | 0.2700 | 0.267 | 0.003 | 0.1184 |
| i-Butane | 0.0000 | 0.000 | 0 | 0.0946 |
| n-Butane | 0.0000 | 0.000 | 0 | 0.1858 |
| i-Pentane | 0.0000 | 0.000 | 0 | 0.2109 |
| n-Pentane | 0.0000 | 0.000 | 0 | 0.0128 |
| n-Hexane | 0.0000 | 0.000 | 0 | 0.2083 |
| n-Heptane | 0.0000 | 0.000 | 0 | 0.0993 |
| n-Octane | 0.0000 | 0.000 | 0 | 0.0426 |
| n-Nonane | 0.0000 | 0.000 | 0 | 0.0269 |
| n-Decane | 0.0000 | 0.000 | 0 | 0.0004 |
| Oxygen | 0.0000 | 0.000 | 0 | 0.0000 |
| Nitrogen | 0.0003 | 0.0009 | 0.0006 | 0.0000 |
| CO2 | 0.0214 | 0.032 | 0.0106 | 0.0000 |

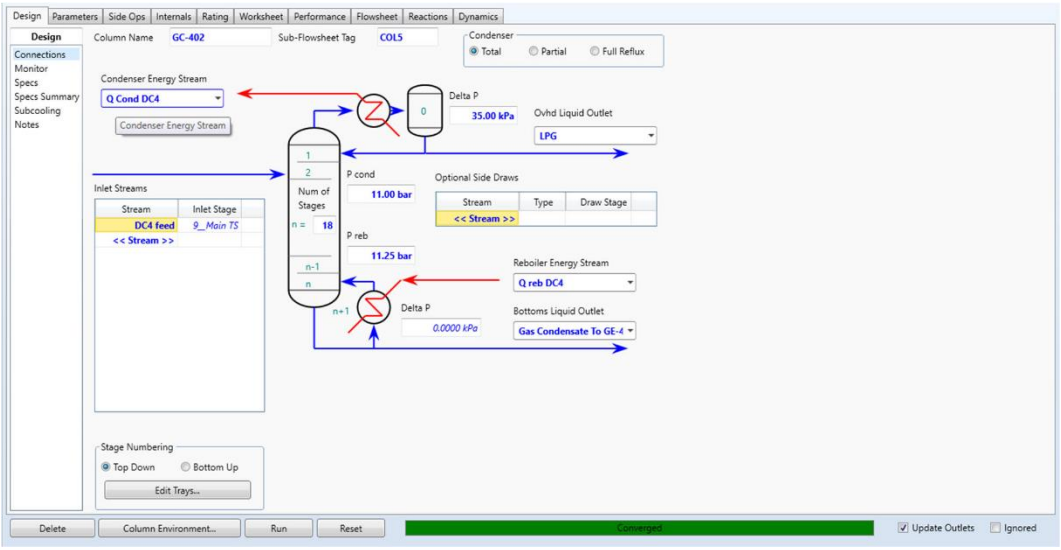
- حسابات الغلاية والمكثف:

يشير الجدول (5–6) إلى نتائج الحسابات التصميمية لكلٍ من غلاية ومكثف برج نزع الإيتان.

| الغلاية | | المكثف | |
|---|---|---|---|
| اعتيادية | النوع | راجع كلي | النوع |
| 152.4 | درجة الحرارة ℃ | 10.4 | درجة الحرارة ℃ |
| 23.1 | الضغط $bar$ | 22.75 | الضغط $bar$ |
| 5497079 | الحمولة $Kj/h$ | 3003327 | الحمولة $Kj/h$ |
| 77774 | تدفق الخرج $Nm^3/d(gas)$ | 112899 | تدفق الراجع $Nm^3/d(gas)$ |

## 6-3-2 برج نزع البوتان (Debutanizer GC-402):

يدخل تيار التغذية إلى البرج المؤلف من 18 صينية بدرجة حرارة 125°C، عند ضغط تشغيلي 11.5 $bar$ على الصينية رقم 9 ليتكاثف LPG في مكثف البرج وتغادر باقي مركبات المزيج من أسفل البرج ليتم تخزينها في خزان تجميع المتكاثفات ليتم تصديرها إلى خط الإنتاج.




الشكل (6-2) الشروط التصميميَة لبرج نزع البوتان

- شروط التشغيل:

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

| | DC4 feed | LPG | Gas Condensate to GE-424 |
|---|---|---|---|
| درجة الحرارة ℃ | 125.4 | 61.6 | 159.7 |
| الضغط $bar$ | 11.5 | 11 | 11.25 |
| التدفق المولي $Nm^3/d(gas)$ | 77772 | 31612 | 46160 |
| التدفق الكتلي $Kg/h$ | 10688 | 3199 | 7489 |
| تدفق الحرارة $Kj/h$ | -22066966 | -804543 | -14789393 |

- نتائج محاكاة برج نزع:

➢ الخصائص الترموديناميكية للمنتجات:

| | DC4 feed | Gas Condensate to GE-424 | LPG |
|---|---|---|---|
| الوزن الجزيئي | 73.93 | 87.281 | 54.44 |
| الكثافة المولية $Kg.mol/m^3$ | 0.984 | 5.782 | 9.168 |
| الكثافة الكتلية $Kg/m^3$ | 72.81 | 504.6 | 499.1 |
| حجم التدفق الحقيقي $m^3/h$ | 146.8 | 14.84 | 6.410 |
| انتالبية الكتلة $Kj/Kg$ | -2065 | -1975 | -2515 |
| انتروبية الكتلة $Kj/Kg.℃$ | 2.098 | 1.861 | 1.745 |
| السعة الحراريَة $Kj/(Kg.mol.℃)$ | 198.6 | 271.9 | 157.3 |
| ثابت واطسن $K$ | 13.10 | 12.82 | 13.84 |
| ضغط ريد 37.8℃ $at(bar)$ | 2.660 | 0.6475 | 6.134 |
| ضغط نقطة الفقاعة $bar$ | 15.84 | 11.25 | 11.0 |

يمثل الجدول (6-7) الخصائص الترموديناميكية لتيارات برج نزع البوتان

- تركيب المنتجات:

يشير الجدول (8-6) إلى تركيب التيارات الناتجة من برج نزع البوتان وذلك حسب خط الغاز العربي (الموجود حالياً) وبين نموذج المحاكاة (المقترح):

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

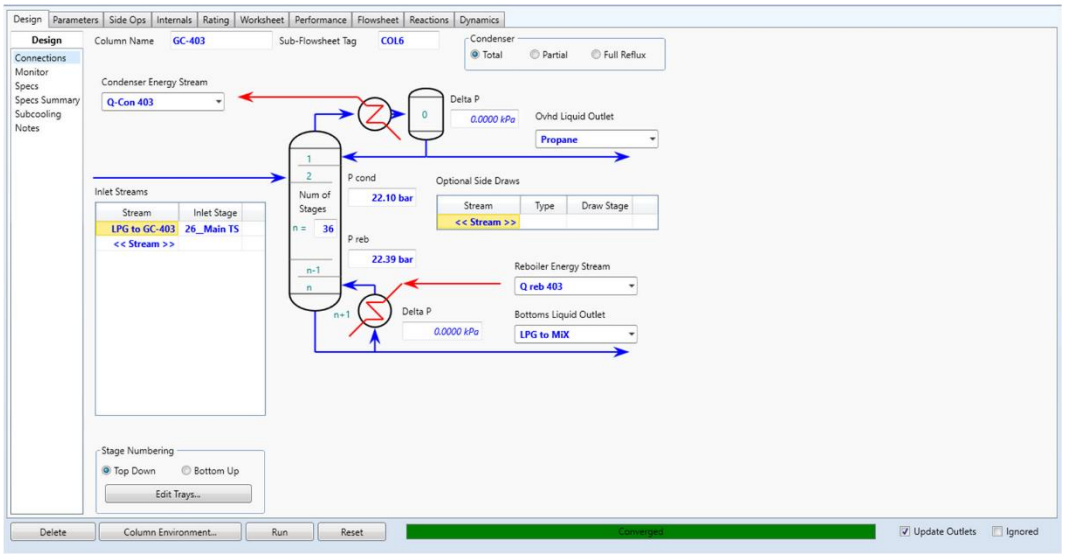
- حسابات الغلاية والمكثف:

يشير الجدول (9–6) إلى نتائج الحسابات التصميمية لكلٍ من غلاية ومكثف برج نزع البوتان.

| الغلاية | | المكثف | |
|---|---|---|---|
| اعتيادية | النوع | راجع كلي | النوع |
| 159.7 | درجة الحرارة ℃ | 61.6 | درجة الحرارة ℃ |
| 11.25 | الضغط $bar$ | 11 | الضغط $bar$ |
| 4341177 | الحمولة $Kj/h$ | 5107802 | الحمولة $Kj/h$ |
| 46159 | تدفق الخرج $Nm^3/d(gas)$ | 126447 | تدفق الراجع $Nm^3/d(gas)$ |

## 3-3-6 برج نزع البروبان (Depropanizer GC-403):

يدخل تيار التغذية إلى البرج المؤلف من 36 صينية قادماً من برج نزع البرتان، بدرجة حرارة 63 ℃ ، عند ضغط تشغيلي $23\ bar$ على الصينية رقم 26 ليتكاثف البروبان في مكثف البرج ويغادر البوتان من أسفل البرج ليتم إعادة تدويره ومزجه مع تيار تغذية برج نزع الإيتان، كما هو موضح في الشكل (3-6):




الشكل (3-6) الشروط التصميميَة لبرج نزع البروبان

- شروط التشغيل:

يشير الجدول (10–6) إلى الشروط التشغيليَة التي يعمل عليها البرج.

| | LPG to GC–403 | Propane | LPG to Mix |
|---|---|---|---|
| درجة الحرارة ℃ | 63.0 | 62.2 | 116.2 |
| الضغط $bar$ | 23.0 | 22.1 | 22.4 |
| التدفق المولي $Nm^3/d(gas)$ | 5929 | 1700 | 4228 |
| التدفق الكتلي $Kg/h$ | 600 | 139.8 | 460.2 |
| تدفق الحرارة $Kj/h$ | −1506937 | −364052 | −1064551 |

- نتائج محاكاة برج نزع البروبان:

➢ الخصائص الترموديناميكية للمنتجات:

| | LPG to GC–403 | LPG to Mix | Propane |
|---|---|---|---|
| الوزن الجزيئي | 54 | 58.5 | 44.2 |
| الكثافة المولية $Kg.mol/m^3$ | 9.2 | 7.2 | 9.6 |
| الكثافة الكتلية $Kg/m^3$ | 501.1 | 423.1 | 424.4 |
| حجم التدفق الحقيقي $m^3/h$ | 1.2 | 1.1 | 0.33 |
| انتالبية الكتلة $Kj/Kg$ | −2511 | −2313 | −2603 |
| انتروبية الكتلة $Kj/Kg.℃$ | 1.7 | 1.9 | 2.4 |
| السعة الحراريَة $Kj/(Kg.mol.℃)$ | 154.9 | 234.1 | 169.6 |
| ثابت واطسن $K$ | 13.8 | 13.5 | 14.6 |
| ضغط ريد 37.8℃ $at(bar)$ | 6.1 | 3.9 | 12.9 |
| ضغط نقطة الفقاعة $bar$ | 11.3 | 22.3 | 22.1 |

يمثل الجدول (11–6) الخصائص الترموديناميكية لتيارات برج نزع البروبان

- تركيب المنتجات:

يشير الجدول (12-6) إلى تركيب التيارات الناتجة من برج نزع الإيتان وذلك حسب خط الغاز العربي (الموجود حالياً) وبين نموذج المحاكاة (المقترح):

| | LPG to GC-403 | Propane | | الارتياب بين القيمة الحقيقية والقيمة الناتجة عن عملية المحاكاة | LPG to MIX |
|---|---|---|---|---|---|
| | - | تركيب التيار وفق نموذج المحاكاة | القيم الموجودة في خط الغاز العربي | - | - |
| Methane | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0 | 0.0000 |
| Ethane | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0 | 0.0000 |
| Propane | 0.2913 | 0.9900 | 0.980 | 0.01 | 0.0103 |
| i-Butane | 0.2322 | 0.0098 | 0.010 | 0.0002 | 0.3216 |
| n-Butane | 0.4479 | 0.0002 | 0.010 | 0.0098 | 0.6278 |
| i-Pentane | 0.0283 | 0.0000 | 0.000 | 0 | 0.0397 |
| n-Pentane | 0.0004 | 0.0000 | 0.000 | 0 | 0.0005 |
| n-Hexane | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0 | 0.0000 |
| n-Heptane | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0 | 0.0000 |
| n-Octane | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0 | 0.0000 |
| n-Nonane | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0 | 0.0000 |
| n-Decane | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0 | 0.0000 |
| Oxygen | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0 | 0.0000 |
| Nitrogen | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0 | 0.0000 |
| CO2 | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0 | 0.0000 |

- حسابات الغلاية والمكثف:

يشير الجدول (13–6) إلى نتائج الحسابات التصميمية لكلٍ من غلاية ومكثف برج نزع البروبان.

| الغلاية | | المكثف | |
|---|---|---|---|
| اعتيادية | النوع | راجع كلي | النوع |
| 116.2 | درجة الحرارة ℃ | 62.2 | درجة الحرارة ℃ |
| 22.4 | الضغط $bar$ | 22.1 | الضغط $bar$ |
| 394211 | الحمولة $Kj/h$ | 315872 | الحمولة $Kj/h$ |
| 4228 | تدفق الخرج $Nm^3/d(gas)$ | 13601 | تدفق الراجع $Nm^3/d(gas)$ |

## 6-4 مقارنة الوقود الغازي بين النموذجين الموجود في المحطة والنموذج المقترح:

### 6-4-1 مقارنة الوقود الغازي من حيث التركيب:

بعد إجراء عملية المحاكاة للوقود الغازي من خلال ثلاث أبراج فصل على برنامج Aspen Tech HYSYS، أصبحت مركباته على النحو الآتي:

| | الحالة الأولى: النموذج الحالي | | الحالة الثانية: النموذج المقترح | |
|---|---|---|---|---|
| Gaseous Fuel | Methane | 0.3999 | Methane | 0.5509 |
| | Ethane | 0.4183 | Ethane | 0.3084 |
| | Propane | 0.118 | Propane | 0.094 |
| | Butane | 0.0638 | Butane | 0.0467 |
| LPG (mole fraction) | Propane | 0.2913 | Propane | 0.2789 |
| | i-Butane | 0.2322 | i-Butane | 0.2323 |
| | n-Butane | 0.4479 | n-Butane | 0.4524 |
| | i-Pentane | 0.0283 | i-Pentane | 0.0361 |
| Condensate (mole fraction) | i-Pentane | 0.3359 | i-Pentane | 0.3333 |
| | n-Pentane | 0.0213 | n-Pentane | 0.0217 |
| | n-Hexane | 0.3509 | n-Hexane | 0.3539 |
| | n-Heptane | 0.1673 | n-Heptane | 0.1687 |
| | n-Octane | 0.0717 | n-Octane | 0.0723 |
| | n-Nonane | 0.0453 | n-Nonane | 0.0457 |

يمثل الجدول (6-14) المقارنة في تركيب الغاز الطبيعي بين النموذجين الموجود حالياً والمقترح لمحطة دير علي

نلاحظ من خلال الجدول أعلاه، أنه أصبح هنالك تغير في مركبات الوقود الغازي على الشكل الآتي:

- ارتفاع نسبة الميثان في الغاز الطبيعي إلى نسبة 55.09%
- انخفاض نسبة الإيثان في الغاز الطبيعي إلى نسبة 30.48%

- انخفاض نسبة البروبان في الغاز الطبيعي إلى نسبة 9.4%
- انخفاض نسبة البوتان في الغاز الطبيعي إلى نسبة 4.67%

## 6-4-2 المقارنة في الكميَات المنتجة:

بعد إجراء عملية المحاكاة للوقود الغازي من خلال ثلاث أبراج فصل على برنامج Aspen Tech HYSYS، أصبحت الكميَات المنتجة على النحو الآتي:

| | الحالة الأولى: النموذج الحالي | | الحالة الثانية: النموذج المقترح | |
|---|---|---|---|---|
| Gaseous Fuel | Molar Flow $m^3/day$ | 20492.7 | Molar Flow $m^3/day$ | 28227 |
| | Mass Flow $kg/s$ | 0.2409 | Mass Flow $kg/s$ | 0.4158 |
| LPG | Molar Flow $m^3/day$ | 31612 | Molar Flow $m^3/day$ | 31610 |
| | Mass Flow $kg/s$ | 0.8886 | Mass Flow $kg/s$ | 0.8930 |
| Condensate | Molar Flow $m^3/day$ | 46159 | Molar Flow $m^3/day$ | 45778 |
| | Mass Flow $kg/s$ | 2.08 | Mass Flow $kg/s$ | 2.067 |

يمثل الجدول (6-15) المقارنة في الكميَات المنتجة للوقود الغازي المقترح لمحطة دير علي

نلاحظ من خلال الجدول أعلاه، أنه أصبح هنالك تغير في قيمة الإنتاج اليومي من الوقود الغازي على الشكل الآتي:

- ارتفاع في نسبة التدفق المولي للوقود الغازي إلى قيمة 28227 $m^3/day$
- ارتفاع في نسبة التدفق الكتلي للوقود الغازي إلى قيمة 0.4158 kg/s

## 6-4-3 المقارنة في الطاقة المستهلكة:

| | النموذج الحالي | النموذج المقترح | نسبة الوفر في حال استخدام النموذج المقترح |
|---|---|---|---|
| الطاقة الكليَة المستهلكة kj/s | 6027.139 | 4399.81147 | 37% |

يمثل الجدول (6-16) المقارنة في الطاقة المستهلكة للوقود الغازي بين النموذجين الموجود حالياً والمقترح لمحطة دير علي

نلاحظ من خلال الجدول أعلاه، أنه أصبح هنالك تغير في قيمة الطاقة المستهلكة في الوقود الغازي على النحو الآتي:

- عند استخدام النموذج المقترح، أصبح هنالك وفر في الطاقة المستهلكة بقيمة تصل إلى 37%.

## 5-6 دراسة احتراق الوقود السائل:

- كتابة معادلات الاحتراق لواحدة الكتلة.
- إيجاد كتلة الأوكسجين النظرية $M_{o2}^{\circ}$.
- إيجاد حجم الهواء النظري لحرق 1 Kg من الوقود السائل $V_a^{\circ}$.
- إيجاد حجم الهواء الحقيقي لحرق 1 Kg من الوقود السائل $V_a$.
- حساب القيمة الحرارية الدنيا للوقود السائل $Q_b^p$.
- كتابة معادلات الاحتراق لواحدة الكتلة:

**أولاً: احتراق الكربون:**

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 + Energy$$

$$12Kg + 32Kg \rightarrow 44Kg + Energy$$

$$1Kg\ C^p + \frac{8}{3}Kg\ O_2 \rightarrow \frac{11}{3}Kg\ CO_2 + 56.000\ Kj$$

**ثانياً: احتراق الهيدروجين:**

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_{2_o} + Energy$$

$$4Kg + 32Kg \rightarrow 36Kg + Energy$$

$$1Kg\ H^p + 8Kg\ O_2 \rightarrow 9Kg\ H_{2_o} + 46.000\ Kj$$

**ثالثاً: احتراق الكبريت:**

$$S + O_2 \rightarrow SO_2 + Energy$$

$$32Kg + 32Kg \rightarrow 64Kg + Energy$$

$$1Kg\ S^p + 1Kg\ O_2 \rightarrow 2Kg\ SO_2 + 32.000\ Kj$$

- حساب كتلة الأوكسجين النظريَة لحرق 1Kg من الوقود السائل:

$$M_{o2}^{\circ} = \frac{\frac{8}{3}C^p + 8H^p + 1S^p - O^p}{100}$$

- حساب كتلة الهواء النظريَة:

$$M_{air}^{\circ} = \frac{M_{o2}^{\circ}}{0.232}$$

- حساب حجم الهواء النظري:

$$V_{air}^{\circ} = \frac{M_{air}^{\circ}}{1.293}$$

- حساب حجم الهواء الحقيقي:

$$V_{air} = \alpha . V_{air}^{\circ}$$

$\alpha$: معامل فائض الهواء

- حساب القيمة الحرارية الدنيا للوقود السائل $I_p$:

$$I_p = 340\mathrm{C^p} + 1035\mathrm{H^p} - 109(\mathrm{O^p} - \mathrm{S^p}) - 25\mathrm{W^p}$$

بناءً على جداول صرف المازوت في محطة دير علي الحرارية تبين أن شهرياً يتم صرف

$$(50.000 - 55.000\ \mathrm{Litter/Month})$$

إن القيمة الحرارية للوقود السائل، الذي يصل إلى محطة دير علي الحرارية: [11]

$$I_p = (31.000, 32.000, 34.000, 25411)\ \mathrm{kJ\ /\ kg}$$

- وجود قيم منخفضة كهذه يمكن أن يكون مؤشراً على مشاكل في جودة الوقود السائل (المازوت) مثل تلوث بالمياه أو وجود نسبة عالية من الرطوبة، الكبريت والأوكسجين.
- تم استثناء القيمة الصغيرة كونها قيمة شاذة، وتم أخذ المتوسط الحسابي لباقي القيم المأخوذة لتصبح القيمة الحرارية للوقود السائل على النحو الآتي: $I_p = 32333.33\ kJ\ /\ kg$

في حين أن مجال القيمة الحرارية للوقود السائل المثالي يتراوح بين: (وفقاً للدراسات المرجعية) [23].

$$I_p = 39.000 - 45.000\ kJ/kg$$

استناداً إلى الدراسات المرجعية [23]:

تم أخذ مواصفات التركيب الكيميائي للوقود السائل المثالي وقد تبين الآتي:

| | |
|---|---|
| $C^p: 85-87\%$ | $N^p: 0.1\%$ أقل من |
| $H^p: 12-13\%$ | $W^p: 1\%$ أقل من |
| $O^p: 1\%$ أقل من | $A^p: 0.1\%$ أقل من |
| $S^p: 0.05-0.5\%$ | |

$$C^p = 86\%\,,\ H^p = 12\%\,,\ O^p = 0.8\%\,, S^p = 0.3\%\,, W^p = 0.75\%$$
$$N^p = 0.08\%,\ A^p = 0.07\%$$

- حساب القيمة الحرارية الدنيا للوقود السائل المثالي $Q_b^p$:

$$I_p = 340C^p + 1035H^p - 109(O^p - S^p) - 25W^p$$
$$I_p = 340 * 86 + 1035 * 12 - 109(0.8 - 0.3) - 25 * 0.75$$
$$= 41586\ \text{kJ/kg}$$

## 6-5-1 المقارنة بين القيمة الحرارية للوقود السائل (الحالية والمثلى) لمحطة دير علي الحرارية:

بعد إجراء الدراسة التحليلية للوقود السائل (المازوت) من حيث المحتوى الحراري له، أخذين بعين الاعتبار التركيب الكيميائي للوقود السائل الحالي والوقود السائل المثالي، تبيَن لنا الجدول الآتي:

| نوع الوقود: المازوت | الوقود السائل الحالي | الوقود السائل الأمثل | **نسبة الزيادة في القيمة الحرارية** |
|---|---|---|---|
| $\mathbf{(kJ/kg)}\boldsymbol{I_p}$ | 32333.33 | 41586 | %28.63 |

يمثل الجدول (6-17) المقارنة بين المحتوى الحراري للوقود السائل الحالي والأمثل

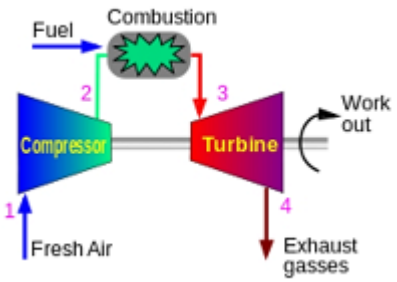
لمحطة دير علي الحرارية ونسبة الزيادة فيه

# الفصل السابع:

# الدراسة الترموديناميكية للعنفة الغازية المدروسة

## 1-7 الدراسة النظرية:[1]

### 1-1-7 العنفة الغازية البسيطة:




- الضاغط
- غرفة الاحتراق
- العنفة

الشكل (1-7) دارة العنفة الغازية البسيطة

يدخل الهواء الى الضاغط من فوهة الامتصاص ويرتفع ضغطه تدريجياً عبر مراحل الضاغط، وذلك بعد مروره على مصفاة الهواء لتخليصه من العوالق، ومن ثم يمر الهواء الخارج من الضاغط على غرفة الاحتراق، بحيث تحرق كمية من الوقود ثم تدخل غازات الاحتراق ذات درجة الحرارة والضغط العاليين الى العنفة الغازية فتتمدد فيها وتتحول الطاقة الموجودة في هذه الغازات الى عمل ميكانيكي يستخدم قسم منه لتشغيل الضاغط والقسم الآخر لتوليد الطاقة الكهربائية بواسطة المنوبة.

تقلع المجموعة الغازية بواسطة محرك إقلاع خاص من مهمته إيصال سرعة الدورات للعنفة الى الربع أو الثلث من السرعة الأسمية على الأقل.

يستهلك الضاغط أكثر من نصف الطاقة المنتجة وبسبب عدم إمكانية رفع درجة حرارة غازات الاحتراق عن حد معين، يكون مردود المجموعة الغازية منخفضاً إذا ما قورن بمردود الآلات الحرارية الأخرى.

### 2-1-7 الدراسة النظرية لدارة العنفة الغازية البسيطة:

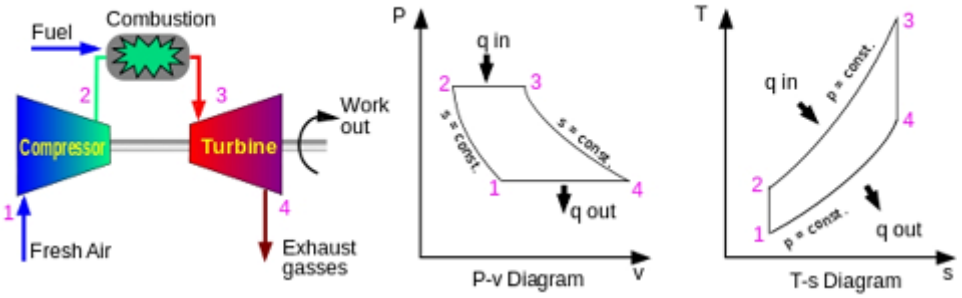
تتألف دارة العنفة الغازية البسيطة، كما هو موضح في الشكل (2-7)، من الإجراءات التالية:

1-2 اجراء انضغاط ايزونتروبي (اديباتي عكوس).

2-3 احتراق تحت ضغط ثابت.

3-4 تمدد ايزونتروبي (اديباتي عكوس).

4-1 طرح حرارة للوسط الخارجي تحت ضغط ثابت.




الشكل (2-7) الدورة الحراريَة للعنفة الغازية البسيطة

## 3-1-7 مردود الدارة البسيطة (النظرية):

يعبر عن المردود بالعلاقة التالية:

$$\eta_{th} = \frac{\tau}{Q} = \frac{Wt - Wc}{Q}$$

حيث أن:

$\tau$: العمل المفيد الناتج عن 1Kg من وسيط التشغيل الذي يحقق الدورة الحرارية.

$W_t$: العمل الناتج عن تمدد 1Kg من الغاز وفق الإجراء الايزونتروبي3-4.

$W_c$: العمل اللازم لإنضغاط 1Kg من الهواء وفق الإجراء الايزونتروبي1-2.

Q: كمية الحرارة المصروفة لتغيير درجة حرارة 1Kg من الهواء وفق منحني ثابت الضغط $P_2$ من الدرجة $T_2$ وفق التحول 2-3.

يمكن التعبير عن كل من Q, $W_t$, $W_c$ بتغيير انتالبي وسيط التشغيل.

حيث يتحدد الإنتالبي بالعلاقة:

$$H = U + P.V$$

P.V: الضغط والحجم النوعي لوسيط التشغيل.

U: الطاقة الداخلية لوسيط التشغيل والتي تعطى وفق قانون الترموديناميك الأول بـ:

$$dU= dW +Dq$$

بالتالي:

$$W_c = H_2-H_1$$

$$W_t=H_3-H_4$$

$$Q=H_3-H_4$$

وبالتالي يمكن كتابة علاقة المردود الحراري بالشكل التالي:

$$\eta th=\frac{(H3-H4)-(H2-H1)}{H3-H2} =1- \frac{H4-H1}{H3-H2}$$

ونعلم أن

$$H2-H1=\int_{T1}^{T2} Cp\ dt \ \ =Cp\ (T2-T1)$$

حيث:

Cp– الحرارة النوعية بثبوت الضغط.

Cv– الحرارة النوعية بثبوت الحجم.

$$\Upsilon=\frac{Cp}{Cv}$$

إن كلا من Cv وCp كذلك و$\gamma$ هي ثابتة بالنسبة للضغط ولدرجة الحرارة وبالتالي:

$$\eta th=\frac{(T3-T4)-(T2-T1)}{T3-T2} =1-\frac{T4-T1}{T3-T2}$$

إن قيم درجات الحرارة T3,T1معلومة، كذلك قيم كل من الضغوط $P_2,P_1$ وبالتالي يجب تحديد قيم كل من $T_4,T_2$ انطلاقا من القيم المعلومة.

يعبر عن الإجراءات الإيزونتروبية بقانون الحالة:

$$P.V = R.T$$

ونعلم أن: $P.V^k = const$

بالتالي: $\frac{T2}{T1} = \frac{T3}{T4} = \frac{P2}{P1}^{\frac{K-1}{K}}$

نعتبر أن: $\frac{P2}{P1} = m$ , $\frac{P2}{P1}^{\frac{K-1}{K}} = Z$

وبذلك نحصل على علاقات كل من Q ، $W_t$ ، $W_c$ ، بالشكل التالي:

$$W_c = C_p\,(T_2 - T_1) = C_p T_1 (Z-1)$$

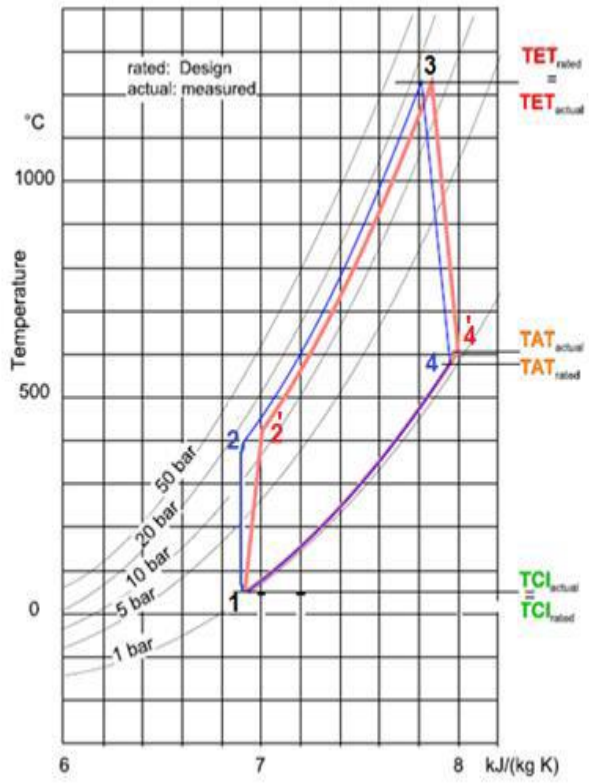
$$W_t = C_p\,(T_3 - T_4) = C_p T_3\,(1 - \frac{1}{Z})$$

$$Q = C_p\,(T_3 - T_2) = C_p\,(T_3 - Z\,T_1)$$

ومنه: $\eta th = 1 - \frac{\left[\frac{T3}{Z}\right] - T1}{T3 - ZT1} = 1 - \frac{1}{Z}$

نلاحظ أن مردود الدورة النظرية تابع فقط لنسبة الانضغاط m، بخلاف مردود الدورة الفعلية الذي سنجده تابع بالإضافة لتأثير نسبة الانضغاط الى تأثير مردودي الضاغط والعنفة وأيضاً الى درجة الحرارة $T_3$.

## 7-1-4 الدارة الفعلية للعنفة الغازية:




تختلف الدارة الفعلية (1-2/-3-4/) عن

الدارة النظرية (1-2-3-4)

بسبب الضياعات التالية:

1- يتم الانضغاط 1-2 بعملية ايزونتروبية ويزداد الانتالبي أثناء الانضغاط نتيجة الاحتكاك ويؤدي الى زيادة العمل اللازم لتشغيل الضاغط.

حيث يتم تحديد هذه الضياعات بواسطة المردود الايزونتروبي للضاغط.

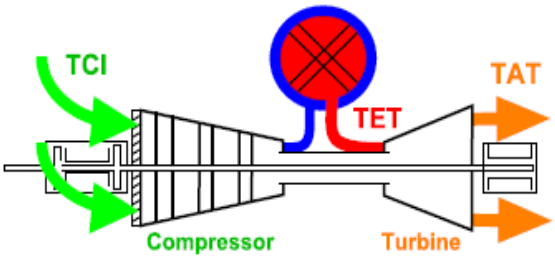
الشكل (3-7) تمثيل دورة جوُل على مخطط الأنتروبي للعنفة المدروسة

المردود الايزونتروبي = (العمل النظري للضاغط / العمل الفعلي للضاغط)

$$\eta c = \frac{H2-H1}{H2'-H1}$$

2- تؤدي الضياعات في العنفة الى ازدياد الانتروبي أثناء التمدد وانخفاض في عمل العنفة، بالتالي يكتب المردود الايزونتروبي للعنفة على الشكل التالي:

$$\eta T = \frac{H3-H4'}{H3-H4}$$




الشكل (4-7) دارة عنفة غازية ذات دارة مفتوحة تعمل وفق دورة جوُل

3- أثناء انسياب الغازات خلال غرفة الاحتراق يفقد جزء منها في الضاغط مما يؤدي الى انخفاض الضغط عند مدخل العنفة (النقطة 3) ليصبح أقل من الضغط عند مخرج الضاغط (النقطة 2).

4- تتغير الحرارة النوعية للوسط العامل (الهواء أو الغاز) بتغيير درجة الحرارة وبتغيير تكوينه بعد الاحتراق حيث يمكن إعتبار أن:

أثناء الانضغاط K=1.4

أثناء التمدد K=1.33

5- الضياعات أثناء عملية الاحتراق $\eta_{cc} = 0.99$

6-الضياعات الميكانيكية $\eta_m = 0.97$

## 2-7 مردود الدارة الفعلية:

- **العمل الفعلي للضاغط:** يعطى العمل الفعلي إذا أهملنا تغير الطاقة الحركية بين مدخل ومخرج الضاغط بالعلاقة:

$$H_2'-H_1 = \frac{Wc}{\eta c} = \frac{H2-H1}{\eta c}$$

ومن أجل غاز كامل:

$$H_2'-H_1 = \frac{Wc}{\eta c} = \frac{Cp1 \cdot T1}{\eta c}\ (\ -1) = \frac{Cp1 \cdot T1}{\eta c}\ .(Z-1)$$

$$T_2'-T_1 = \frac{Wc}{\eta} = \frac{T1}{\eta c}\ (\ \frac{T2}{T1}-1) = \frac{T1}{\eta c}\ .(Z-1)$$

- **العمل الفعلي للعنفة:** باهمال تغير الطاقة الحركية بين مدخل ومخرج العنفة نجد أن العمل الفعلي للعنفة يعطى بالعلاقة:

$$H_3-H_4' = \eta_t\ W_t = \eta_t\ (H_3-H_4)$$

ومن أجل غاز كامل:

$$H_3 - H_4' = \eta_t . C_{p3} . T_3 \left(1 - \frac{T4}{T3}\right) = \eta_t . C_{p3} . T_3 \left(1 - \frac{1}{Z}\right)$$

- **العمل المفيد:**

$$W_u = W_t - W_c$$

$$W_u = \eta_t . C_{p3} . \eta_m . T_3 \left(1 - \frac{1}{Z}\right) - \frac{Cp1 \cdot T1}{\eta m \cdot \eta c} .(Z-1)$$

- **كمية الحرارة المضافة الى غرفة الاحتراق:** إن كمية الحرارة المستفاد منها فعلاً من غرفة الاحتراق هي أقل من كمية الحرارة الناتجة عن احتراق الوقود بسبب الضياعات بالإشعاع والتوصيل.

يمكن تعريف مردود غرفة الاحتراق بالشكل الاتي [1]:

مردود غرفة الاحتراق = كمية الحرارة المستفاد منها فعليا في غرفة الاحتراق / كمية الحرارة المعطاة لدى احتراق الوقود

$$\eta_{cc} = \frac{H3 - H2'}{Ip \cdot \frac{1}{A}}$$

$\eta cc$: مردود غرفة الاحتراق.

$\frac{1}{A}$ : وزن الوقود من أجل 1KG من الهواء (A نسبة الهواء للوقود الفعلية).

Ip: القيمة الحرارية للوقود.

وبذلك مع اهمال كل من الطاقة الحركية عند مخرج الضاغط ومدخل العنفة كذلك اهمال كمية الوقود عند مدخل العنفة.

يمكن كتابة المعادلة على الشكل التالي:

$$\frac{Q2'3}{\eta cc} = \frac{H3 - H2'}{\eta cc} = \frac{Cp2 \cdot T3}{\eta cc} \left(1 - \frac{T2'}{T1} \cdot \frac{T1}{T3}\right)$$

ولدينا من المردود الإيزونتروبي للضاغط:

$$\frac{T2\prime}{T1} = 1+\frac{Z-1}{\eta c}$$

$$\frac{Q2\prime 3}{\eta cc} = \frac{Cp2\cdot T3}{\eta cc}\left(1-\frac{T1}{T3}\cdot\left(1+\frac{Z-1}{\eta c}\right)\right)$$

➢ **المردود الفعلي:**

يعطى المردود الحراري للدارة الفعلية بالشكل التالي:

$$\eta_{th}=\frac{Wu}{\frac{Q2\prime 3}{\eta cc}} = \frac{Wt-Wc}{\frac{Q2\prime 3}{\eta cc}}$$

$$\eta_{th}= \frac{\eta t\cdot Cp3\cdot\eta m\cdot T3\left(1-\frac{1}{Z}\right)-\frac{Cp1\cdot T1}{\eta m\cdot\eta c}\cdot(Z-1)}{\frac{Cp2\cdot T3}{\eta cc}\left[1-\frac{T1}{T3}\cdot\left(1+\frac{Z-1}{\eta c}\right)\right]}$$

نعتبر أن:

$$C_{p1}= C_{p2}= C_{p3}$$

$$\theta=\frac{T3}{T1}$$

$$Z= \frac{P2}{P1}^{\frac{K-1}{K}} = m^{\frac{K-1}{K}}$$

منه نستنتج أن المردود الحراري للدارة الفعلية يعطى بالعلاقة التالية:

$$\eta_{th,r}= \frac{\eta t\cdot\eta m\cdot\theta\left(1-\frac{1}{Z}\right)-\frac{1}{\eta m\cdot\eta c}\cdot(Z-1)}{\frac{1}{\eta cc}\left[\theta-1\cdot\left(1+\frac{Z-1}{\eta c}\right)\right]}$$

تدل العلاقة الأخيرة على أن مردود الدارة الفعلية يتعلق بدرجتي الحرارة T1 , T (أي بالنسبة $\theta$)، بالإضافة الى المردود الايزونتروبي والميكانيكي لكل من العنفة والضاغط، ومردود غرفة الاحتراق، وعامل ضياع الحمولة K، وبنسبة الانضغاط m وايضاً بالضياعات الميكانيكية.

$$\eta_{th,r}=F\ (m\ ,\theta\ ,k\ ,\eta_c\ ,\eta_t\ ,\eta_m\ ,\eta_{cc})$$

**تغير مردود الدارة الفعلية للعنفة الغازية البسيطة:**

1) تأثير درجتي الحرارة T3، T1 وبنسبة الانضغاط m:

يزداد المردود بازدياد النسبة $\theta=\frac{T3}{T1}$ من أجل نسبة انضغاط معينة.

من أجل قيمة معينة للنسبة $\theta=\frac{T3}{T1}$ توجد قيمة واحدة لنسبة الانضغاط يكون عندها المردود أعظمي.

2) تأثير مردودي العنفة والضاغط:

من المعلوم أن زيادة مردود العنفة 6% فإن مردود المنشأة يزداد بمقدار 20%، في حين أنه ينبغي زيادة مردود الضاغط بمقدار 10% للحصول على ذات مقدار الزيادة لمردود المنشأة، وبالتالي فإن مردود العنفة له أهمية أكبر من مردود الضاغط.

والجدير ذكره هنا أن نسبة العمل التي يستنفذها الضاغط من عمل العنفة كبير جداً، حيث تتراوح هذه النسبة بين (50−70%) والباقي هو العمل المفيد.

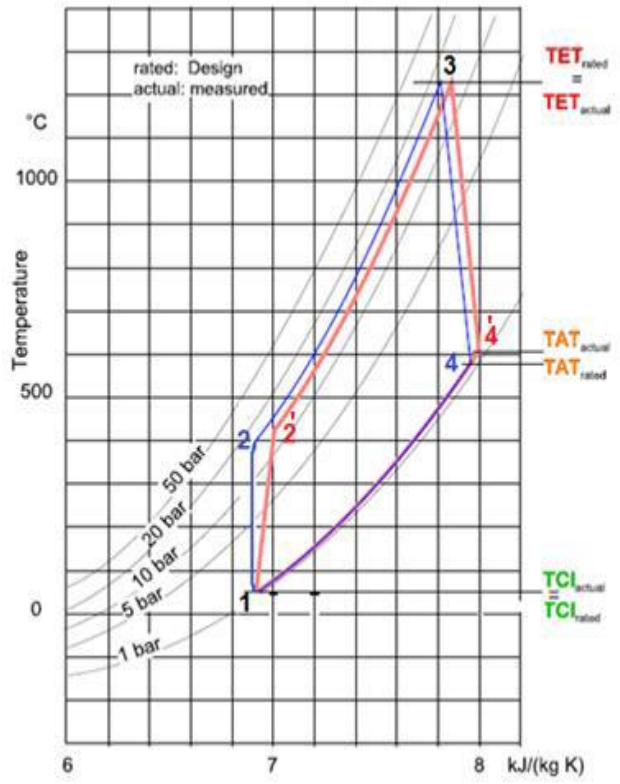
## 3-7 حساب مردود العنفة الغازية

### قيد الدراسة:

### 1-3-7 مردود الدورة النظرية للعنفة الغازية المدروسة:

الدارة الفعلية (1-2/-3-4/) الدارة النظرية (1-2-3-4)

لدينا المعطيات التالية مأخوذة من محطة ديرعلي الحرارية:




الشكل (3-7) تمثيل دورة جوُل على مخطط الأنتروبي للعنفة المدروسة

$$P_1 = 1bar\ ,\ T_1 = T_1' = 1515[°C]$$

$$P_2 = 17bar\ ,\ T_2' = 406[°C]$$

$$P_3 = 17bar,\ T_3 = T_3' = 1200[°C]$$

$$P_4 = 1bar,\ T_4' = 600[°C]$$

يعبر عن المردود بالعلاقة التالية:

$$\eta_{th} = \frac{Wt - Wc}{Q}$$

$$W_c = H_2 - H_1 = C_p\ (T_2 - T_1)$$

$$W_t = H_3 - H_4 = C_p\,(T_3 - T_4)$$

$$Q = H_3 - H_2 = C_p\,(T_3 - T_2)$$

نحن نعلم أن: $\frac{T2}{T1} = \frac{T3}{T4} = \frac{P2}{P1}^{\frac{K-1}{K}} = Z$

وبذلك نحصل على علاقات كل من Q، $W_t$، $W_c$ بالشكل التالي:

$$W_c = C_p\,(T_2 - T_1) = C_p T_1\,(Z-1)$$

$$W_t = C_p\,(T_3 - T_4) = C_p T_3\,(1 - \frac{1}{Z})$$

$$Q = C_p\,(T_3 - T_2) = C_p\,(T_3 - Z\,T_1)$$

وبالتالي يمكن كتابة علاقة المردود الحراري بالشكل التالي:

$$\eta_{th} = 1 - \frac{\left[\frac{T3}{Z}\right] - T1}{T3 - ZT1} = 1 - \frac{1}{Z}$$

ومنه فإن: $Z = \left(\frac{P2}{P1}\right)^{\frac{K-1}{K}} = \left(\frac{17}{1}\right)^{\frac{1\cdot4-1}{1\cdot4}} = 2.25$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{Z} = 1 - \frac{1}{2\cdot25} = 45\%$$

## 7-3-2 مردود الدورة الفعلية للعنفة الغازية المدروسة:

يعطى المردود الحراري للدارة الفعلية بالشكل التالي:

$$\eta_{th} = \frac{\eta t \cdot \eta m \cdot \theta \left(1-\frac{1}{Z}\right) - \frac{1}{\eta m \cdot \eta c} \cdot (Z-1)}{\frac{1}{\eta cc}\left[\theta - 1 \cdot \left(1+\frac{Z-1}{\eta c}\right)\right]}$$

حيث أن:

الضياعات أثناء عملية الاحتراق $\eta_{cc} = 0.99$

الضياعات الميكانيكية $\eta_m = 0.97$

$$\theta = \frac{T3}{T1} = \frac{1200}{15} = 80 \qquad , K = 1.4$$

$$Z = \left(\frac{P2}{P1}\right)^{\frac{K-1}{K}} = (m)^{\frac{K-1}{K}}$$

$$Z = \left(\frac{P2}{P1}\right)^{\frac{K-1}{K}} = \left(\frac{17}{1}\right)^{\frac{1\cdot4-1}{1\cdot4}} = 2.25$$

1) حساب المردود الفعلي للضاغط:

$$\eta_c = \frac{T1*(Z-1)}{T2'-T1} = \frac{(15+273)*(2\cdot25-1)}{(406+273)-(15+273)} = 92\%$$

2) حساب المردود الفعلي للعنفة:

$$\eta_t = \frac{T3-T4'}{T3*\left(1-\frac{1}{Z}\right)} = \frac{(1200+273)-(600+273)}{(1200+273)*\left(1-\frac{1}{2\cdot25}\right)} = 73\%$$

نعوض كل من قيم ($\eta_t$ ،$\eta_c$ ،$\eta_m$ ،$\eta_{cc}$ ، Z،θ) في علاقة مردود الدورة الفعلية للعنفة الغازية المدروسة:

$$\eta_{th,r} = \frac{\eta t \cdot \eta m \cdot \theta \left(1-\frac{1}{Z}\right) - \frac{1}{\eta m \cdot \eta c} \cdot (Z-1)}{\frac{1}{\eta cc}\left[\theta - 1 \cdot \left(1+\frac{Z-1}{\eta c}\right)\right]}$$

$$\eta_{th,r} = \frac{0{\cdot}73 * 0{\cdot}97 * 80 \left(1-\frac{1}{2{\cdot}25}\right) - \frac{1}{0{\cdot}97 * 0{\cdot}92} * (2{\cdot}25-1)}{\frac{1}{0{\cdot}99}\left[80 - 1 * \left(\frac{2{\cdot}25-1}{0{\cdot}92}\right)\right]} = 38\%$$

وبناءً على ارتفاع القيمة الحرارية للوقود الغازي $I_p$ :

أدى ذلك إلى ارتفاع قيمة مردود غرفة الاحتراق $\eta_{cc}$ ومن ثم حسابياً أخذين بعين الاعتبار والمردود الميكانيكي ومردود الضاغط ونسبة الانضغاط، نصل إلى حساب المردود الفعلي للعنفة الغازية المدروسة والذي قد وصل إلى 38%.

في حين المردود الحراري للعنفة الغازية كان سابقاً: 30-32%

## مناقشة النتائج:

### 1- حالة الوقود الغازي:

بناءً على الجدول (14-6) في الصفحة 150، والمتعلق بمقارنة التركيب للوقود الغازي، بين النموذج الموجود حالياً في محطة دير علي والنموذج المقترح برمجياً للمحطة، تبين النتائج التالية:

- الغاز الواصل إلى محطة دير علي الحرارية، يحتوي على نسبة 11.8% من البروبان، أما الغاز الناتج عن النموذج المقترَح لا يحتوي على نسبة عالية من البروبان 9.4% مما يجعله أخف.
- تم الحصول برمجياً: على مواصفات قياسية ومثلى للغاز الطبيعي والذي ينصح به لمحطة دير علي حرارية، والذي بناءً عليه تصل استطاعة العنفة الغازية الواحدة إلى $278\ MW$.

والذي يمتلك المواصفات المثالية التالية:

| المكون | H2S | Totale Sulpahte | CO2 | H2O | القيمة الحرارية |
|---|---|---|---|---|---|
| الحد الأعلى المسموح به: | 16.5 ppm | $115\ mg/m^3$ | 2%V | $65\ mg/m^3$ | 36,000 $kJ/m^3$ |

- كمية من كبريتيد الهيدروجين لا تتجاوز 16.5 ppm وكمية من الكبريتات (السلفات) لا تتجاوز $115\ mg/m^3$ وكمية من غاز ثنائي أوكسيد الكربون لا تتجاوز 2% من الحجم الكلي وقيمة حرارية للوقود للغازي لا تنقص عن $36{,}000\ kJ/m^3$.
- هناك فرق ملحوظ في الطاقة المستهلكة بين النموذجين الموجود حالياً والمقترح لمحطة دير علي الحرارية، حيث تم توفير ما يقارب 37% من الطاقة المستهلكة في النموذج التقليدي التي تساوي $1627.327\ kJ/s$ في حال استخدمنا النموذج الجديد.
- بعد دراسة الوقود الغازي وفق النموذج المدروس ضمن برنامج Aspen Tech HYSYS تبين الآتي:

- ارتفاع نسبة الميثان في الغاز الطبيعي إلى نسبة 55.09%
- انخفاض نسبة الإيثان في الغاز الطبيعي إلى نسبة 30.48%
- انخفاض نسبة البروبان في الغاز الطبيعي إلى نسبة 9.4%

- انخفاض نسبة البوتان في الغاز الطبيعي إلى نسبة 4.67%

- حرارياً للعنفة الغازية المدروسة SGT5-4000F:

ارتفاع في قيمة المردود الحراري الفعلي إلى 38%، وهي القيمة الأعظمية للعنفة الغازية المدروسة في محطة دير علي الحرارية، وذلك بعد أن كان قيمة المردود الحراري للعنفة الغازية لايتجاوز 33% صيفاً أو شتاءاً.

## 2- حالة الوقود السائل:

تم أيضاً دراسة الوقود السائل حسابياً وبناءً على النموذج المثالي له، قد وصلت القيمة الحرارية إلى $41586\ kJ/kg$. وإن التركيب الكيميائي المثالي للوقود السائل:

$$C^p = 86\%\ ,\ H^p = 12\%\ ,\ O^p = 0.8\%\ ,S^p = 0.3\%\ ,W^p = 0.75\%$$

$$N^p = 0.08\%,\ A^p = 0.07\%$$

إن نتائج الدراسة المقدمة أعلاه (دراسة الوقود الغازي والسائل)، تشير إلى أنه يمكن زيادة كفاءة محطة دير علي الحرارية، كما يمكن تعميم هذه الدراسة على كافة المحطات الحرارية في سورية.

## المقترحات والتوصيات:

- من الضروري إرسال الوقود الغازي والسائل لمحطة دير علي الحرارية بحالتهم المثالية بعد المعالجة، مما يجعل عمل المحطة قريب من الاستطاعة التصميمية ومن شأنه رفع الكفاءة الحرارية للمحطة إلى مايقارب الكفاءة التصميمية لها.
- التعمق بدراسة التركيبات الغازية والسائلة للوقود من خلال استقراء صحيح لسلوك المكامن الغازية للوصول لنتائج تسمح بتصفية الوقود بأعلى فاعلية له.
- ضرورة إجراء دراسات لوحدات المعالجة التي يتم تركيبها في الحقول النفطية والغازية، بحيث تراعي متطلبات المحطات الحرارية للوقود الأمثل.
- ضرورة وجود قاعدة بيانات لشبكات خطوط أنابيب نقل النفط والغاز، يتم تأسيسها بعد الانتهاء من وضع أي خطوط نقل جديدة، وتعتبر هذه القاعدة مرجعية للمقارنة مع عمليات المسح اللاحقة لمعرفة التغيرات التي تحصل على الوقود المنقول أثناء الأنابيب، في حال انخفض من محتواه الحراري.
- إجراء دراسة اقتصادية لحساب تكلفة منظومة تكرير الغاز الطبيعي باستخدام أبراج النزع، وحساب فترة استرداد رأس المال نتيجة زيادة الكفاءة الحرارية للمحطة.

# قائمة المراجع العلمية

## المراجع العربية:


1) د. جمال العباس، د. أحمد حميد، كتاب آلات حرارية (العنفات الغازية)- تاريخ النشر 2002-2003.

2) أنواع محطات توليد الطاقة الكهربائية/كهرباء العرب، تاريخ النشر 2015.

3) م.احمد حسن احمد " دراسة أداء محطة كهرباء بيجي الغازية الوحدة الأولى والثالثة "، مجلة تكريت للعلوم الهندسية، سنة 2010.

4) الأمانة العامة، أمانة مجلس الوزاري العربي للكهرباء، إدارة الطاقة، " دراسة حول تحليل التوسع المستقبلي الأمثل في استخدامات الوقود لمحطات توليد الطاقة الكهربائية للدول العربية، جامعة الدول العربية في مصر، تاريخ النشر 2021.

5) م. عباس هاشم كاظم، " كتاب طرق توليد الطاقة الكهربائية "، تاريخ النشر 2017.

6) م. شامان لورنس العفاش، " رفع كفاءة العنفات الغازية في شركة الفرات للنفط باسترجاع غازات العادم لتسخين الهواء الداخل إلى حجرة الاحتراق" أطروحة ماجستير بإشراف/الأستاذ الدكتور حسين تينة/، جامعة دمشق.

7) م.باسل عبد القادر، "تقييم عملية حقن البخار لإنتاج النفط الثقيل في أحد الحقول السورية"، جامعة البعث، إشراف: د.غادة الخضور عام 2022.

8) م.وليد الناصر، "دراسة نظرية لتأثير أنواع الوقود المختلفة على أداء محطة توليد الطاقة بالتوربينات الغازية المفتوحة"، الكويت، سنة النشر 2019.

9) م.محمد ياسر، "دراسة التأثيرات البيئية والاقتصادية لاستخدام الوقود الحيوي في محطات توليد الطاقة"، العراق، سنة النشر 2021.

10) د.ثائر فواز سلام، الوقود والزيوت المعدنية، تاريخ النشر 2019.

11) بيانات وقراءات محطة دير علي الحرارية.

## English References:

12) Mohammadi K, Khaledi MSE, Saghafifar M, Powell K. “Hybrid systems based on gas turbine combined cycle for trigeneration of power”, India, 14/4/2019.

13) Cappelletti A, Martelli F, Bianchi E, Trifoni E. “Numerical redesign of 100kw MGT combustor for 100% H2 fueling”, Japan, 15/3/2010.

14) Yang Y, Liu X, Zhang Z. “Large eddy simulation calculated flame dynamics of one F-Class gas turbine combusto”, 8/7/2012.

15) Kawasaki Heavy Industries L.t.d. Kawasaki develops low-NOx hydrogen-fueled gas turbine combustion technolgy, Japan, 2015.

16) Vignat G, Durox D, Prieur K, Candel S. “An experimental study into the effect of injector pressure loss on self-sustained combustion instabilities in a swirled spray burner”, 29/2/2016.

17) Zhang C, Shen X, Wen JX, Xiu G. “The behavior of methane/hydrogen/air premixed flame in a closed channel with inhibition ,21/6/2017.

18) Bolland O, Stadaas JF. “Comparative evaluation of combined cycles and gas-turbine systems with water injection, steam injection, and recuperation”, 22/3/2012.

19) Cappelletti A, Martelli F. “Investigation of a pure hydrogen fueled gas turbine burner”,Japan, 14/2/2019.

20) Li J, Huang H, Huhetaoli Osaka Y, Bai Y, Kobayashi N, et al. “Combustion and heat release characteristics of biogas under hydrogen- and oxygen enriched condition”, 11/5/2018.

21) Gobbato P, Masi M, Toffolo A, Lazzaretto, “A. Numerical simulation of a hydrogen fuelled gas turbine combustor”, 9/1/2011.

22) Gökalp I, Lebas E. “Alternative fuels for industrial gas turbines (AFTUR), Germany”, 4/9/2016.

23) Candel, Luis, “Study of solid, liquid and gaseous fuels with their chemical compositions and pollutants”, Britain, 9/8/2016.

24) Tomas, Rafael, “Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)”, USA, 2018.

25) M.M. Rahman, M.Y. Taib, A.R. Ismail, A.R. Yusoff, and M.A.M. Romlay, “Effects of Operating Conditions on the Performance of a Gas Turbine Power Plant”, Malaysia, 2010.

26) Rainer Kurz, Klaus Brun, Cyrus Meher-Homji, Jeff Moore and Francisco Gonzalez, "Gas Turbine Performance and Maintenance", USA, 2013.

# Summary of practical Research

Given the importance of electrical energy as a vital and essential natural resource for life, and as the basis for urban development, agricultural growth, and industrial progress, where most factories in the country rely on electrical energy as a primary operating force, it was necessary to search for the optimal chemical composition of the fuel used in power plants to achieve the highest possible efficiency, taking into account the impact of other factors such as combustion chambers and their efficiency.

A systematic research plan was developed, guided by previous reference studies related to fuel types. Then, contact was made with the Faculty of Petrochemical Engineering at Al-Baath University to benefit from doctoral and master's theses related to this topic, and to utilize Iraqi and Gulf experiences to determine the optimal formula for liquid and gaseous fuels.

Additionally, contact was made with the Deir Ali thermal power plant through engineers and experts there, to be the proposed study model for the thesis. Subsequently, all specifications related to steam and gas turbines were reviewed through daily inspection tables at the plant.

Contact was also made with the Syrian Ministry of Oil to obtain specifications of Syrian gaseous fuel and oil fields in Syria, through production quantities and specifications of gaseous and liquid fuel reaching the Deir Ali plant via the Arab gas pipeline.

After collecting the required information, the fuel used by the Deir Ali thermal power plant was studied, and the capacity of the gas turbine studied, which belongs to the German company Siemens, was determined based on the actual capacity of the turbine according to the type and quantity of fuel used. Then, tables were created for the actual capacity of the turbine over the past year by month and day.

To improve the performance of the Deir Ali thermal power plant, the optimal formula for the type of gaseous fuel required was determined, where it was found possible to

separate propane and ethane components from natural gas to increase the methane ratio. For this purpose, an algorithm was developed for calculation using Aspen Tech HYSYS software.

A comparison was made between the existing fuel at the plant and the ideal gaseous fuel that provides the highest thermal efficiency for the plant based on the thermodynamic properties calculated by the software. The required results were then extracted to be utilized in other thermal power plants in Syria, aiming to achieve the highest possible thermal efficiency for these plants.

The liquid fuel reaching the Deir Ali thermal power plant was also studied computationally, and after finding the optimal formula, it was found possible to increase its calorific value.

As a result, the thermal efficiency of the gas turbine at the Deir Ali thermal power plant was increased.

SYRIAN Arab Republic
Ministry of Higher Education and Scientific Research
Damascus University
Faculty of Mechanical & Electrical Engineering
Department of General Mechanical

# The Effect of Fuels used on the Efficiency of Power Plants in Syria – A Case Study of the Deir Ali Thermal Power Plant

A Thesis Prepared to Earn the Degree of Master in Thermal Engineering

**By**

**Eng. Mohammed Rafat AL Qseibati**

**Scientific Superintendent**

**Dr. Jamal Al-Abbas**

**Professor in Mechanical Department - Faculty of Mechanical & Electrical Engineering - Damascus University**.

Damascus 2024