



الجمهورية الجزائرية
الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
المدرسة العليا لأساتذة
التعليم التكنولوجي - سكيكدة -



قسم التكنولوجيا

التخصص: هندسة ميكانيكية

مذكرة التخرج لنيل شهادة أستاذ التعليم
الثانوي

دراسة حرارية ورقمية لمحطة توليد الطاقة
البخارية تعمل بدورة تسخين مياه التغذية
المفتوحة

من اعداد:

• حبي إبراهيم

تحت اشراف الاستاذ:

• بن صانع توفيق

لجنة المناقشة:

• رئيسا: مريمش إيمان

• مشرفا: بن صانع توفيق

• ممتحنا: بوهالي ريمة

الرتبة

أستاذ مساعد ب

أستاذ محاضراً

أستاذ محاضر ب

السنة الجامعية 2024 / 2023

شكر و عرفان

الحمد لله الذي بفضلہ تتم الأمور وتكمل المساعي، وبتوفيقه ومعونته يتخطى العبد العقبات والصعاب
أودّ أن أتقدم بجزيل الشكر والتقدير للأستاذ المشرف " بن صانع توفيق"، على جهوده المبذولة وسعة صدره معي طيلة
فترة إعداد هذه المذكرة فقد كان له فضل عظيم في توجيهي وتزويدي بالمعلومات الكافية لإثراء محتوى المذكرة.
كما أتوجه بالشكر الجزيل إلى أعضاء لجنة المناقشة، الأستاذة "مريمش إيمان" والأستاذة "بوهالي ريمة"، على قبولهم
لمناقشة هذا العمل المتواضع، وإثراءه بتعليقاتهم القيمة ونصائحهم البناءة .

و أخيرا اقول للعملِ أناسٌ يُقدِّرونَ معناه، وللنجاحِ أناسٌ يحصدونه فكلّما ازدادت الجهود اتسعت الآفاق، وكلّما
تضافرت الأيدي ارتفعت الأهداف لذا نُكرِّرُ شكرنا وتقديرنا لكلّ من ساهمَ في رحلتنا، ونُثني على كلّ من بنا دعمنا
و أخص بالذكر العائلة والأصدقاء الذين وقفوا بجانبني وشجّعوني في كل خطوة من خطوات إنجاز هذه المذكرة

الأهداء

إلى أعز الناس وأقربهم إلى قلبي

إلى والديّ اللذان كانا عوناً وسنداً لي ، وكان لدعائهما المبارك أعظم الأثر...

إلى المحبة التي لا تنضب ... والخير بلا حدود ... إلى من شاركتهم كل حياتي إخوتي

إلى من كانوا عوناً لي في أوقات الشدة... إلى من كانوا عائلتي الثانية....

إلى أصدقائي و أخص بالذكر "ماموني بشير" و الأخوين "بن ضحوى" و "بن خيرة عبد الله"

ملخص

تُعدّ محطات الطاقة البخارية من أهم مصادر توليد الطاقة الكهربائية في العالم تُعتمد هذه المحطات على دورات حرارية لتحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية تُعدّ دورة تسخين مياه التغذية المفتوحة إحدى الدورات الشائعة و المستخدمة في محطات الطاقة البخارية تُركز هذه الدراسة على تحليل دورة تسخين مياه التغذية المفتوحة في محطة بخارية بشكلٍ حراريّ ورقميّ كما تهدف إلى تقييم كفاءة الدورة وتحديد فرص تحسينها.

الكلمات المفتاحية: محطة توليد الطاقة البخارية، دورة تسخين مياه التغذية المفتوحة، سخان مياه التغذية، الكفاءة الحرارية

Résumé

Les centrales thermiques à vapeur Parmi les sources les plus importantes de production d'électricité dans le monde, ces centrales s'appuient sur des cycles thermodynamiques pour convertir l'énergie thermique en électricité.

Le cycle de réchauffage ouvert de l'eau d'alimentation est l'un des cycles les plus courants et utilisés dans les centrales à vapeur.

Cette étude se concentre sur l'analyse thermodynamique et numérique du cycle de réchauffage ouvert de l'eau d'alimentation dans une centrale à vapeur elle vise également à évaluer l'efficacité du cycle et à identifier les opportunités d'amélioration.

Mots-clés: Centrale électrique à vapeur, cycle de réchauffage ouvert de l'eau d'alimentation, réchauffeur d'eau d'alimentation, rendement thermique

Summary

Steam power plants are among the most important sources of electricity generation in the world these plants rely on a thermodynamic cycle to convert thermal energy into electrical energy.

The open feedwater heating cycle is a common cycle used in steam power plants; this study focuses on analyzing the open feedwater heating cycle in a steam power plant thermodynamically and numerically. It also aims to evaluate the cycle's efficiency and identify opportunities for improvement.

Keywords: Steam power plant, Open feedwater heating cycle, Feedwater heater, Thermal efficiency

1	مقدمة عامة
الفصل الأول : أهم أنواع محطات توليد الطاقة الحرارية	
2	1.1 مقدمة
2	2.1 محطات توليد الطاقة الكهربائية
3	1.2.1 المحطات المعتمدة على مصادر الطاقات المتجددة
9	3.1 محطات توليد الطاقة غير المتجددة
9	1.3.1 محطة توليد الطاقة بمحركات الديزل
11	2.3.1 محطة توليد الطاقة النووية
12	3.3.1 محطة توليد الطاقة الغازية
17	4.1 الخاتمة
الفصل الثاني : دراسة نظرية و ترموديناميكية لمحطة توليد الطاقة الغازية و البخارية	
18	1.2 مقدمة
18	2.2 دراسة نظرية و ترموديناميكية لمحطة توليد الطاقة الغازية
18	1.2.2 حلقة برايثون المثالية النظرية
19	2.2.2 دورة برايتون الحقيقية
22	3.2 محطات توليد الطاقة البخارية
22	1.3.2 مكونات محطات التوليد البخارية
27	2.3.2 دراسة نظرية و ترموديناميكية لمحطة توليد الطاقة البخارية
47	4.2 الخاتمة
الفصل الثالث : دراسة حرارية و نظرية لمحطة توليد الطاقة البخارية تعمل بدورة تسخين مياه التغذية المفتوحة	
48	1.3 مقدمة

48	2.3 تسخين مياه التغذية
48	3.3 سخان مياه التغذية
49	1.3.3 أنواع سخان مياه التغذية
54	4.3 دراسة ترموديناميكية لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة
58	5.3 دراسة ترموديناميكية لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة مزودة بسخانين مياه التغذية
60	6.3 أنواع مخططات و حلقات مياه التغذية المفتوحة مع إعادة التسخين
60	1.6.3 دورة مياه التغذية المفتوحة مع إعادة التسخين
63	2.6.3 دورتين مياه التغذية المفتوحة مع إعادة التسخين
64	7.3 الخاتمة
	الفصل الرابع : دراسة رقمية لمحطة توليد الطاقة البخارية تعمل بدورة تسخين مياه التغذية المفتوحة
65	1.4 مقدمة
65	2.4 التعريف بالمحاكي المستخدم cycle pad
67	3.4 دراسة رقمية لمحطة بخارية تعمل بدورة رانكين البسيطة
72	4.4 دراسة رقمية لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة
73	جدول 4.4. خصائص محطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة
78	5.4 دراسة رقمية لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة مزودة بسخانين مياه التغذية
83	6.4 دراسة رقمية لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة مع إعادة التسخين
88	7.4 الخاتمة
89	خاتمة عامة
90	قائمة المراجع

قائمة الأشكال

-
- 4 الشكل 1.1. يوضح أنظمة المستقبل المركز (Central receiver system)
- 5 الشكل 1.2. يوضح احواض توليد الطاقة الشمسية
- 5 الشكل 1.3. يوضح الانبوب الموجود في احواض توليد الطاقة الشمسية
- 7 الشكل 1.4. يوضح توربين هوائي
- 8 الشكل 1.5. يوضح محطة توليد الطاقة المائية
- 10 الشكل 1.6. يبين نظام توزيع الوقود في محرك الديزل
- 12 الشكل 1.7. يوضح محطة الطاقة النووية
- 13 الشكل 1.8. نموذج لتوربين غازي
- 14 الشكل 1.9. مخطط توربينات الغاز الدورة المفتوحة
- 15 الشكل 1.10. مخطط توربينات الغاز الدورة المغلقة
- 18 الشكل 1.2. حلقة برايثون المثالية
- 19 الشكل 2.2. دورة برايثون الحقيقية
- 22 الشكل 3.2. يوضح الأجزاء الرئيسية لمحطة الطاقة الحراري
- 23 الشكل 4.2. يوضح غلاية مواسير اللهب
- 24 الشكل 5.2. يوضح غلاية مواسير المياه
- 25 الشكل 6.2. يوضح توربين التصادم
- 26 الشكل 7.2. يوضح توربين الفعل
- 27 الشكل 8.2. يوضح المولد الكهربائي
- 32 الشكل 9.2. يمثل مخطط تغير الطور في الاحداثيات T-V
- 33 الشكل 10.2. يمثل مخطط تغير الطور في الاحداثيات T-V عند ضغوط مختلفة
- 35 الشكل 11.2. يمثل مخطط تغير الطور
- 36 الشكل 12.2. يوضح دورة كارنو المثالية

38	الشكل.13.2 يوضح حلقة رانكين المثالية
40	الشكل.14.2 يوضح دورة رانكين الفعلية البسيط
41	الشكل.15.2 يوضح حيود دورة رانكين الفعلية (الحقيقية) عن الدورة المثالية
42	الشكل.16.2 يوضح تأثير انخفاض ضغط المكثف
43	الشكل.17.2 يوضح تأثير تسخين البخار الى درجة حرارة اعلى
44	الشكل.18.2 يوضح تأثير زيادة ضغط الغلاية
44	الشكل.19.2 يوضح حلقة إعادة التسخين
46	الشكل.20.2 يوضح حلقة دورة الاسترجاع
46	الشكل.21.2 يوضح المخطط الكتلي للدورة
48	الشكل.1.3 يوضح مبادل حراري
49	الشكل.2.3 دورة تسخين مياه التغذية المفتوحة
50	الشكل.3.3 يوضح مداخل ومخارج سخان مياه التغذية المفتوحة
51	الشكل.4.3 دورة تسخين مياه التغذية المغلقة
52	الشكل.5.3 يوضح مداخل ومخارج سخان مياه التغذية المغلقة
53	الشكل.6.3 يوضح مخطط رانكين لدورة تسخين مياه التغذية المغلقة
54	الشكل.7.3 يوضح مصيدة البخار Steam trap
54	الشكل.8.3 مخطط يوضح محطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة
55	الشكل.9.3 حلقة لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة
58	الشكل.10.3 مخطط مياه التغذية المفتوحة مزودة بسخانين مياه التغذية
59	الشكل.11.3 حلقة مياه التغذية المفتوحة مزودة بسخانين مياه التغذية
61	الشكل.12.3 مخطط مياه التغذية المفتوحة مع إعادة تسخين
62	الشكل.13.3 حلقة لدورة مياه التغذية المفتوحة مع إعادة تسخين
63	الشكل.14.3 مخطط دورتين مياه التغذية المفتوحة مع إعادة التسخين
64	الشكل.15.3 حلقة لدورتين مياه التغذية المفتوحة مع إعادة التسخين

65	الشكل.1.4 يوضح واجهة المحاكي
66	الشكل.2.4 يوضح أيقونات المحاكي
67	الشكل.3.4 يوضح مخطط دورة رانكين المثالية
68	الشكل.4.4 يوضح حلقة رانكين المثالية البسيطة
68	الشكل.5.4 يوضح حالة الغلاية
69	الشكل.6.4 يوضح حالة المكثف
70	الشكل.7.4 يوضح حالة التوربين
70	الشكل.8.4 يوضح حالة المضخة
72	الشكل.9.4 مخطط يوضح محطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة
73	الشكل.10.4 مخطط دورة لمحطة بخارية مزودة بمياه التغذية المفتوحة
74	الشكل.11.4 يوضح حالة سخان مياه التغذية
75	الشكل.12.4 يوضح حالة المضخة
77	الشكل.13.4 يوضح الحلقة في مخطط T-S
77	الشكل.14.4 منحنى يوضح تغيرات الضغط بدلالة الكفاءة
78	الشكل.15.4 مخطط مياه التغذية المفتوحة مزودة بسخانين مياه التغذية
79	الشكل.16.4 مخطط دورة لمحطة بخارية مزودة بسخانين مياه التغذية
81	الشكل.17.4 يوضح مخطط الحلقة
81	الشكل.18.4 يوضح منحنى تغيرات الكفاءة بدلالة الضغط
83	الشكل.19.4 مخطط مياه التغذية المفتوحة مع إعادة التسخين
84	الشكل.20.4 مخطط دورة لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة مع إعادة التسخين
86	الشكل.21.4 يوضح الحلقة في مخطط T-S
86	الشكل.22.4 يوضح منحنى يوضح تغيرات الضغط بدلالة الكفاءة
87	الشكل.23.4 يوضح منحنى تغيرات الكتلة بدلالة الكفاءة

قائمة الجداول

29	جدول 1.2. قيم الحجم النوعي بدلالة درجة الحرارة والضغط
29	جدول 2.2. قيم الطاقة الداخلية بدلالة درجة الحرارة والضغط
30	جدول 3.2. قيم الأنتالبي بدلالة درجة الحرارة والضغط
30	جدول 4.2. قيم الأنتروبي بدلالة درجة الحرارة والضغط.
31	جدول 5.2. البخار المحمص عند درجة حرارة 45.81 وضغط 0.01
31	جدول 6.2. البخار المحمص عند درجة حرارة 81.33 وضغط 0.05
67	جدول 1.4. خصائص محطة بخارية تعمل بدورة رانكين البسيطة
71	جدول 2.4. يوضح نتائج كل من الحجم الأنتروبي و الأنتالبي و الطاقة الداخلية
72	جدول 3.4. يوضح قيم العمل الصافي كمية الحرارة و الكفاءة
73	جدول 4.4. خصائص محطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة
76	جدول 5.4. يوضح نتائج كل من الحجم الأنتروبي و الأنتالبي و الطاقة الداخلية
78	الجدول 6.4. يوضح قيم العمل الصافي كمية الحرارة و الكفاءة
79	جدول 7.4. خصائص لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة مزودة بسخانين مياه التغذية
80	جدول 8.4. يوضح نتائج كل من الحجم الأنتروبي و الأنتالبي و الطاقة الداخلية
82	الجدول 9.4. يوضح قيم العمل الصافي وكمية الحرارة و الكفاءة
82	الجدول 10.4. يوضح قيم العمل الصافي وكمية الحرارة و الكفاءة بعد تخفيض ضغط المكثف
83	الجدول 11.4. خصائص محطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة مع إعادة التسخين
85	الجدول 12.4. يوضح نتائج كل من الحجم الأنتروبي و الأنتالبي و الطاقة الداخلية
87	الجدول 13.4. يوضح قيم العمل الصافي وكمية الحرارة و الكفاءة
87	الجدول 14.4. يوضح قيم العمل الصافي وكمية الحرارة و الكفاءة

قائمة الرموز

h : المحتوى الحراري

C_p : الحرارة النوعية تحت ضغط ثابت

dt : الفرق في درجة الحرارة

Q : كمية الحرارة

S : الأنثروبي

Z : السمتم

W_{comp} : عمل الضاغط

Q_{supp} : كمية حرارة الدخل

W_{tur} : عمل التوربين

W_{net} : العمل الصافي

η_{th} : الكفاءة الحرارية

$\eta_{isen(T)}$: كفاءة ثابت القصور الحراري للتوربين

$\eta_{isen(C)}$: كفاءة ثابت القصور الحراري للضاغط

Q_{out} : كمية حرارة الخرج

W_{pump} : عمل المضخة

P_{fw} : ضغط سخان مياه التغذية

P_R : ضغط إعادة التسخين

W_{HPt} : عمل التوربين عالي الضغط

W_{LPt} : عمل التوربين منخفض الضغط

v_f : الحجم النوعي للماء المشبع المناظر لدرجة حرارة التشبع

v_g : الحجم النوعي للبخر المشبع المناظر لدرجة حرارة التشبع

u_f : الطاقة الداخلية للماء المشبع المناظر لدرجة حرارة التشبع

u_g : الطاقة الداخلية للبخر المشبع المناظر لدرجة حرارة التشبع

h_f : انتالبي الماء المشبع المناظر لدرجة حرارة التشبع

h_g : انتالبي البخر المشبع المناظر لدرجة حرارة التشبع

s_f : انتروبي الماء المشبع المناظر لدرجة حرارة التشبع

s_g : انتروبي البخر المشبع المناظر لدرجة حرارة التشبع

s_{fg} : الفرق بين انتروبي البخر المشبع و الماء المشبع

مقدمة عامة

تشكل الطاقة الكهربائية عصب الحياة في العصر الحديث، حيث تُعدّ ضرورية لتشغيل مختلف القطاعات الحيوية ولذلك، يشهد الطلب على الطاقة الكهربائية ازدياداً مطرداً على مستوى العالم، خاصة في الدول المتقدمة والنامية ومع ازدياد الطلب على هذه الطاقة، تزداد الحاجة إلى تحسين كفاءة محطات توليدها، خاصة محطات الطاقة البخارية التي تُعدّ المصدر الرئيسي للكهرباء في العديد من الدول.

تُقدم دورة سخانات مياه التغذية حلاً ذكياً لتحسين كفاءة محطات الطاقة البخارية تعمل هذه السخانات على تسخين الماء قبل دخوله إلى المرجل، مما يُقلل من استهلاك الوقود ويُحسّن من كفاءة تحويل الطاقة الحرارية إلى كهربائية وبشكل عام، تُساهم سخانات مياه التغذية في تحسين كفاءة محطات الطاقة البخارية بشكل كبير، ممّا يُعدّ خطوة هامة نحو مستقبل أكثر استدامة وكفاءة في مجال الطاقة. وانطلاقاً مما تقدم في هذه المذكرة تطرقنا الى أربعة فصول:

الفصل الأول : أهم أنواع محطات توليد الطاقة الحرارية

في هذا الفصل تعرفنا على أنواع محطات توليد الطاقة الحرارية و نظام عملها ومزايا وعيوب كل محطة.

الفصل الثاني : دراسة نظرية و ترموديناميكية لمحطة توليد الطاقة الغازية و البخارية

في هذا الفصل قمنا بدراسة حرارية لمحطة توليد الطاقة الغازية كما و تعرفنا على محطة توليد الطاقة البخارية بشكل مفصل و قمنا بدراستها حرارياً و معرفة طرق تحسينها.

الفصل الثالث : دراسة حرارية و نظرية لمحطة توليد الطاقة البخارية تعمل بدورة تسخين مياه التغذية المفتوحة

تطرقنا في هذا الفصل الى مفاهيم سخان مياه التغذية بدءاً من دوره وصولاً الى انواعه المختلفة كما وقمنا بدراسة حرارية لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة بتحليل اداءها.

الفصل الرابع : دراسة رقمية لمحطة توليد الطاقة البخارية تعمل بدورة تسخين مياه التغذية المفتوحة

تطرقنا في هذا الفصل الى استعمال برنامج cyclepad لتحليل اداء محطة بخارية تعمل بدورة مياه التغذية المفتوحة و مقارنة كفاءتها مع باقي انواع الدورات.

الفصل الأول

أهم أنواع محطات توليد الطاقة الحرارية

1.1 مقدمة

تعد الطاقة الكهربائية الشريان الحيوي لتسيير الأعمال اليومية للمجتمعات في عصرنا هذا. ويتزايد الطلب على هذه الكهرباء في جميع أنحاء العالم بصورة مستمرة وتصل معدل هذه الزيادة الى 8% في الدول المتقدمة و25% في الدول النامية.

لتلبية احتياجاته للطاقة، يعمل الإنسان على استغلال الموارد الطبيعية المتوفرة حوله وتحويلها إلى طاقة كهربائية تختلف مصادر الطاقة الكهربائية المستخدمة من منطقة لأخرى وذلك بناءً على توافر الطاقات الطبيعية وتقنيات الاستغلال المتاحة.

بعد أن أدرك الإنسان خطورة هذه المصادر الجديدة وتأثيرها السلبي على البيئة وحوادث الكوارث، بدأ في البحث عن بدائل مستدامة، والتي تعرف بالطاقات البديلة وتشمل هذه الطاقات طاقة الرياح والطاقة الشمسية وطاقة المد والجزر والطاقة الجوفية تعتبر هذه الطاقات هي الأكثر أهمية حاليًا في مجال استدامة وحماية البيئة.

تصنف المصادر الطاقية إلى ثلاث أصناف رئيسية : طاقة طبيعية متجددة، طاقة قابلة للاسترجاع، وطاقة غير متجددة تعتبر الطاقة الشمسية والطاقة الهوائية والطاقة المائية وطاقة المد والجزر أمثلة على المصادر الطاقية المتجددة. بالمقابل، تعتبر المحروقات والتي تشمل أنواع مثل الفحم الحجري، النفط والغاز الطبيعي، بالإضافة إلى الطاقة النووية مصادر طاقة غير متجددة. يتم استخراج جميع هذه المواد من الأرض وتُعتبر الكميات المخزنة منها في الأرض معروفة تقريبًا.

2.1 محطات توليد الطاقة الكهربائية

يتم تصنيف المحطات الى ماهية عمليات التحويل في الطاقة فيكون تصنيفها كالآتي:

✓ محطات القدرة المعتمدة على مصادر الطاقات المتجددة

✓ محطات توليد الطاقة النووية

✓ محطات توليد الطاقة محركات الديزل

✓ محطات توليد الطاقة الكهرومائية

✓ محطات توليد الطاقة الغازية

✓ محطات توليد الطاقة البخارية . [1]

1.2.1 المحطات المعتمدة على مصادر الطاقات المتجددة

1.1.2.1 محطة الطاقة الشمسية

الشمس نجم عظيم يزود الأرض بأغلب طاقتها، ترسل إلينا اشعاعات كهرومغناطيسية تصلنا نسبة قليلة من هذه الاشعاعات 1% فقط كطاقة شمسية على كل متر مربع من الأرض فوق السحب وتبلغ قيمتها 1350 واط ، وعند مستوى سطح الأرض يضعف هذا المقدار ليصل الى متوسط 100 واط.

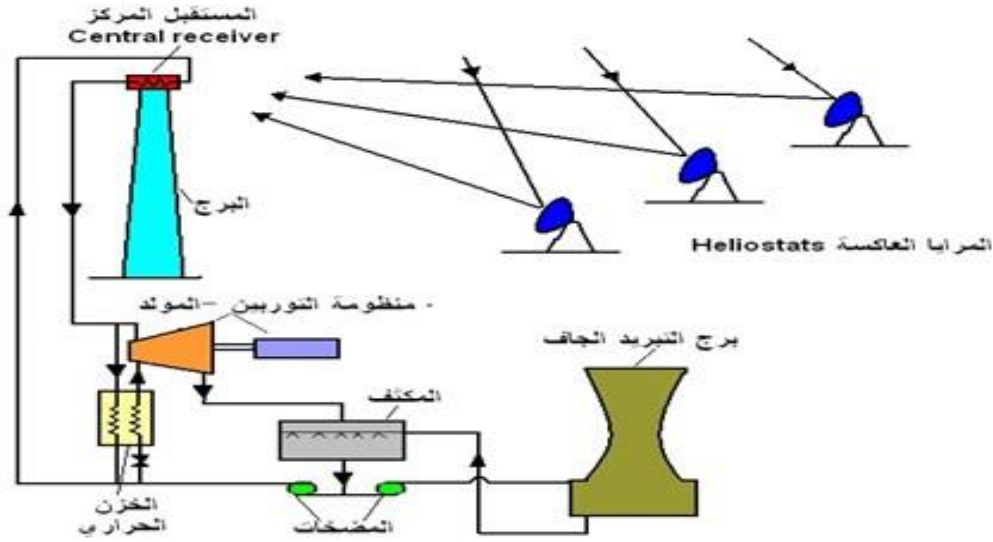
على الرغم من ذلك، فإن كمية الطاقة الشمسية التي تصل الأرض سنوياً تفوق الطاقة المخزونة في الوقود الأحفوري بمقدار 5 إلى 10 أضعاف يمكننا الاستفادة من هذه الطاقة بطرق عديدة، إما عن طريق استخدامها مباشرةً للتدفئة أو عن طريق تحويلها إلى كهرباء باستخدام التقنيات الحديثة وتعتبر الألواح الشمسية التي تحول ضوء الشمس إلى كهرباء مباشرةً من أكثر الطرق شيوعاً لاستغلال الطاقة الشمسية للإضاءة وغيرها هناك أيضاً العديد من الأنظمة الأخرى التي تساعدنا على الاستفادة القصوى من طاقة الشمس النظيفة والمستدامة نذكر منها :

أ- أنظمة المستقبل المركز (Central receiver system)

تعتمد أنظمة المستقبل المركزية على شبكة من المرايا تسمى الهيليوستات تتبع حركة الشمس بدقة، وتُركز أشعتها على خزان حراري مرتفع حيث يُظهر (الشكل 1.1) توضيحاً مبسطاً للنظام، يتحكم حاسوب ذكي في حركة المرايا لضمان تركيز أشعة الشمس على الخزان بأعلى كفاءة ممكنة. ويمكن استخدام هذا النظام بطريقتين:

طريقة مباشرة : ويتم تسخين سائل داخل الخزان الحراري مباشرةً بفعل أشعة الشمس المركزة حيث يتبخر السائل الساخن، ويتجه بخاره نحو توربين يدور لتوليد الطاقة الكهربائية.

طريقة غير مباشرة : يتم فيها استخدام سائل ذات ضغط عالٍ مثل الزيت أو الهيدروكربونات الفلورية أو الملح الصخري المذاب وتتميز هذه السوائل بقدرتها على تحمل درجات حرارة مرتفعة دون أن تتبخر؛ بحيث يتم تسخين السائل عالي الضغط داخل خزان حراري بينما يتواجد سائل آخر سهل التبخر في مبادل حراري؛ يتبخر هذا الأخير في المبادل الحراري والذي يتم استخدامه لتدوير التوربين لينتج الطاقة الكهربائية. [1]



الشكل 1.1. يوضح أنظمة المستقبل المركزي (Central receiver system)

ب- أحواض توليد الطاقة الشمسية

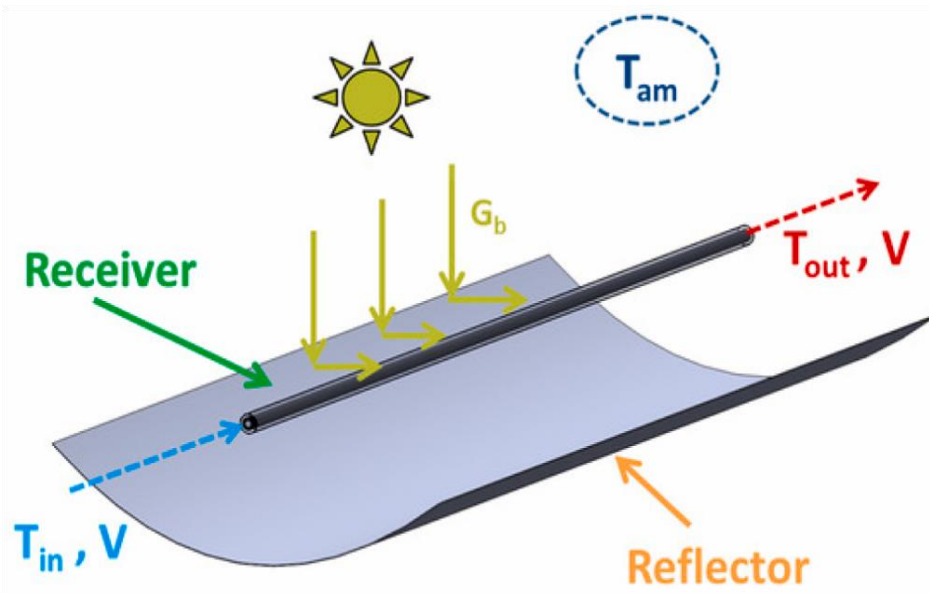
مبدأ العمل

هذا الحوض العاكس الذي في الشكل (الشكل 2.1) يركز أشعة الشمس على أنبوب (الشكل 3.1) والذي يمر به سائل معزول بفرغ لكي لا تتسرب الحرارة منه الحرارة في منطقة التركيز ترتفع 105 ضعف حرارة الشمس العادية السائل في الانبوب محاط بفرغ لتفادي فقد الحرارة وطبقات شفافة لا تحجب الشمس.

لرفع الكفاءة تتبع المرايا الشمس وتحافظ على مواجهتها بعد ذلك تستخدم الحرارة المجمعة لتسخين الماء عند درجة حرارة 100°C في مبادل حراري ثم يحول الماء الساخن الى بخار الذي بدوره يدير المولد ومن ثم تنتج الطاقة الكهربائية بمجرد أن يوصل السائل الساخن حرارته يعاد استخدامه مرات أخرى هو والبخار أيضا لكي يتم بعد ذلك تكثيفه وإعادة كماء بارد إلى النظام أحد مميزات هذه التقنية أن السائل الساخن يمكن تخزينه ليولد الكهرباء في أوقات غياب الشمس. [2]



الشكل 2.1. يوضح احواض توليد الطاقة الشمسية



الشكل 3.1. يوضح الانبوب الموجود في احواض توليد الطاقة الشمسية

إيجابيات و سلبيات محطات الطاقة الشمسية [3]

الإيجابيات :

- مصدر طاقة متجدد لا ينضب
- لا تنتج أي تلوث

السلبيات:

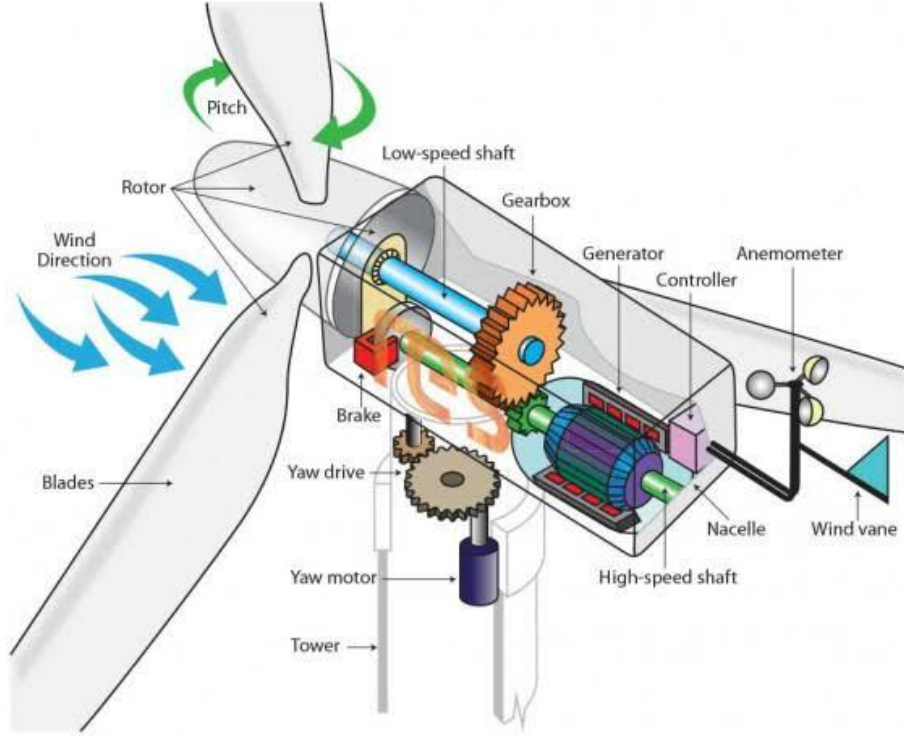
- ان استخدام نظم لتخزين الطاقة هذه المحطات مساءً فإن التكلفة ترتفع بما يضع مخاطر مالية علي استخدام هذه التكنولوجيا
- المساحة الكبيرة المطلوبة لوضع هذه الأجهزة المجمعَة لأشعة الشمس
- وجود الغبار في أجهزة الطاقة الشمسية
- حدوث التآكل في المجمعات الشمسية بسبب الأملاح الموجودة في المياه المستخدمة في دورات التخزين.

2.1.2.1 محطة توليد الطاقة بالرياح [4]

يمكن توليد الطاقة الكهربائية من طاقة الرياح وتعتبر مصدر طاقة غير مباشر يمكن استخدامه لتشغيل طواحين الهواء، والتي بدورها تقوم بتشغيل المولدات لتوليد الكهرباء. على الرغم من أن طواحين الهواء قد استخدمت لطحن الحبوب وضخ المياه لأكثر من عشرة قرون، إلا أن الخمسين عامًا الماضية شهدت اهتمامًا متزايدًا بتوليد الطاقة على نطاق واسع، أكبر توربين رياح تم بناؤه في الماضي كان عبارة عن وحدة بقدره 800 كيلووات تم تشغيلها في فرنسا من عام 1958 إلى عام 1960. يبلغ قطر المروحة المرنة ثلاثية الشفرات حوالي 35 مترًا وتنتج طاقة مقدرة عند سرعة رياح تبلغ 60 كم/ساعة وبسرعة دوران 47 دورة في الدقيقة تصل الطاقة القصوى للتطوير إلى 12 ميغاوات.

مبدأ العمل [5]

تعمل شفرات توربين الرياح بشكل يشبه نوعا ما عمل جناح الطائرة عندما تتدفق الرياح عبر الشفرات ينخفض ضغط الهواء على أحد جانبيها يؤدي الاختلاف في ضغط الهواء عبر جانبي الشفرة إلى إنشاء كل من الرفع والسحب وهذا يتسبب في دوران محور التوربين يكون محور التوربين متصل بعمود و علبه التروس لتسريع الحركة الدورانية وعند الوصول الى السرعة المطلوبة يمكن للمولد انتاج كميات كبيرة من الكهرباء والشكل يوضح كل ماتم ذكره.



الشكل 4.1. يوضح توربين هوائي

محاسن ومساوئ محطة توليد الطاقة بالرياح [3]

المحاسن

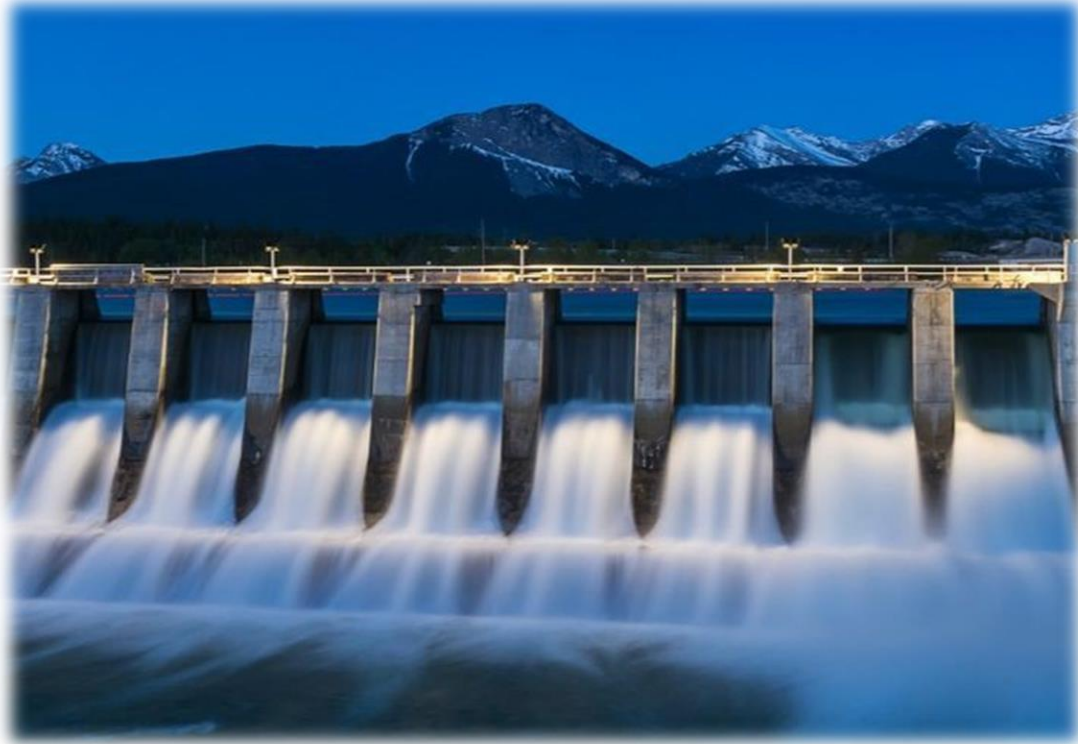
تعتبر طاقة الرياح من الطاقات الرائدة التي يشجع على استخدامها في التطبيقات المختلفة، حيث إن استخدامها لا يخلف أي تلوث للبيئة أو أية أضرار أخرى. كما إنها متوفرة بشكل هائل ويمكن الحصول عليها في أماكن كثيرة.

المساوئ

- التذبذب واختلاف سلوكية حركة الرياح بسبب كونها ظاهرة طبيعية لا يمكن التحكم بها
- تتعرض ريش التوربينات الهوائية إلى الظواهر الطبيعية المختلفة من رطوبة وحرارة وغيرها مما يؤدي إلى تآكلها.
- ضرورة توفير مساحات كبيرة نسبياً من الأراضي المفتوحة التي تنصب عليها معدات استغلال طاقة الرياح وعلى ارتفاعات عالية نسبياً.

3.1.2.1 محطة توليد الطاقة المائية

يتم توليد الكهرباء باستخدام الطاقة الحركية للمياه المتدفقة. وتسمى المنشأة بالمحطة الكهرومائية يتم انشاء سد مرتفع على جانب واحد من المحطة يتدفق الماء من الجزء العلوي من السد عبر ممرات ومجاري مائية نحو الاسفل. ويصطدم الماء المتساقط بسرعة هائلة بشفرات التوربين يكون محور التوربين متصل بمولد كهربائي الذي يقوّل بتحويل الطاقة الميكانيكية الناتجة عن دوران التوربين الى طاقة كهربائية و تستمر العملية. [6]



الشكل 5.1. يوضح محطة توليد الطاقة المائية

مزايا وعيوب محطة توليد الطاقة المائية [7]

الايجابيات

- إمكانية تشغيلها وتوليد الكهرباء حسب الحاجة حيث يمكن للمهندسين التحكم في تدفق المياه عبر التوربينات لإنتاج الكهرباء عند الطلب
- لا تسبب الطاقة الكهرومائية تلوث الهواء.
- مصدر وقود نظيف.

السلبيات

- تكلفة عالية
- تعتمد محطات الطاقة الكهرومائية على توفر المياه لتوليد الكهرباء لذلك، يمكن أن تؤثر فترات الجفاف بشكل كبير على قدرتها على العمل
- يمكن أن تُشكل السدود خطراً كبيراً في حالة حدوث انهيار او فيضانات.

3.1 محطات توليد الطاقة غير المتجددة

1.3.1 محطة توليد الطاقة بمحركات الديزل

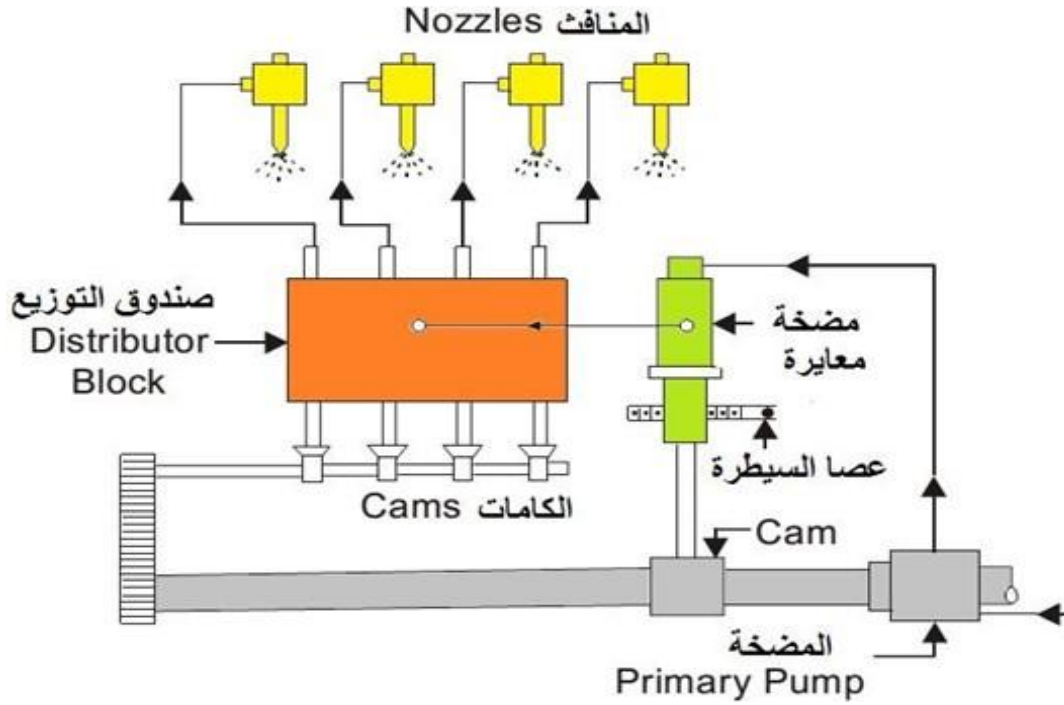
ويستخدم في هذه المحطة محركات ميكانيكية محركات الاحتراق الداخلي لتوليد الحركة للمولد سميت بمحركات الاحتراق الداخلي لأنها عبارة عن محركات حرارية (أجهزة تحول الطاقة الكيميائية للوقود الى طاقة حرارية لانتاج شغل وهكذا يتم تحويل الطاقة الحرارية الى طاقة ميكانيكية) وتتم فيها عملية الاحتراق داخل المحرك. تستخدم محركات الديزل في العديد من الأماكن لتوليد الكهرباء، ويتم تشغيل هذه المحركات بالديزل أو الزيت الثقيل، تشغل محطات الديزل عادةً مساحة أكبر من المحطات الحرارية ذات الحجم نفسه، كما تتطلب هذه المحطات صيانة دورية واسعة النطاق نظراً لعدد الأجزاء المتحركة وأنظمة التشغيل المعقدة.

يتم التحكم في سرعة المحرك عن طريق نظام مضخة الوقود، مما يضمن حفاظ المولد على سرعة ثابتة عند تغير الحمل . [8]

كفاءتها لا تتجاوز (35-37%) نظرا لقلة كفاءة محركات الاحتراق الداخلي وهي تمتاز بسرعة التشغيل وسرعة الإيقاف ولكنها تحتاج إلى كمية مرتفعة من الوقود نسبيا وبالتالي فان كلفة الطاقة المنتجة عالية نسبيا وتتوقف على أسعار الوقود.

1.1.3.1 طريقة العمل

ويتم إمداد وقود الديزل من خزان التشغيل الى مضخة الحقن عبر أنابيب عديدة ومرشحات (فلتر). وتقوم تلك المضخات بتوزيع الوقود بانتظام على اسطوانات الاحتراق بالترتيب الصحيح وبكميات متساوية، ثم يتم احتراق ذلك الوقود في أعلى اسطوانات الاحتراق ولذلك يندفع المكبس لأسفل فتتحول حركة المكبس داخل الاسطوانة الى حركة دورانية عبر ذراع التوصيل والذي يتصل ميكانيكيا بالمولد الكهربائي ومن ثم يتم تحويل تلك الطاقة الميكانيكية الى طاقة كهربائية.[1]



الشكل 6.1. يبين نظام توزيع الوقود في محرك الديزل

2.1.3.1 مميزات وعيوب محطات الديزل [1]

من أهم مميزات محطات الديزل :

- سهولة التصميم والإنشاء وسرعة وسهولة الصيانة.
- تعطي كفاءة مقبولة عند التحميل الجزئي على عكس المحطات الحرارية الأخرى
- انخفاض تكلفة الإنشاء والأعمال المدنية.
- انخفاض كمية الماء المطلوبة للتبريد
- تكفي مساحة أرض صغيرة من الأرض لإنشائها وذلك لعدم وجود أجهزة مساعدة كثيرة .
- نسبة الفقد أقل من المحطات الحرارية الأخرى .
- قلة الزمن المطلوب لتشغيل وإيقاف تلك المحطات.

ومن أهم عيوب محطات الديزل :

- تكلفة التشغيل العالية خاصة بعد زيادة أسعار الوقود بما فيه الديزل
- تكلفة الصيانة والتشحيم عالية مقارنة بالمحطات الأخرى .
- تعمل جزئيا فقط ولفترة قصيرة مقارنة بالمحطات الأخرى .

- تنتج هذه المحطات كميات كبيرة من الغازات الملوثة مثل أكسيد الكربون وأكسيد النتروجين وغيرها من الغازات السامة .

2.3.1 محطة توليد الطاقة النووية

تتكون محطة الطاقة النووية من العديد من المباني والمرافق وهي كالاتي: مبنى يحتوي المفاعلات النووية مصنوعة من الخرسانة المسلحة بسمك مترين . وداخل هيكل الاحتواء يوجد قلب المفاعل النووي وهو عبارة عن خزان كبير متصل بمبنى التوربين والمولد يستخدم في محطات توليد الطاقة النووية وقود اليورانيوم و يكون عبارة عن كريات صغيرة توضع في أنابيب معدنية ملحومة لتشكيل حزمة من الوقود (قضبان الوقود وتوضع في قلب المفاعل النووي الذي يضم عادة اكثر من 200 من هذه القضبان.

يتم تجميعها معا لتكوين مجمع الوقود. يتكون قلب المفاعل عادة من بضع مئات من التجميعات للسماح بالانشطار النووي ويحوي ايضا قضبان تحكم يمكن تحريكه للأعلى وللأسفل للتحكم في معدل انشطار اليورانيوم تنتج محطة الطاقة النووية الطاقة الكهربائية باستخدام الحرارة التي تأتي من انقسام ذرات اليورانيوم. في عملية تسمى الانشطار النووي ويحدث ذلك عندما يتم تسليط النيوترونات على ذرات اليورانيوم تنقسم ذرة اليورانيوم الى اثنتين و تترافق العملية بإطلاق الحرارة التي تستخدم في انتاج الكهرباء .

يحتوي المفاعل النووي على المئات من قضبان يتدفق الماء الثقيل حول هذه القضبان التي تطلق كمية هائلة من الحرارة يمتصها الماء بعملية تبادل حراري ثم تتدفق المياه الساخنة في دائرة ويتم ضخ هذه المياه بواسطة مضخة الى مولد البخار حيث يتحول الماء المغلي هناك الى بخار تحت ضغط مرتفع.

ينقل البخار للضغط العالي في أنابيب خاصة و يقوم بتدوير شفرات التوربين الذي بدوه ينقل الحركة الى المولد والذي يقوم بتحويل الطاقة الميكانيكية الى كهربائية و تعاد الدورة. [9]



- A هيكل الأحتواء
- B قضبان التحكم
- C مفاعل
- D مولد البخار
- E خط البخار
- F مضخة
- G مولد كهرباء
- H التوربين
- I مكثف مياه التبريد
- J برج التبريد
- K قضبان الوقود
- L محولات كهربائية

الشكل 7.1. يوضح محطة الطاقة النووية

1.2.3.1 مزايا وعيوب محطة توليد الطاقة النووية [4]

مزايا

- تحتاج مساحة أقل
- استهلاك الوقود صغير ، وبالتالي فإن تكلفة النقل والتخزين منخفضة
- مناسب تماما لمتطلبات الطاقة الكبيرة

عيوب

- تكلفة مالية أولية عالية جدا
- النفايات المشعة ، إذا لم يتم التخلص منها بشكل صحيح ، يكون لها تأثير ضار على البيئة.
- تكلفة الصيانة عالية.

3.3.1 محطة توليد الطاقة الغازية

التوربين الغازي عبارة عن محرك احتراق داخلي ، وهو مصمم لتسريع تدفق الغاز ، الذي يستخدم لإنتاج قوة رد فعل لدفع جسم ما ، أو إنتاج طاقة ميكانيكية لإدارة حمل ما. [10]

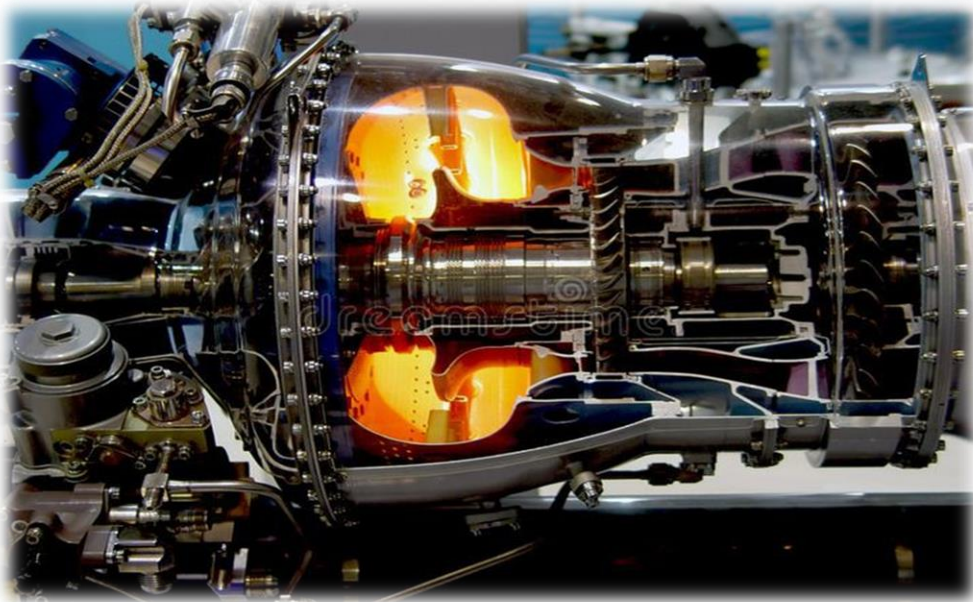
1.3.3.1 مكونات محطات توليد الطاقة الغازية [11]

التوربينات الغازية التي يتم تثبيتها في العديد من محطات الطاقة التي تعمل بالغاز الطبيعي اليوم هي آلات معقدة ، ولكنها تتضمن في الأساس ثلاثة أقسام رئيسية:

❖ **الضاغط** : يسحب الهواء إلى المحرك ويضغطه ويغذيه إلى غرفة الاحتراق بسرعات تصل إلى مئات الأميال في الساعة.

❖ **نظام الاحتراق** : عادة ما يتكون من حلقة من حاقنات الوقود التي تضخ تيارًا ثابتًا من الوقود إلى غرف الاحتراق حيث يمتزج مع الهواء. يحترق الخليط في درجات حرارة تزيد عن 2000 درجة فهرنهايت. ينتج الاحتراق تيارًا من الغاز عالي الضغط وعالي الحرارة يدخل ويتمدد عبر قسم التوربين.

❖ **التوربين** : عبارة عن مجموعة معقدة من الشفرات المتناوبة الثابتة والدوارة ذات القسم المصنوع من الأجنحة الهوائية عندما يتمدد غاز الاحتراق الساخن عبر التوربين ، فإنه يدير الشفرات الدوارة. تؤدي الشفرات الدوارة وظيفتين: فهي تعمل على تشغيل الضاغط لسحب المزيد من الهواء المضغوط إلى قسم الاحتراق ، كما أنها تدير المولد لإنتاج الكهرباء.



الشكل 8.1. نموذج لتوربين غازي

2.3.3.1 مبدأ العمل

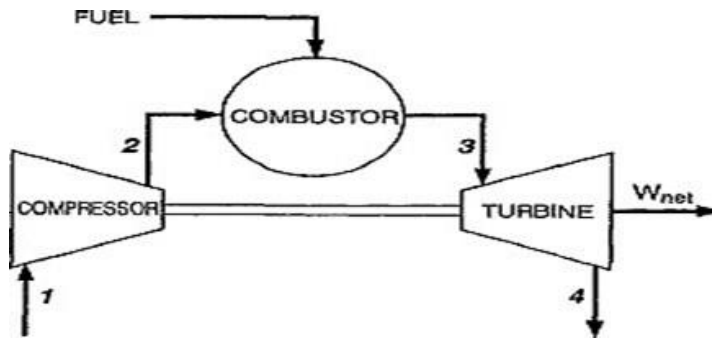
يقوم الضاغط بسحب الهواء وضغطه. يُضاف الوقود إلى الهواء المضغوط في غرفة الاحتراق ويتم إشعاله. يؤدي احتراق الوقود إلى ارتفاع درجة حرارة الهواء، يتم إجبار الهواء الساخن إلى التوربين ، حيث يدور التوربين. يشغل التوربين الضاغط ، ويمكن استخدامه أيضًا لتشغيل آلات أخرى ، تأتي الطاقة التي يولدها التوربين من انخفاض درجة حرارة وضغط غاز العادم.

3.3.3.1 تصنيف محطات توليد الطاقة الغازية [10]

يتم تصنيف محطات طاقة توربينات الغاز المستخدمة في صناعة الطاقة الكهربائية إلى مجموعتين وفقًا لدورة التشغيل إلى توربينات الغاز الدورة المفتوحة و توربينات الغاز ذات الدورة المغلقة

توربينات الغاز الدورة المفتوحة

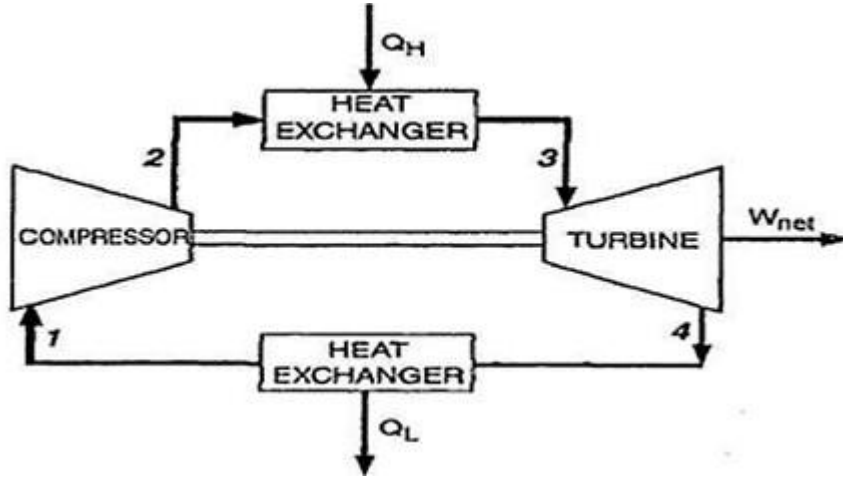
توربينات الغاز ذات الدورة المفتوحة هي نوع من محطات توليد الطاقة التي تعتمد على الاحتراق المباشر للوقود لدفع توربينات الغاز يتم سحب الهواء من الغلاف الجوي بواسطة الضاغط ويتم ضغطه إلى ضغط مرتفع. ثم يتم خلط الهواء المضغوط بالوقود في غرفة الاحتراق ويُشعل. يؤدي احتراق الوقود إلى ارتفاع درجة الحرارة والضغط للغاز. يمر الغاز الساخن من خلال التوربين ، مما يؤدي إلى دورانه. يدير التوربين الضاغط ، ويمكن استخدامه أيضًا لتشغيل مولد كهربائي لإنتاج الكهرباء.



الشكل 9.1. مخطط توربينات الغاز الدورة المفتوحة

توربينات الغاز الدورة المغلقة

توربينات الغاز ذات الدورة المغلقة هي نوع من محطات توليد الطاقة التي تعتمد على إعادة تدوير الغاز الساخن من التوربين إلى الضاغط. يتم سحب الهواء من الغلاف الجوي بواسطة الضاغط ويتم ضغطه إلى ضغط مرتفع. ثم يتم خلط الهواء المضغوط بالوقود في غرفة الاحتراق ويُشعل.



الشكل 10.1. مخطط توربينات الغاز الدورة المغلقة

4.3.3.1 مزايا و عيوب توربينات الغاز الدورة المفتوحة [12]

المزايا

- كفاءة عالية - يمكن أن تصل كفاءة توربينات الغاز ذات الدورة المفتوحة إلى 40%.
- تصميم بسيط - توربينات الغاز ذات الدورة المفتوحة هي تصميمات بسيطة نسبياً ، مما يقلل من تكاليف التصنيع والصيانة.
- وقت التشغيل قصير يمكن أن تصل توربينات الغاز ذات الدورة المفتوحة إلى سرعة التشغيل الكامل في غضون دقائق.
- وزن وحجم صغير توربينات الغاز ذات الدورة المفتوحة أخف وزناً وأصغر حجماً من أنواع أخرى من محطات توليد الطاقة ، مما يقلل من تكاليف النقل والتركيب.
- تكلفة منخفضة - تميل توربينات الغاز ذات الدورة المفتوحة إلى أن تكون أقل تكلفة من أنواع أخرى من محطات توليد الطاقة.

العيوب

- انبعاثات عالية - يمكن أن تنتج توربينات الغاز ذات الدورة المفتوحة مستويات عالية من انبعاثات أكاسيد النيتروجين وأكسيد الكبريت.

- استهلاك الوقود العالي - يمكن أن تستهلك توربينات الغاز ذات الدورة المفتوحة كمية كبيرة من الوقود ، مما يؤدي إلى زيادة التكاليف التشغيلية.
- متطلبات صيانة عالية - قد تتطلب توربينات الغاز ذات الدورة المفتوحة صيانة متكررة ، مما يزيد من تكاليف التشغيل.

5.3.3.1 مزايا و عيوب توربينات الغاز الدورة المغلقة

مزايا

انبعاثات منخفضة : تنتج توربينات الغاز ذات الدورة المغلقة مستويات منخفضة من انبعاثات أكاسيد النيتروجين وأكسيد الكبريت

كفاءة عالية : يمكن أن تصل كفاءة توربينات الغاز ذات الدورة المغلقة إلى 60 %

عيوب

- تعقيد متزايد: توربينات الغاز ذات الدورة المغلقة هي تصميمات أكثر تعقيدًا من توربينات الغاز ذات الدورة المفتوحة ، مما قد يؤدي إلى زيادة تكاليف الصيانة.
- متطلبات صيانة عالية: قد تتطلب توربينات الغاز ذات الدورة المغلقة صيانة أكثر تكرارًا من أنواع أخرى من محطات توليد الطاقة

6.3.3.1 تطبيقات استخدام كل من توربينات الدورة المفتوحة و المغلقة [12]

تستخدم توربينات الغاز ذات الدورة المفتوحة و المغلقة في مجموعة متنوعة من التطبيقات ، بما في ذلك:

- توليد الطاقة الكهربائية - تستخدم توربينات الغاز ذات الدورة المفتوحة على نطاق واسع لتوليد الكهرباء.
- الدفع الجوي - تستخدم توربينات الغاز ذات الدورة المفتوحة في الطائرات النفاثة.
- الدفع البحري - تستخدم توربينات الغاز ذات الدورة المفتوحة في السفن والقوارب.
- التطبيقات الصناعية - تستخدم توربينات الغاز ذات الدورة المفتوحة في مجموعة متنوعة من التطبيقات الصناعية ، مثل ضخ المياه وتشغيل الآلات.

4.1 الخاتمة

تلعب محطات توليد الطاقة الحرارية دورًا هامًا في توفير احتياجاتنا من الكهرباء، وتعتمد على مبدأ تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية باستخدام توربينات ومولدات وتتنوع أنواع هذه المحطات باختلاف مصدرها المستخدم ونظام عملها، ولكل نوع مزايا وعيوب تجعله مناسبًا لظروف محددة و قد تعرفنا عليهم في هذا الفصل ...

الفصل الثاني

دراسة نظرية و ترموديناميكية لمحطة توليد

الطاقة الغازية والبخارية

1.2 مقدمة

تُعدّ محطات توليد الطاقة الغازية والبخارية ركائز أساسية في بنية أنظمة الطاقة الحديثة، حيث تُساهم بشكل كبير في تلبية احتياجاتنا المتزايدة من الطاقة الكهربائية؛ وتتميز هذه المحطات بكفاءتها العالية ، ممّا يجعلها خيارًا مثاليًا لتوفير الطاقة لمختلف القطاعات الحيوية.

تهدف هذه الدراسة النظرية إلى تقديم تحليل شامل للدورات الحرارية لمحطات توليد الطاقة الغازية والبخارية وذلك باستخدام قوانين الديناميكا الحرارية.

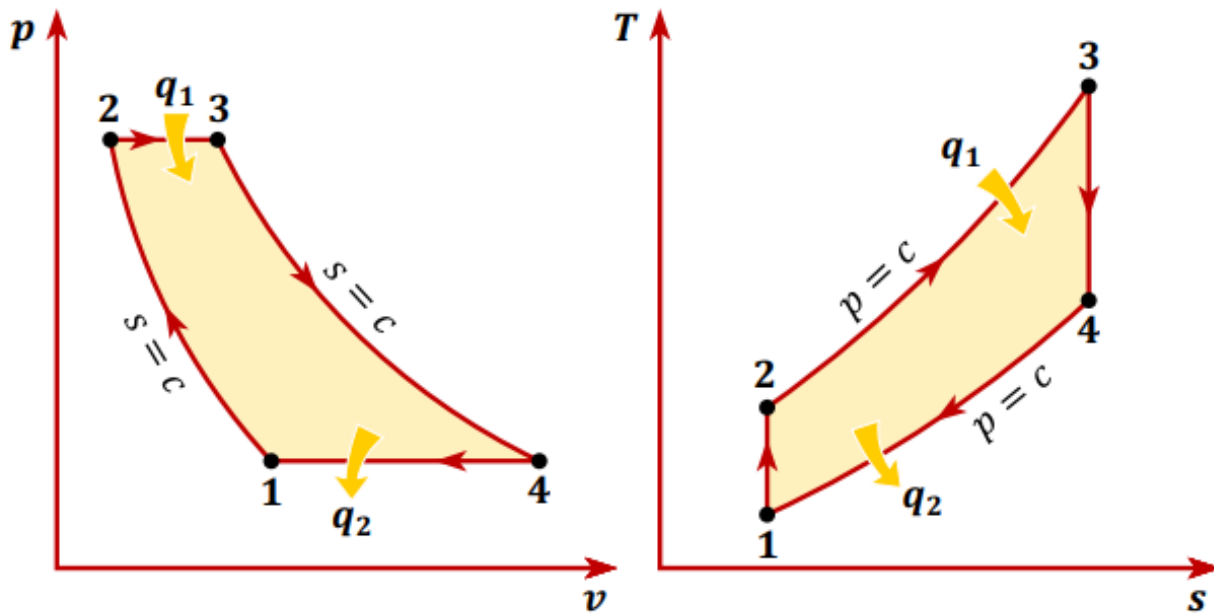
2.2 دراسة نظرية و ترموديناميكية لمحطة توليد الطاقة الغازية

1.2.2 حلقة برايثون المثالية النظرية

يُطلق على الدورة الحرارية الأساسية التي تعمل بها جميع توربينات الغاز اسم دورة برايثون حيث تصف الدورة عملية محرك حراري ثابت الضغط، وهي واحدة من أكثر الدورات الحرارية شيوعًا في محطات توليد الطاقة بالغاز الطبيعي أو في الطائرات....

يتم تمثيل الدورة الحرارية لبرايتون عادة على مخطط ضغط-حجم (PV) وفي مخطط درجة الحرارة-الأنتروبي (TS)

الشكل (الشكل 1.2). [13]



الشكل 1.2. حلقة برايثون المثالية

شرح الدورة

1 ← 2 إنضغاط ايزونتروبي أدياباتيكي وعكوس

2 ← 3 إمداد حراري تحت ضغط ثابت

3 ← 4 تمدد ايزونتروبي للهواء (التوربين) .

4 ← 1 خروج الحرارة تحت ضغط ثابت

في الدورة النظرية المثالية ، يتم إكمال كل مرحلة من المراحل الأربع دون فقدان أو اكتساب للطاقة . [13]

2.2.2 دورة برايتون الحقيقية

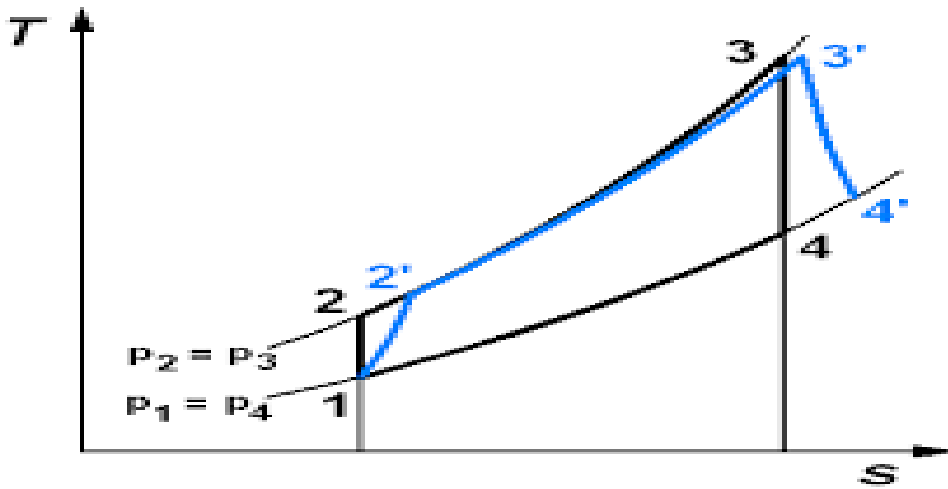
تختلف دورة برايتون الحقيقية عن الدورة المثالية النظرية بسبب ما يلي :

- عدم إمكانية وجود تحول عكوس حقيقة و ذلك بسبب القوى الداخلية للاحتكاك و التي يتعرض لها كل من الضاغط والتوربين و التي تعمل على زيادة في الأنتروبي أي أن جزءاً من الطاقة الحرارية للغاز يتم تحويله إلى طاقة حرارية غير مفيدة.

- الاحتراق غير المثالي يؤدي إلى فقدان الحرارة في العادم

نتيجة لهذه العوامل ، تكون دورة برايتون الحقيقية أقل كفاءة من الدورة النظرية تقدر الخسارة في الكفاءة بنسبة 10-20%.

والشكل (الشكل 2.2) يوضح دورة برايتون الحقيقية [13]



الشكل 2.2. دورة برايتون الحقيقية

شرح الدورة

1 ← 2 انضغاط غير عكوس كاذومي في (الضاغط)

2 ← 3 تمدد حراري بضغط ثابت في غرفة الاحتراق

3 ← 4 تمدد غير عكوس كاذومي (التوربين)

1 ← 2 انضغاط مثالي ثابت القصور الحراري بين P_1 و P_2

3 ← 4 تمدد مثالي ثابت القصور الحراري بين P_3 و P_4 [14]

إيجاد علاقة الكفاءة

بما اننا نتعامل مع مائع غاز لدينا من معادلة طاقة السريان للحالة المستقرة الموضحة أدناه

$$h_1 + \frac{c_1^2}{2} + Z_1 g + Q = h_2 + \frac{c_2^2}{2} + Z_2 g + W$$

نفترض أن التغير في الطاقة الحركية في النقاط المختلفة في الدورة صغير جدا يمكن اهمالها مع طاقة الوضع وبالتالي

نتحصل على المعادلة التالية

$$h_1 + Q = h_2 + W$$

نعلم أن المحتوى الحراري h يعطى بالقانون التالي

$$h = C_p * dt$$

عمل الدخل للضاغط

$$W_{comp} = h'_2 - h_1 = C_p (T'_2 - T_1) \quad (1)$$

الحرارة المكتسبة في غرفة الاحتراق

$$Q_{supp} = C_p (T_3 - T'_2) \quad (2)$$

عمل الخرج للتوربين

$$W_{tur} = C_p (T_3 - T'_4) \quad (3)$$

صافي شغل الخرج = عمل خرج التوربين - عمل الدخل للضاغط

$$W_{net} = W_{tur} - W_{comp} \quad (4)$$

بتعويض كل من (1) و (3) في (4) نجد

$$W_{net} = C_p (T_3 - T'_4) - C_p (T'_2 - T_1)$$

ومنه الكفاءة الحرارية تعطى كالتالي

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{supp}} \quad (5)$$

بتعويض كل من (4) و (2) في (5) نجد

$$\eta_{th} = \frac{C_p (T_3 - T'_4) - C_p (T'_2 - T_1)}{C_p (T_3 - T'_2)} \quad (6)$$

السعة الحرارية النوعية لغاز حقيقي تتغير بتغير درجة الحرارة في الدورة المفتوحة، تتغير سعة الحرارة النوعية للغازات في غرفة الاحتراق وفي التوربينات عن تلك الموجودة في الضاغط، وذلك بسبب إضافة الوقود وحدث تغير كيميائي. يمكن استخدام المنحنيات التي توضح اختلاف سعة الحرارة النوعية لغاز حقيقي مع درجة الحرارة ونسبة الهواء إلى الوقود، ويمكن إيجاد القيمة المتوسطة لسعة الحرارة النوعية C_p وعامل السعة الحرارية γ في تطبيقات التوربينات الغازية.

ومن هذا المنطلق نتعرف على مصطلح جديد وهو **كفاءة ثابت القصور الحراري** لكل من التوربين و الضاغط:

• الكفاءة الحرارية في التوربين

تتمثل الكفاءة الحرارية في التوربين في قدرة التوربين على تحويل طاقة البخار إلى طاقة ميكانيكية. ويتم قياسها من خلال نسبة طاقة التوربين الناتجة إلى طاقة البخار المدخلة.

تُحسب كفاءة ثابت القصور الحراري في التوربين بالصيغة التالية:

كفاءة ثابت القصور الحراري في التوربين = (طاقة التوربين الناتجة) / (طاقة البخار المدخلة)

$$\eta_{isen(T)} = \frac{C_p(T_2 - T_1)}{C_p(T'_2 - T_1)} = \frac{T_2 - T_1}{T'_2 - T_1}$$

تلعب كفاءة ثابت القصور الحراري في التوربين دوراً مهماً في تحديد كمية الكهرباء فكلما زادت الكفاءة، زادت كمية الطاقة المنتجة

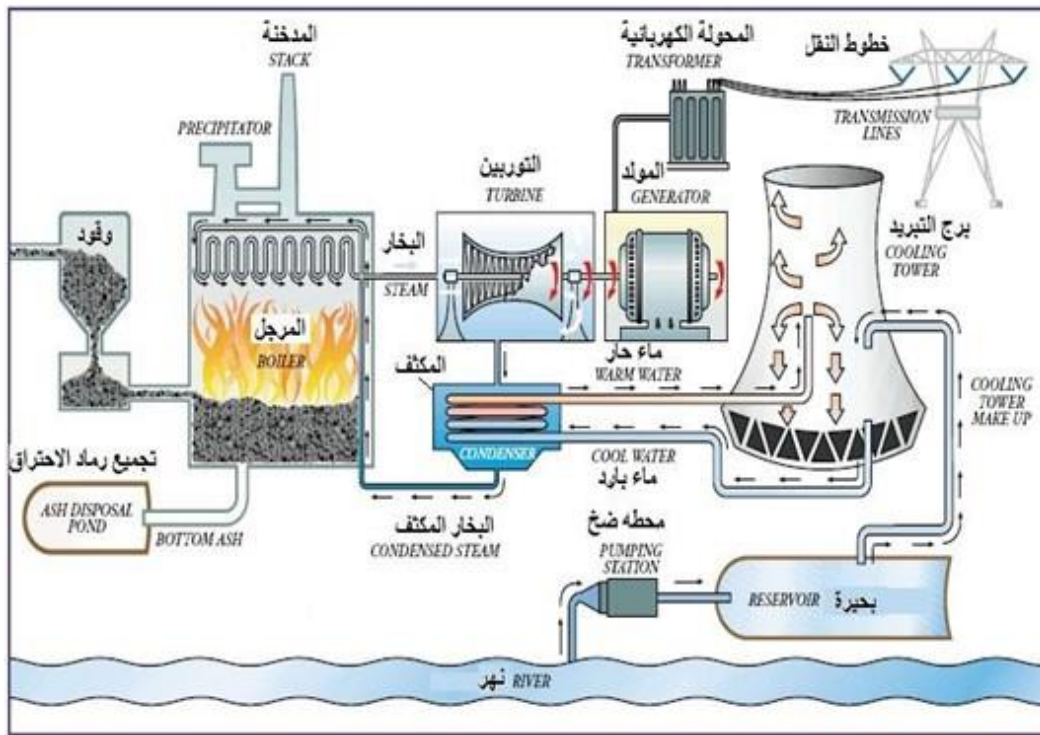
• كفاءة ثابت القصور الحراري للضاغط [15]

كفاءة ثابت القصور الحراري للضاغط = (طاقة الضاغط الناتجة) / (الطاقة الحرارية المدخلة) كلما زادت الكفاءة، زادت كمية الطاقة الحرارية التي يمكن استخدامها لإنتاج نفس كمية البخار.

$$\eta_{isen(C)} = \frac{C_p(T_3 - T'_4)}{C_p(T_3 - T_4)} = \frac{T_3 - T'_4}{T_3 - T_4}$$

3.2 محطات توليد الطاقة البخارية

تُعد محطات توليد الطاقة البخارية حجر الزاوية في توليد الكهرباء الحديث، حيث تستخدم البخار كمحركها الأساسي تسخر هذه المنشآت قوة الماء الساخن، وتحوله إلى بخار يدفع توربينًا بخاريًا، والذي بدوره يدفع مولدًا كهربائيًا بمجرد أن ينفد البخار من طاقته، فإنه يخضع للتكثيف ولإعادة التدوير، مما يكمل دورة رانكين، تكمن الاختلافات الرئيسية في تصميم محطات توليد الطاقة البخارية في مصادر الوقود المختلفة.



الشكل 3.2. يوضح الأجزاء الرئيسية لمحطة الطاقة الحرارية

1.3.2 مكونات محطات التوليد البخارية

1.1.3.2 الفرن

هو عبارة عن نظام لحرق الوقود المستخدم داخل وعاء كبير ويختلف شكل ونوع هذا الوعاء وفقا لنوع الوقود المستعمل وطريقة الاشتعال ويلحق به وسائل تخزين ونقل وتداول الوقود ورمي المخلفات الصلبة. تستخدم أنواع مختلفة من الوقود كالفحم الحجري والزيت الثقيل والديزل لإنتاج البخار تحت ضغط عال. [16]

2.1.3.2 غلاية البخار (المرجل) [17]

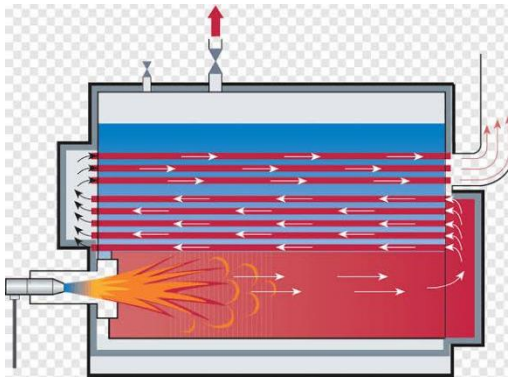
هي وعاء مغلق يتم فيه تحويل الماء إلى بخار تحت الضغط. تنتقل الحرارة إلى الغلاية بواسطة جميع أشكال نقل الحرارة الثلاثة: التوصيل والحمل الإشعاع يتم تحويل الطاقة الكيميائية المخزنة في الوقود الى حرارة تنتقل الغلاية هذه الحرارة بكفاءة الى الماء وبذلك فالغرض الأساسي للغلاية هو توليد البخار عند ضغوط تتجاوز الضغط الجوي عن طريق امتصاص الحرارة المتولدة أثناء احتراق الوقود.

أنواع الغلايات الرئيسية:

غلاية مواشير اللهب حيث تمر نواتج الاحتراق عبر أنابيب محاطة بالماء سميت بهذا الاسم لأن نواتج الاحتراق تمر عبر الأنابيب المحاطة بالماء و تنقسم بدورها إلى نوعين حسب موقع الأنبوب رأسي وأفقي.

خصائصها :

- تتميز ببساطتها وصغر حجمها وقوة بنائها وتكلفتها المنخفضة.
- تعاني من صعوبة تلبية التغيرات السريعة في احتياج البخار بسبب كمية الماء الكبيرة وضعف الدورة.
- لا يمكنها تحمل ضغط بخار مرتفع بسبب وجود الماء والبخار في نفس الغلاف. الحد الأقصى للضغط 17.5 kg/cm^2 مع قدرة إنتاج 15000 kg من البخار في الساعة.
- حجم غلاف غلاية أنبوبية نارية أكبر من غلاية أنبوبية مائية بنفس القدرة الإنتاجية.
- قد تحدث انفجارات بخارية في الفرن بسبب تدفق مفاجئ لكمية كبيرة من الماء عالي الضغط إلى غرفة الاحتراق الساخنة في حالة فشل مفاجئ وكبير في الأنبوب.
- يقتصر استخدام غلايات الأنابيب النارية على المنشآت الصغيرة منخفضة التكلفة والضغط.



الشكل 4.2. يوضح غلاية مواشير اللهب

غلايات مواسير المياه

- في هذا النوع من الغلايات، يمر الماء داخل الأنابيب بينما تتدفق الغازات الساخنة خارجها قد تكون دورة المياه في الغلاية طبيعية (بفعل اختلاف الكثافة) أو قسرية (باستخدام المضخات)
- تُستخدم غلايات الأنابيب ذات السعة الكبيرة في محطات الطاقة البخارية المركزية نظراً لتواجد الأنابيب خارج الطبلة، يمكن تصنيعها بأحجام أصغر وبالتالي تتحمل ضغطاً عالياً
 - تحتوي طبلة الغلاية على كل من البخار والماء، حيث يتم فصل البخار الجاف من أعلى الطبلة حيث يوجد أعلى تركيز له .



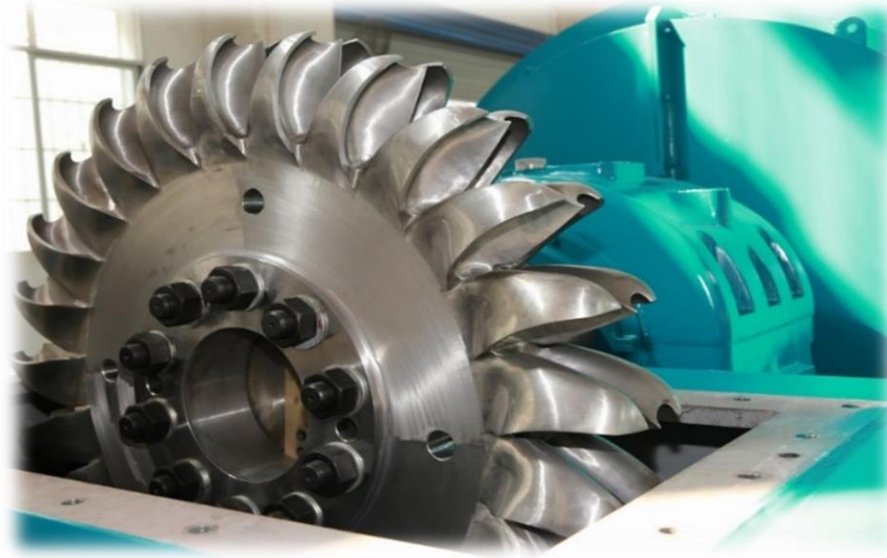
الشكل 5.2. يوضح غلاية مواسير المياه

3.1.3.2 التوربين [17]

وهو عبارة عن عمود من الصلب لها محور ويوصل به جسم على شكل أسطواني مثبت به لوحات مقعرة يصطدم فيها البخار فيعمل على دورانها ويدور المحور بسرعة عالية جدا حوالي 3000 دورة بالدقيقة يدخل البخار من فتحة صغيرة ويصل إلى سرعة عالية جداً. تعتمد السرعة المكتسبة أثناء التمدد على محتوى البخار الأولي والنهائي يمثل الاختلاف في المحتوى الحراري (ΔH) الأولي والنهائي طاقة حرارية يتم تحويلها إلى طاقة حركية.

هناك نوعان من توربينات البخار:

توربينات التصادم : تحتوي هذه التوربينات على صفوف متناوبة من الشفرات المتحركة والثابتة. تُركب الشفرات المتحركة على العمود وتثبت الشفرات الثابتة على غلاف التوربينة ، توجد مجموعة من فوهات ثابتة يمر من خلالها البخار.



الشكل 6.2. يوضح توربين التصادم

يتحول الضغط المحتمل والطاقة الداخلية للبخار إلى طاقة حركية. يخرج البخار من الفوهات بسرعة عالية جدًا ويصطدم بشفرات الدوار يتغير اتجاه تدفق البخار دون تغيير ضغطه، وبالتالي بسبب التغيير في الزخم، يبدأ دوار التوربين بالدوران.

توربينات الفعل : لا تحتوي توربينات الفعل على فوهات تحتوي هذه أيضًا على صفوف متناوبة من الشفرات المتحركة والثابتة تُركب الشفرات المتحركة على العمود، بينما تثبت الشفرات الثابتة في غلاف التوربينة ؛ عندما يمر البخار عالي الضغط عبر الشفرات الثابتة، ينخفض ضغط البخار وتزداد سرعته. بينما يمر البخار فوق الشفرات المتحركة، يتمدد البخار وينقل الطاقة، مما يؤدي إلى انخفاض ضغط البخار وسرعته.



الشكل 7.2. يوضح توربين الفعل

***ملاحظة**

تستخدم محطات الطاقة الحرارية توربينات تصادم أو فعل كما تُستخدم عادةً توربينات متعددة المراحل يمر البخار عالي الضغط بعد العمل في مرحلة الضغط العالي عبر مرحلة الضغط المنخفض، حيث يتم استخراج المزيد من العمل، وبالتالي زيادة الكفاءة الحرارية.

4.1.3.2 المولد الكهربائي

هو عبارة عن جهاز مؤلف من عضو دوار مربوط مباشرة مع محور التوربين و عضو ثابت ويلف العضوين بالأسلاك النحاسية المعزولة لتتنقل الحقل المغناطيسي الدوار وتحوله إلى تيار كهربائي على أطراف العضو الثابت ويختلف شكل هذا المولد باختلاف حجم المحطة وتستخدم المولدات الكهربائية التزامنية في محطات التوليد لتحويل القدرة الميكانيكية إلى قدرة كهربائية. [18]



الشكل 8.2. يوضح المولد الكهربائي

5.1.3.2 المكثف

للاستفادة القصوى من طاقة توربين البخار، يجب خفض ضغط البخار ودرجة حرارته عند خروجه إلى أدنى حد ممكن، يتحقق ذلك من خلال توجيه البخار الخارج من التوربين إلى المكثف، وهو عبارة عن مبادل حراري ضخم يتكون من وعاء كبير من الصلب يحتوي آلاف الأنابيب الحلزونية الدقيقة والتي يتدفق فيها ماء دائرة التبريد بفضل عمل المكثف، يُعاد استخدام الماء في دائرة التبريد بعد تبريده، بينما يتم ضخ البخار المكثف (الذي أصبح سائلاً) مرة أخرى إلى المرجل (الغلاية) ليتم تسخينه وتحويله إلى بخار مرة أخرى، وهكذا تستمر دورة توليد الطاقة. [19]

2.3.2 دراسة نظرية و ترموديناميكية لمحطة توليد الطاقة البخارية

1.2.3.2 أنواع البخار [20]

ينقسم البخار إلى نوعين أساسيين :

البخار المحمص : وهو بخار يكون درجه حرارته اعلي من درجه غليان الماء عند نفس الضغط والذي يفقد درجه حرارته وجزء من طاقته الداخلية ولاكن عندما يفقد جزء من طاقته الداخلية لا يتحول من الحالة البخارية الي الحالة السائلة ولا يحدث له تكثيف.

البخار المشبع : وهو البخار الذي درجة حرارته مساوية لدرجة غليان الماء عند نفس الضغط وهو البخار الذي يفقد جزء من حرارته وجزء من طاقته الداخلية ولاكن عندما يفقد جزء من طاقته الداخلية يتحول من الحالة البخارية الي الحالة السائلة ويحدث له تكثيف.

والبخار المشبع له حالتان وهما :

بخار مشبع جاف : وهو البخار الناتج بعد درجة الغليان من 120 درجة مئوية ويكون قبل المحمص مباشرة ؛ البخار المشبع الجاف عبارة عن (95% جاف و 5% ماء)

بخار مشبع رطب : وهو البخار الناتج في بداية درجة الغليان من (100 الى 120) درجة مئوية وتكون حالة لحظيه فقط في الغلاية.

2.2.3.2 جداول البخار

وهي عبارة عن جداول تحتوي على قيم الحجم النوعي و الطاقة الداخلية و الأنتالبي و الأنتروبي بدلالة كل من الحرارة و الضغط لكل من البخار المشبع و البخار المحمص فيما يلي سيتم تعريف هذه المصطلحات [21] قبل التطرق الى الجداول :

الأنتالبي : او المحتوى الحراري وهو الطاقة المخزنة في مول من المادة و يرمز له بالرمز H وهو خاصية مميزة للمادة كالكتلة والحجم ووحدته KJ/Kg

الحجم النوعي : وهي نسبة حجم المادة الى كتلتها او هي مقلوب الكثافة الحجمية ووحدتها m^3/Kg

الأنتروبي : هي مقياس للعشوائية او حالة الفوضى في نظام ما وحدتها

$$KJ/Kg * K$$

أولاً : البخار المشبع

جدول 1.2. قيم الحجم النوعي بدلالة درجة الحرارة والضغط [22]

الحجم النوعي m^3/Kg		الضغط $P(kpa)$	الحرارة $T(C^\circ)$
البخار V_f	الماء V_g		
206.14	0.001000	0.6113	0.01
147.12	0.001000	0.8721	5
106.38	0.001000	1.2276	10
77.93	0.001001	1.7051	15

جدول 2.2. قيم الطاقة الداخلية بدلالة درجة الحرارة والضغط [22]

الطاقة الداخلية KJ/Kg			الضغط $P(kpa)$	الحرارة $T(C^\circ)$
البخار u_g	التبخير u_{fg}	الماء u_f		
2375.3	2375.3	0.0	0.6113	0.01
2382.3	2361.3	20.97	0.8721	5
2389.2	2347.2	42	1.2276	10
2396.1	2333.1	62.99	1.7051	15

جدول 3.2. قيم الأنتالبي بدلالة درجة الحرارة والضغط [22]

الأنتالبي KJ/Kg			الضغط $P(kpa)$	الحرارة $T(C^{\circ})$
البخار h_g	التبخّر h_{fg}	الماء h_f		
2501.4	2501.3	0.01	0.6113	0.01
2510.6	2489.6	20.98	0.8721	5
2519.8	2477.7	42.01	1.2276	10
2528.9	2465.9	62.99	1.7051	15

جدول 4.2. قيم الأنتروبي بدلالة درجة الحرارة والضغط [22]

الأنتروبي $KJ/Kg K$			الضغط $P(kpa)$	الحرارة $T(C^{\circ})$
البخار s_g	التبخّر s_{fg}	الماء s_f		
9.1562	9.1562		0.6113	0.01
9.0257	8.9496	0.0761	0.8721	5
8.9008	8.7498	0.1510	1.2276	10

ثانيا : البخار المحمص

في جداول البخار المحمص سيتم تثبيت كل من الضغط و درجة الحرارة عند قيم معينة وسنرى الاختلافات التي تطرأ على كل من الحجم النوعي الأنتالبي الأنتروبي و الطاقة الداخلي

جدول 5.2. البخار المحمص عند درجة حرارة 45.81 وضغط 0.01 [22]

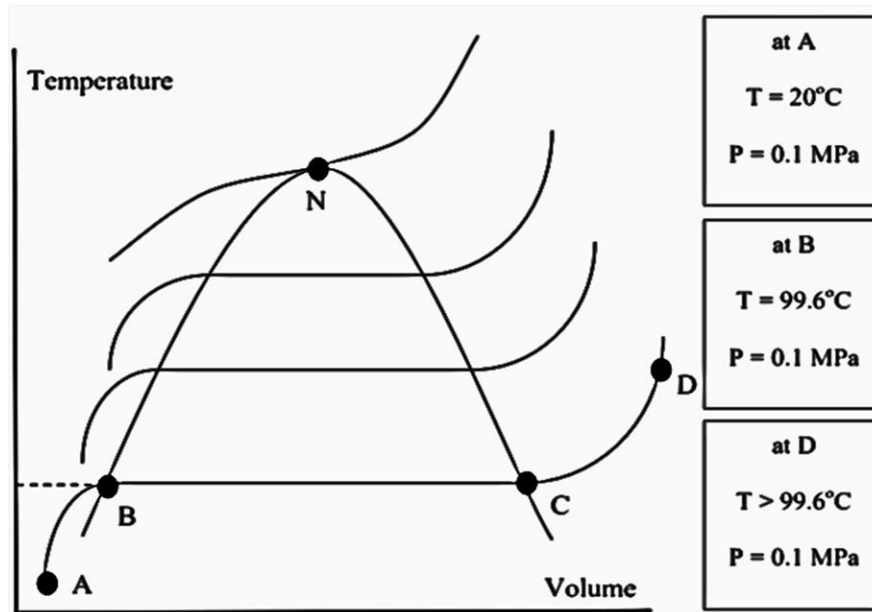
$P = 0.01MPa(45.81C^{\circ})$				
الحرارة $T(C^{\circ})$	الحجم النوعي m^3 / Kg	الطاقة الداخلية KJ/Kg	الأنتالبي KJ/Kg	الأنتروبي $KJ/Kg * K$
50	14.869	2443.9	2592.6	8.1749
100	17.196	2515.5	2687.5	8.4479
150	19.512	2587.9	2783.0	8.6882

جدول 6.2. البخار المحمص عند درجة حرارة 81.33 وضغط 0.05 [22]

$P = 0.05MPa(81.33C^{\circ})$				
الحرارة $T(C^{\circ})$	الحجم النوعي m^3 / Kg	الطاقة الداخلية KJ/Kg	الأنتالبي KJ/Kg	الأنتروبي $KJ/Kg K$
	3.240	2483.9	2645.9	7.5939
100	3.418	2511.6	2682.5	7.6947
150	3.889	2585.6	2780.1	7.9401
200	4.356	2659.9	2976.0	8.3556
250	5.284	2811.3	3075.5	8.8642

3.2.3.2 منحنيات اندروز

مخطط تغير الطور في الاحداثيات (T - V)



الشكل 9.2. يمثل مخطط تغير الطور في الاحداثيات (T - V)

من الشكل (الشكل 9.2) أعلاه نلاحظ أن

النقطة A : تمثل الحالة الأولية، والنقطة B: تمثل درجة حرارة التشبع عند 0.1Mpa (99.6 درجة مئوية).

يمثل الخط AB : عملية تسخين بدون تغيير في الطور.

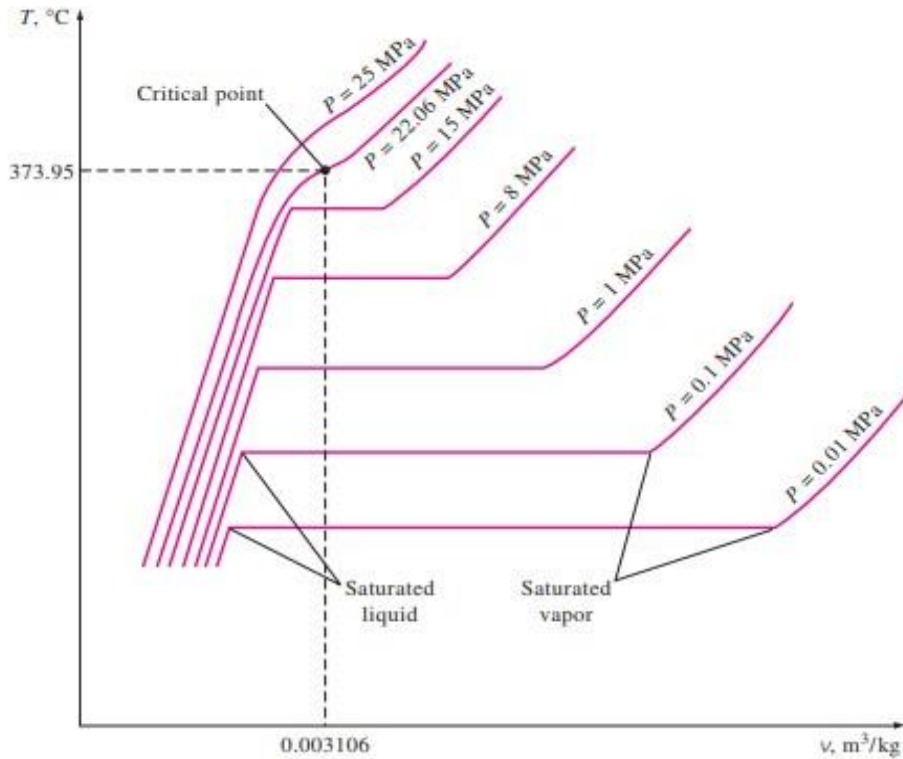
النقطة C : تمثل حالة البخار المشبع.

يمثل الخط BC : درجة حرارة وضغط ثابتين (تغير الطور التبخر).

الخط CD : يمثل العملية التي يصبح فيها البخار فوق مشبع في هذه العملية، تزداد درجة الحرارة والحجم النوعي بينما يظل الضغط ثابتاً.

الخط ABCD : يمثل خطأً ذا ضغط ثابت على مخطط (T-V) أي عملية تسخين ذات ضغط ثابت مع تغير في

الطور. [23]



الشكل 10.2. يمثل مخطط تغير الطور في الاحداثيات $(T - V)$ عند ضغوط مختلفة

- في الشكل (الشكل 10.2) أعلاه يمكن رسم خطوط مماثلة لعمليات التسخين عند قيم ضغط أخرى. عند ضغط (22.06 Mpa) نجد أنه لا توجد عملية تبخر ثابتة درجة الحرارة بدلاً من ذلك، فإن النقطة هي (N) نقطة انعطاف
- تسمى هذه النقطة بالنقطة الحرجة في هذه النقطة لا يمكن التمييز بين الحالة السائلة و الغازية للماء (نسميه بالمائع)
- الخط الذي يربط بين درجات حرارة السائل المشبع يسمى خط السائل المشبع، والخط الذي يربط بين درجات حرارة البخار المشبع يسمى خط البخار المشبع كما هو موضح في الشكل. [23]

توضيح بعض المصطلحات

- النقطة الحرجة:** هي نقطة تحول في طور المادة، حيث تتساوى فيها درجة حرارة السائل ودرجة حرارة البخار، والضغط الخاص للسائل وضغط البخار، والحجم النوعي للسائل والحجم النوعي للبخار.
- خط السائل المشبع:** هو الخط الذي يمثل درجات حرارة السائل المشبع عند ضغط مختلف.
- خط البخار المشبع:** هو الخط الذي يمثل درجات حرارة البخار المشبع عند ضغط مختلف.

ملاحظة :

تستخدم النقطة الحرجة في العديد من المجالات العلمية و الهندسية و هندسة الطاقة فهي مهمة لفهم التغيرات في طور المادة و خصائصها

4.2.3.2 تغير الطور للماء من سائل الى بخار

يغلي الماء عند 100 درجة مئوية تحت ضغط جوي قياسي (1 ضغط جوي) ليس بسبب افتقاره للطاقة لتجاوز هذه الحرارة، بل بسبب ظاهرة أخرى تتعلق بأطراف الطاقة وعلم الترموديناميك عند درجة الغليان (100 درجة مئوية)، يكتسب الماء طاقة كافية للبدء بكسر الروابط الهيدروجينية القوية التي تربط جزيئاته ببعضها، مما يسمح لها بالانتقال من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية.

لكن تكوين بخار الماء يتطلب أيضًا معالجة زيادة في "الأنثروبي" أو عدم النظام في البخار مقارنة بالماء السائل هذا الأمر يستنزف بعضًا من الطاقة الحرارية المكتسبة، ويمنع الماء من تجاوز درجة الغليان تحت الضغط الجوي القياسي. وعند 100 درجة مئوية و 1 ضغط جوي، يستقر نظام من الماء السائل وبخار الماء المشبع معادلًا الطاقة المفقودة لزيادة الأنثروبي بالطاقة المكتسبة للحرارة. وهذا ما يسمى بحالة "البخار المشبع"، حيث يتعايش الماء السائل والبخار معًا في توازن تام. [24]

من معادلة (Gibbs) لدينا :

لدينا انتالبي البخار عند درجة حرارة 100 درجة مئوية هي $2256Kj/Kg$

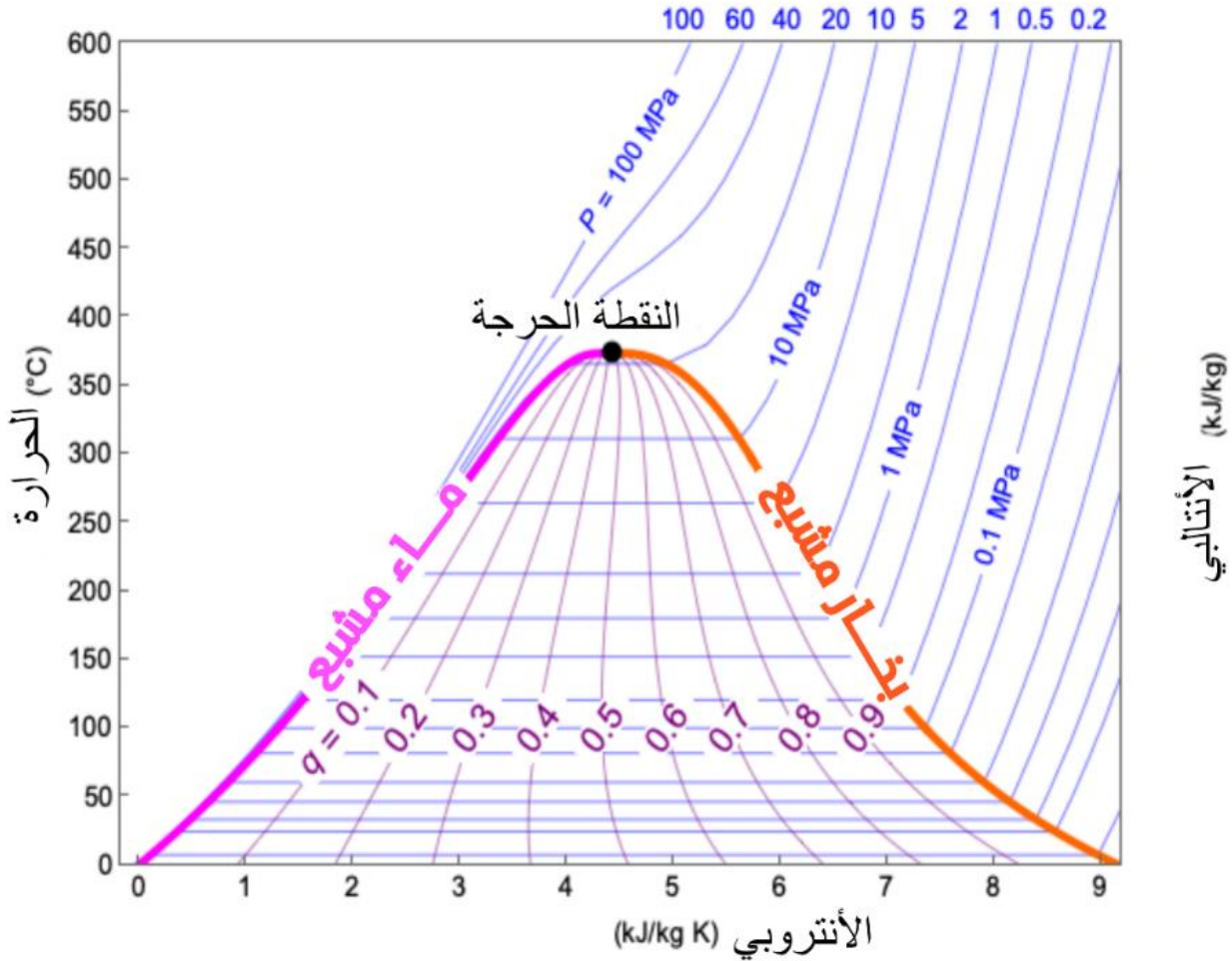
$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

بتعويض عددي نجد :

$$2256 - 373(2256/373) = 0$$

وهذا ما يفسر كيف ولماذا يصل الماء والبخار إلى التوازن ويمتزجان (ماء + بخار) بعد أن أنهيها كل الطاقة عند 100 درجة مئوية وضغط جوي واحد لذلك، لا يغلي الماء عند 100 درجة مئوية بسبب نقص الطاقة، بل بسبب التوازن الحساس بين استهلاك الطاقة لمعالجة الأنثروبي واكتساب الطاقة من الحرارة

5.2.3.2 مخطط تغير الطور



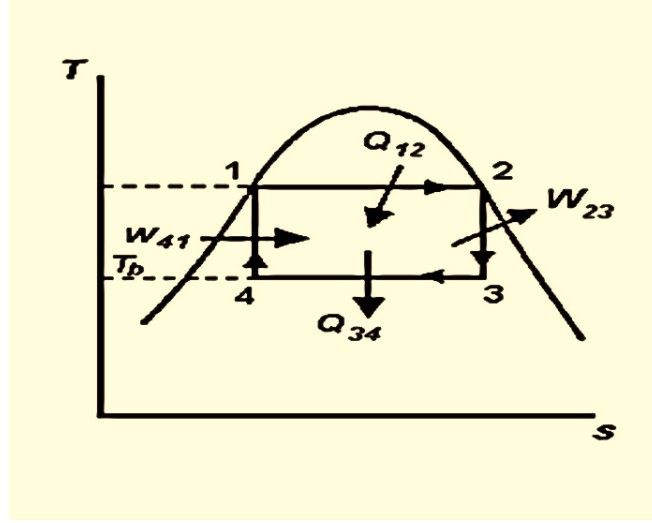
الشكل 11.2. يمثل مخطط تغير الطور

- يلعبُ الإنتروبي دورًا رئيسيًا في تغير الطور فالشكل أعلاه عبارة عن منحنى قطع مكافئ ، توجد منطقة الماء على يسار الخط، ومنطقة البخار المحمص على يمينه.
- داخل المنحنى ، توجد منطقة التشبع حيث يكون هناك مزيج ماء + بخار .
- يمثل محور الترتيب على اليسار درجة الحرارة، ومحور الفواصل الأنتروبي، يمثل محور الترتيب على اليمين المحتوى الحراري (enthalpy).
- تمثل القيم X المكتوبة باللون البنفسجي نسبة جفاف الماء .
- نسبة الجفاف : هي مقياس للقوى بين الجزيئات و في هذه الحالة بين جزيئات الماء .
- أعلى نقطة في المنحنى هي النقطة الحرجة و قد تم تعريفها سابقا [24]

6.2.3.2 الدورات الترموديناميكية للتوربينات البخارية

دورة كارنو

لتحليل أداء محطات الطاقة البخارية يجب استخدام دورات مثالية، وهي تقريبات نظرية للدورات الحقيقية، و تُعد دورة كارنو دورة مثالية ولكنها غير عملية، وتوفر أقصى كفاءة حرارية ممكنة لدورة تعمل ضمن نطاقات



الشكل 12.2. يوضح دورة كارنو المثالية

شرح الدورة

4 ← 1 مضخة انضغاط أدياباتيكي

1 ← 2 الغلاية (المرجل) : تسخين بثبات درجة الحرارة والضغط .

2 ← 3 التوربين: تمدد أدياباتيكي للبخار من الضغط العالي و درجة الحرارة العالية إلى ضغط منخفض مع انتاج

عمل

3 ← 4 المكثف : فقدان الحرارة مع التبريد عند ضغط و درجة حرارة ثابتتين [25]

تُعد دورة كارنو مفهومًا نظريًا مهمًا في علم الديناميكا الحرارية، لكنها غير عملية لمحطات الطاقة البخارية الفعلية ،

ويرجع ذلك إلى أن دورة كارنو تفترض أن جميع العمليات عكوسة، وهو أمر غير ممكن في الواقع. تحتوي محطات

الطاقة البخارية الفعلية على عدد من حالات التحول غير العكوس ، مما يقلل من الكفاءة الحرارية وهذه بعض النقاط

التي توضح حيود دورة كارنو عن الدورة الحقيقية

➤ **وظيفة المكثف** هي تحويل البخار من النقطة 3 الى سائل 4 ومن حلقة كارنو نلاحظ أن النقطة 4 عبارة عن خليط سائل + بخار أضف الى ذلك أن هذه النقطة تمثل دخول السائل الى المضخة

➤ **انخفاض معامل الشغل:** تعطي دورة كارنو نسبة شغل منخفضة، مما يعني أنها تحول كمية صغيرة من الطاقة الحرارية إلى شغل

➤ **صعوبات عملية في الضغط:** توجد صعوبات في التحكم بعملية التكثيف لتوقيفها عند المرحلة 4 (شكل) كما يصعب ضغط بخار رطب بكفاءة، يميل السائل إلى الانفصال عن البخار، مما يؤدي إلى خليط غير متجانس في الضواغط ، علاوة على ذلك، يزداد حجم السائل بشكل كبير، مما يجعل حجم و تكلفة الضواغط مشابهة لتلك الخاصة بالتوربينات من ناحية أخرى، يسهل تكثيف البخار بالكامل وضغط السائل إلى ضغط المرجل باستخدام مضخة تغذية صغيرة الحجم

➤ **بداية مرحلة التوربين** تبدأ عند النقطة (2) التي تمثل بخار مشبع في دورة كارنو و بالتالي طول المرحلة (2) الى (3) تزداد نسبة السائل الموجود مع البخار وهذا يؤدي إلى تآكل شفرات التوربين

ومع ذلك، لا تزال دورة كارنو وسيلة لفهم مبادئ توليد الطاقة البخارية ، من خلال دراسة دورة كارنو يمكننا التعرف على العوامل التي تؤثر على الكفاءة الحرارية لمحطات الطاقة البخارية، كما يمكننا استخدام دورة كارنو لتطوير تصاميم أكثر كفاءة لمحطات الطاقة البخارية. [25]

دورات رانكين البخارية المثالية و الفعلية

دورة رانكين المثالية البسيطة

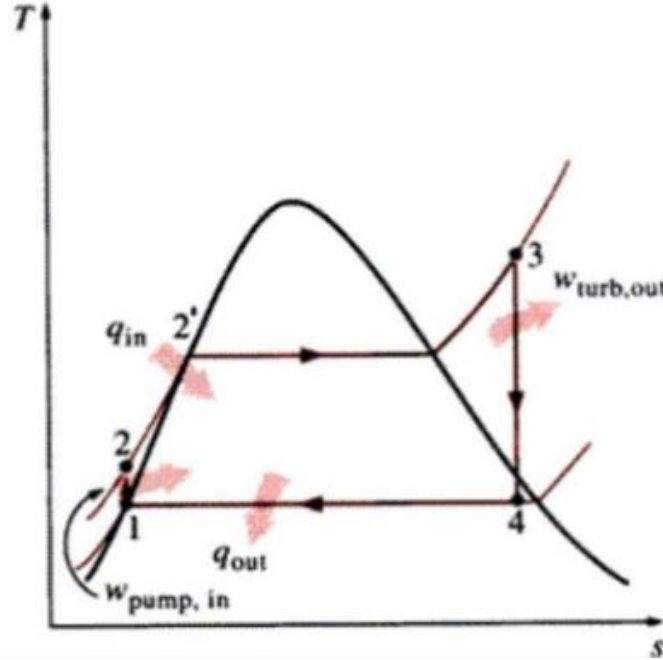
دورة رانكين (Rankine) المثالية هي دورة حرارية نظرية تصف تشغيل دورة بخارية يتم فيها تحويل الطاقة الحرارية لعمل ميكانيكي ، والتي تستخدم عادة في محطات الطاقة البخارية، جاءت لتحسين دورة كارنو للبخار و تطويرها و تعتبر بمثابة معيار لتحليل أداء دورات الطاقة الحقيقية وفهم المبادئ الأساسية لتشغيل محركات الحرارة سميت بالمثالية لأنها تحتوي على فرضيات يستحيل تطبيقها في الحالة الحقيقية و هي كالآتي :

• جميع العمليات عكوسة ، مما يعني عدم حدوث نقل للحرارة من خلال فرق درجة الحرارة وتعمل جميع المكونات بكفاءة مثالية.

• تظل خصائص الماء ثابتة طوال الدورة.

• لا توجد انخفاضات في الضغط أو درجة الحرارة في النظام. [26]

دراسة دورة رانكين المثالية البسيطة



الشكل 13.2. يوضح حلقة رانكين المثالية

شرح الدورة

3←2 الغلاية

2←2' إضافة حرارة (تسخين) بثبات الضغط وباختلاف درجة الحرارة وذلك لتغيير الماء من الحالة (2) ماء غير مشبع إلى الحالة 2' (ماء مشبع) حتى يصل إلى درجة الحرارة والضغط اللازمين لدخوله إلى الغلاية 2'←3 تسخين بثبات درجة الحرارة والضغط .

3←4 التوربين ، يتمدد البخار بإجراء انعكاسي ثابت القصور الحراري من الحالة (3) بخار جاف مشبع إلى الحالة (4) بخار رطب .

4←1 المكثف : تكثيف كامل للبخار بالتبريد من الحالة (4) بخار رطب إلى الحالة (1) سائل مشبع لتسهيل عملية ضخه إلى الحالة (2) باستخدام المضخات العادية .

1←2 مضخة : انضغاط للبخار بإجراء انعكاسي ثابت القصور الحراري من الحالة (1) سائل مشبع إلى الحالة (2) سائل غير مشبع و تتواصل الدورة .

بتطبيق معادلة سريان الطاقة نجد :

$$h_1 + \frac{c_1^2}{2} + Z_1g + Q = h_2 + \frac{c_2^2}{2} + Z_2g + W \quad (1)$$

نفرض أن التغير في طاقة السرعة معدوما

$$\frac{c_2^2}{2} - \frac{c_1^2}{2} = 0$$

و التغير في طاقة الوضع معدومة $Z_2g - Z_1g = 0$ حيث تصبح المعادلة (1) كالاتي :

$$h_2 + Q = h_3 + W \quad (2)$$

الغلاية : من المعادلة (2)

$$Q_{SUPP} = Q_{221} = (h_3 - h_2) + W$$

وبما أن $W = 0$ ، فان $Q_{221} = (h_3 - h_2)$

التوربين : من المعادلة (2)

$$W_{O/P} = (h_3 - h_4) + Q$$

وبما أن $Q = 0$ (تمدد ادياباتيكي انعكاسي) ، $s_4 = s_3$

فان : $W_{O/P} = W_{34} = (h_3 - h_4)$

المكثف : من المعادلة (2)

$$Q_{rej} = Q_{41} = (h_4 - h_1) + W$$

وبما أن $W = 0$ ، فان : $Q_{rej} = Q_{41} = (h_4 - h_1)$

المضخة : من المعادلة (2)

$$W_{i/P} = W_{12} = (h_2 - h_1) + Q$$

وبما أن $Q = 0$ (تمدد ادياباتيكي انعكاسي) ، $s_1 = s_2$

فان : $W_{i/P} = W_{12} = (h_2 - h_1)$

صافي الشغل في الدورة

$$W_{net} = W_{34} - W_{12} = (h_4 - h_3) - (h_1 - h_2) \quad (3)$$

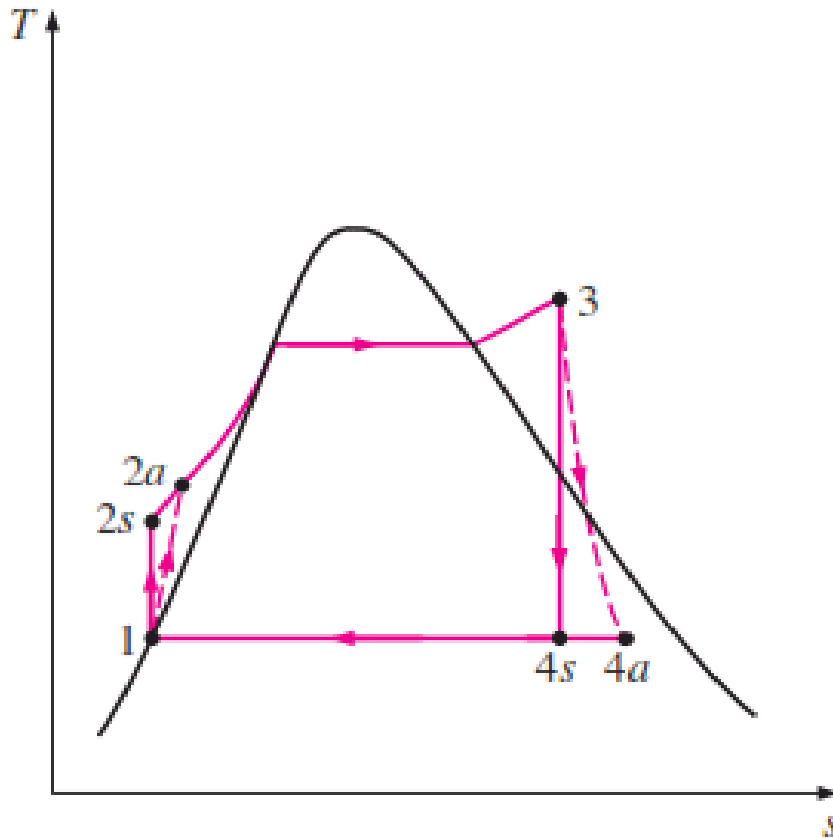
الكفاءة

$$\eta_{th} = \frac{(h_4 - h_3) - (h_1 - h_2)}{(h_3 - h_2)} \quad (4)$$

ملاحظة : الهدف من جعل طاقة السرعة وطاقة الوضع معدومة في المعادلة لاننا نهدف اساسا لواسة تغوات الانتالبي و كمية الحرة و العمل...

دورة رانكين الفعلية البسيطة

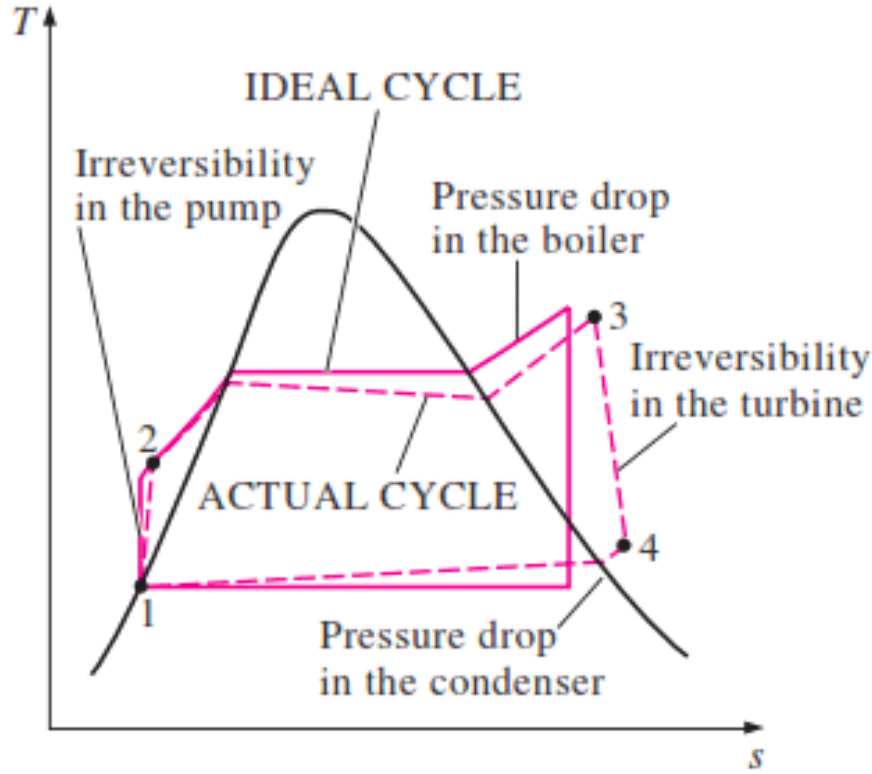
- دورة رانكين الحقيقية هي دورة تحويل الطاقة الحرارية إلى شغل، ولكنها تختلف عن دورة رانكين المثالية في أنها تأخذ في الاعتبار التحولات غير العكوسة التي تحدث في الواقع و نتيجة لذلك يحدث
- اللانعكاس الداخلي الذي يحدث لسائل العمل يرتبط بالتوسع عبر التوربينات الناتج عن هذه العملية لكل وحدة كتلة متدفقة أقل من العمل الناتج عن التوسع الإيزونتروبي المكافئ 3-4s.
 - اللانعكاس الداخلي الذي يحدث في المضخة يقلل من اجمالي خرج الطاقة بالنسبة للمحطة. [26]



الشكل 14.2. يوضح دورة رانكين الفعلية البسيط

حيود دورة رانكين الفعلية (الحقيقية) عن الدورة المثالية

تختلف دورة التوربين البخاري الفعلية عن دورة رانكين المثالية كما هو موضح في الشكل نتيجة لعدم وجود عمليات عكوسة في الواقع و هذا راجع لمصدرين رئيسيين :



الشكل 15.2. يوضح حيود دورة رانكين الفعلية (الحقيقية) عن الدورة المثالية

احتكاك السائل (اللزوجة) :

- يسبب احتكاك السائل انخفاضًا في الضغط داخل المرجل (الغلاية) والمكثف وأنابيب التوصيل بين مختلف المكونات.
 - ينتج عن ذلك خروج البخار من المرجل عند ضغط أقل إلى حد ما.
 - يؤدي انخفاض الضغط في الأنابيب المتصلة إلى انخفاض ضغط دخول التوربين مقارنةً بخروج المرجل.
 - عادةً ما يكون انخفاض الضغط في المكثف صغيرًا جدًا.
- لتعويض هذه الانخفاضات، يجب ضغط الماء إلى ضغط أعلى مما تحتاجه الدورة المثالية يتطلب ذلك مضخة أكبر ومدخل شغل أكبر للمضخة.

فقدان الحرارة:

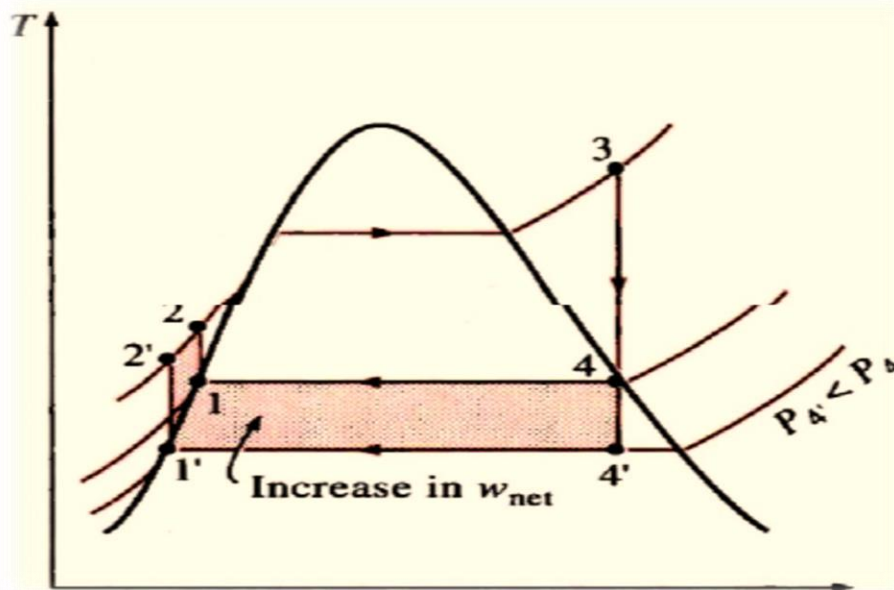
- يمثل فقد الحرارة من البخار إلى محيطه المصدر الرئيسي الآخر لعدم امكانية وجود عمليات عكوسة .
 - للحفاظ على نفس مستوى الشغل الخارجي، يلزم نقل المزيد من الحرارة إلى البخار في المرجل لتعويض هذه الخسائر غير المرغوبة نتيجة لذلك، تنخفض كفاءة الدورة.
 - عدم انعكاس في المضخة والتوربين تكتسب أهمية خاصة لعدم الانعكاس الذي يحدث داخل المضخة والتوربين.
- تتطلب المضخة مدخل شغل أكبر ويولد التوربين شغلاً أقل بسبب عدم الانعكاس [25]

7.2.3.2 طرق تحسين دورة رانكين

هناك ثلاث طرق لزيادة كفاءة الدورة الحرارية لرانكين الأساسية :

تقليل ضغط المكثف

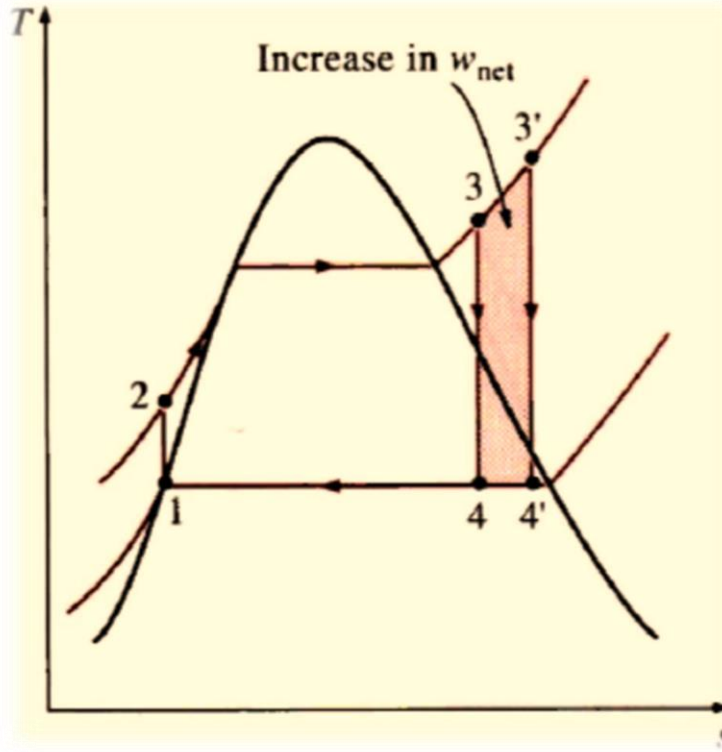
- تمثل المساحة الملونة السفلية الزيادة في العمل الصافي لانخفاض الضغط من 4 إلى 4'
- 2←2' تعبر عن الزيادة في الحرارة المنتقلة الى البخار يؤدي انخفاض ضغط المكثف في دورة رانكين إلى زيادة الكفاءة الحرارية للدورة، ولكن قد يؤدي أيضاً إلى مساوئ فخفض الضغط يصاحبه زيادة الرطوبة فكلما زادت الرطوبة عن الحد المسموح زادت تآكل الأجزاء الميكانيكية في الدورة خاصة التوربين . [27]



الشكل 16.2. يوضح تأثير انخفاض ضغط المكثف

تسخين البخار إلى درجة حرارة أعلى

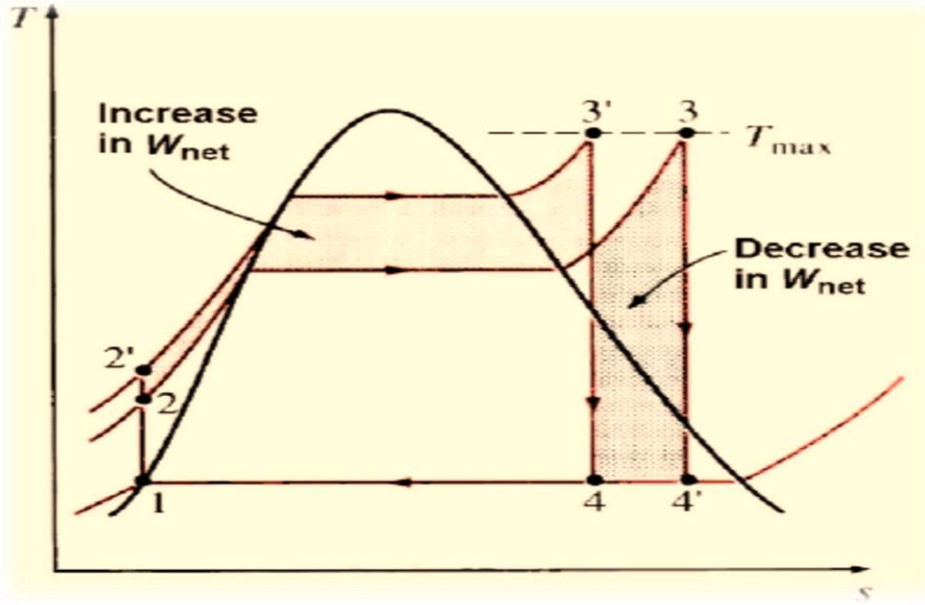
يسمح التسخين إلى درجة حرارة أعلى بتحقيق فرق درجة حرارة أكبر، مما يزيد من كمية العمل المنجز في الدورة وكما تم ذكره سابقاً أن البخار المحمص يتميز بكفاءة طاقة عالية . [27]



الشكل 17.2. يوضح تأثير تسخين البخار إلى درجة حرارة أعلى

زيادة ضغط المرجل الغلاية

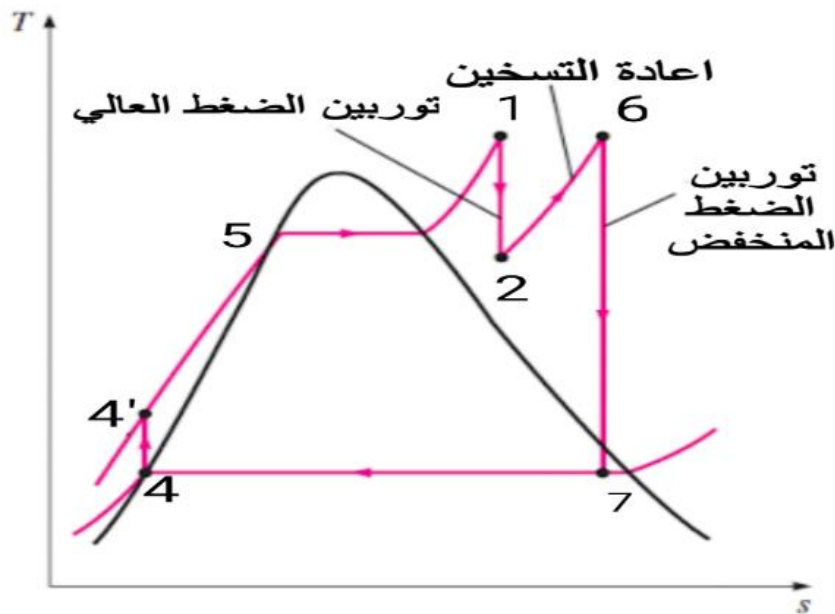
تؤدي زيادة ضغط الغلاية إلى زيادة العمل الصافي للدورة وانخفاض الحرارة المطرودة، حيث نلاحظ في الشكل () يزداد العمل بمقدار المساحة الأفقية الملونة العليا، و عكس ذلك يقل في المساحة العمودية الملونة السفلية تؤدي هذه الزيادة إلى انخفاض كسر جفاف البخار الخارج من التوربين، مما يزيد من الكفاءة الحرارية للدورة. [27]



الشكل 18.2. يوضح تأثير زيادة ضغط الغلاية

دورة إعادة التسخين

يتم إعادة تسخين البخار عند ضغط ثابت ودرجة حرارة متغيرة من الحالة 2 إلى الحالة 6 وذلك إما بإعادة البخار إلى الغلاية وتمريه خلال مجموعة من المواسير بالقرب من مواسير التحميص أو باستخدام فرن إعادة تسخين (reheater) يوجد بالقرب من التوربينة



الشكل 19.2. يوضح حلقة إعادة التسخين

من مخطط T-S من الشكل (الشكل 19.2) يمكن توضيح الآتي :

- 1←2 تمدد انعكاسي بثبوت القصور الحراري في التوربين ذو الضغط العالي .
 - 2←6 إعادة تسخين البخار بثبوت الضغط ويتفاوت درجة الحرارة .
 - 6←7 تمدد انعكاسي بثبوت القصور الحراري في التوربين ذو الضغط المنخفض .
- دواعي استخدام دورة إعادة التسخين : [25]

- تخفيض الرطوبة عند مخرج التوربين بحيث لا تتعدى نسبتها 10%
- إمكانية استخدام غلايات ذات ضغط عالي لزيادة الكفاءة وتقليل حجم المحطة وذلك لأن التمدد إذا تم في مرحلة واحدة فإن البخار الخارج من التوربينة سيحتوي على رطوبة و عليه سيتم التمدد على مرحلتين .
- تحسين الاستهلاك النوعي للبخار

دورة الاسترجاع (التجديد) [25]

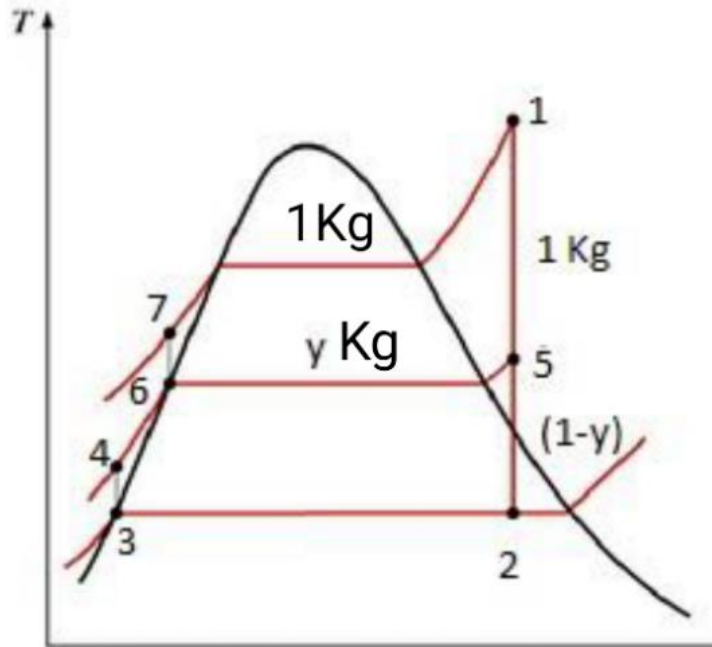
وهي الدورة التي يتم فيها زيادة درجة حرارة الماء الداخلة إلى الغلاية وذلك بتتزييف (استخلاص) بعض البخار عند ضغط وسيط من داخل التوربين وخلطه مع الماء الخارج من المكثف في سخان تغذية او خلاط وتكمن أهمية دورة الاسترجاع كونها لا تقتصر على تحسين كفاءة دورة طاقة البخار فحسب، بل توفر أيضًا عددًا من الفوائد الأخرى:

- إزالة الهواء: تساعد دورة الاسترجاع إزالة الهواء (تخفيضه) من مياه التغذية (الذي يتسرب في المكثف) لمنع التآكل في الغلاية.

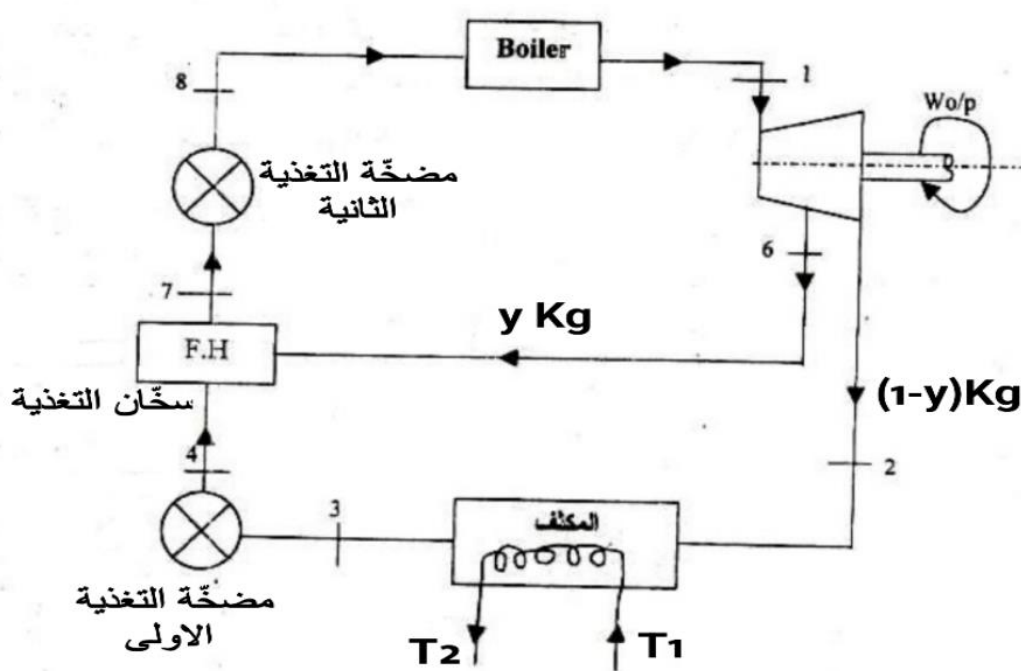
- التحكم في حجم البخار: تساعد إعادة التوليد على التحكم في معدل التدفق الضخم للبخار في المراحل النهائية من التوربين (نتيجةً للأحجام النوعية الكبيرة للبخار عند الضغوط المنخفضة).

- تقليل استهلاك الوقود: تقلل دورة الاسترجاع من حرارة مياه التغذية التي تحتاج إلى إضافتها من الغلاية، وبالتالي تقلل من استهلاك الوقود

يتم توضيح مخطط T-S والمخطط الكتلي للدورة في الأشكال (الشكل 20.2) و (الشكل 21.2)



الشكل 20.2. يوضح حلقة دورة الاسترجاع



الشكل 21.2. يوضح المخطط الكتلي للدورة

شرح المخطط الكتلي للدورة

يتمدد البخار من الحالة (1) إلى الحالة (2) خلال التوربين. وعند ضغط وسيط P6، يتم استنزاف كمية من البخار من التوربينة بمقدار $y \text{ kg}$ لكل kg من البخار. تسمى هذه العملية "نزف البخار". يتم إمداده إلى سخان التغذية (F.H) لرفع درجة حرارة الماء الداخل إلى الغلاية.

المتبقي من البخار يكمل إجراء التمدد في التوربينة ويخرج منها عند الحالة (2). حيث يتم تكثيفه في المكثف حتى الحالة (3). التي عندها يتم ضخه بواسطة مضخة التغذية الأولى إلى الحالة (4) ماء غير مشبع. وبعدها يتم تمريره إلى سخان التغذية عند نفس ضغط البخار المستنزف. حيث يتم خلطه مع البخار المستنزف لرفع درجة حرارة الماء ليصبح ماء مشبعاً عند الحالة (7). التي عندها يتم ضخه بواسطة مضخة التغذية الثانية إلى الحالة (8) (ماء غير مشبع). بعدها يدخل إلى الغلاية ليتم تسخينه بضغط ثابت. [15]

يتم حساب درجة حرارة النزيف بالمعادلة التالية:

$$t_{bleed} = \frac{t_5 + t_2}{2}$$

4.2 الخاتمة

في هذا الفصل تمت دراسة حرارية التوربينات الغازية تعرفنا على التوربينات البخارية بشكل مفصل وتمت دراستها حرارياً ومعرفة طرق تحسينها.

الفصل الثالث

دراسة حرارية و نظرية لمحطة توليد الطاقة

البخارية تعمل بدورة تسخين مياه التغذية

المفتوحة

1.3 مقدمة

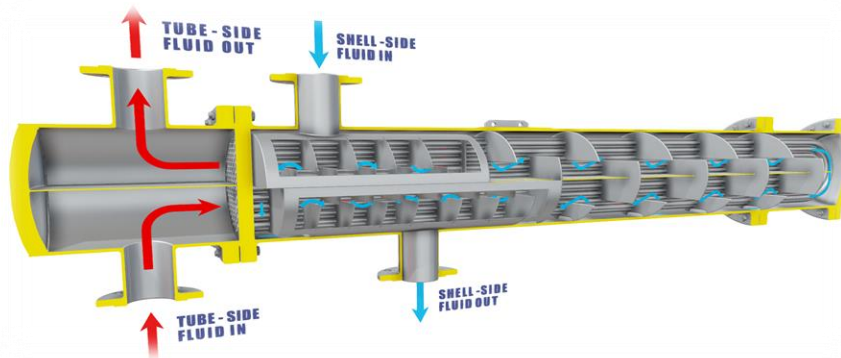
في محطات الطاقة التقليدية، حيث يدفع البخار التوربينات لتوليد الطاقة الكهربائية ، فإن تعظيم كفاءة هذه المحطات أمر بالغ الأهمية ، إحدى التقنيات الرئيسية التي تساهم في هذه الكفاءة هي تسخين مياه التغذية و سنتعرف على هذه التقنية جيدا في هذا الفصل.

2.3 تسخين مياه التغذية

يشير تسخين مياه التغذية إلى عملية تسخين الماء القادم من المكثف مسبقاً قبل دخوله المرجل(الغلاية) . يحدث هذا التسخين المسبق باستخدام البخار المستخرج من مراحل مختلفة من التوربين البخاري يحدث تبادل حراري بين الماء القادم من المكثف و كمية البخار المسحوب داخل جهاز سخان مياه التغذية بعد حدوث التبادل الحراري بين الماء و كمية البخار المسحوبة داخل "FWH" ترتفع درجة حرارة الماء و بالتالي تقل كمية الطاقة اللازمة لتغيير طور الماء الى بخار و ترتفع الكفاءة بشكل عام. [28]

3.3 سخان مياه التغذية

او ما يعرف بالمبادلات الحرارية وهي عبارة عن أجهزة صممت لغرض توصيل الحرارة من وسط إلى آخر بأكبر كفاءة ممكنة ، سواء كان الوسط مفصول بجدار صلب وحتى لو كان الوسيطان لا يلامسان بعضهما بشكل مباشر ، تستخدم مبادلات الحرارة بشكل واسع في التدفئة والتبريد ، وتكييف الهواء وفي محطات الطاقة والمصانع الكيميائية والبتروكيميائية بالإضافة إلى مصافي النفط ومعامل معالجة الغاز . [29]



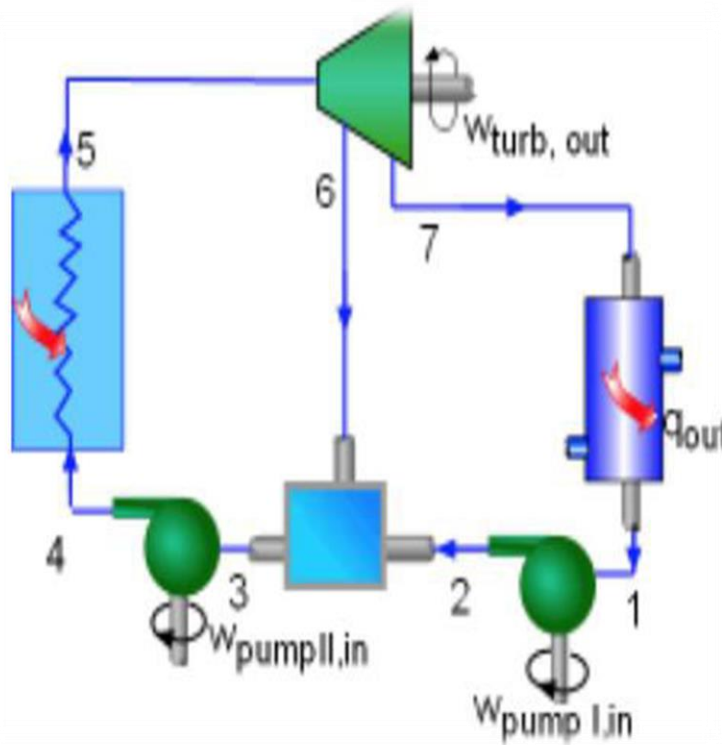
الشكل 1.3. يوضح مبادل حراري

يحتوي المبادل الحراري الموضح في (شكل 1.3) على مدخلين ومخرج واحد مدخل خاص بالماء القادم من المكثف والتي تضخه المضخة ومدخل خاص بالبخار المستخلص من مرحلة من مراحل التوربين حيث يوضع هذا المبادل الحراري في محطات الطاقة البخارية التي تعمل بدورة مياه التغذية فيقوم بتسخين الماء القادم من المكثف بواسطة البخار المستخلص من مرحلة من مراحل التوربين.

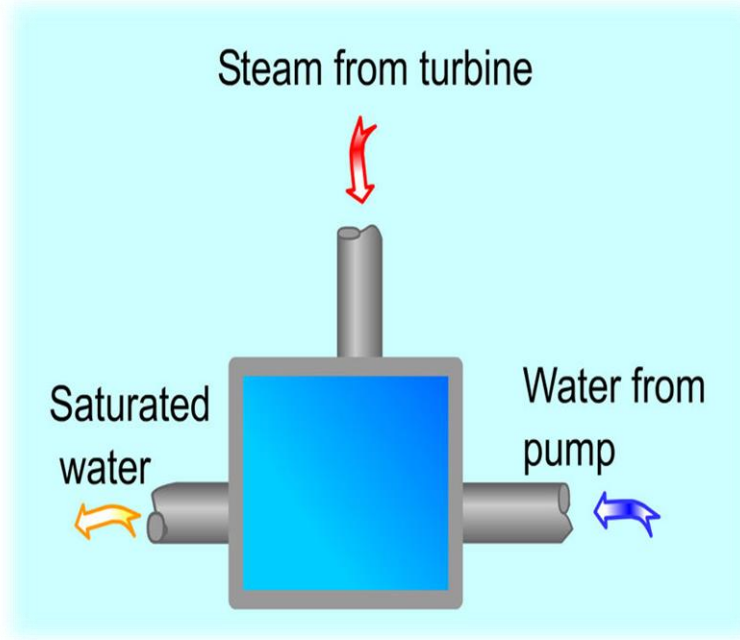
1.3.3 أنواع سخان مياه التغذية

1.1.3.3 سخان مياه التغذية المفتوحة [30]

في هذا النوع تحدث عملية الخلط المباشر بين الماء القادم من المكثف و البخار المسحوب من التوربينة حيث يقوم الماء بسحب الطاقة الموجودة في البخار و بالتالي يسخن الماء و يتكثف البخار و يتحول لماء ساخن يتم جمع الماء الناتج من مصدرين (الماء الذي تم تسخينه + البخار المكثف) ليتم نقله مباشرة الى الغلاية باستخدام مضخة ثانية.



الشكل 2.3. دورة تسخين مياه التغذية المفتوحة



الشكل 3.3. يوضح مداخل ومخارج سخان مياه التغذية المفتوحة

في (شكل 3.3) نلاحظ أن هناك تلامس مباشر بين البخار الساخن و المسحوب من مرحلة من مراحل التوربين وبين الماء القادم من المكثف و الذي يتم ضخه بواسطة الغلاية.

مميزات سخان مياه التغذية المفتوحة

- بساطة التصميم و قلة الاجزاء مما يسهل من عملية الصيانة و التنظيف
- معدل انتقال الحرارة أكبر و افضل لان التلامس المباشر الذي يحدث بين البخار المسحوب والماء المكثف يؤدي الى خلق مساحة تلامس كبيرة مما تتناسب مع معدل انتقال الحرارة تبعا للعلاقة التالية

$$q = hA. \Delta T$$

تحسين الكفاءة عن طريق تقليل كمية الحرارة المضافة للغلاية فكما هو معلوم فإن علاقة الكفاءة تعطى حيث:

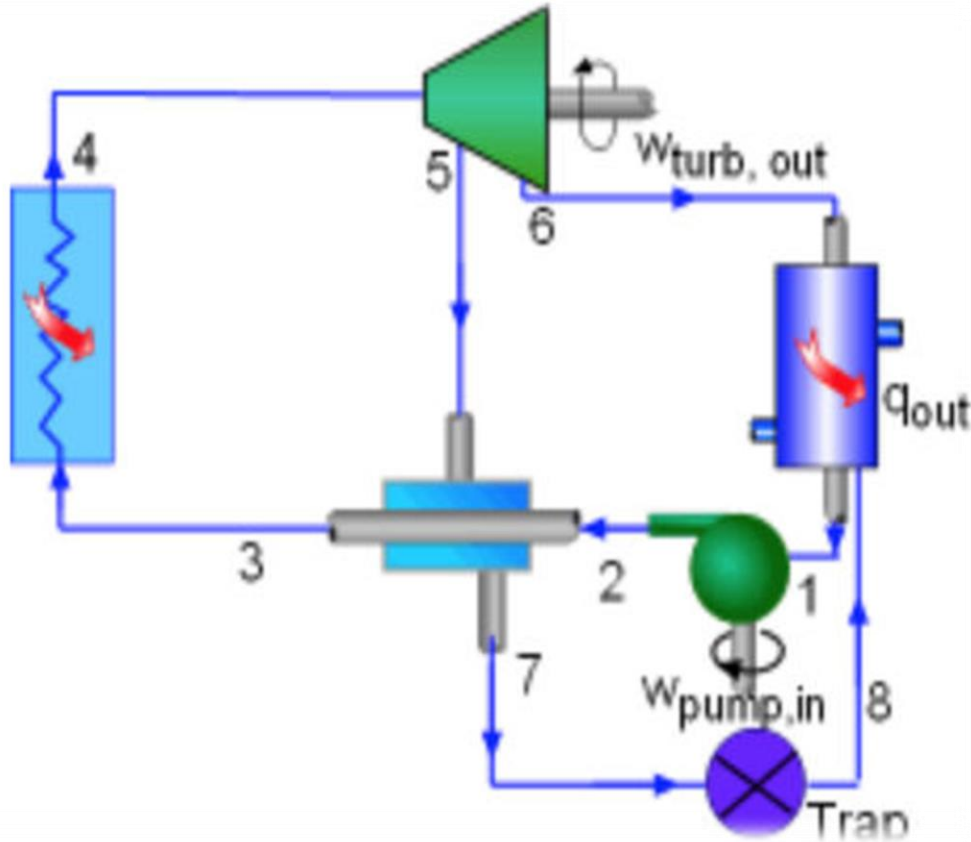
$$\eta = \frac{W_{net}}{Q_{supp}}$$

مما يعني حرارة مضافة Q_{supp} أقل يستلزم كفاءة η أكبر أي :

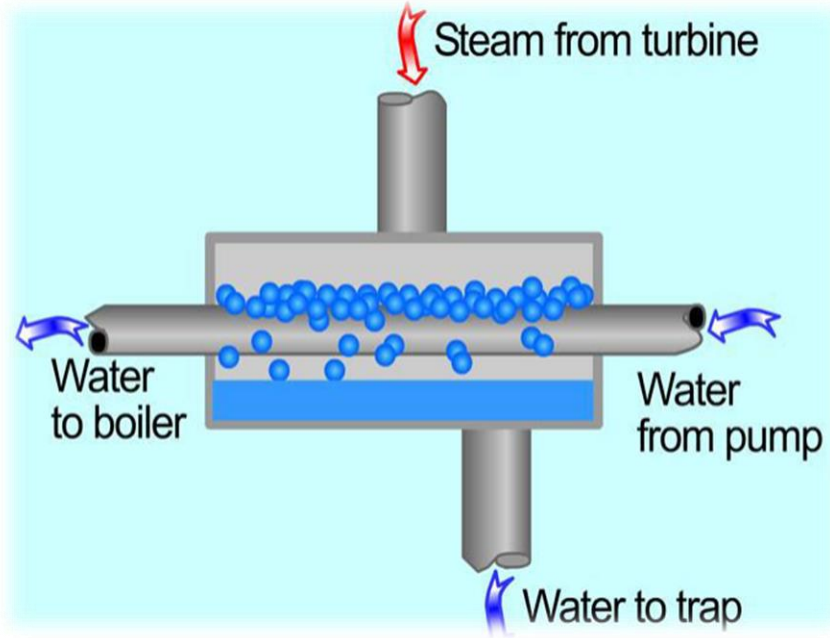
$$\eta \uparrow = \frac{W_{net}}{Q_{supp} \downarrow}$$

2.1.3.3 سخان مياه التغذية المغلق

هو جهاز له نفس مبدأ عمل سخان مياه التغذية المفتوح (OFWH) من حيث زيادة درجة حرارة سائل التشغيل والفرق هو أن سخان مياه التغذية المغلق عبارة عن حجرة خلط لا يختلط فيها البخار والسائل ماديا كما هو الحال في (OFWH)، ولكن يتم تسخين الماء والبخار المستخرج من التوربين مسبقا بشكل منفصل داخل سخان مياه التغذية المغلق (يكون الماء القادم من المكثف في مواسير خاصة يتم تسخينه في الخارج عن طريق البخار المحيط به) . وعندما يتم تسخين البخار المستخرج في سخان مياه التغذية المغلق، فإنه سيشكل بخار مشبع يحتاج إلى ضخه خارج سخان مياه التغذية المغلق، ثم يتم تمريره عبر مصيدة البخار (steam trap) وإعادته إلى المكثف مرة أخرى لتكرار الدورة. [30]

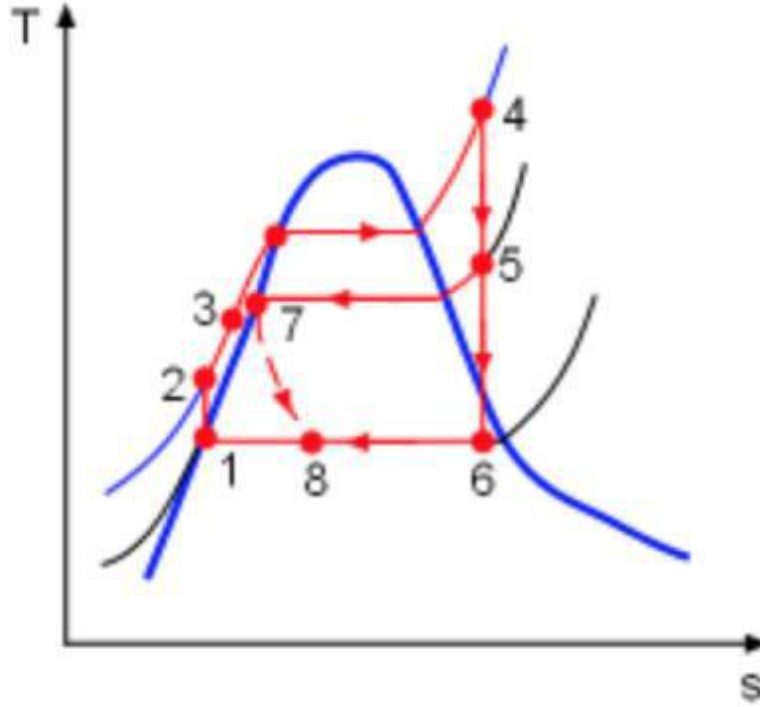


الشكل 4.3. دورة تسخين مياه التغذية المغلقة



الشكل 5.3. يوضح مداخل ومخارج سخان مياه التغذية المغلقة

في (الشكل 5.3) نلاحظ أن هناك تلامس غير مباشر بين البخار الساخن و المسحوب من مرحلة من مراحل التوربين وبين الماء القادم من المكثف و الذي يتم ضخه بواسطة الغلاية ويمر داخل مواسير موجودة في سخان مياه التغذية المغلقة.



الشكل 6.3. يوضح مخطط رانكين لدورة تسخين مياه التغذية المغلقة

شرح الحلقة

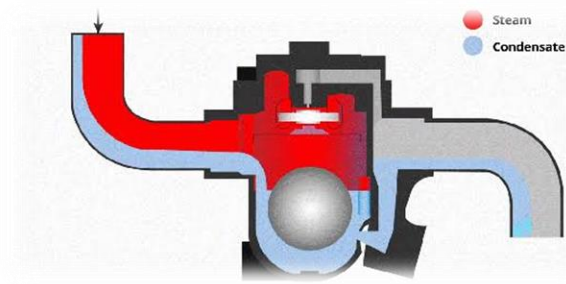
من 2 ← 3 سخان مياه تغذية مغلق

من 5 ← 6 التوربين

من 3 ← 4 الغلاية

يتم تمرير البخار المشبع من النقطة (7) عبر مصيدة البخار قبل إعادة توجيهه إلى المكثف عند النقطة (8) يهدف هذا التعديل إلى معالجة مشكلة المكثف الناتج عن سخان مياه التغذية المغلق عند النقطة (7) و توجيهه الى المكثف (8).

مصائد البخار هي نوع من الصمامات الأوتوماتيكية التي تقوم بتصفية المكثفات (أي البخار المشبع) والغازات غير المتكثفة مثل الهواء دون السماح للبخار بالهروب. وفي الصناعة، يُستخدم البخار كقوة دافعة للطاقة الميكانيكية، يتم استخدام هذه المصائد مثل هذه التطبيقات لضمان عدم إهدار البخار. [30]



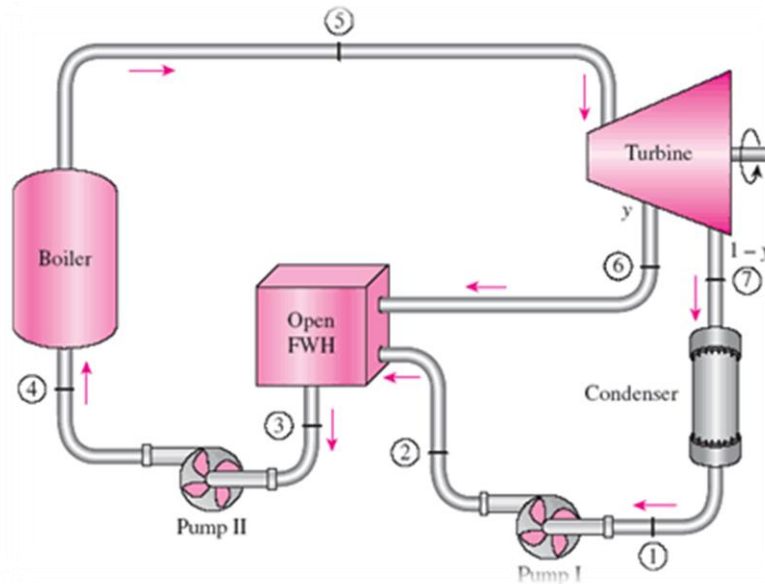
الشكل 7.3. يوضح مصيدة البخار (Steam trap)

سلبيات سخان مياه التغذية المغلقة

- معدل انتقال حرارة أقل بسبب التلامس غير المباشر (الماء موجود داخل المواسير و البخار خارجها) و بالتالي المساحة الصغير تقلل من معدل انتقال الحرارة
- تكلفة عالية لوجود مواسير داخلية
- تتطلب صيانة دورية لكثرة الاجزاء [31]

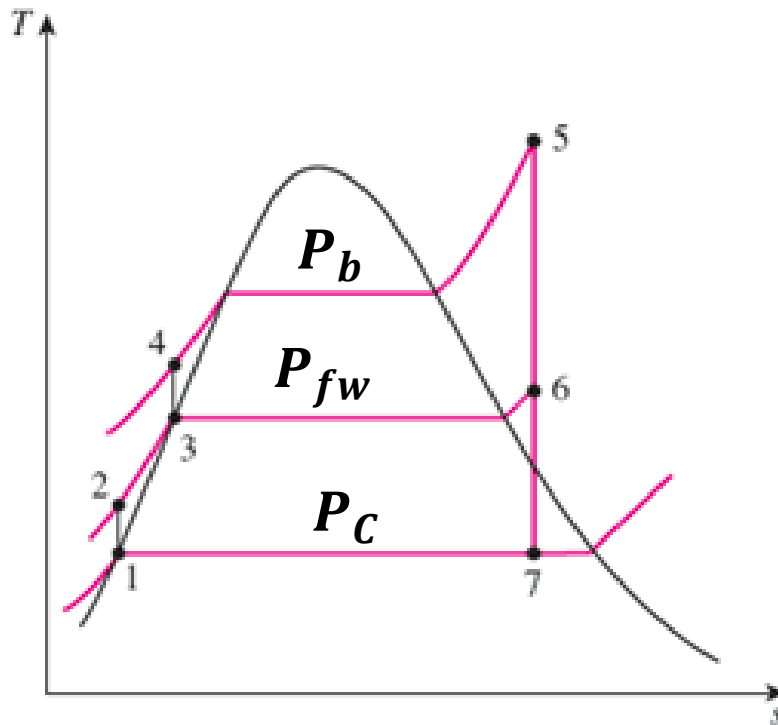
4.3 دراسة ترموديناميكية لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة

تُعدّ الدراسة الحرارية لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة أداة قيمة لتحسين أداء المحطة وتقليل تأثيرها على البيئة يمكن استخدام نتائج الدراسة لتطوير تقنيات جديدة وتحسين أداء المحطات القائمة وتقييم تأثير مشاريع الحديث.



الشكل 8.3. مخطط يوضح محطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة

في (الشكل 8.3) يتم ضخ الماء بواسطة مضخة الى الغلاية داخل هذه الغلاية، يتعرض الماء لحرارة عالية ناتجة عن احتراق الوقود ، مما يؤدي إلى تحويله إلى بخار؛ يتدفق البخار الساخن من الغلاية عبر أنابيب ضخمة إلى توربين بخاري فيقوم بتدوير شفرات التوربين بسرعة عالية يتم استخلاص جزء من البخار من مرحلة من مراحل التوربين ليعمل على تسخين الماء القادم من المكثف و دفع الماء الساخن الى الغلاية مما يؤدي لتقليل كمية الحرارة التي ستدخل الى هذه الدورة.



الشكل 9.3. حلقة لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة

P_b : ويمثل ضغط الغلاية

P_{fw} : ويمثل ضغط سخان التغذية

P_c : ويمثل ضغط المكثف

من خلال المخطط أعلاه فان y هي كتلة البخار المستخلصة من التوربين الى المبادل الحراري

عمل التوربين :

$$W_{tur} = (h_5 - h_6) - (1 - y)(h_6 - h_7) \quad (1)$$

عمل المضخة :

$$W_{pump} = w_{p1} + w_{p2} = (1 - y)(h_2 - h_1) + (h_4 - h_3) \quad (2)$$

العمل الصافي :

$$W_{net} = W_{tur} - W_{pump} \quad (3)$$

الغالية :

$$Q_{in} = (h_5 - h_4) \quad (4)$$

المكثف :

$$Q_{out} = (1 - y)(h_7 - h_1) \quad (5)$$

بالنسبة لقيم (h) فانها تستخرج من جداول البخار

يمكن التعبير عن العمل الصافي كالتالي

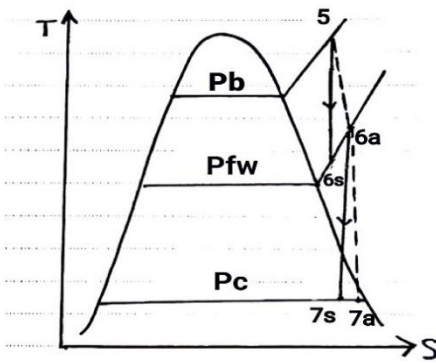
$$W_{net} = Q_{in} - Q_{out} = W_{tur} - W_{pump} \quad (6)$$

ومنه تعطى علاقة الكفاءة كالتالي :

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \quad (7)$$

كفاءة التوربين

نطبق هذه الطريقة اذا كان هناك n توربين وفي هذه الحالة نشتغل على التوربين من نقطة المدخل



في الحالة 5

h_5 و S_5 معلومين من جداول البخار

في الحالة 6

$$p_6 = p_{fw} \quad S_{6s} = S_5$$

$$\eta_{turbin} = \frac{h_5 - h_{6a}}{h_5 - h_{6s}}$$

في الحالة 7

ولدينا

$$p_7 = p_c \quad S_{7s} = S_5$$

إيجاد h_{7a}

$$\eta_{turbin} = \frac{h_5 - h_{7a}}{h_5 - h_{7s}}$$

ومنه العمل يعطى بالعلاقة

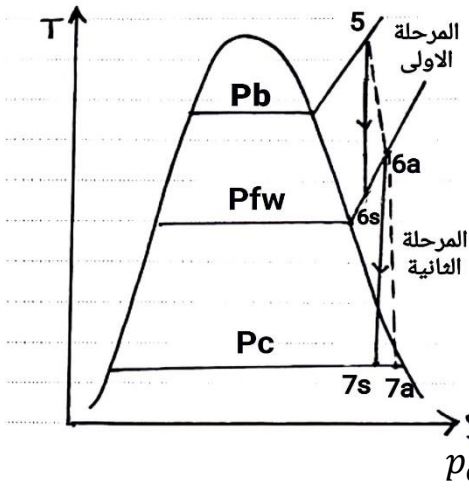
$$W_{tur} = (h_5 - h_{6a}) + (1 - m)(h_{6a} - h_{7a})$$

كفاءة المرحلة

نطبق هذه الطريقة اذا اعطى في المسألة كفاءة كل مرحلة منفصلة

في المرحلة الأولى

$$6 \leftarrow 5$$



الحالة 5

لدينا T_5 و P_5 إيجاد كل من h_5 و S_5

الحالة 7

$$p_6 = p_{fw}$$

$$S_{6s} = S_5$$

إيجاد h_{6s}

$$\eta_{1ststage} = \frac{h_5 - h_{6a}}{h_5 - h_{6s}}$$

بعد الحصول على h_{6a} نحدد قيمة S_{6a} على حسب مكان النقطة وذلك لاستخدامها في حساب الخصائص عند

النقطة 7

في المرحلة الثانية

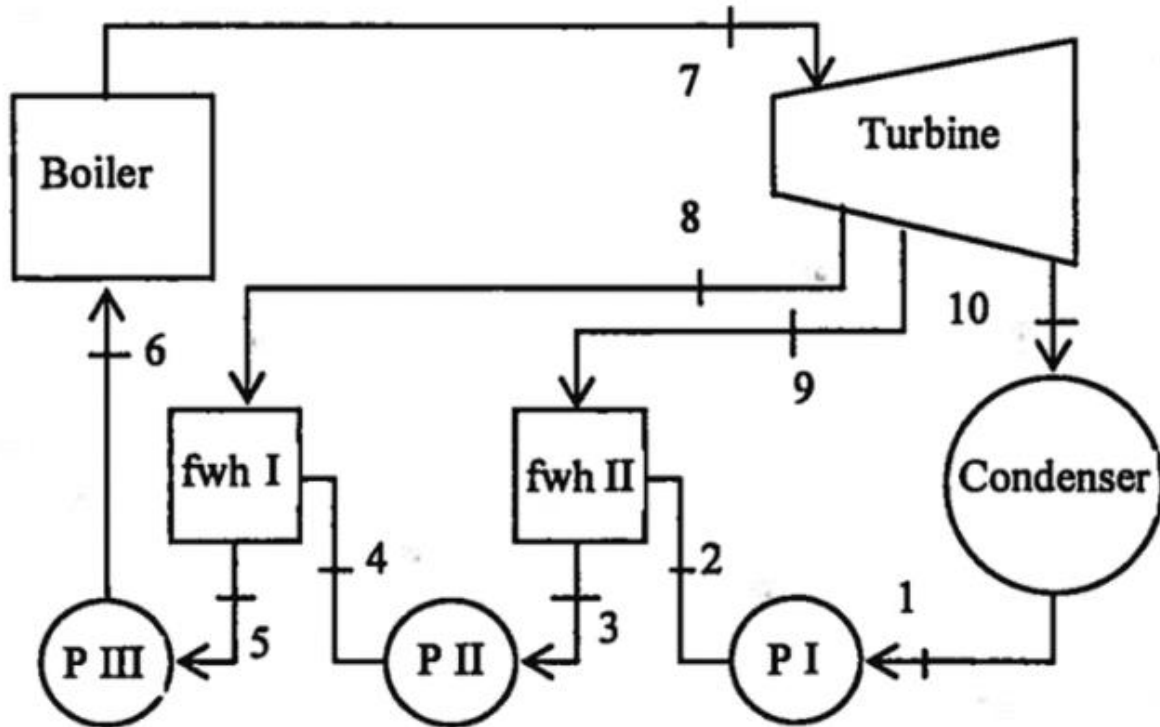
الحالة 7

$$p_7 = p_c \quad S_{7s} = S_{6a}$$

$$\eta_{2ndstage} = \frac{h_{6a} - h_{7a}}{h_{6a} - h_{7s}}$$

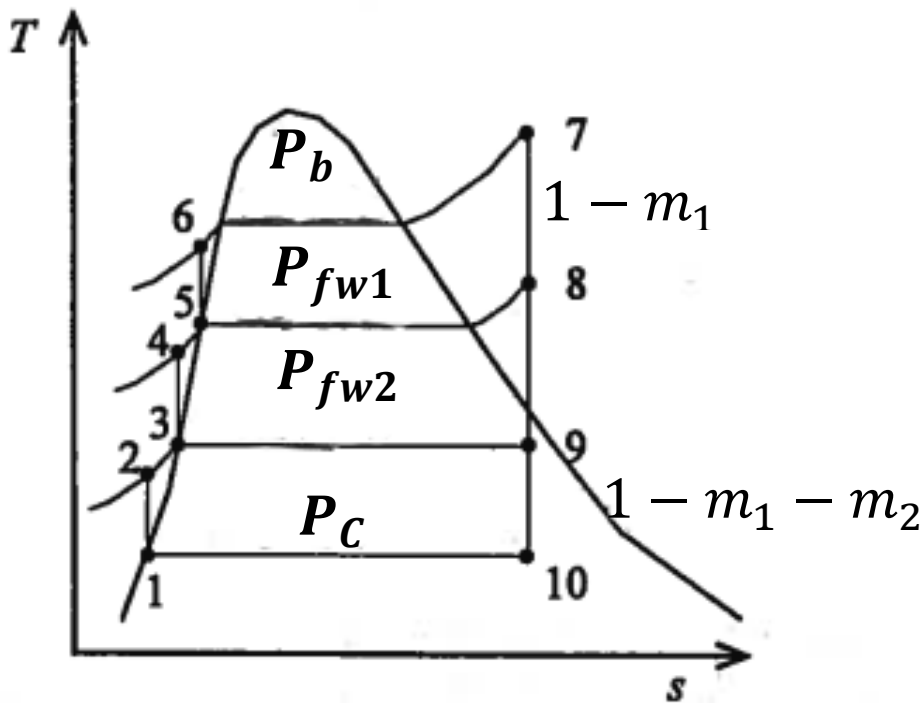
5.3 دراسة ترموديناميكية لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة مزودة بسخانين مياه التغذية

تعد محطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة مزودة بسخانين من مياه التغذية نوعًا محددًا من محطات الطاقة البخارية التي تستخدم دورة بخارية مع سخانين منفصلين لمياه التغذية. في هذه الدورة، يتم تبريد البخار المتمدد جزئيًا في مكثف، ثم يتم ضخه مرة أخرى إلى المرجل بعد تسخينه في مرحلتين باستخدام ماء التبريد من مصدر مثل نهر أو بحيرة.



الشكل 10.3. مخطط مياه التغذية المفتوحة مزودة بسخانين مياه التغذية

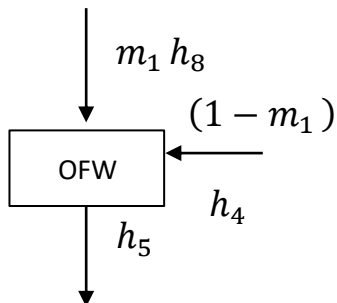
في (الشكل 10.3) يتم سحب البخار من مرحلتين مختلفتين المرحلة الاولى تخص سخان مياه التغذية الاول و المرحلة الثانية تخص سخان مياه التغذية الثاني وكلا السخانين يعملان على تسخين الماء القادم من المكثف ومن ثم يدفع الماء الساخن الى الغلاية .



الشكل 11.3. حلقة مياه التغذية المفتوحة مزودة بسخانين مياه التغذية

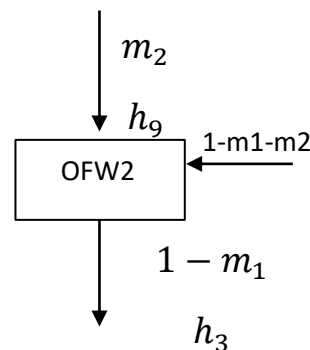
إيجاد m_1 و m_2

في سخان مياه التغذية الأول



$$m_1 h_8 + (1 - m_1) h_4 = h_5 \quad (1)$$

في سخان مياه التغذية الثاني



$$m_2 h_9 + (1 - m_1 - m_2)h_2 = (1 - m_1)h_3 \quad (2)$$

ومنه علاقات العمل و كمية الحرارة والكفاءة تعطى كالتالي:

عمل التوربين :

$$W_{tur} = (h_7 - h_8) - (1 - m_1)(h_8 - h_9)(1 - m_1 - m_2)(h_9 - h_{10}) \quad (3)$$

عمل المضخة :

$$W_{pump} = w_{p1} + w_{p2} + w_{p3} \quad (4)$$

$$W_{pump} = (1 - m_1 - m_2)(h_2 - h_1) + (1 - m_1)(h_4 - h_3) + (h_6 - h_5) \quad (5)$$

العمل الصافي :

$$W_{net} = W_{tur} - W_{pump} \quad (6)$$

كمية الحرارة

$$Q_{in} = (h_7 - h_6) \quad (7)$$

الكفاءة

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} \quad (8) \quad [31]$$

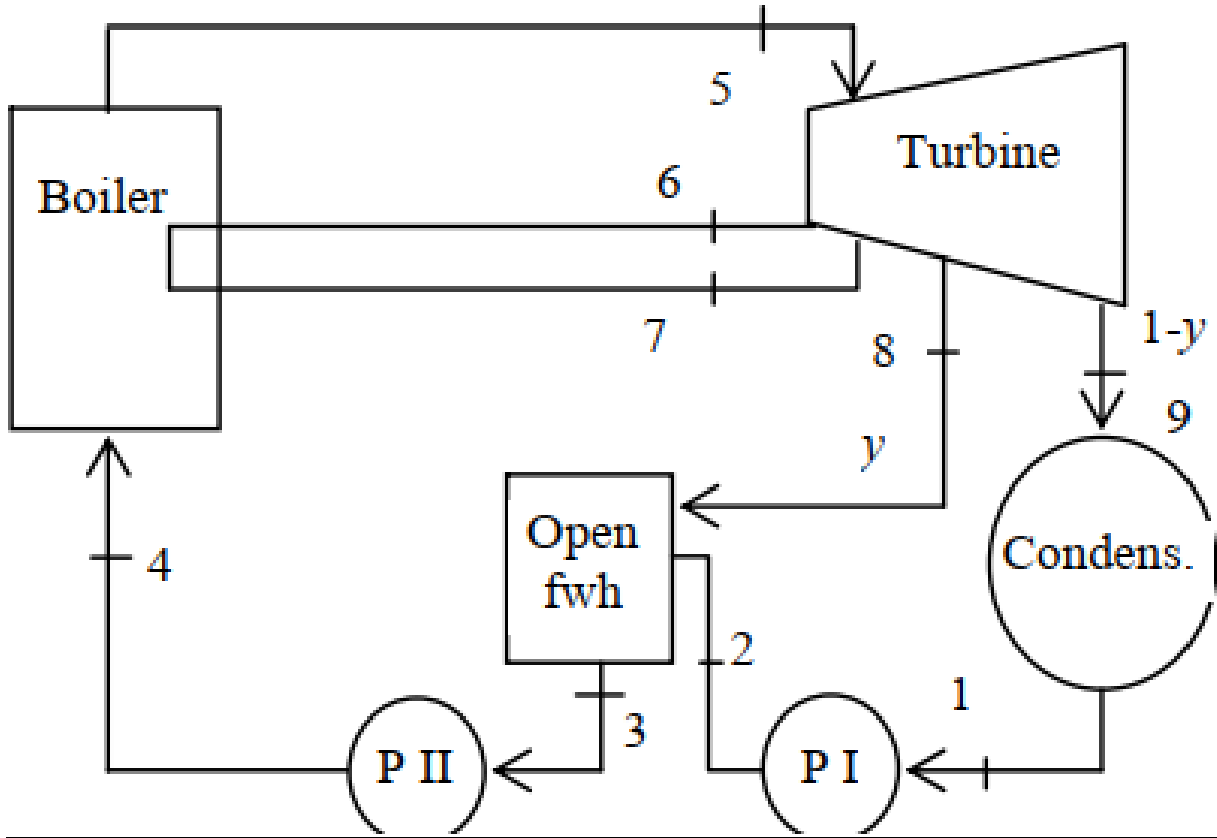
6.3 أنواع مخططات و حلقات مياه التغذية المفتوحة مع إعادة التسخين

1.6.3 دورة مياه التغذية المفتوحة مع إعادة التسخين

هي نوع من محطات الطاقة البخارية التي تستخدم دورة حرارية أكثر تعقيداً لتحسين كفاءتها. في هذه الدورة، يتم سحب بعض البخار المتمد من التوربينات وإعادة تسخينه قبل إعادته إلى المرجل. يؤدي ذلك إلى زيادة كمية الطاقة التي يمكن استخراجها من كل كيلوغرام من البخار، مما يؤدي إلى تحسين الكفاءة الحرارية للمحطة

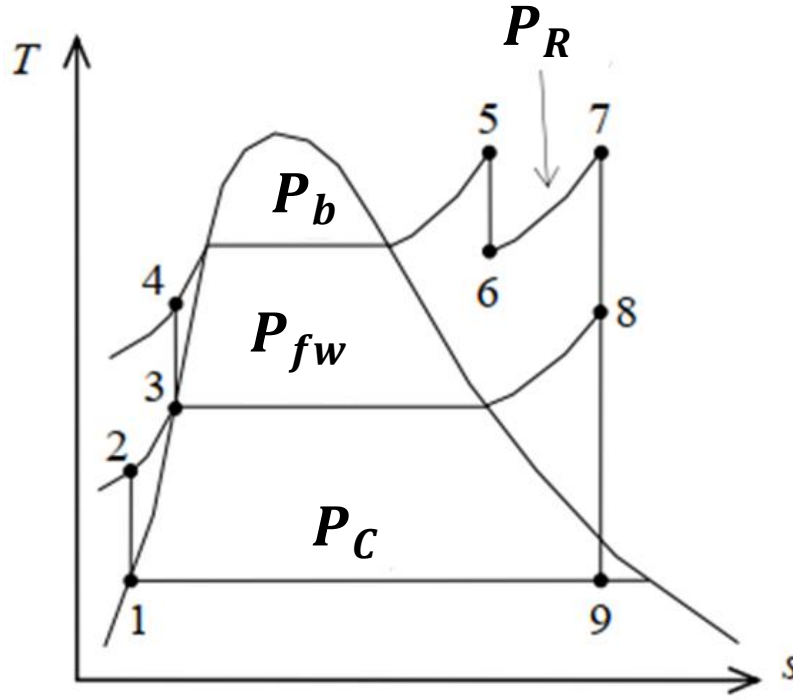
P_{fw} : ويمثل سخان التغذية

P_R : ويمثل ضغط إعادة التسخين



الشكل 12.3. مخطط مياه التغذية المفتوحة مع إعادة تسخين

(الشكل 12.3) يعمل بنفس مبدأ عمل المحطة البخارية التي تعمل بدورة مياه التغذية المفتوحة الا انه في الحالة 6 الى الحالة 7 يعاد البخار الى الغلاية ويتم تمريره خلال مجموعة من المواسير بالقرب من مواسير التحميص او باستخدام فرن إعادة التسخين.



الشكل 13.3. حلقة لدورة مياه التغذية المفتوحة مع إعادة تسخين

العلاقات

عمل كل من المضخة توربين عالي الضغط و التوربين منخفض الضغط

$$W_p = (1 - m)(h_2 - h_1) + (h_4 - h_3)$$

$$W_{Hpt} = (h_5 - h_6) + (1 - m)(h_6 - h_7)$$

$$W_{Lpt} = (1 - m)(h_8 - h_9)$$

إيجاد الكتلة m

$$mh_6 + (1 - m)h_2 = h_3$$

$$\Rightarrow m = \frac{h_3 - h_2}{h_6 - h_2}$$

كفاءة التوربين

في هذه الحالة لدينا توربينين نطبق قانون كفاءة عدة توربينات

توربين عال الضغط Hpt

$$\eta_{turbin} = \frac{h_5 - h_{7a}}{h_5 - h_{7s}}$$

توربين منخفض الضغط L_{pt}

$$\eta_{turbine} = \frac{h_{8a} - h_{9a}}{h_{8s} - h_{9s}} \quad [31]$$

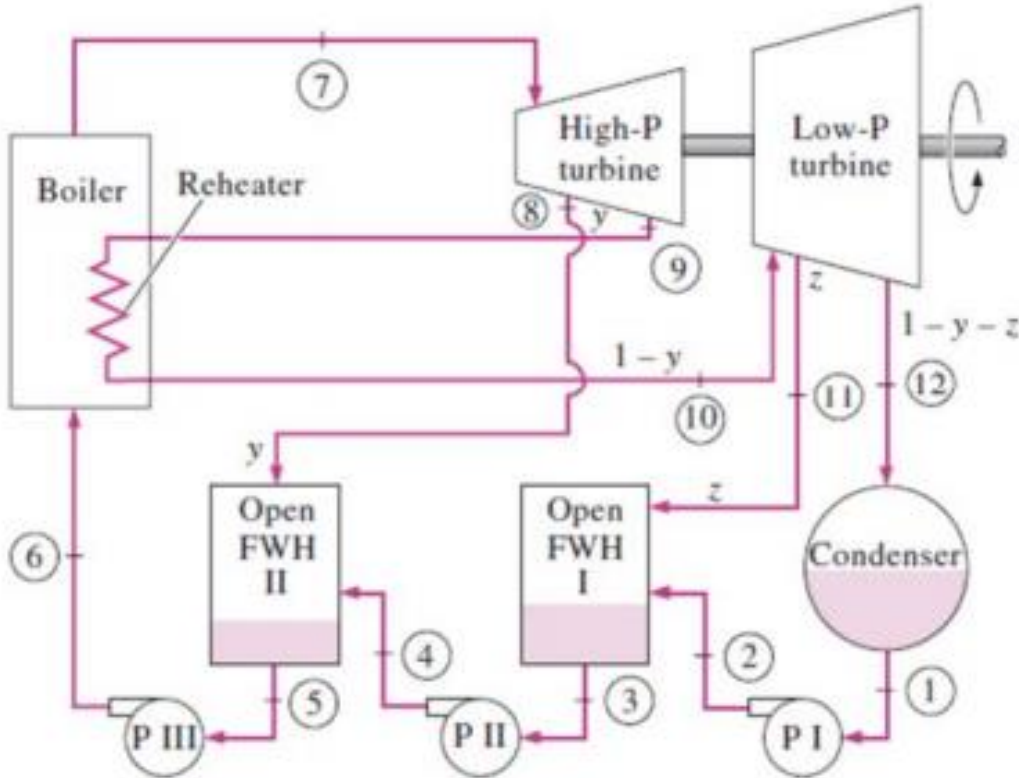
2.6.3 دورتين مياه التغذية المفتوحة مع إعادة التسخين

هي نوع متقدم من دورة رانكين البخارية المستخدمة في محطات الطاقة لتحسين كفاءتها الحرارية بشكل أكبر. في هذه الدورة، يتم سحب البخار المتمد من التوربين في مرحلتين وإعادة تسخينه قبل إعادته إلى المرجل. يؤدي ذلك إلى زيادة كمية الطاقة المستخرجة من كل كيلوغرام من البخار، مما يؤدي إلى تحسين الكفاءة بشكل أكبر.

P_{fw1} : ويمثل ضغط سخان التغذية الأول

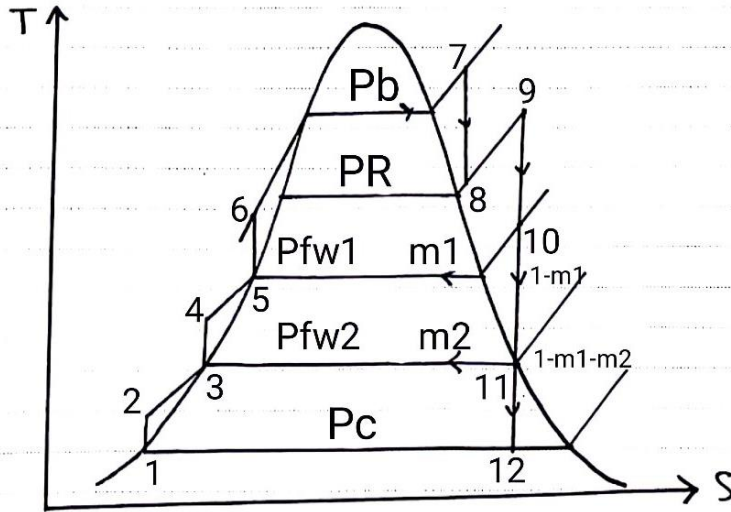
P_{fw2} : ويمثل ضغط سخان التغذية الثاني

P_R : ويمثل ضغط إعادة التسخين



الشكل 14.3. مخطط دورتين مياه التغذية المفتوحة مع إعادة التسخين

في (الشكل 14.3) يوجد سخانين لمياه التغذية مع دورة إعادة التسخين حيث يتم اعادة البخار الغلاية في الحالة 9 الى الحالة 10 ومن ثم دخوله للتوربين ثم الى المكثف وتستمر الدورة.



الشكل 15.3. حلقة لدورتين مياه التغذية المفتوحة مع إعادة التسخين

في (الشكل 15.3) يمثل الحلقة التي تعتمد عليها محطة بخارية بدورتين مياه التغذية المفتوحة مع إعادة التسخين حيث يمثل كل من :

P_b : ويمثل ضغط الغلاية

P_{fw} : ويمثل ضغط سخان التغذية

P_c : ويمثل ضغط المكثف

P_R : ويمثل ضغط إعادة التسخين

7.3 الخاتمة

تناول هذا الفصل مفاهيم سخان مياه التغذية ، بدءاً من دوره وأهميته وصولاً إلى أنواعه المختلفة كما تضمن الفصل دراسة حرارية لمحطة بخارية تعمل بسخان مياه التغذية المفتوحة، مع التركيز على تحليل أدائها وكفاءتها بالإضافة إلى ذلك، تمّ استعراض مختلف أنواع الدورات التي تُوظّف سخان مياه التغذية المفتوحة.

*

الفصل الرابع

دراسة رقمية لمحطة توليد الطاقة البخارية
تعمل بدورة تسخين مياه التغذية المفتوحة

1.4 مقدمة

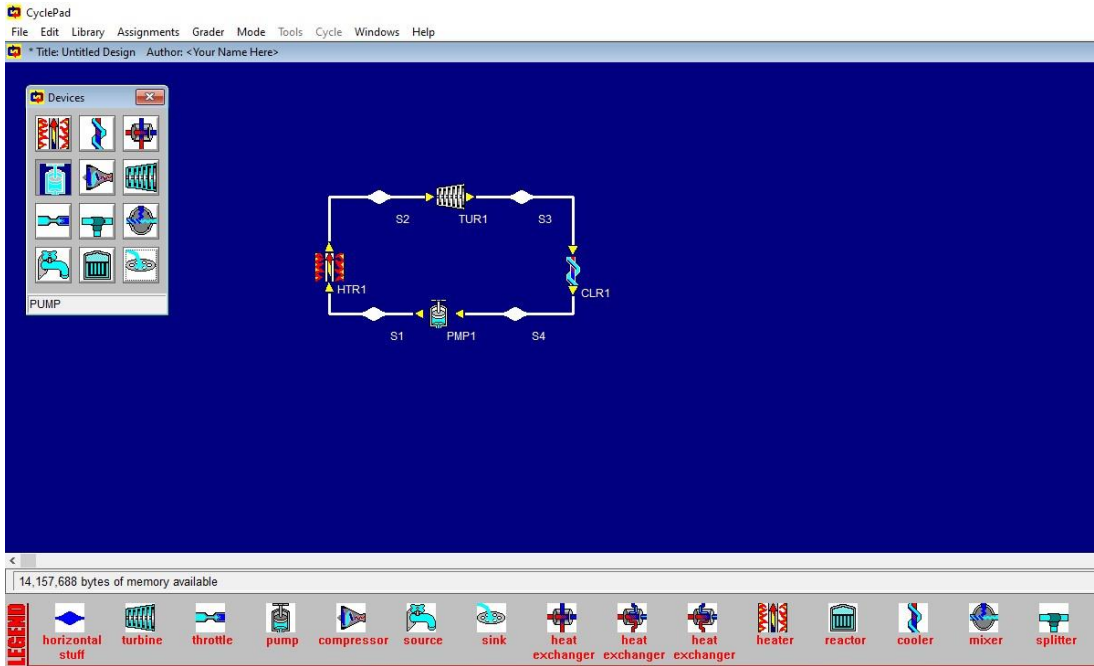
في عالمنا اليوم، تُعدّ كفاءة الطاقة حاجسًا يراود الجميع ، ونبحث باستدامة عن طرق لتعزيزها وتقليل استهلاكها من الموارد الثمينة؛ وتأتي محطات الطاقة البخارية على رأس قائمة مستهلكي الطاقة، لذا تُصبح دراستها وتطويرها أمرًا بالغ الأهمية.

في هذا الفصل، سنركز على دراسة نموذجية لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة باستخدام أدوات المحاكاة الحاسوبية وذلك بناء على معطيات حقيقية من محطات موجودة.

2.4 التعريف بالمحاكي المستخدم cycle pad


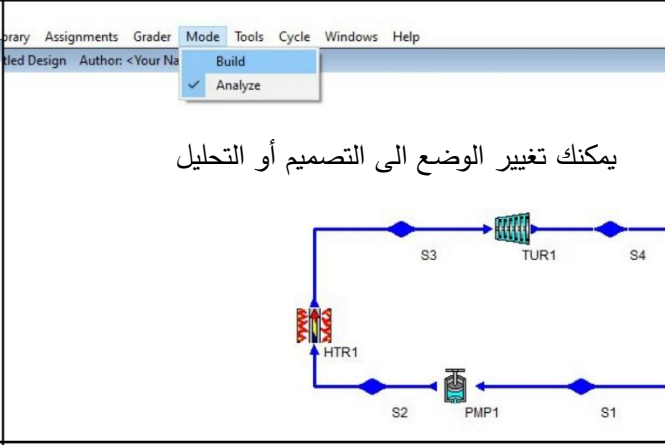
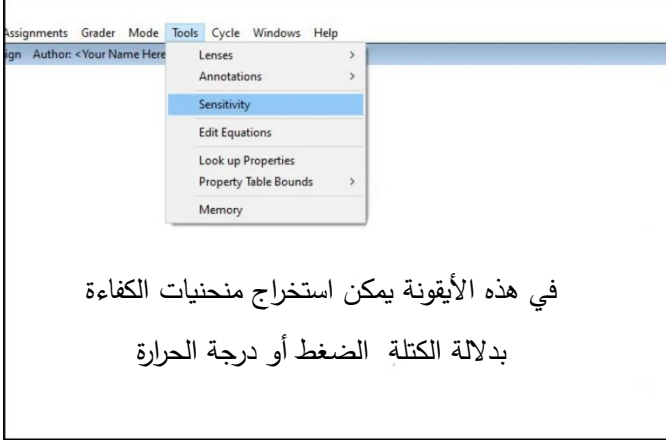
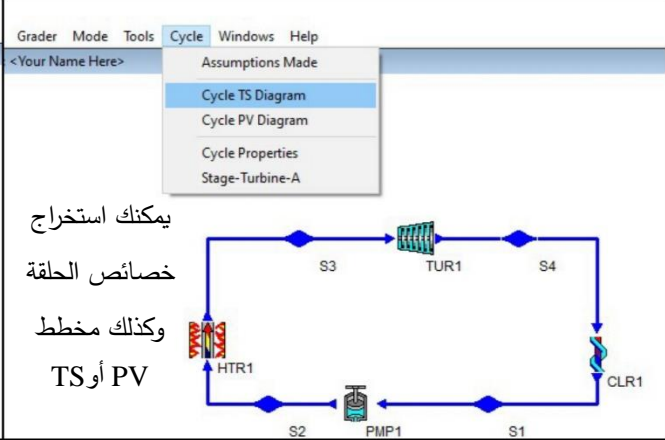
هو برنامج كمبيوتر مصمم خصيصًا لدراسة الدورات الديناميكية الحرارية يوفر بيئة تفاعلية تسمح بتحليل مجموعة واسعة من هذه الدورات، بما في ذلك دورة رانكين، ودورة ستيرلنج، ودورة برايتون و يساعد المستخدمين على فهم مفاهيم الدورة الديناميكية الحرارية بشكل أفضل.

واجهة المحاكي



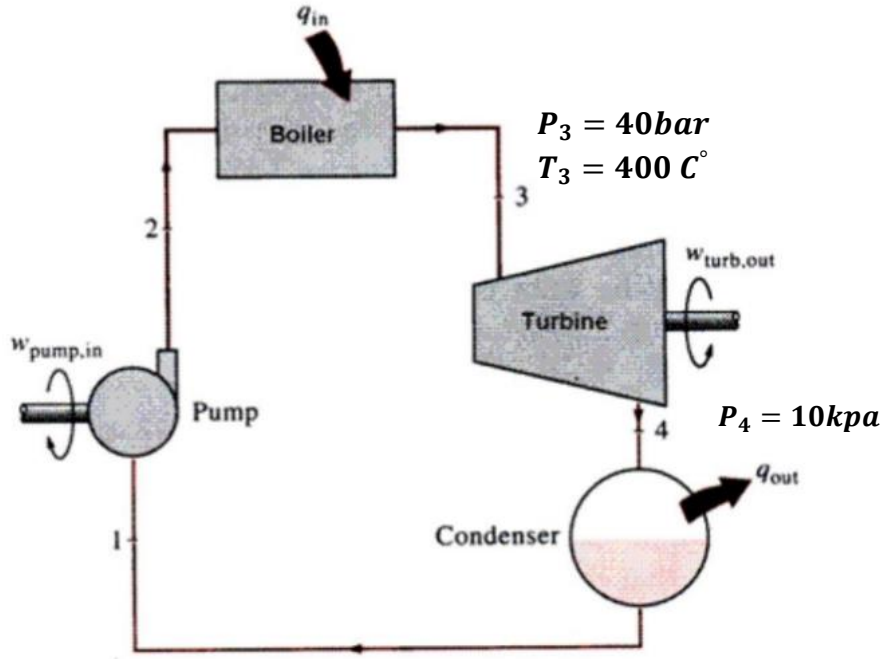
الشكل 1.4. يوضح واجهة المحاكي

أيقونات المحاكى

 <p>يوجد في هذه الأيقونة مختلف تصاميم الحلقات الحرارية المشهورة</p>	 <p>يمكنك تغيير الوضع الى التصميم أو التحليل</p>
 <p>في هذه الأيقونة يمكن استخراج منحنيات الكفاءة بدلالة الكتلة الضغط أو درجة الحرارة</p>	 <p>يمكنك استخراج خصائص الحلقة وكذلك مخطط TS أو PV</p>

الشكل 2.4. يوضح أيقونات المحاكى

3.4 دراسة رقمية لمحطة بخارية تعمل بدورة رانكين البسيطة



الشكل 3.4. يوضح مخطط دورة رانكين المثالية

خصائص هذه المحطة :

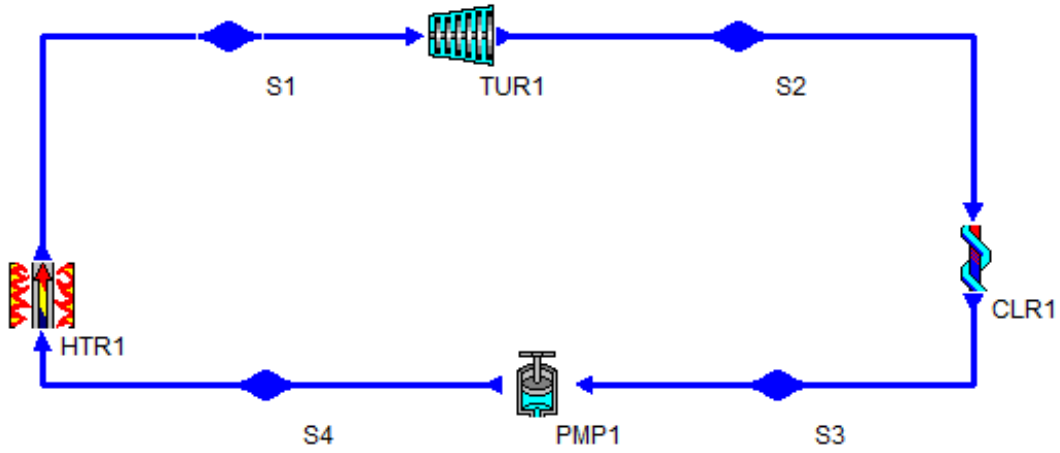
جدول 1.4. خصائص محطة بخارية تعمل بدورة رانكين البسيطة

	P(bar)	T(c°)	m kg	h(KJ/kg)
الغلاية	40	400	2	191.8
مكثف	0.1	-	-	2144

حيث ان هذه المحطة تتكون من غلاية توربين مكثف و مضخة نقوم برسم الحلقة باستخدام برنامج

Cyclepad

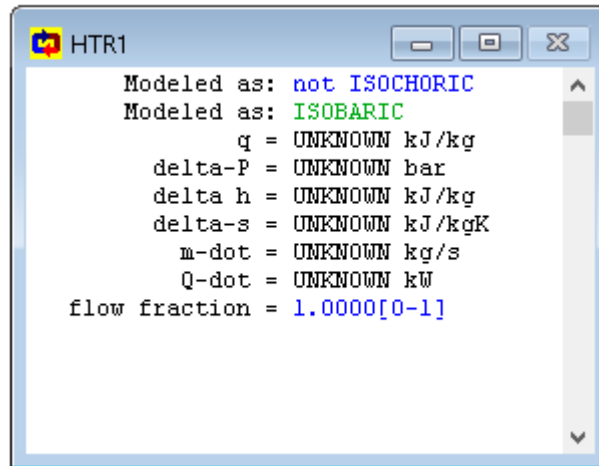
رسم الحلقة في البرنامج



الشكل 4.4. يوضح حلقة رانكين المثالية البسيطة

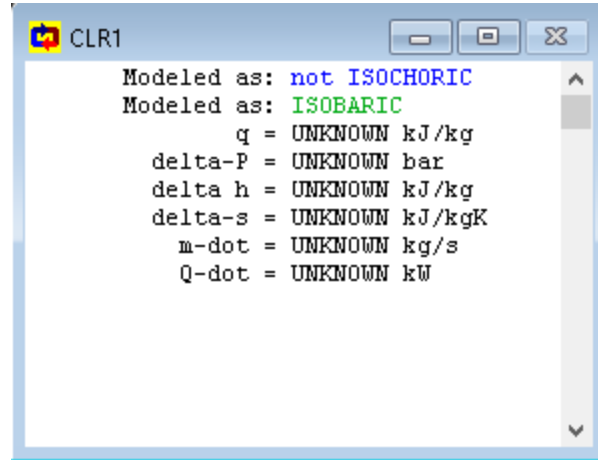
ادخال حالة مكونات هذه المحطة البخارية

الغلاية و تكون ذات ضغط ثابت



الشكل 5.4. يوضح حالة الغلاية

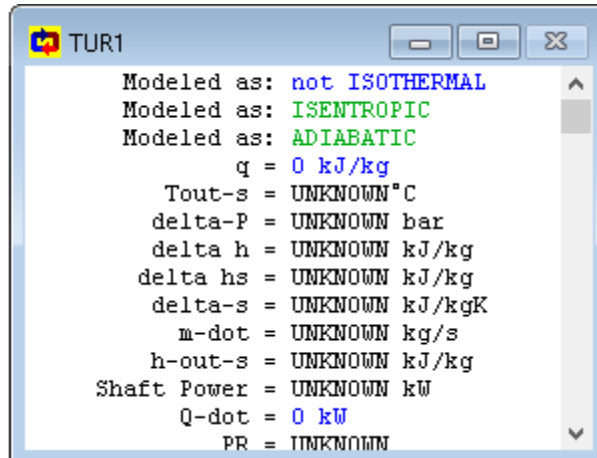
المكثف و يكون ذو ضغط ثابت Isobarique



الشكل 6.4. يوضح حالة المكثف

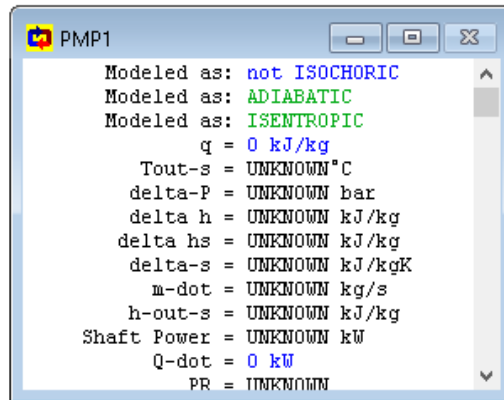
في (الشكل 5.4) و (الشكل 6.4) لكي يشتغل المحاكي يجب ادخال الشروط الابتدائية الخاصة بحالة الغلاية و المكثف واللذان يكونان تحت ضغط ثابت نظرا لأنهما مرتبطان بكمية الحرارة (Q).

التوربين ذو الحالة Adiabatique isentropique



الشكل 7.4. يوضح حالة التوربين

المضخة ذات الحالة Adiabatique isentropique



الشكل 8.4. يوضح حالة المضخة

في (الشكل 7.4) و (الشكل 8.4) لكي يشتغل المحاكي يجب ادخال الشروط الابتدائية الخاصة بحالة المضخة و التوربين واللذان يكونان تحت كمية حرارة و أنتروبي ثابتين نظرا لأنهما مرتبطان بالعمل (W).

بإدخال خصائص الحلقة نتحصل على باقي النتائج في الجدول 2.4

جدول 2.4. يوضح نتائج كل من الحجم الأنتروبي و الأنتالبي و الطاقة الداخلية

	S1	S2	S3	S4
P(bar)	0.1	0.1	0.1	40
T(c°)	45.82	45.82	45.82	45.96
V(m³/kg)	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
u(KJ/kg)	191.8	2024	191.8	191.9
h(KJ/kg)	191.8	2144	191.8	195.9
S(KJ/kg k)	0.6493	6.77	0.6493	0.6493
v_f(m³/kg)	0.0010	0.0010	0.0010	0.0013
v_g(m³/kg)	14.67	14.67	14.67	0.0498
u_f(KJ/kg)	191.8	191.8	191.8	1082
u_g(KJ/kg)	2437	2437	2437	2602
h_f(KJ/kg)	191.8	191.8	191.8	1087
h_g(KJ/kg)	2584	2584	2584	2801
s_f(KJ/kgk)	0.6493	0.6493	0.6493	2.80
s_g(KJ/kgk)	8.15	8.15	8.15	6.07

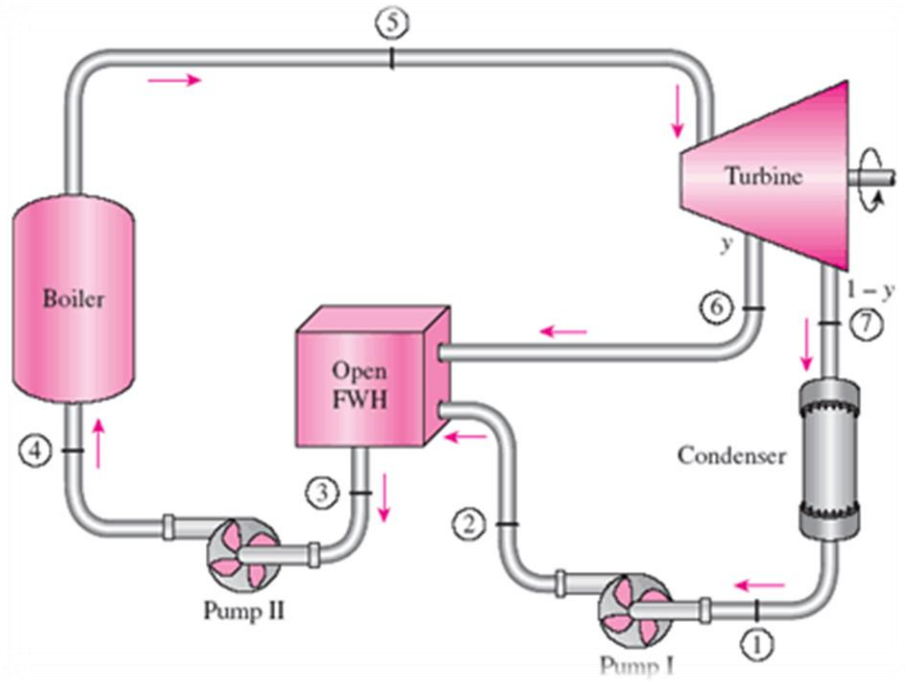
تمثل النقاط S1 S2 S3 S4 مداخل و مخارج مكونات المحطة والمحاكي يقوم بإعطاء نتائج كل من الضغط درجة الحرارة الأنتالبي و الأنتروبي لكل نقطة.

من خلال ادخال كل المعطيات يتم الحصول على نتائج العمل و كفاءة الحلقة

جدول 3.4. يوضح قيم العمل الصافي كمية الحرارة و الكفاءة

$W_{net} (kw)$	2131
$Q_{in} (kw)$	6035
$Q_{out} (kw)$	-3904
$\eta\%$	35.31%

4.4 دراسة رقمية لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة



الشكل 9.4. مخطط يوضح محطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة

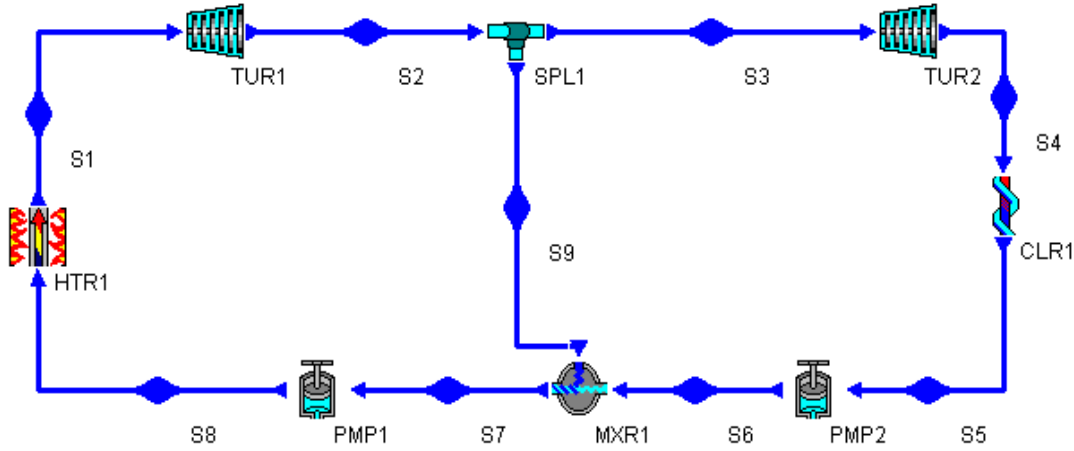
ومن خصائص هذه المحطة :

جدول 4.4. خصائص محطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة

	P(bar)	T(c°)	m kg	h(KJ/kg)
الغلاية	40	400	2	3213
سخان مياه التغذية	4	—	0.33	2738
مكثف	0.1	—	1.67	2136

حيث ان هذه المحطة تتكون من غلاية توربين مكثف مضختين و سخان مياه التغذية نقوم برسم الحلقة باستخدام برنامج cycle pad :

رسم الحلقة في البرنامج

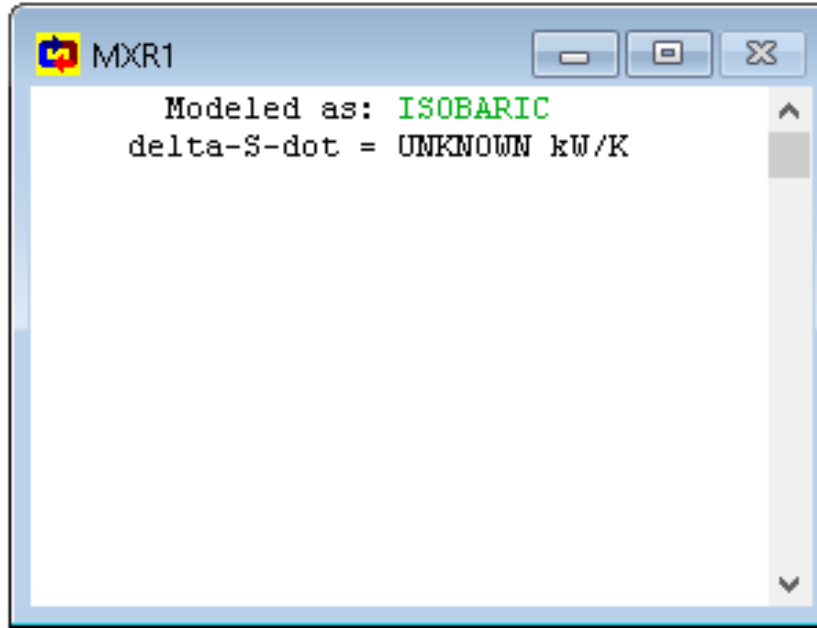


الشكل 10.4. مخطط دورة لمحطة بخارية مزودة بمياه التغذية المفتوحة

ادخال حالة مكونات هذه المحطة البخارية

نكتفي بإدخال حالة كل من المضخة وسخان مياه التغذية

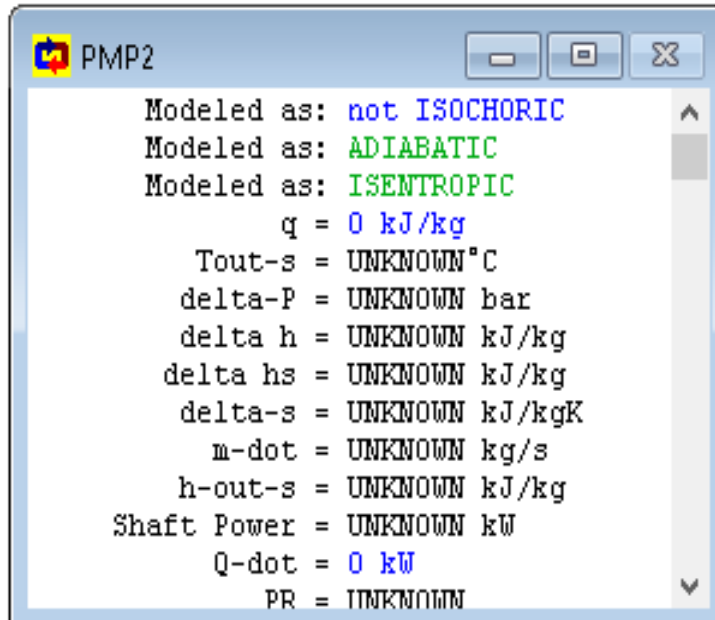
سخان مياه التغذية و يكون ذو ضغط ثابت Isobarique



الشكل 11.4. يوضح حالة سخان مياه التغذية

في (الشكل 11.4) لكي يشتغل المحاكي يجب ادخال الشروط الابتدائية الخاصة بحالة سخان مياه التغذية والذي يكون تحت ضغط ثابت نظرا لأنه مرتبط بكمية الحرارة (Q).

المضخة ذات الحالة Adiabatique isentropique



```

PMP2
Modeled as: not ISOCHORIC
Modeled as: ADIABATIC
Modeled as: ISENTROPIC
q = 0 kJ/kg
Tout-s = UNKNOWN°C
delta-P = UNKNOWN bar
delta h = UNKNOWN kJ/kg
delta hs = UNKNOWN kJ/kg
delta-s = UNKNOWN kJ/kgK
m-dot = UNKNOWN kg/s
h-out-s = UNKNOWN kJ/kg
Shaft Power = UNKNOWN kW
Q-dot = 0 kW
PR = UNKNOWN

```

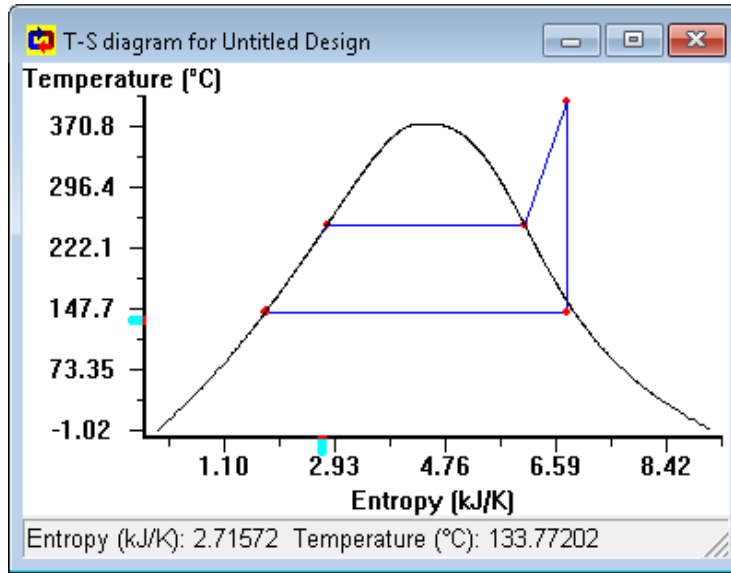
الشكل 12.4. يوضح حالة المضخة

بادخال المعطيات نتحصل على النتائج في الجدول 5.4

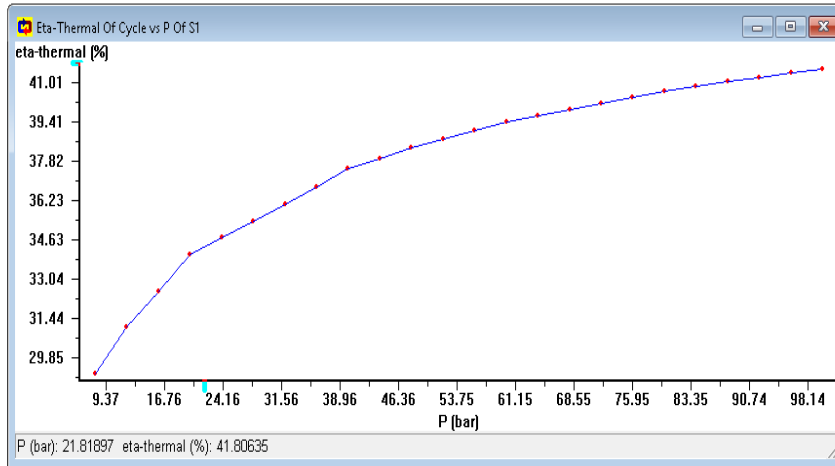
جدول 5.4. يوضح نتائج كل من الحجم الأنتروبي و الأنتالبي و الطاقة الداخلية

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
P(bar)	40	4	4	0.1	0.1	4	4	4
T(c⁰)	400	143.6	143.6	45.82	45.82	45.84	143.6	143.6
V(m³/kg)	0.0734	0.4510	0.4487	-	0.0010	0.0010	0.0027	0.0011
u(KJ/kg)	2920	2505	2495	2017	191.8	191.9	611.3	612
h(KJ/kg)	3213	2685	2675	2136	191.8	192.3	612.4	616.3
S(KJ/kgk)	6.77	6.77	6.74	6.74	0.6493	0.6493	1.79	1.79
v_f(m³/kg)	0.013	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010	0.0011	0.0011	0.0013
v_g(m³/kg)	0.0498	0.4625	0.4625	14.67	14.67	0.4625	0.4625	0.498
u_f(KJ/kg)	1082	604.5	604.5	191.8	191.8	604.5	604.5	604.5
u_g(KJ/kg)	2602	2554	2.554	2437	2.437	2.554	2554	2.554
h_f(KJ/kg)	1087	604.9	604.9	191.8	191.8	604.9	604.9	604.9
h_g(KJ/kg)	2801	2738	2.738	2584	2.584	2.738	2738	2801
s_f(KJ/kgk)	2.80	1.78	1.78	0.6493	0.6493	1.78	1.78	2.80
s_g(KJ/kgk)	6.07	6.90	0.7494	8.15	8.15	6.90	6.90	6.07

شكل الحلقة في مخطط T-S



الشكل 13.4. يوضح الحلقة في مخطط T-S



الشكل 14.4. منحنى يوضح تغيرات الضغط بدلالة الكفاءة

▪ حيث نلاحظ انه كلما زادت قيمة الضغط زادت الكفاءة

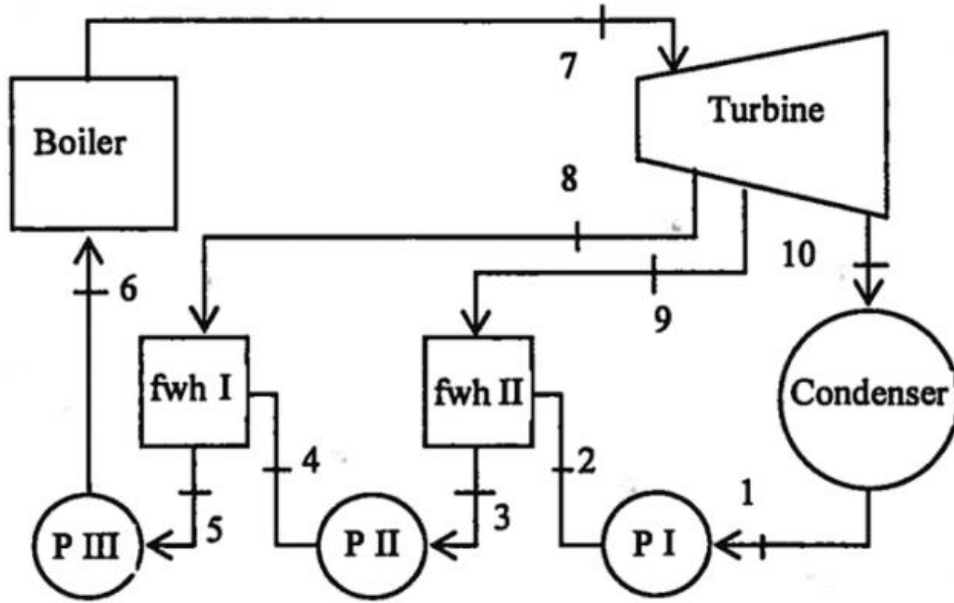
من خلال ادخال كل المعطيات يتم الحصول على نتائج العمل و كفاءة الحلقة

الجدول 6.4. يوضح قيم العمل الصافي كمية الحرارة و الكفاءة

$W_{net} (kw)$	1.948
$Q_{in} (kw)$	5.194
$Q_{out} (kw)$	-3.246
$\eta\%$	37.50%

قيمة الكفاءة مع وجود سخان مياه التغذية أكبر من قيمتها في حالة دورة رانكين البسيطة.

5.4 دراسة رقمية لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة مزودة بسخانين مياه التغذية



الشكل 15.4. مخطط مياه التغذية المفتوحة مزودة بسخانين مياه التغذية

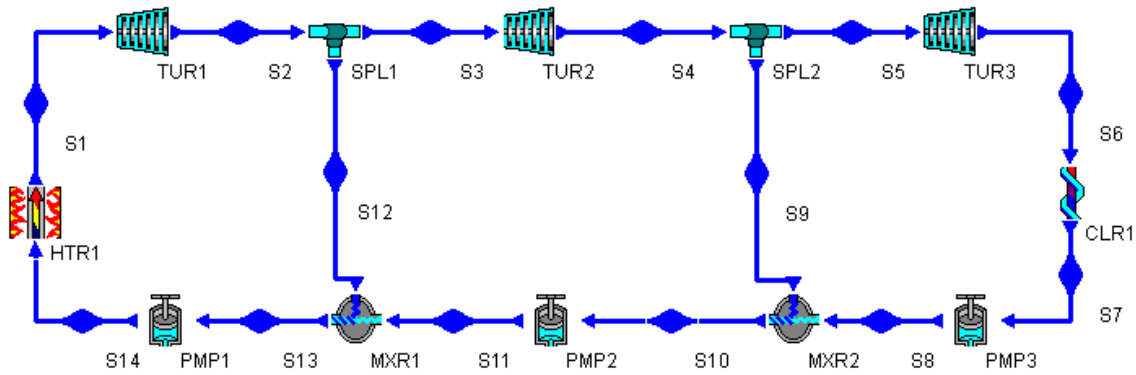
ومن خصائص هذه المحطة :

جدول 7.4 . خصائص لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة مزودة بسخانين مياه التغذية

	P(bar)	T(c ⁰)	m kg	h(KJ/kg)
الغلاية	40	400	2	3213
سخان مياه التغذية الأول	20	-	0.2	3025
سخان مياه التغذية الثاني	4	-	0.13	2004
المكثف	0.1	-	-	2184

حيث ان هذه المحطة تتكون من غلاية توربين مكثف مضختين و سخانين مياه التغذية نقوم برسم الحلقة باستخدام برنامج cycle pad :

رسم الحلقة في البرنامج



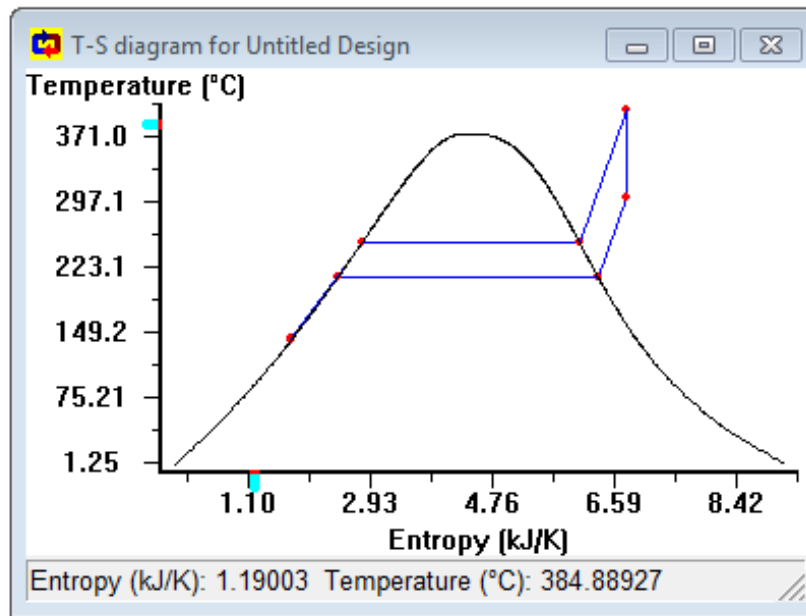
الشكل 16.4 . مخطط دورة لمحطة بخارية مزودة بسخانين مياه التغذية

بإدخال جميع المعطيات في نقاط الحلقة نتحصل على النتائج التالية

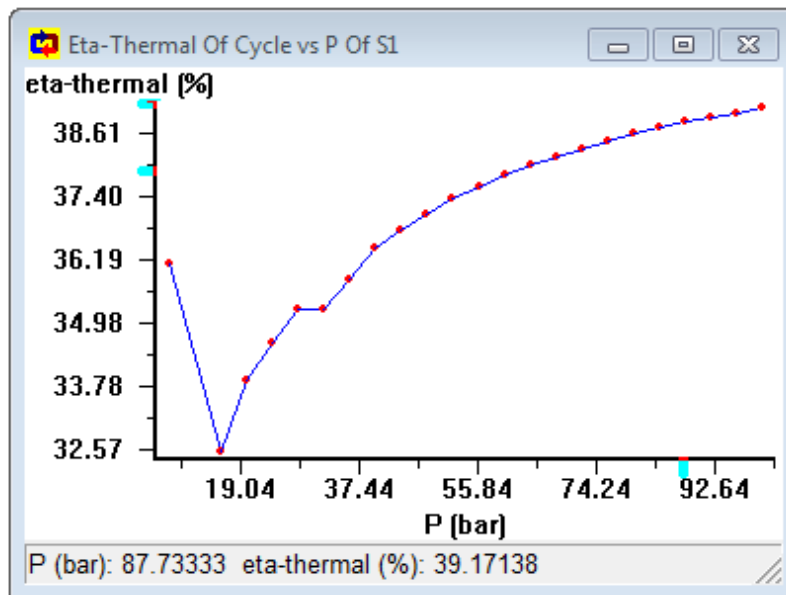
جدول 8.4. يوضح نتائج كل من الحجم الأنتروبي و الأنتالبي و الطاقة الداخلية

	S1	S2	S6	S7	S8	S9	S12
P(bar)	40	20	0.1	0.1	4	4	20
T(c⁰)	400	300.9	45.82	45.82	45.84	143.6	300.9
V(m³/kg)	0.0734	0.1257	-	0.0010	0.0010	0.3036	0.1257
u(KJ/kg)	2920	2773	2062	191.8	191.9	1882	2773
h(KJ/kg)	3213	3025	2184	191.8	192.3	2004	3025
S(KJ/kgk)	6.77	6.77	6.90	0.6493	0.6493	5.13	6.77
v_f(m³/kg)	0.0013	0.0012	0.0010	0.0010	0.0011	0.0011	0.0012
v_g(m³/kg)	0.0498	0.099	14.67	14.67	0.4625	0.4625	0.0996
u_f(KJ/kg)	1082	906.3	191.8	191.8	604.5	604.5	906.3
u_g(KJ/kg)	2602	2600	2437	2437	2554	2554	2600
h_f(KJ/kg)	1087	908.7	191.8	191.8	604.9	604.9	908.7
h_g(KJ/kg)	2801	2799	2584	2584	2738	2738	2.799
s_f(KJ/kgk)	2.80	2.45	0.6493	0.6493	1.78	1.78	2.45
s_g(KJ/kgk)	6.07	6.34	8.15	8.15	6.90	6.90	6.34

شكل الحلقة في مخطط T-S



الشكل 17.4. يوضح مخطط الحلقة



الشكل 18.4. يوضح منحنى تغيرات الكفاءة بدلالة الضغط

نلاحظ أن قيمة الكفاءة تتناقص إلى أن تصل إلى الضغط 19.04 أي قريب من ضغط سخان مياه التغذية الأولى عندما يكون الضغط مساوي لسخان مياه التغذية الأولى تبدأ الكفاءة بالارتفاع تدريجياً.

من خلال ادخال كل المعطيات يتم الحصول على نتائج العمل و كفاءة الحلقة

الجدول 9.4. يوضح قيم العمل الصافي وكمية الحرارة و الكفاءة

$W_{net} (kw)$	1905
$Q_{in} (kw)$	5233
$Q_{out} (kw)$	-3328
$\eta\%$	36.41%

• نلاحظ أن قيمة الكفاءة حالة سخان تغذية واحد أكبر مما هي عليه في حالة استعمال سخانين مياه تغذية لأنه في هذه الحالة تم سحب كمية من الكتلة في مرحلتين مختلفتين.

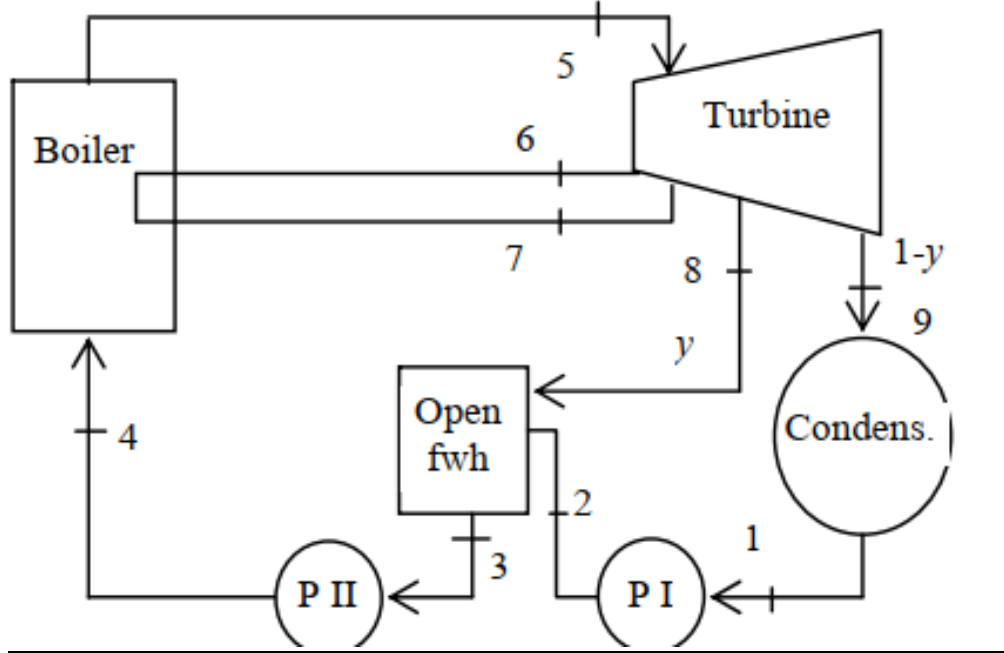
ولتعزيز قيمة الكفاءة في حالة سخانين مياه تغذية نلجأ إلى التخفيض من ضغط المكثف من 0.1 بار إلى 0.05 بار فقد تم التطرق سابقاً في **الفصل الثاني** عن طرق تحسين الكفاءة وإحدى هذه الطرق هي تخفيض ضغط المكثف فننتحصل على مايلي:

الجدول 10.4. يوضح قيم العمل الصافي وكمية الحرارة و الكفاءة بعد تخفيض ضغط المكثف

$W_{net} (kw)$	2042
$Q_{in} (kw)$	5323
$Q_{out} (kw)$	-3281
$\eta\%$	38.37 %

نلاحظ أن قيمة الكفاءة زادت ولكن هذه الزيادة قد تؤدي إلى مساوئ فخفض الضغط في المكثف يصاحبه زيادة الرطوبة وهذه الأخيرة تؤدي لزيادة تآكل الأجزاء الميكانيكية في الدورة خاصة بالتوربين مما يستلزم صيانة دورية.

6.4 دراسة رقمية لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة مع إعادة التسخين



الشكل 19.4. مخطط مياه التغذية المفتوحة مع إعادة التسخين

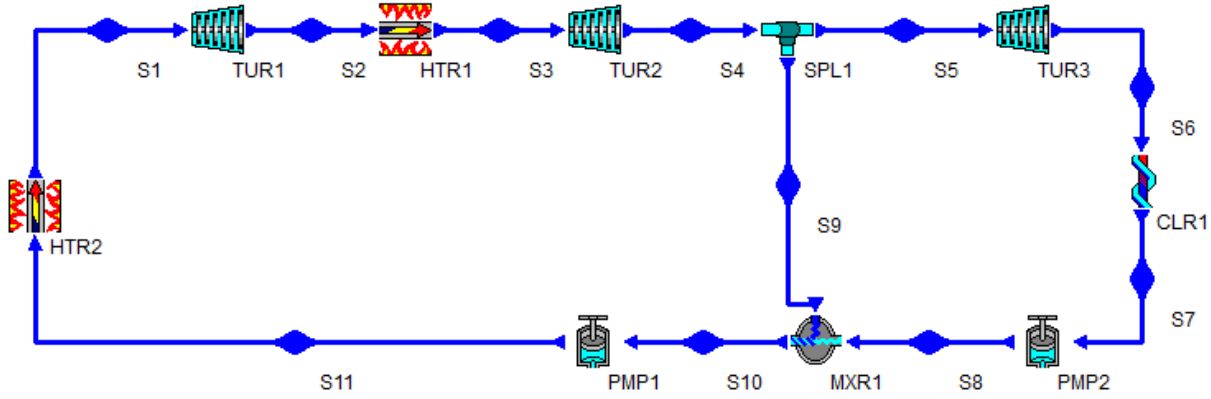
ومن خصائص هذه المحطة :

الجدول 11.4. خصائص محطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة مع إعادة التسخين

	P(bar)	T(c ⁰)	m kg	h(KJ/kg)
الغلاية	100	500	1	3374
إعادة التسخين	10	-		3480
سخان مياه التغذية	6	-	y	3309
المكثف	0.15	-	1-y	2519

حيث ان هذه المحطة تتكون من غلاية توربين مكثف مضختين و سخان مياه التغذية مع إعادة التسخين نقوم برسم الحلقة باستخدام برنامج cycle pad :

رسم الحلقة في البرنامج



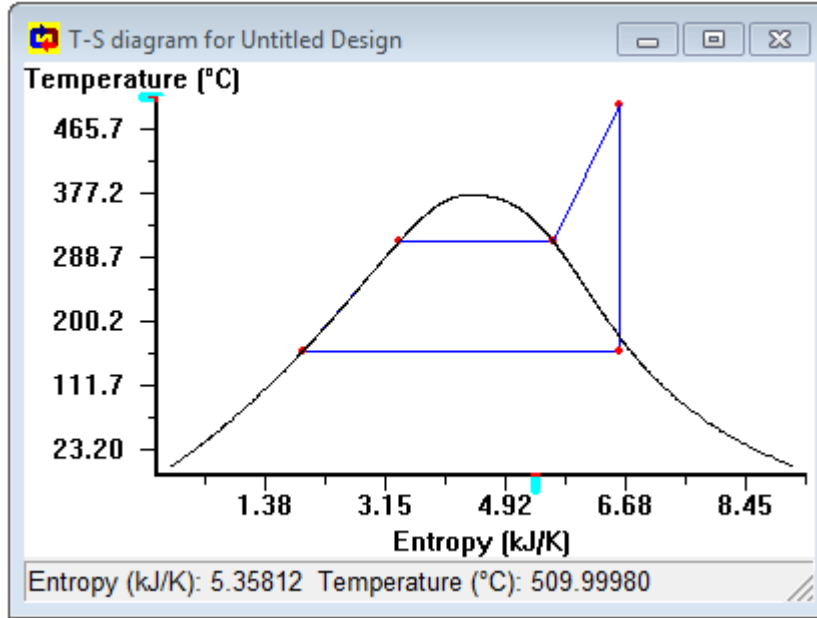
الشكل 20.4. مخطط دورة لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة مع إعادة التسخين

بإدخال جميع المعطيات في نقاط الحلقة نتحصل على النتائج التالية في الجدول 12.4

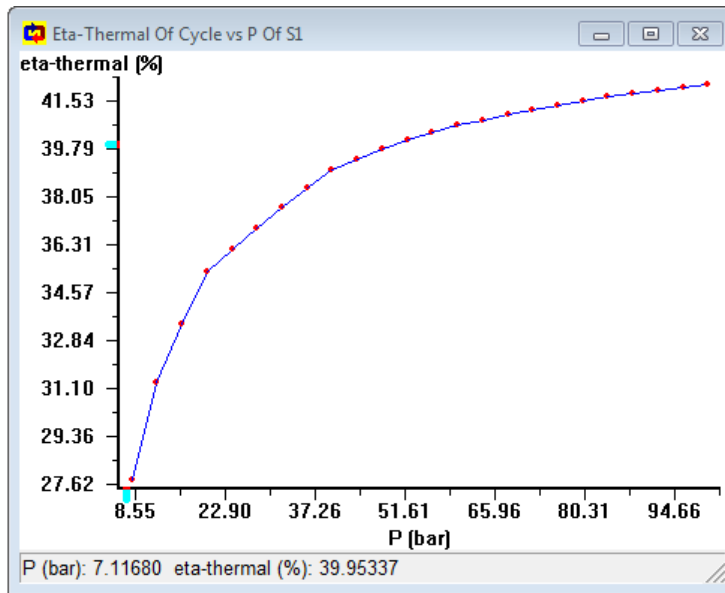
الجدول 12.4. يوضح نتائج كل من الحجم الأنتروبي و الأنتالبي و الطاقة الداخلية

	S1	S2	S6	S9
P(bar)	100	–	0.15	6
T(c⁰)	500	500.6	53.98	418.2
V(m³/kg)	0.0328	0.3544	2.69	0.5280
u(KJ/kg)	3046	3126	2373	2992
h(KJ/kg)	3374	3480	2519	3309
S(KJ/kg k)	6.60	7.76	7.76	7.76
v_f(m³/kg)	0.0015	0.0011	0.0010	0.0011
v_g(m³/kg)	0.0180	0.1944	10.02	0.3156
u_f(KJ/kg)	1393	761.8	225.9	670.1
u_g(KJ/kg)	2544	2583	2448	2567
h_f(KJ/kg)	1407	762.9	226	670.7
h_g(KJ/kg)	2724	2778	2598	2757
s_f(KJ/kgk)	3.36	2.14	0.7549	1.93
s_g(KJ/kgk)	5.61	6.59	8.01	6.76

شكل الحلقة في مخطط T-S

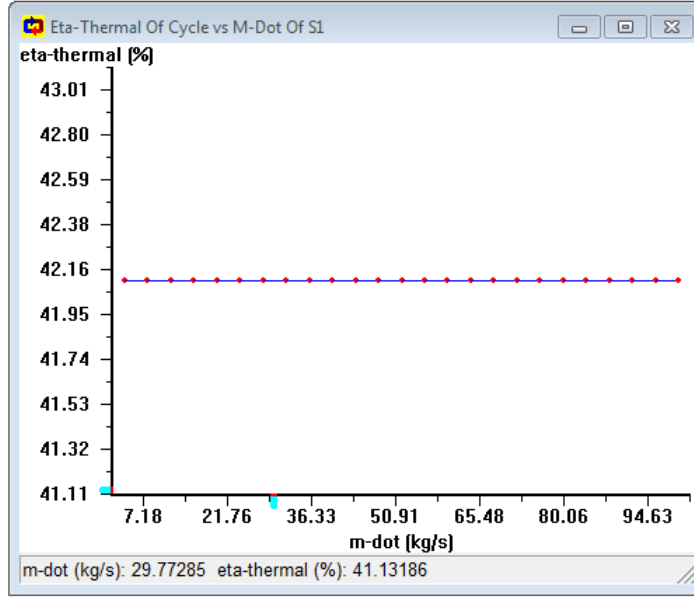


الشكل 21.4. يوضح الحلقة في مخطط T-S



الشكل 22.4. يوضح منحنى يوضح تغيرات الضغط بدلالة الكفاءة

▪ حيث نلاحظ أنه كلما زاد الضغط زادت الكفاءة



الشكل 23.4. يوضح منحنى تغيرات الكتلة بدلالة الكفاءة

▪ حيث نلاحظ أن الكتلة محفوظة

من خلال ادخال كل المعطيات يتم التحصل على نتائج العمل و كفاءة الحلقة حيث أن $P_{fw} < P_R$

الجدول 13.4. يوضح قيم العمل الصافي وكمية الحرارة و الكفاءة

$W_{net} (kw)$	1428
$Q_{in} (kw)$	3390
$Q_{out} (kw)$	-1963
$\eta\%$	42.11%

الكفاءة في حالة كان ضغط إعادة التسخين مساوي لضغط سخان مياه التغذية $P_R = P_{fw}$

الجدول 14.4. يوضح قيم العمل الصافي وكمية الحرارة و الكفاءة

$W_{net} (kw)$	1364
$Q_{in} (kw)$	3316
$Q_{out} (kw)$	-1963
$\eta\%$	40.81%

نلاحظ انه في حالة تساوي ضغط سخان التغذية مع ضغط إعادة التسخين فان قيمة الكفاءة تقل
ومن هذا المنطلق للحصول على كفاءة أعلى فإنه يجب ان يكون : $P_b > P_R > P_{fw}$

7.4 الخاتمة

تم في هذا الفصل تحليل أداء محطة بخارية تعمل بدورة تغذية مياه مفتوحة باستخدام نموذج رقمي وقمنا بمقارنة كفاءة هذه المحطة مع كفاءة دورة رانكين البسيطة، واكتشفنا أن وجود سخان مياه التغذية يُحسّن الكفاءة بشكل ملحوظ كما تم مقارنة أداء هذه المحطة مع محطة بخارية أخرى تعمل بسخانين لمياه التغذية، ووجدنا أن وجود سخان واحد فقط يُنتج كفاءة أعلى في الأخير توصلت نتائجننا إلى أن المحطة البخارية التي تعمل بدورة مياه التغذية المفتوحة مع إعادة تسخين تتمتع بأفضل كفاءة مقارنةً بالأنظمة المُقارنة الأخرى.

خاتمة عامة

تُشكل محطات الطاقة البخارية التي تعمل بدورة مياه التغذية المفتوحة حجر الزاوية في شبكة توليد الطاقة الكهربائية العالمية، إذ تُقدم حلولاً فعالة لتوفير الطاقة في مختلف المناطق، وتتميز هذه المحطات ببساطة التصميم وسهولة التشغيل، مما يجعلها خياراً مثالياً لتلبية احتياجات الطاقة المتنوعة، خاصةً في المناطق النائية أو النامية.

في هذا المذكرة تطرقنا الى اهم انواع محطات توليد الطاقة الحرارية كما وتمت دراسة و تحليل محطات الطاقة الغازية و البخارية وصولا لدراسة محطات الطاقة البخارية التي تعمل بدورة مياه التغذية المفتوحة كما وتم إجراء دراسة نموذجية ورقمية لمحطة توليد الطاقة البخارية باستخدام برنامج CYCLEPAD استخرج البرنامج خصائص المحطة في مختلف دورات عمل التوربين شملت الدراسة محطة بخارية تعمل بمياه التغذية المفتوحة، ودورة رانكين البسيطة، ودورة بسخانين مياه التغذية، ودورة أخيرة تعمل بمياه التغذية المفتوحة مع إعادة التسخين أظهرت الدراسة تبايناً في نتائج الكفاءة بين هذه الدورات ؛ توصلت الدراسة إلى أن محطة الطاقة البخارية التي تعمل بمياه التغذية المفتوحة تتمتع بكفاءة جيدة، لكن مع إمكانية تحسينها من خلال بعض الإجراءات.

قائمة المراجع

المراجع العربية

[1] عمر خليل احمد الجبوري ، محطات القدرة ، وزارة التعليم العالي و البحث العلمي ، 27 تموز 2014

[3] محرم عبد الكريم ، كتاب الطاقة الشمسية

[6] الإدارة العامة لتطوير وتصميم المناهج ، كتاب محطات التوليد ونقل القدرة ، المؤسسة العامة للتعليم الفني و

التدريب المهني

[10] عدنان بهجت جليل ، التوربين الغازي تصميم وتشغيل ، دورة تدريبي 2018

[15] محمد المرضي سليمان خيال ، مذكرة محاضرات ديناميكا حرارية (2) ، جامعة واد النيل كلية الهندسة

والتقنية 2017

[21] محمد عبد الله الحسن العلي، مختصر قوانين الترموديناميك الطبعة الثانية، كلية الهندسة التقنية بطرطوس

2014

المراجع الأجنبية

[2] Gaurav Kumar Rukaiya , Kausher Asim Ahmad , Parabolic trough solar collectors:Asustainable and efficient energy source

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589299123000459?ref=cra_js_challenge&fr=RR-1 24/06/2024

[4] G Ramesh , LECTURE NOTES ON Power Plant Engineering , APPROVED BY AICTE, NEW DELHI & APPLIATED TO JNTUA, ANATAPURAMU P. KOTHA KOTA, NEAR PAKALA, CHITTOOR-517112

[5] <https://www.britannica.com/technology/wind-turbine> 24/06/2024

[7] Wind and Hydropower Technologies Program Home , | EERE Home | U.S. Department of Energy , 09/08/2005

[8] V. GANESAN , INTERNAL COMBUSTION ENGINES , Fourth Edition

[9] Christopher E. Brennen , an Introduction to Nuclear Power Generation , Dankat Publishing Company

- [11] Office of Fossil Energy and Carbon Management, <https://www.energy.gov/fecm/how-gas-turbine-power-plants-work> 24/06/2024
- [12] Marie Anheden , Analysis of Gas Turbine Systems for Sustainable Energy Conversion Department of Chemical , Engineering and Technology Energy Processes Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden 2000
- [13] ASSILA Ishak , & BOUSSOUF Imadeddine , Mémoire de fin d'études En vue de l'obtention du diplôme de master Etude et analyse exergétique d'une turbine à gaz , Université M'Hamed Bougara-Boumerdès 2021
- [14] METALLAOUI NASSIM , Étude thermodynamique de la turbine à gaz MS7001EA au niveau du complexe GNL1K de Skikda 2016/2017
- [16] EE power school
<https://eepowerschool.com/power-generation/thermal-power-plants-components-working/> 24/06/2024
- [17] UNIT-1 THERMAL POWER STATIONS
- [18] Karisma Trinanda , Putra Ramadoni Syahputra , Analysis of Steam Power Generators in Fulfilling Electricity , Journal of Electrical Technology UMY (JET-UMY), Vol. 1, No. 4, December 2017 ISSN 2550-1186 e-ISSN 2580-6823
- [19] AKERMI Nasreddine , Machines Thermiques , Université Ibn Khaldoun – Tiaret
- [20] Ehab Hamduin , Feed factory manager in egypt for feed , <https://www.linkedin.com/posts/ehab-hamduin-3b96aa223> 24/06/2024
- [22] PROPERTY TABLES , AND CHARTS (SI UNITS) 4/15/2002
- [23] Dr.Athraa Al-Abbas , PROPERTY DIAGRAMS FOR PHASE-CHANGE PROCESSESb , Al-Mustaqbal University College
- [24] nikhilesh Mukherjee ,
<https://www.linkedin.com/pulse/thermodynamics-phase-change-water-nikhilesh-mukherjee>
24/06/2024
- [25] Dr.ir.Daniel Declercq , Power cycles Principles of combustion cycles and efficient concepts
- [26] Power Plant Vapor Power Cycles [Document]

[27] <https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/708> 24/06/2024

[28] Scott Hommel , <https://www.fossilconsulting.com/blog/qualifications-and-training/level-control-and-feedwater-heater-problems/> 24/06/2024

[29] Fluid Dynamics , <https://www.fluidynamics.com.au/about/articles-case-studies/feedwater-heaters> 24/06/2024

[30] Eng. Ahmed , Hatem Yaseen B.S. , Energy Engineering Optimizing Rankine Cycle Steam Power Plant with Reheating Technique Enhanced with Open Feed Water Heater and Closed Feed Water Heater , 2020

[31] Dr.Mohamed Elsayed Mostafa , open feed water heater, Engineering pioneers