

قسم : التكنولوجيا

التخصص : هندسة ميكانيكية

مذكرة التخرج لنيل شهادة أستاذ التعليم الثانوي

الدراسة الحرارية و الرقمية لمحطة توليد الطاقة البخارية تعمل بدورة تسخين مياه التغذية المغلقة

من اعداد :

تحت اشراف الأستاذ :

بن صانع توفيق

● قدور محمد الأمين

● مهتور صلاح الدين

لجنة المناقشة :

الرتبة :

أستاذ محاضر أ

أستاذ محاضر أ

أستاذ محاضر ب

✓ رئيسا : فنيديس محمد

✓ مشرفا: بن صانع توفيق

✓ ممتحنا: سعايدية عزيز

السنة الجامعية : 2024/2025



الشكر و العرفان

الحمد لله الذي نثم بنعمته الصالحات، وبتوفيقه نثقق الغايات، وبتيسيره نُذلك الصعاب و نُقطع المسافات.
وبعد، فإننا لا يسعنا في هذا المقام إلا أن نرفع أسمى عبارات الشكر و عظيم الامتنان إلى أستاذنا المشرف الفاضل
"بن صانع توفيق"، على ما بذله من جهد مشكور، وصبرٍ كبير، وتوجهات قيمة كان لها بالغ الأثر في إثراء هذا
العمل المتواضع، وعلى ما أبداه من حرص ومرافقة علمية طوال فترة إعداده هذه المذكرة. كما نتوجه بخالص الشكر
والتقدير إلى أعضاء لجنة المناقشة: الأستاذ "فنيديس محمد"،

والأستاذ "سعايدية عزيز"، على تفضلهما بقبول مناقشة هذا العمل، وعلى ملاحظتهما القيمة وتوجيهاتهما البناءة التي
أُسممت في تجويده والارتقاء به.

ولا يفوتنا أن نعبر عن امتناننا العميق لكل من دعم مسيرتنا، وساندنا في هذه الرحلة العلمية، من قريب أو
بعيد. فكما ازدهرت الجهود، اتسعت الآفاق، وكلما صدق الإخلاص، أثمرت الخطى، وكان للنجاح طعم ومعنى. وإذا
نحض بالذكر عائلتنا الكريمة اللتين كانتا لنا السند والعون، وأصدقائنا الأعراب الذين لم يخلوا علينا
وموازرهم، فإننا نرفع إليهم جميعاً أسمى عبارات الشكر و العرفان، تقديراً لما قدموه من دعمٍ في كل خطوة من
خطوات هذا الإنجاز.



إهداء " قدور محمد الأمين "

إلى من كانت الدعوة الصادقة منها تفتح أبواب التوفيق،
إلى من سهرت وضحت، ومختنتي من الحب والحنان ما لا يُقاس...
إلى أمي، نبض قلبي ونور دمي،
إلى عائلتي التي كانت السند حين ضعفت، والمجا حين ضاقت السبل،
إلى من أحاطوني بالحب والدعم، فكنتم لي العزوة والظهر،
إلى أصدقائي الذين لم يكونوا يوماً مجرد رفقاء، بل إخوة حقيقيون في الفرح والشدة،
إلى من تشاركنا لحظات التعب والإخجاز، الضحك والدموع،
إلى زملائي في الدراسة، من كانت المناسفة معتم شريفة، والمرافقة معتم نبيلة،
إلى أساتنتي الكرام، أصحاب الفضل بعد الله،
من غرسوا فينا العلم، وزرعوا فينا القيم، فلكم من القلب كل التقدير والعرفان،
إلى كل من ترك في نفسي بصمة جميلة في هذا المشوار،
أهدي هذه الثمرة المتواضعة، عرفاناً بالفضل،

وإمتناناً لا ينتهي.



إهداء "مختور صلاح الدين"

إلى من كان لهم الفضل الأول بعد الله في وصولي إلى هذا المقام، والديّ الكريمين اللذين كانا لي السند الذي لا يميد، والركن الذي لا ينهدم. يا من غرستما في نفسي حب العلم والاجتهاد، ويا من سقيتmani من معين العطاء بلا حساب، أقدم لكم ثمرة هذا الجهد، فمهما قلت، ومهما سطرت، ستظل حروفي عاجزة عن ردّ بعض فضلكما.

إن هذا الإيجاز، وإن كان يحمل اسمي، فهو يحمل في طياته أثر محبتكما وسندكما الذي لم يغيب عني لحظة واحدة.

إلى إخوتي الأعراء، الذين كانوا لي عزوة وقوة.

إلى أساتنتي الأجلاء، أولئك الذين حملوا على عاتقهم مسؤولية العلم، وزرعوا فينا شغف البحث والمعرفة، جزاكم الله عني خير الجزاء، فما كان لهذا الجهد أن يكتمل لولا توحيدهم وإرشادكم.

وكذلك إلى زملائي ورفاق الدرب، الذين كانوا شركاء في المسيرة، ورفاقاً في التحدي والسرور، أقول لكم: كان لوجودكم أثر لا يُمحى، وكانت كلماتكم دافعاً يمضي بي نحو الأمام، فشكراً لكم جميعاً، وأسأل الله أن يكتب لكم التوفيق والنجاح في كل درب تسلكونه.

المخلص

تُعد محطات الطاقة البخارية من أبرز مصادر توليد الكهرباء على مستوى العالم، إذ تعتمد على دورات حرارية لتحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية. وتُعتبر دورة تسخين مياه التغذية المغلقة من أكثر الدورات استخدامًا في هذا النوع من المحطات.

تركز هذه الدراسة على التحليلين الحراري والرقمي لدورة تسخين مياه التغذية المغلقة في محطة بخارية، كما تهدف إلى تقييم كفاءة الدورة وتحديد إمكانيات التحسين.

الكلمات المفتاحية: محطة بخارية، دورة تسخين مياه التغذية المغلقة، سخان مياه التغذية،

الكفاءة الحرارية

Résumé

Les centrales à vapeur figurent parmi les principales sources de production d'électricité dans le monde. Elles reposent sur des cycles thermodynamiques permettant de convertir l'énergie thermique en énergie électrique.

Le cycle de réchauffage fermé de l'eau d'alimentation est l'un des cycles les plus fréquemment utilisés dans ce type de centrales.

La présente étude porte sur une analyse thermodynamique et numérique de ce cycle dans une centrale à vapeur. Elle vise également à évaluer son rendement et à identifier les pistes d'amélioration possibles.

Mots-clés : Centrale à vapeur, Cycle de réchauffage fermé, Réchauffeur d'eau d'alimentation, Rendement thermique

Summary

Steam power plants are among the primary sources of electricity generation worldwide. These plants operate based on thermodynamic cycles that convert thermal energy into electrical energy.

The closed feedwater heating cycle is one of the most commonly used cycles in such plants.

This study focuses on a thermodynamic and numerical analysis of the closed feedwater heating cycle in a steam power plant. It also aims to evaluate the cycle's efficiency and explore potential areas for improvement.

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

الفهرس :

الفصل الأول : أهم أنواع محطات توليد الطاقة الكهربائية

- 1..... : مقدمة عامة
- 4..... : 1 محطة الطاقة الشمسية
- 4..... : 1.1 نظم استخدام الطاقة الشمسية
- 4..... : 1.1.1 محطة الطاقة الحرارية الشمسية Solar Thermal Ennery
- 5..... : 2.1.1 محطة الطاقة الشمسية الكهروضوئية Solar Photovoltaic Energy
- 6..... : 2.1 مميزات و عيوب محطة توليد الطاقة بواسطة الشمس
- 6..... : 1.2.1 مميزات محطة الطاقة الشمسية
- 6..... : 2.2.1 عيوب محطة الطاقة الشمسية
- 7..... : 2 محطة توليد الطاقة بالرياح
- 7..... : 1.2 مبدأ العمل
- 8..... : 2.2 مميزات و عيوب محطة توليد الطاقة بالرياح
- 8..... : 1.2.2 مميزات
- 8..... : 2.2.2 عيوب
- 8..... : 3 محطة توليد الطاقة المائية
- 9..... : 1.3 مميزات و عيوب الطاقة المائية
- 9..... : 1.1.3 مميزات
- 9..... : 2.1.3 عيوب
- 9..... : 4 محطة توليد الطاقة النووية
- 10..... : 1.4 مزايا و عيوب محطة توليد الطاقة النووية

10	1.1.4	مزايا :
10	2.1.4	عيوب :
10	5	محطة توليد الطاقة بمحركات الديزل :
11	1.5	طريقة العمل :
11	2.5	مميزات وعيوب محطات الديزل :
11	1.2.5	مميزات :
12	2.2.5	سلبيات :
12	6	محطة توليد الطاقة الغازية :
12	1.6	مكونات محطات توليد الطاقة الغازية :
13	2.6	مبدأ العمل :
13	3.6	تصنيف محطات توليد الطاقة الغازية :
13	1.3.6	توربينات غازية ذات الدورة المفتوحة :
14	2.3.6	توربينات غازية ذات دورة مغلقة :
14	4.6	مميزات و عيوب المحطات الغازية :
14	1.4.6	مميزات :
14	2.4.6	عيوب :

✚ الفصل الثاني : الدراسة النظرية و الترموديناميكية لمحطات توليد الطاقة الغازية و البخارية

17	1.	المقدمة :
17	2.	دراسة نظرية و ترموديناميكية لمحطة توليد الطاقة الغازية :
17	1.2	دورة برايتون المثالية البسيطة :
18	3.	محطة الطاقة البخارية :
19	1.3	المكونات الرئيسية لمحطات الطاقة البخارية:

19	1.1.3. المرجل (Boiler) :
21	2.1.3 التوربين (Turbine) :
21	3.1.3 المكثف (Condenser) :
22	4.1.3 المولد الكهربائي (Generator) :
23	2.3 دراسة نظرية و ترموديناميكية لمحطة توليد الطاقة البخارية :
23	1.2.3 البخار :
28	2.2.3 الدورات الترموديناميكية للتوربينات البخارية :
37	4. الخاتمة :

✚ الفصل الثالث : الدراسة حرارية و نظرية لمحطة توليد الطاقة البخارية تعمل بدورة تسخين مياه التغذية المغلقة

39	1. المقدمة:
39	2. تسخين مياه التغذية:
39	1.2 سخان مياه التغذية :
40	1.1.2 أنواع سخان مياه التغذية :
43	2.1.2 المقارنة بين سخان المياه التغذية المفتوحة و المغلقة :
44	3. الدراسة الترموديناميكية لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المغلقة :
48	4. الدراسة الترموديناميكية لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المغلقة مزودة بسخانين مياه التغذية :
51	5. الدراسة الترموديناميكية لمحطة بخارية تعمل بمخفض الضغط :
52	6.الخاتمة :

الفصل الرابع : الدراسة الرقمية لمحطة توليد الطاقة البخارية تعمل بدورة تسخين مياه التغذية المغلقة

1. مقدمة : 54
2. التعريف بالمحاكي المستخدم **CyclePad** : 54
- 1.2 واجهة المحاكي : 54
- 2.2 أيقونات المحاكي:..... 55
3. الدراسة الرقمية لمحطة بخارية تعمل بدورة رانكين البسيطة:..... 56
4. الدراسة الرقمية لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المغلقة : 59
5. الدراسة الرقمية لمحطة بخارية تعمل بمخفض الضغط : 61
6. الدراسة الرقمية لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المغلقة مع إعادة التسخين : 65
7. الدراسة الرقمية لمحطة بخارية تعمل بسخانين مياه التغذية المغلقة و سخان التغذية المفتوح مع إعادة التسخين : . 69
8. الخاتمة : 74
- خاتمة عامة : 75

قائمة الأشكال :

الفصل الأول :

- الشكل 1.1 مخطط مبسط لنظام التسخين بالطاقة الشمسية.....5
- الشكل 1.2 دورة الطاقة الشمسية الكهروضوئية.....5
- الشكل 1.3 مكونات عنفة الرياح.....7
- الشكل 1.4 محطة توليد الطاقة المائية.....8
- الشكل 1.5 دورة توليد الطاقة في محطة نووية.....10
- الشكل 1.6 نظام حقن الوقود المشترك في محركات الديزل.....11
- الشكل 1.7 توربين غاز من الداخل.....13
- الشكل 1.8 دورة الطاقة المفتوحة في محطة توليد كهرباء بالغاز.....13
- الشكل 1.9 محطة غازية مغلقة لتوليد الكهرباء.....14

الفصل الثاني :

- الشكل 2.1 مكونات محطة توليد الطاقة الغازية.....17
- الشكل 2.2 حلقة برايثون المثالية.....18
- الشكل 2.3 مكونات محطة الطاقة البخارية.....19
- الشكل 2.4 غلاية بخارية.....20
- الشكل 2.5 مرجل أنبوب اللهب.....20
- الشكل 2.6 مرجل أنبوب الماء.....21
- الشكل 2.7 توربين بخاري.....21
- الشكل 2.8 المكثف بخاري.....22
- الشكل 2.9 المولد الكهربائي.....22
- الشكل 2.10 مخطط الأطوار للماء في الاحداثيات (T,S).....26
- الشكل 2.11 مخطط الأطوار للماء.....27
- الشكل 2.12 دورة كارنو المثالية في مخطط الضغط الحجم (P-V).....28

- الشكل 2 . 13 دورة رانكين للبخار الرطب 30
- الشكل 2 . 14 مخطط الدورة التجديدة 33
- الشكل 2 . 15 دورة إعادة التسخين 35
- الشكل 2 . 16 مخطط دورة اعادة التسخين 36

✚ الفصل الثالث :

- الشكل 3 . 1 مبادل حراري 40
- الشكل 3 . 2 دورة تسخين مياه التغذية المفتوحة 40
- الشكل 3 . 3 حلقة تسخين مياه التغذية المفتوحة 41
- الشكل 3 . 4 مداخل ومخارج سخان مياه التغذية المفتوحة 41
- الشكل 3 . 5 مخطط تسخين مياه التغذية المغلقة 42
- الشكل 3 . 6 حلقة تسخين مياه التغذية المغلقة 42
- الشكل 3 . 7 مداخل ومخارج سخان مياه التغذية المغلقة 43
- الشكل 3 . 8 مخطط يوضح محطة بخارية تعمل بمياه التغذية المغلقة 44
- الشكل 3 . 9 حلقة لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المغلقة 45
- الشكل 3 . 10 مخطط مياه التغذية المغلق مزود بسخانين مياه التغذية 49
- الشكل 3 . 11 حلقة مياه التغذية المغلق مزودة بسخانين مياه التغذية 49
- الشكل 3 . 12 مخطط نظام تسلسل خلفي لسخان مياه تغذية مغلق باستخدام مخفض الضغط 51
- الشكل 3 . 13 حلقة نظام تسلسل خلفي لمسخن تغذية مغلق باستخدام مخفض الضغط 52

✚ الفصل الرابع :

- الشكل 4 . 1 واجهة المحاكي 55
- الشكل 4 . 2 أيقونات المحاكي 55
- الشكل 4 . 3 حلقة رانكين المثالية البسيطة 56
- الشكل 4 . 4 حالة الغالية 57
- الشكل 4 . 5 حالة المكثف 57

- الشكل 4. 6 حالة التوربين..... 57
- الشكل 4. 7 حالة المضخة..... 58
- الشكل 4. 8 مخطط الدورة لمحطة بخارية مزودة بمياه التغذية المغلقة..... 59
- الشكل 4. 9 منحنى تغيرات الكفاءة بدلالة معدل التدفق الكتلي..... 60
- الشكل 4. 10 منحنى تغيرات الكفاءة بدلالة الضغط..... 61
- الشكل 4. 11 مخطط الدورة لمحطة بخارية تعمل بمكثف مخنوق..... 62
- الشكل 4. 12 منحنى تغيرات التدفق الكتلي بدلالة الكفاءة..... 63
- الشكل 4. 13 منحنى تغيرات الحرارة بدلالة الكفاءة..... 64
- الشكل 4. 14 منحنى تغيرات الكفاءة بدلالة الضغط..... 64
- الشكل 4. 15 مخطط الدورة لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المغلقة مع إعادة التسخين..... 65
- الشكل 4. 16 منحنى تغيرات الحرارة بدلالة الكفاءة..... 67
- الشكل 4. 17 منحنى تغيرات الحرارة بدلالة الكفاءة..... 67
- الشكل 4. 18 منحنى تغيرات الكفاءة بدلالة الضغط..... 67
- الشكل 4. 19 منحنى تغيرات الكفاءة بدلالة معدل التدفق الكتلي..... 68
- الشكل 4. 20 مخطط محطة بخارية تعمل بسخانين مياه التغذية المغلقة و المفتوح مع إعادة التسخين ... 69
- الشكل 4. 21 منحنى تغيرات الحرارة بدلالة الكفاءة..... 71
- الشكل 4. 22 منحنى تغيرات الكفاءة بدلالة الضغط..... 71
- الشكل 4. 23 منحنى تغيرات الكفاءة بدلالة الضغط..... 72
- الشكل 4. 24 منحنى تغيرات الحرارة بدلالة الكفاءة..... 72
- الشكل 4. 25 منحنى تغيرات الكفاءة بدلالة الضغط..... 73
- الشكل 4. 26 منحنى تغيرات الكفاءة بدلالة الضغط..... 73

قائمة الجداول :

الفصل الثاني :

- الجدول 2. 1 قيم الحجم النوعي بدلالة درجة الحرارة والضغط..... 24
- الجدول 2. 2 قيم الطاقة الداخلية بدلالة درجة الحرارة والضغط..... 25
- الجدول 2. 3 قيم الأنتالبي بدلالة درجة الحرارة والضغط..... 25
- الجدول 2. 4 قيم الأنتروبي بدلالة درجة الحرارة والضغط..... 26

الفصل الرابع :

- جدول 4. 1 خصائص محطة بخارية تعمل بدورة رانكين البسيطة 56
- جدول 4. 2 نتائج كل من الحجم و الأنتروبي و الأنتالبي و الطاقة الداخلية 58
- جدول 4. 3 قيم العمل الصافي كمية الحرارة و الكفاءة..... 59
- جدول 4. 4 خصائص محطة بخارية تعمل بمياه التغذية المغلقة 59
- جدول 4. 5 نتائج كل من الحجم الأنتروبي و الأنتالبي و الطاقة الداخلية..... 60
- جدول 4. 6 قيم العمل الصافي كمية الحرارة و الكفاءة..... 61
- جدول 4. 7 خصائص محطة بخارية تعمل بمكثف مخنوق 62
- جدول 4. 8 نتائج كل من الحجم الأنتروبي و الأنتالبي و الطاقة الداخلية..... 63
- جدول 4. 9 قيم العمل الصافي كمية الحرارة و الكفاءة..... 65
- جدول 4. 10 خصائص محطة بخارية تعمل بمياه التغذية المغلقة مع إعادة التسخين 65
- جدول 4. 11 نتائج كل من الحجم الأنتروبي و الأنتالبي و الطاقة الداخلية..... 66
- جدول 4. 12 قيم العمل الصافي كمية الحرارة و الكفاءة..... 68
- جدول 4. 13 قيم العمل الصافي وكمية الحرارة و الكفاءة..... 68
- جدول 4. 14 خصائص محطة بخارية تعمل بمياه التغذية مزودة بسخانين مياه التغذية مع إعادة التسخين . 69
- جدول 4. 15 نتائج كل من الحجم الأنتروبي و الأنتالبي و الطاقة الداخلية..... 70
- جدول 4. 16 قيم العمل الصافي كمية الحرارة و الكفاءة..... 74

قائمة الرموز :

h : المحتوى الحراري (الأنثاليبي)

c_p : الحرارة النوعية تحت ضغط ثابت

dt : الفرق في درجة الحرارة

Q : كمية الحرارة

s : الأنتروبي

W_{tur} : عمل التوربين

W_{net} : العمل الصافي

η_{th} : الكفاءة الحرارية

Q_{out} : كمية حرارة الخرج

W_{pump} : عمل المضخة

P_{fw} : ضغط سخان مياه التغذية

P_R : ضغط إعادة التسخين

W_{Hbt} : عمل التوربين عالي الضغط

W_{LPt} : عمل التوربين منخفض الضغط

vf : الحجم النوعي للماء المشبع المناظر لدرجة حرارة التشبع

vg : الحجم النوعي للبخار المشبع المناظر لدرجة حرارة التشبع

uf : الطاقة الداخلية للماء المشبع المناظر لدرجة حرارة التشبع

ug : الطاقة الداخلية للبخار المشبع المناظر لدرجة حرارة التشبع

hf : انتالبي الماء المشبع المناظر لدرجة حرارة التشبع

hg : انتالبي البخار المشبع المناظر لدرجة حرارة التشبع

sf : انتروبيا الماء المشبع المناظر لدرجة حرارة التشبع

sg : انتروبيا البخار المشبع المناظر لدرجة حرارة التشبع

sfg : الفرق بين انتروبيا البخار المشبع و الماء المشبع

P_b : ضغط الغلاية

P_c : ضغط المكثف

TTD: فرق درجة الحرارة الطرفي

m: معدل تدفق الكتلة

CFWH : سخان ماء التغذية المغلق

مقدمة عامة

تُعد الطاقة الكهربائية حجر الأساس في البنية التحتية الحديثة، إذ تعتمد عليها معظم القطاعات الحيوية مثل الصناعة، النقل، الصحة، والاتصالات. ومع التوسع السكاني والتطور التكنولوجي المستمر، يزداد الطلب العالمي على الكهرباء بوتيرة متسارعة، لا سيما في الدول المتقدمة والنامية. هذا النمو في الطلب يفرض تحديات كبيرة تتعلق بضرورة رفع كفاءة إنتاج الطاقة وتقليل استهلاك الوقود، خاصة في محطات التوليد الحرارية التي تُعد من المصادر الرئيسية لإنتاج الكهرباء في العديد من دول العالم.

من هذا المنطلق، تبرز أهمية تحسين كفاءة محطات الطاقة البخارية، والتي تعتمد على تحويل الطاقة الحرارية إلى كهربائية. ومن بين الحلول التقنية الفعالة في هذا المجال، نجد دورة تسخين مياه التغذية، التي تلعب دورًا جوهريًا في تحسين كفاءة النظام الحراري، وذلك من خلال رفع درجة حرارة مياه التغذية قبل دخولها إلى المرجل. هذا الأمر يساهم في تقليل استهلاك الوقود، وزيادة مردودية تحويل الطاقة الحرارية إلى كهربائية.

تركز هذه المذكرة على دراسة دورة تسخين مياه التغذية المغلقة كوسيلة لتحسين أداء المحطات البخارية، وذلك من خلال تحليل نظري وحراري ورقمي لمحطة تعمل بهذا النظام. وتوزعت محتويات المذكرة على أربعة فصول كما يلي:

الفصل الأول: أنواع محطات توليد الطاقة الكهربائية

تم في هذا الفصل استعراض مختلف أنواع محطات التوليد الحراري، مع شرح آلية عمل كل منها، وبيان أهم مزاياها وعيوبها.

الفصل الثاني: الدراسة النظرية وترموديناميكية لمحطتي توليد الطاقة الغازية والبخارية

تناول هذا الفصل دراسة تفصيلية لمحطة توليد الطاقة الغازية من ناحية حرارية، إلى جانب تحليل محطة توليد الطاقة البخارية ومعرفة سبل رفع كفاءتها.

الفصل الثالث: الدراسة الحرارية ونظرية لمحطة طاقة بخارية تعمل بدورة تسخين مياه التغذية المغلقة

في هذا الجزء تم التطرق إلى المفاهيم الأساسية لسخانات مياه التغذية المغلقة، وأنواعها، ودورها في دورة المحطة البخارية، مع تحليل حراري لأداء المحطة.

الفصل الرابع: الدراسة الرقمية لمحطة بخارية تعمل بدورة تسخين مياه التغذية المغلقة

تم في هذا الفصل استخدام برنامج Cycle Pad لمحاكاة أداء محطة طاقة بخارية تستخدم نظام تسخين مياه تغذية مغلق، مع مقارنة أدائها وكفاءتها مع أنظمة أخرى.

الفصل الأول

أهم أنواع محطات توليد الطاقة الكهربائية

المقدمة:

تؤدي الطاقة دوراً حيوياً لا غنى عنه في عالمنا المعاصر، فقد اتضحت أهميتها في عملية التنمية وارتباطها الوثيق بمختلف مجالات التنمية المستدامة وأبعادها. أيضاً ثمة اتجاه عالمي نحو اللجوء إلى مصادر الطاقة المتجددة نظراً لكونها تتميز بديمومة وجودها وعدم نفاذها، مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية والحرارية، لسد احتياجات الإنسان المتزايدة من الطاقة [1].

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 الجزر أمثلة على المصادر الطاقية المتجددة، و تعتبر المحروقات والتي تشمل أنواع مثل الفحم الحجري، النفط والغاز الطبيعي، بالإضافة إلى الطاقة النووية مصادر الطاقة الغير متجددة. يتم استخراج جميع هذه المواد من الأرض وتعتبر الكميات المخزنة منها في الأرض معروفة تقريباً.

لإعطاء فكرة مبسطة عن محطات توليد الطاقة الكهربائية سوف نتناول الأنواع التالية:

1. محطة الطاقة الشمسية
2. محطة توليد الطاقة بالرياح
3. محطة توليد الطاقة المائية
4. محطة توليد الطاقة النووية
5. محطة توليد الطاقة بمحركات ديزل
6. محطة توليد الطاقة الغازية

1 محطة الطاقة الشمسية:

الشمس هي المصدر الأساسي لمعظم مصادر الطاقة المتجددة، مما دفع العلماء للاهتمام بالطاقة الشمسية منذ الثورة الصناعية ، حيث يكفي جزء بسيط منها لتلبية احتياجات العالم من الكهرباء، استغل الإنسان الطاقة الشمسية منذ القدم باستخدام تقنيات متطورة، ويقدر الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى الأرض بـ 1.36 كيلوواط/م²، حيث ينعكس نصفه تقريباً في الفضاء أو على سطح الأرض، بينما يمتص الباقي في الغلاف الجوي.

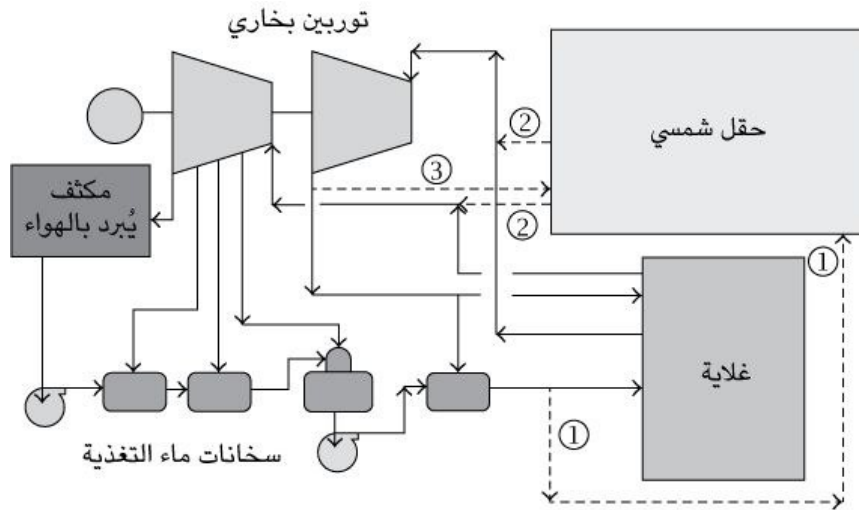
تشير تقارير مثل تقرير الجمعية الصناعية للخلايا الشمسية الأوروبية إلى أن الطاقة الشمسية المتاحة تكفي لتغطية الطلب العالمي بأكثر من 10,000 ضعف. باستخدام التكنولوجيا الحالية، يمكن لكل متر مربع إنتاج 1,700 كيلوواط/ساعة سنوياً ، تستخدم الطاقة الشمسية حالياً في مجالات متنوعة مثل تسخين المياه، تدفئة وتبريد المباني، توليد الكهرباء، وطهي الطعام، مع انتشار واسع في أوروبا وأمريكا. وبلغت السعة العالمية للطاقة الفوتوفولطية في عام 2010 حوالي 13,425 ميغاواط وفقاً لوكالة الطاقة الدولية [1].

1.1 نظم استخدام الطاقة الشمسية:

تعتمد عملية توليد الطاقة الشمسية بشكل أساسي على تحويل طاقة الشمس إلى طاقة قابلة للاستخدام. يتم ذلك إما عبر الأنظمة الكهروضوئية التي تحول الضوء الشمسي مباشرة إلى كهرباء، أو عبر الأنظمة الحرارية الشمسية التي تستغل حرارة الشمس لتشغيل محركات حرارية وتوليد الكهرباء. بعد تحويل الطاقة، تتعدد تطبيقاتها وتختلف باختلاف التقنيات المتاحة والمستوى التكنولوجي.

1.1.1 محطة الطاقة الحرارية الشمسية Solar Thermal Ennery :

إن عملية توليد الطاقة الحرارية الشمسية بسيطة نسبياً ولكنها فعالة للغاية. تبدأ العملية باحتجاز الإشعاع الشمسي بواسطة المجمعات الشمسية. ويمكن أن تتخذ هذه الأجهزة أشكالاً مختلفة، مثل المجمعات ذات الألواح المسطحة أو المجمعات الأسطوانية المكافئة، ولكنها جميعاً تشترك في نفس الهدف: التقاط طاقة الشمس واستخدامها لتسخين سائل يدور من خلالها، مثل الماء أو الزيت الحراري. وفي الواقع، يمكن استخدام هذه الحرارة مباشرة لتسخين المياه للاستخدام المنزلي أو الصناعي، أو يمكن استخدامها لتوليد الكهرباء من خلال دورة ترموديناميكية تقليدية [2].

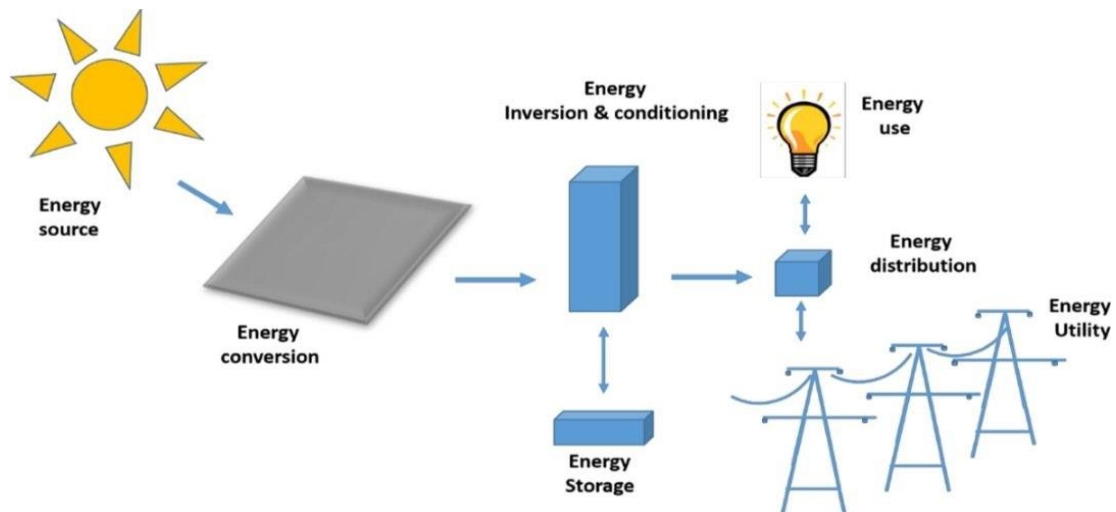


الشكل 1.1 مخطط مبسط لنظام التسخين بالطاقة الشمسية

2.1.1 محطة الطاقة الشمسية الكهروضوئية Solar Photovoltaic Energy :

عملية توليد الطاقة الكهروضوئية هي عملية تحويل جزيئات الضوء إلى كهرباء. ويتم صنع ألواح الطاقة الشمسية عادةً من عدة وحدات من الخلايا الكهروضوئية المصنوعة من المواد النصف ناقلة مثل مادة السليكون التي تشكل دائرة كهربائية. وعندما يحتجز اللوح أشعة الشمس، تنبعث الإلكترونات ويتم حفظها بهيئة تيار كهربائي.

تُعرف محطة توليد الطاقة الكهروضوئية بحقل للطاقة الشمسية، وهي نظام كهروضوئي يعمل على نطاق واسع، تم تصميمه لتزويد شبكة الكهرباء الوطنية بالطاقة. وتختلف هذه المحطات عن ألواح الطاقة الشمسية الموزعة على الأبنية بأنها تقوم بتزويد الكهرباء حسب حاجة الاستهلاك المتوقعة [3].



الشكل 1.2 دورة الطاقة الشمسية الكهروضوئية

2.1 مميزات و عيوب محطة توليد الطاقة بواسطة الشمس :

1.2.1 مميزات محطة الطاقة الشمسية :

- لا تنتج أي انبعاثات ضارة، مما يحافظ على نظافة الهواء والماء.
- تعتمد على مصدر طاقة لا ينضب وهو الشمس، مما يضمن توفرها على المدى الطويل.
- تقلل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية وتوفر الاستقلالية في إنتاج الطاقة.
- على الرغم من التكلفة الأولية، فإنها توفر الكثير من المال على المدى الطويل من خلال تقليل فواتير الكهرباء.
- لا تتطلب معدات معقدة أو صيانة مكلفة.

باختصار الطاقة الشمسية هي حل مستدام ومرح اقتصاديًا وبيئيًا لتلبية احتياجاتنا من الطاقة [4].

2.2.1 عيوب محطة الطاقة الشمسية :

على الرغم من المزايا العديدة التي تتمتع بها الطاقة الشمسية، إلا أنها تواجه بعض التحديات التي تحد من استخدامها على نطاق واسع. يمكن تلخيص هذه التحديات فيما يلي:

- لا تزال كفاءة الألواح الشمسية في تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء محدودة، حيث لا تتجاوز نسبة التحويل 20% في المتوسط.
- تعتمد إنتاجية الألواح الشمسية بشكل كبير على شدة الإشعاع الشمسي، والذي يتأثر بوقت النهار، الفصول، والظروف الجوية مثل الغيوم والغبار.
- غالبًا ما تكون تكلفة تركيب الألواح الشمسية عالية، مما يجعل الاستثمار فيها غير ميسر للجميع.
- تعرض الألواح الشمسية للعوامل الجوية المختلفة مثل المطر والثلج والأترية يؤدي إلى تدهور أدائها وتقليل عمرها الافتراضي.
- تختلف كمية الطاقة الشمسية المتاحة باختلاف الموقع الجغرافي، حيث تكون أعلى في المناطق القريبة من خط الاستواء وأقل في المناطق البعيدة [4].

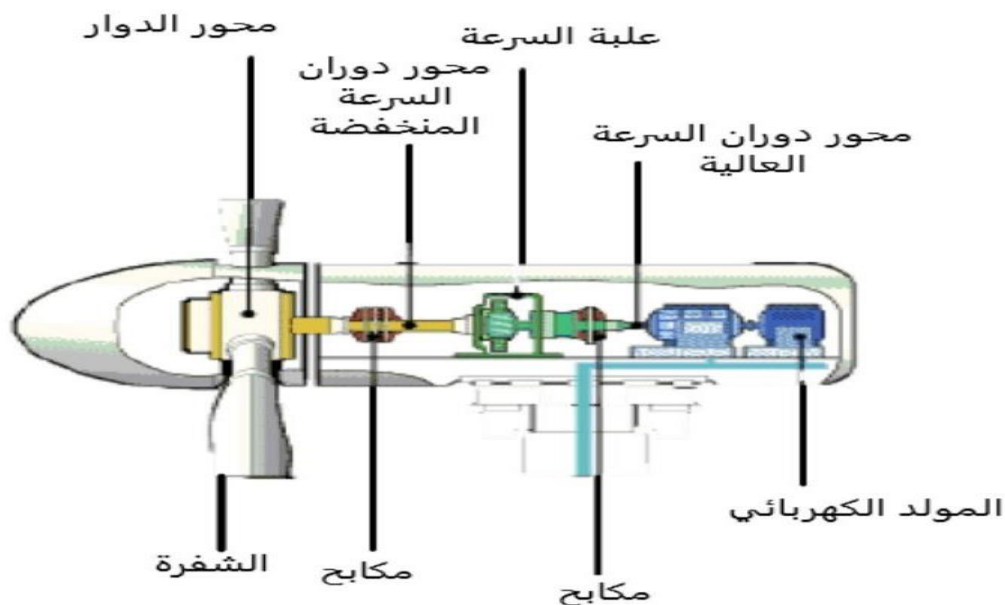
2 محطة توليد الطاقة بالرياح :

تعتبر طاقة الرياح واحدة من أهم مصادر الطاقة المتجددة في العالم. يتم توليد هذه الطاقة من خلال تحويل قوة الرياح إلى طاقة ميكانيكية باستخدام توربينات الرياح الضخمة، ثم تحويل هذه الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية يمكن استخدامها لتشغيل المنازل والمصانع والشركات. تتميز طاقة الرياح بعدة مزايا تجعلها خياراً جذاباً، فهي لا تنتج أي انبعاثات ضارة بالبيئة، مما يساهم في الحد من التلوث وتغير المناخ. بالإضافة إلى ذلك، تعتبر طاقة الرياح متوفرة على نطاق واسع ولا تتضرب، مما يضمن استدامتها على المدى الطويل [5].

1.2 مبدأ العمل :

- اصطدام الرياح بالشفرات: يؤدي إلى دوران الشفرات.
- نقل الحركة: تنتقل الحركة من الشفرات إلى المحور ثم إلى علبة السرعة.
- زيادة السرعة: تزيد علبة السرعة من سرعة الدوران لتناسب المولد.
- توليد الكهرباء: يدور المولد الكهربائي وينتج التيار الكهربائي.
- نقل الكهرباء: ينقل التيار الكهربائي إلى الشبكة العامة.

الهدف الرئيسي من علبة السرعة هو زيادة سرعة دوران المحور ليتناسب مع سرعة دوران المولد الكهربائي، حيث أن سرعة دوران الشفرات تكون أقل بكثير من سرعة دوران المولد المطلوبة لتوليد الكهرباء [5].



الشكل 1. 3 مكونات عنفة الرياح

1.2 مميزات و عيوب محطة توليد الطاقة بالرياح :

1.2.2 مميزات :

- لا تلوث البيئة لأنها لا تستعمل مواد كيميائية تنتج مواد ضارة كثاني أكسيد الكربون.
- لا تساهم في ظاهرة الاحتباس الحراري لأنها لا تبعث غازات دفيئة.
- الطاقة القادمة من الرياح لا تنفذ أبداً.
- أبراج الرياح يمكن أن تكون مفيدة للأشخاص الذين يعيشون في المناطق النائية التي قد يكون من الصعب نقل الكهرباء عن طريق أسلاك الكهرباء من محطة توليد الكهرباء إلى الأماكن بعيدة .

[6]

2.2.2 عيوب :

- الرياح لا يمكن التنبؤ بها بدقة وبالتالي الطاقة الناتجة منه غير متوقعة وغير ثابتة وهذا يجعل طاقة الرياح غير مناسبة في حالة زيادة الطلب على طاقة إنتاجية عالية وبكمية ثابتة.
- مزارع الرياح قد تعتبر ازعاج لبعض سكان تلك المناطق.
- مزارع الرياح قد تتداخل مع الرادار وذلك بإحداث فجوة في التغطية الرادارية مما يؤثر على الأمن القومي [6].

3 محطة توليد الطاقة المائية :

الطاقة الكهرومائية هي مصدر طاقة متجددة يتم توليدها من خلال تحويل الطاقة الحركية للمياه المتدفقة إلى طاقة كهربائية. يتم ذلك بمساعدة التوربينات والمولدات التي تحول الطاقة الميكانيكية الناتجة عن تدفق المياه إلى طاقة كهربائية يمكن استخدامها لتلبية احتياجاتنا اليومية. وتستخدم على نطاق واسع في توليد الكهرباء، وذلك بفضل فعاليتها وكفاءتها وقلة تكلفتها مقارنة بمصادر الطاقة التقليدية الأخرى [7].



الشكل 1. 4 محطة توليد الطاقة المائية

1.3 مميزات و عيوب الطاقة المائية :

1.1.3 مميزات :

- تعتمد الطاقة الكهرومائية على المياه كمصدر أساسي، وهو مورد متجدد بشكل طبيعي من خلال دورة المياه. وبالتالي، فإن تكلفة الوقود في هذا النوع من الطاقة معدومة تقريبًا.
- تتميز محطات توليد الطاقة الكهرومائية بكفاءة عالية في تحويل الطاقة المائية إلى كهرباء حيث تصل الكفاءة إلى حوالي 90%، مما يجعلها تفوق كفاءة مصادر الطاقة المتجددة الأخرى مثل الرياح والطاقة الشمسية.
- نظرًا لطبيعتها المتجددة وعدم إنتاجها للتلوث فإن الطاقة الكهرومائية تعتبر مصدرًا مستدامًا للطاقة على المدى الطويل مما يساعد في مكافحة تغير المناخ [8].

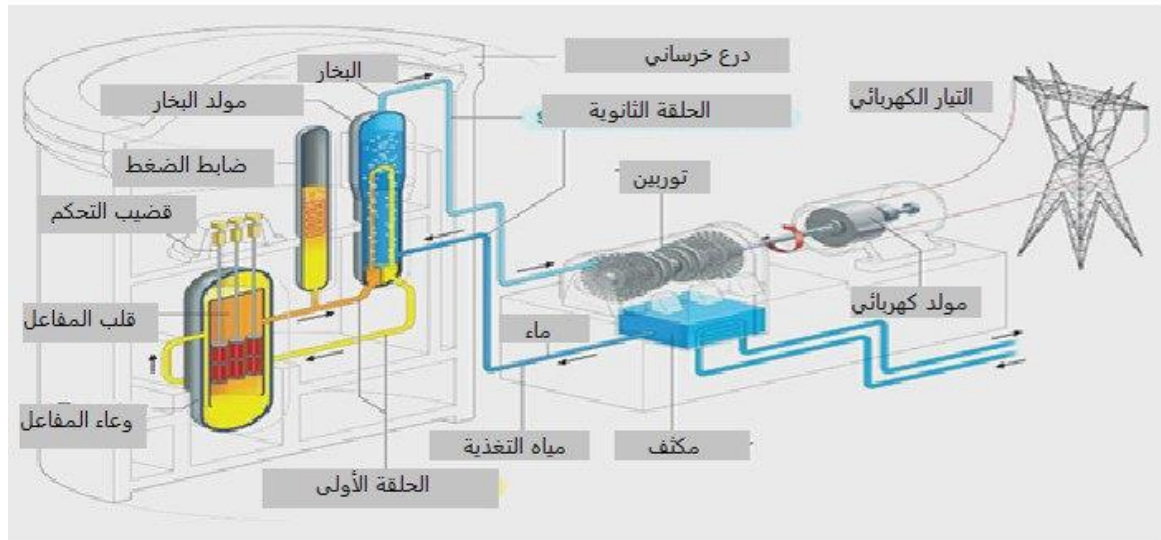
2.1.3 عيوب :

- بناء السدود يؤدي إلى غرق الأراضي الزراعية والمناطق الطبيعية، مما يؤثر على حياة الكائنات المائية والنباتات.
- تمنع السدود الأسماك والحيوانات الأخرى من الهجرة والتكاثر بشكل طبيعي.
- بناء السدود مكلف جدًا ويستغرق وقتًا طويلًا لاسترداد التكاليف [8].

4 محطة توليد الطاقة النووية :

تعتمد محطات الطاقة النووية، شأنها شأن محطات الوقود الأحفوري، على تحويل الطاقة الحرارية إلى كهرباء. الفرق يكمن في مصدر هذه الحرارة. فبينما تحرق المحطات التقليدية الفحم أو النفط أو الغاز، تستغل المحطات النووية الطاقة المتحررة من انشطار ذرات اليورانيوم. هذه الطاقة الحرارية الهائلة تسخن الماء، وتحوله إلى بخار يدفع توربينات ضخمة متصلة بمولدات كهربائية، ينتج عنها في النهاية الكهرباء التي نستخدمها في حياتنا اليومية .

تنتج التفاعلات النووية داخل المفاعل كمية هائلة من الحرارة. يتم امتصاص هذه الحرارة بواسطة ماء التبريد الأولي، الذي يمر عبر المفاعل في دائرة مغلقة. نتيجة لذلك، يصبح ماء التبريد ساخنًا جدًا وضغطًا. يتم نقل هذه الحرارة إلى ماء التبريد الثانوي عبر أنابيب تبادل حراري، مما يتسبب في تحول الماء الثانوي إلى بخار. يدفع البخار الناتج توربينات بخارية تدور بدورها مولدًا كهربائيًا لإنتاج الكهرباء. أما بخار الماء بعد أن يدور التوربين فيتكثف ليعود سائلًا إلى مولد البخار مرة أخرى [9].



الشكل 1. 5 دورة توليد الطاقة في محطة نووية

1.4 مزايا وعيوب محطة توليد الطاقة النووية :

1.1.4 مزايا :

- كمية صغيرة من الوقود النووي يمكن أن تولد كمية هائلة من الطاقة.
- تقلل الاعتماد على واردات الوقود الأحفوري.
- للطاقة النووية تطبيقات عديدة بخلاف توليد الكهرباء، مثل تحلية المياه وتطبيقات طبية.
- لا تنتج محطات الطاقة النووية أي انبعاثات كربونية، مما يجعلها أحد أنظف مصادر الطاقة [10].

2.1.4 عيوب :

- احتياج الطاقة النووية إلى الكثير من الماء.
- احتمال وقوع حوادث نووية.
- الخوف من النفايات المشعة.
- لاتعد مصدر طاقة متجددة [10].

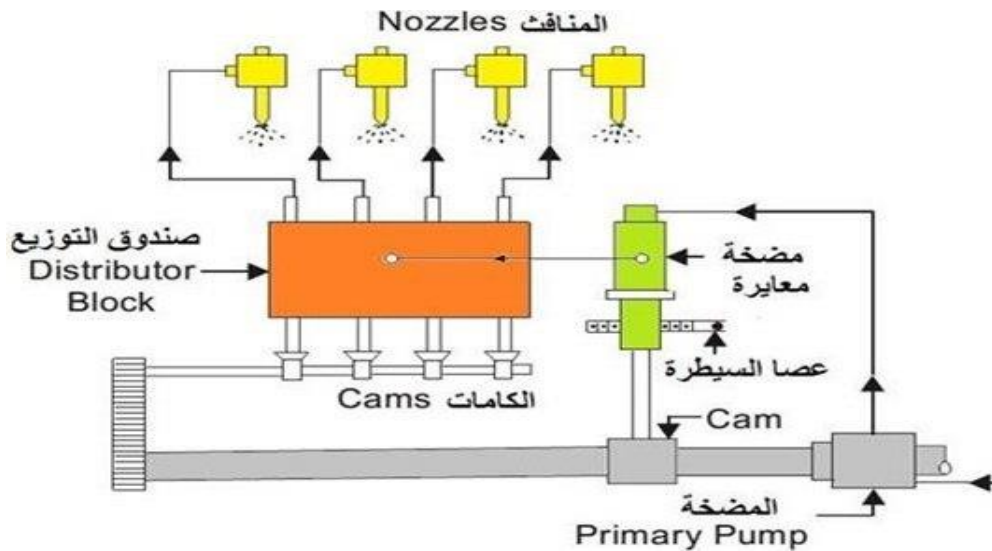
5 محطة توليد الطاقة بمحركات الديزل :

تعتمد مولدات الديزل على محركات احتراق داخلي تعمل بالديزل لتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية. حيث تعتبر حلاً سريعاً وموثوقاً لتوليد الطاقة في مناطق الخليج، خاصة في المناطق النائية.

تتميز بسهولة التشغيل والصيانة، إلا أنها تعتمد بشكل كبير على الوقود، مما يجعلها حساسة لتقلبات أسعار الطاقة. بالإضافة إلى ذلك، تقتصر قدرتها الإنتاجية على نطاق محدود، مما يجعلها مناسبة للتطبيقات الصغيرة والمتوسطة الحجم أو للاستخدام الاحتياطي في حالات الطوارئ [11].

1.5 طريقة العمل :

يبدأ الأمر بحقن وقود الديزل في غرفة محكمة، حيث يتم ضغطه وإشعاله، مما يؤدي إلى انفجار صغير يولد حرارة وضغطاً شديداً ويتسبب هذا الانفجار في دفع مكابس المحرك بقوة، محوّلًا الطاقة الكيميائية للوقود إلى طاقة حركية. ترتبط المكابس بعمود يدور، وهذا الدوران ينتقل إلى مولد كهربائي. داخل المولد، يتحرك جزء معدني (الدوار) داخل مجال مغناطيسي، مما يؤدي إلى توليد تيار كهربائي. أخيراً يتم نقل الكهرباء المولدة عبر أسلاك إلى حيث تحتاج إليها [12].



الشكل 1. 6 نظام حقن الوقود المشترك في محركات الديزل

2.5 مميزات وعيوب محطات الديزل :

1.2.5 مميزات :

- تتميز مولدات الديزل بقدرتها على توليد طاقة موثوقة وكفاءة عالية.
- تتمتع هذه المولدات بمتانة وقوة عالية.
- تطلب صيانة أقل مقارنة بأنواع أخرى من المولدات.
- وقود الديزل يوفر كفاءة عالية في استهلاك الطاقة، مما يقلل من تكاليف التشغيل على المدى الطويل [12].

2.2.5 سلبيات :

- هذه المولدات تساهم في تلويث البيئة بسبب انبعاثات العوادم الضارة.
- كما أنها تتميز بحجمها الكبير ووزنها الثقيل.
- الضوضاء العالية التي تصدرها هذه المولدات قد تسبب إزعاجًا للمستخدمين.
- صيانة دورية مكلفة.
- صعوبة التشغيل في الطقس البارد أي تعمل جزئيًا فقط [13].

6 محطة توليد الطاقة الغازية :

التوربين الغازي هو نوع من محركات الاحتراق الداخلي، ويعمل على تسريع تدفق الغاز لاستخدامه في توليد قوة دفع رد فعلية لتحريك جسم معين أو إنتاج طاقة ميكانيكية لتشغيل حمل معين [14].

1.6 مكونات محطات توليد الطاقة الغازية :

تتألف محطة توليد الطاقة بالتوربينات الغازية من عدة أجزاء رئيسية، أبرزها:

(أ) ضاغط الهواء (The Air Compressor):

يعمل على سحب الهواء من البيئة المحيطة ورفع ضغطه إلى مستويات عالية تصل إلى عشرات الضغوط الجوية.

(ب) غرفة الاحتراق (The Combustion Chamber):

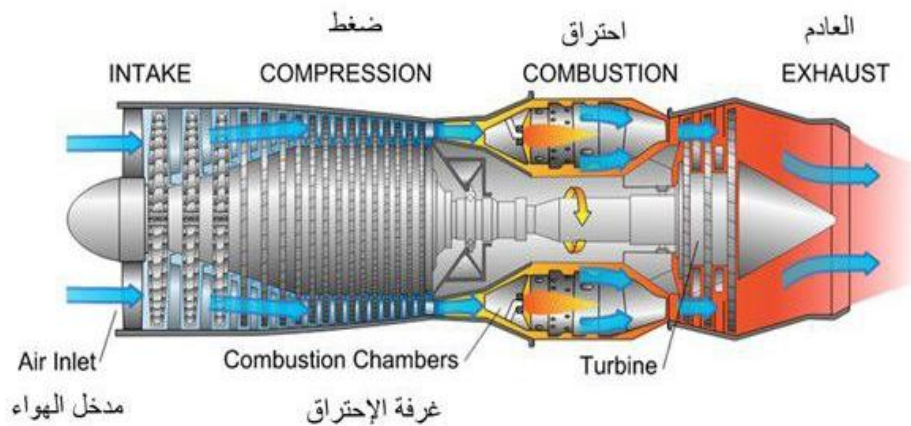
تُخلط فيها كميات محددة من الهواء المضغوط القادم من الضاغط مع الوقود، حيث تتم عملية الاحتراق باستخدام تقنيات خاصة للإشعال. ينتج عن هذه العملية غازات ذات درجات حرارة مرتفعة وضغط عالٍ.

(ج) التوربين The Turbine :

يتكون التوربين من محور أفقي متصل من جهة بمحور ضاغط الهواء بشكل مباشر، ومن جهة أخرى بالمولد الكهربائي عبر صندوق تروس لتخفيض السرعة نظرًا لأن سرعة دوران التوربين تكون عالية جدًا ولا تتناسب مع سرعة دوران المولد. تدخل الغازات الناتجة عن عملية الاحتراق إلى التوربين، حيث تصطدم بعدد كبير من الريش الموجودة في الجانب ذي الضغط المنخفض (حيث يزداد قطر التوربين في هذا الجزء)، ثم تُطرد إلى الهواء عبر مدخنة [14].

2.6 مبدأ العمل :

يدخل الهواء البارد من الفتحة الموجودة أسفل الفرن، حيث يختلط مع الغازات الساخنة الناتجة عن عملية الاحتراق. يؤدي ذلك إلى ارتفاع درجة حرارة الهواء وانخفاض كثافته، مما يجعله يتحرك نحو الأعلى. يحل مكانه هواء بارد جديد في عملية مستمرة. نتيجة لحركة الهواء الساخن إلى الأعلى، يتولد تيار هوائي طبيعي يمر عبر مجموعة من الريش التي تعمل على تحريك وإدارة الشواية مما يتيح توفير الطاقة اللازمة لتشغيل الآلية المرفقة [15].

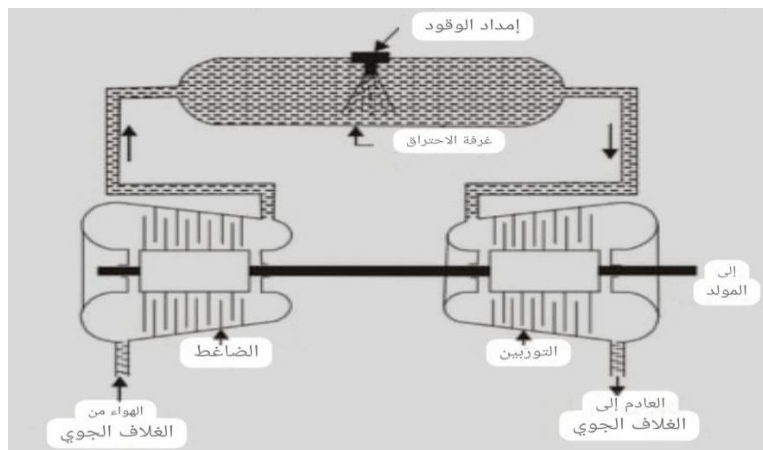


الشكل 7.1 توربين غاز من الداخل

3.6 تصنيف محطات توليد الطاقة الغازية :

1.3.6 توربينات غازية ذات الدورة المفتوحة :

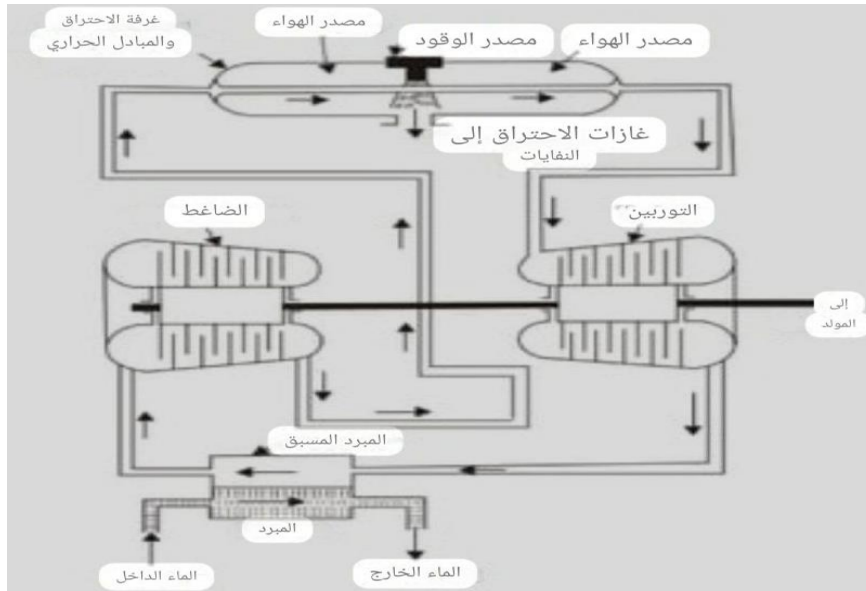
في توربينات الغاز ذات الدورة المفتوحة يتم سحب الهواء المحيط إلى الضاغط بينما تُطلق الغازات الناتجة عن التوربين إلى الغلاف الجوي، مما يستدعي تجديد المادة التشغيلية باستمرار [16].



الشكل 8.1 دورة الطاقة المفتوحة في محطة توليد كهرباء بالغاز

2.3.6 توربينات غازية ذات دورة مغلقة :

في توربين الغاز ذو الدورة المغلقة، يتم سحب الهواء المحيط إلى الضاغط، وتُعاد الغازات الخارجة من التوربين إلى النظام بدلاً من إطلاقها إلى الغلاف الجوي، مما يتيح إعادة استخدام المادة التشغيلية بشكل مستمر دون الحاجة إلى استبدالها [16].



الشكل 9.1 محطة غازية مغلقة لتوليد الكهرباء

4.6 مميزات و عيوب المحطات الغازية :

1.4.6 مميزات :

- تكاليف الإنشاء لتلك المحطات أقل من المحطات الأخرى.
- يمكن تشغيلها أو إيقافها في زمن أقل من الزمن المطلوب لتشغيل أو إيقاف المحطات الأخرى.
- تحتاج لعمالة ذات مؤهل متوسطة وعدد قليل في التشغيل.
- يمكن تشغيلها لتغذية أوقات الذروة أو التشغيل باستمرار.
- لا تحتاج إلى كميات من المياه لذلك فهي تكثر في المناطق الصحراوية [17].

2.4.6 عيوب :

- تكاليف التشغيل الدورية عالية لاحتياجها لكميات كبيرة من الوقود .
- تعطى قدرات ليست عالية.
- الكفاءة منخفضة.

- إهدار كمية كبيرة من الطاقة الحرارية مع غازات العادم وقد تم أخيرا استغلال هذه الطاقة في إنتاج بخار يستخدم في تشغيل وحدات بخارية ملحقة بالمحطات الغازية ويسمى هذا النظام بنظام الدورة المركبة [17].

الخاتمة :

تعتبر محطات الطاقة الحرارية من أهم مصادر توليد الكهرباء، حيث تحول الطاقة الحرارية الناتجة عن حرق الوقود إلى طاقة كهربائية. تتعدد أنواع هذه المحطات باختلاف الوقود المستخدم ونظام التشغيل، ولكل نوع مميزات وعيوب خاصة به تتناسب مع ظروف التشغيل المختلفة.

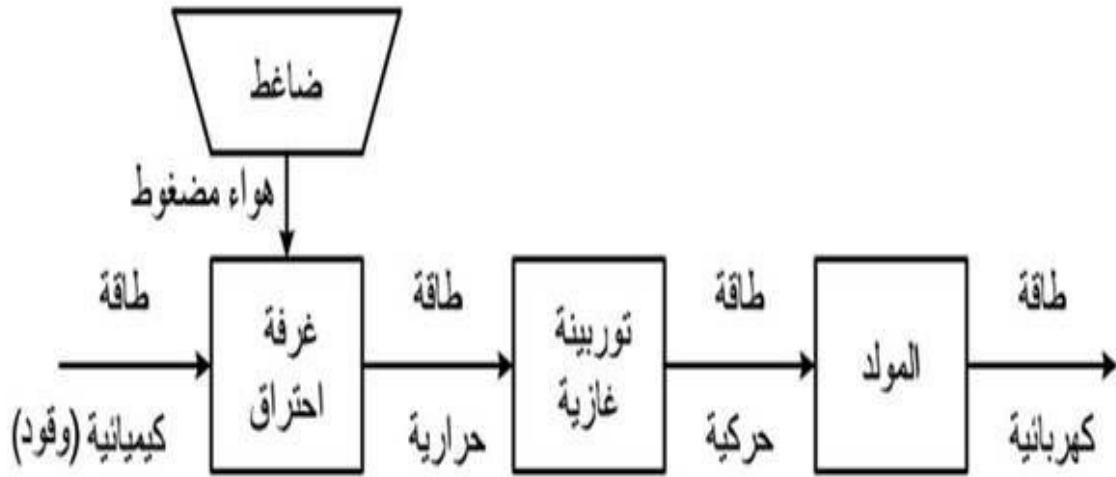
الفصل الثاني

الدراسة النظرية و الترموديناميكية
لمحطات توليد الطاقة الغازية والبخارية

1. المقدمة :

شهد قطاع الطاقة تحولاً كبيراً في الآونة الأخيرة، مدفوعاً بالطلب المتزايد على الطاقة الكهربائية والجهود المبذولة لتقليل الانبعاثات الضارة بالبيئة. وفي هذا السياق، تبرز محطات توليد الطاقة الغازية والبخارية كخيار واعد لتلبية هذه الاحتياجات، حيث تجمع بين كفاءة الدورة الغازية وقدرة الدورة البخارية على استعادة الحرارة المهدرة .

يهدف هذا الفصل إلى تقديم دراسة شاملة لمحطة توليد الطاقة الغازية والبخارية حيث تعتبر دراسة الأداء النظري و الترموديناميكي لهذه المحطات أمراً بالغ الأهمية لتحسين تصميمها ورفع كفاءتها التشغيلية. فمن خلال تحليل العمليات الحرارية التي تحدث داخل المحطة، يمكن تحديد العوامل المؤثرة على الأداء واقتراح الحلول المناسبة لتحسينها.

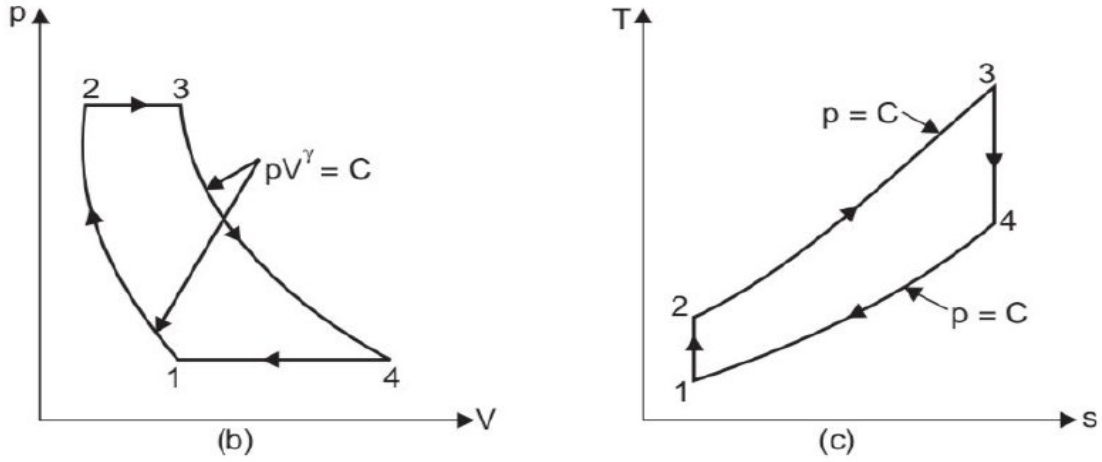
2. دراسة نظرية و ترموديناميكية لمحطة توليد الطاقة الغازية :

الشكل 1.2 مكونات محطة توليد الطاقة الغازية

1.2 دورة برايتون المثالية البسيطة :

تُعد دورة برايتون نموذجاً ديناميكياً حرارياً يصف العمليات التي تحدث داخل التوربينات الغازية. وهي تمثل دورة ثابتة الضغط لغاز مثالي، حيث تُحَقَّق عمليات نقل الحرارة في مبادلات حرارية قابلة للانعكاس وثابتة الضغط.

يتم تمثيل الدورة الحرارية لـ "برايتون" عادةً على مخطط ضغط-حجم (P-V) وفي مخطط درجة الحرارة-الإنتروبي (T-S) كما هو موضح في الشكل 2.2



الشكل 2. 2. دورة برايتون المثالية

شرح الدورة :

العملية 1-2: يُضغَطُّ الهواء أيزنتروبيًا من الضغط المنخفض p_1 إلى الضغط المرتفع p_2 ، مع ارتفاع درجة الحرارة من T_1 إلى T_2 .

العملية 2-3: تتدفق الحرارة إلى النظام مما يزيد الحجم من V_2 إلى V_3 ودرجة الحرارة من T_2 إلى T_3 بينما يبقى الضغط ثابتًا عند p_2 .

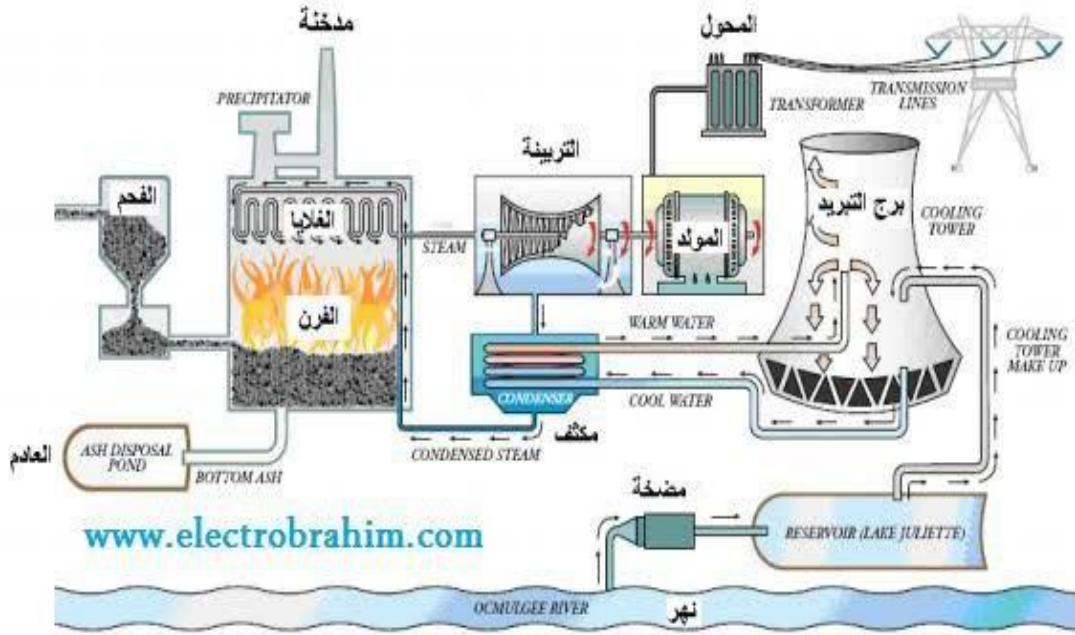
العملية 3-4: يتمدد الهواء أيزنتروبيًا من p_2 إلى p_1 ، مع انخفاض درجة الحرارة من T_3 إلى T_4 .

العملية 4-1: تُرفَضُ الحرارة من النظام مع انخفاض الحجم من V_4 إلى V_1 ودرجة الحرارة من T_4 إلى T_1 بينما يبقى الضغط ثابتًا عند p_1 [18].

3. محطة الطاقة البخارية :

تُعدّ محطات الطاقة البخارية تاريخيًا حجر الزاوية في توليد الكهرباء، حيث تُوفّر مصدرًا موثوقًا وثابتًا للطاقة. تعمل هذه المحطات بشكل أساسي على دورة رانكين، حيث تُحوّل الماء إلى بخار لتشغيل التوربينات، التي بدورها تُولّد الكهرباء. يُعدّ الفهم الشامل للمكونات الفردية وتفاعلاتها أمرًا ضروريًا لتحسين الأداء

وزيادة الكفاءة. تتناول هذه الورقة كل مكون من مكونات محطات الطاقة البخارية، مع تسليط الضوء على الابتكارات والاتجاهات التي تُشكل مستقبل هذه التكنولوجيا.



الشكل 2. 3 مكونات محطة الطاقة البخارية

1.3 المكونات الرئيسية لمحطات الطاقة البخارية:

1.1.3.1. المرجل (Boiler) :

هو عبارة عن وعاء مغلق يتم فيه تسخين الماء الى درجة غليانه وتحويله إلى بخار عند ضغط أعلى من الضغط الجوي، عن طريق التطبيق المباشر للطاقة من احتراق الوقود ويسمى أيضاً بمولد البخار .

المرجل هو جزء أساسي من نظام التدفئة العالمي في محطات توليد الطاقة. يعمل نظام المرجل مع نظام توزيع الحرارة ونظام انبعاث الحرارة وأنظمة التحكم حيث يعتبر هو المكون الرئيسي لمحطات الطاقة الحرارية. عادة ما يتم دمج المرجل مع نظام به العديد من المكونات. تُصنع المراجل الحديثة من سبائك الصلب لتتحمل الضغوط العالية ودرجات الحرارة المرتفعة للغاية [19].



الشكل 2 . 4 غلاية بخارية

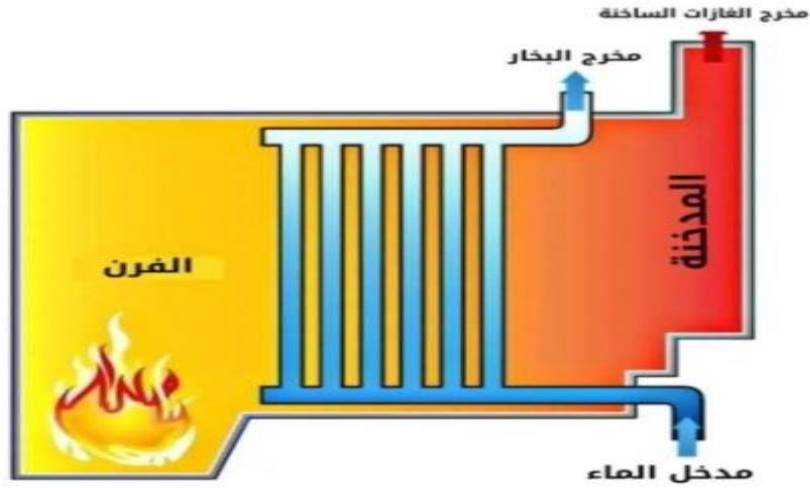
أنواع المراجل :

1. مرجل أنبوب اللهب (**Fire Tube Boiler**) هي تلك المراجل التي تنتج فيها الغازات الساخنة عن طريق إحتراق الوقود في فرن المرجل أثناء مرورها في طريقها إلى المدخنة عبر عدد من الأنابيب (تسمى أنابيب الوقود أو أنابيب الدخان) مغمورة في الماء، حيث تنتقل الحرارة من الغازات الساخنة إلى الماء عبر جدران الأنابيب. يعرف هذا النوع أيضاً بإسم مرجل أنبوب الدخان [19].



الشكل 2 . 5 مرجل أنبوب اللهب

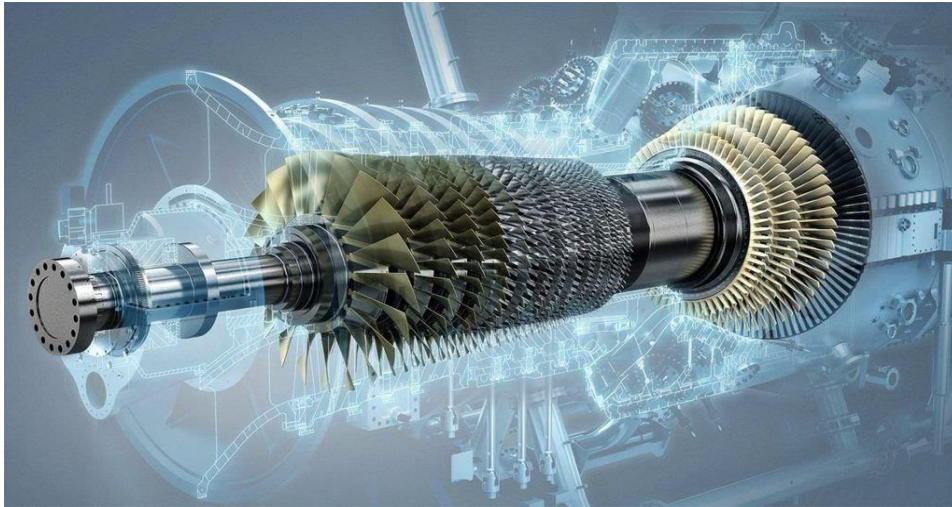
2. مرجل أنبوب الماء (**Water Tube Boiler**) مراجل أنابيب المياه هي تلك المراجل التي يتدفق فيها الماء عبر عدد من الأنابيب (تسمى أنابيب المياه) والغازات الساخنة الناتجة عن احتراق الوقود في فرن المرجل أثناء توجيهها إلى مدخنة تمر حول الأنابيب. تنتقل الحرارة من الغازات الساخنة إلى الماء عبر جدران أنابيب المياه [19].



الشكل 2 . 6 . 2 مرجل أنبوب الماء

2.1.3 التوربين (Turbine) :

هو الجزء المسؤول عن دوان عمود المولد عن طريق تمدد البخار المحمص الذي يدخل لتدوير التوربين تحت ضغط عالي وحرارة عالية. وتتحرك التوربينات بشكل دائرة حول محورها وتكون موصلة ميكانيكياً بالمولد، حيث يدور المولد بنفس سرعة التوربين من أجل تثبيت التردد [20].

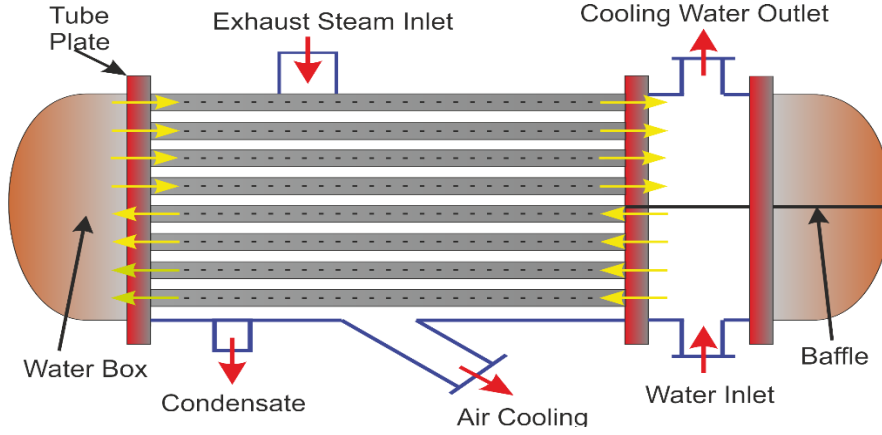


الشكل 2 . 7 . 2 توربين بخاري

3.1.3 المكثف (Condenser) :

هو المسؤول عن تكثيف البخار الخارج من التوربينة قبل أن يسخ مجدداً في الغلاية، حيث يتم خفض حرارته ليصبح ماء، ثم يسخ من جديد إلى داخل الفرن لتأمين دورة البخار. يعتمد فكرة عمل المكثف على مصدر الماء البارد لخفض درجة حرارة البخار، إذ يتم أخذ المياه الباردة من المحيط أو البحر أو النهر

ويمر البخار المراد تكثيفه في مواسير تمر عليها هذه الكمية من المياه الباردة في مواسير أخرى، وعن طريق التبادل الحراري يكتسب الماء البارد الموجودة في البخار حتى يتكثف. ومن ثم يتم إرجاع المياه إلى البحر بعد استخدامها دون الاستفادة من الحرارة التي اكتسبتها عند مرورها بالمكثف [20].



الشكل 2 . 8 المكثف بخاري

4.1.3 المولد الكهربائي (Generator) :

الهدف الرئيسي للعمل في محطة توليد الطاقة هو إنتاج الكهرباء. يتم توليد الطاقة الكهربائية بواسطة المولد الكهربائي، وهو جهاز يحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية باستخدام مبدأ الحث الكهرومغناطيسي. يتكون المولد الكهربائي من جزأين رئيسيين. الجزء الثابت (الساكن) والجزء الدوار (المتحرك). يتألف الجزء الثابت من غلاف يحتوي على ملفات من الأسلاك. أما الجزء الدوار، فيتكون من قلب يحتوي على ملف، وهو المسؤول عن توليد المجال المغناطيسي [21].



الشكل 2 . 9 المولد الكهربائي

2.3 دراسة نظرية و ترموديناميكية لمحطة توليد الطاقة البخارية :

1.2.3 البخار :

يعد توليد البخار التجاري عملية صناعية حيوية لتوفير التدفئة، حيث يتحدد نوع البخار المستخدم بناءً على التطبيق ومتطلبات الجودة والتعقيم، وعند تكثيف البخار، يتم إطلاق الحرارة الكامنة، وهي كمية كبيرة من الطاقة تفوق الحرارة المحسوسة اللازمة لرفع درجة حرارة الماء، مما يجعل البخار المشبع مصدراً فعالاً للتدفئة في المبادلات الحرارية بفضل قدرته على إطلاق هذه الحرارة الكامنة عند تكثفه [22].

1.1.2.3 أنواع البخار :

• البخار المشبع:

هو البخار الذي يكون في حالة توازن بين الحالة السائلة والغازية. يوجد عند نقطة الغليان، حيث تكون درجة حرارته ثابتة عند ضغط معين.

مثال: عند الضغط الجوي، يكون البخار المشبع عند 100 درجة مئوية.

تتغير درجة حرارة البخار المشبع بتغير الضغط، ويمكن معرفة هذه العلاقة من جداول البخار.

مثال: عند الضغط الجوي، يكون البخار المحمص أعلى من 100 درجة مئوية.

• البخار الجاف:

هو البخار الذي يكون في الحالة الغازية بالكامل، ولا يحتوي على أي قطرات سائلة. يكون دائماً جافاً. و البخار المشبع يمكن ان يكون جافا ايضا عندما يكون في حالة بخار بالكامل.

للحفاظ على جفاف البخار المشبع، يجب عزله بشكل جيد لمنع تكثف البخار وتحوله إلى سائل.

• البخار الرطب:

هو البخار الذي يحتوي على خليط من البخار والسائل. يحتوي على قطرات ماء تقلل من كفاءته في نقل الحرارة. و البخار غير المشبع يعتبر بخار رطب.

2.1.2.3 جداول البخار :

• أولاً : البخار المشبع

جداول البخار هي عبارة عن جداول توفر قيمًا للحجم النوعي، الطاقة الداخلية، المحتوى الحراري (الإنتالبي)، والإنتروبي، وذلك كدالة لكل من درجة الحرارة والضغط. هذه الجداول متوفرة لكل من البخار المشبع والبخار المحمص. سنقوم الآن بتعريف هذه المصطلحات بالتفصيل.

الإنتالبي: (أو المحتوى الحراري) هو مقياس للطاقة الكلية المخزنة في النظام، ويُرمز له بالرمز h . يُعتبر الإنتالبي خاصية مميزة للمادة، مثل الكتلة والحجم، ويُقاس بوحدة الجول لكل كيلوغرام (J/kg).

الحجم النوعي: هو نسبة حجم المادة إلى كتلتها، أو هو مقلوب الكثافة. يُمثل الحجم النوعي بالرمز v ، ويُقاس بوحدة المتر المكعب لكل كيلوغرام (m^3/kg).

الإنتروبي: هو مقياس لدرجة العشوائية أو الفوضى في نظام ما. يُرمز للإنتروبي بالرمز S ، ويُقاس بوحدة الجول لكل كيلوغرام في الكلفن ($J/Kg.K$).

الجدول 2.1 قيم الحجم النوعي بدلالة درجة الحرارة والضغط

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

الجدول 2.2 قيم الطاقة الداخلية بدلالة درجة الحرارة والضغط

الطاقة الداخلية KJ/Kg			الضغط	الحرارة
البخار u_g	التبخّر u_{fg}	الماء u_f	$P(kpa)$	$T(C^\circ)$
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

الجدول 2.3 قيم الأنتالبي بدلالة درجة الحرارة والضغط

الأنتالبي KJ/Kg			الضغط	الحرارة
البخار h_g	التبخّر h_{fg}	الماء h_f	$P(kpa)$	$T(C^\circ)$
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

الجدول 2. 4 قيم الأنتروبي بدلالة درجة الحرارة والضغط

الأنتروبي $KJ/Kg.K$			الضغط $P(kpa)$	الحرارة $T(C^{\circ})$
البخار s_g	التبخير 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

vf : الحجم النوعي للماء المشبع المناظر لدرجة حرارة التشبع

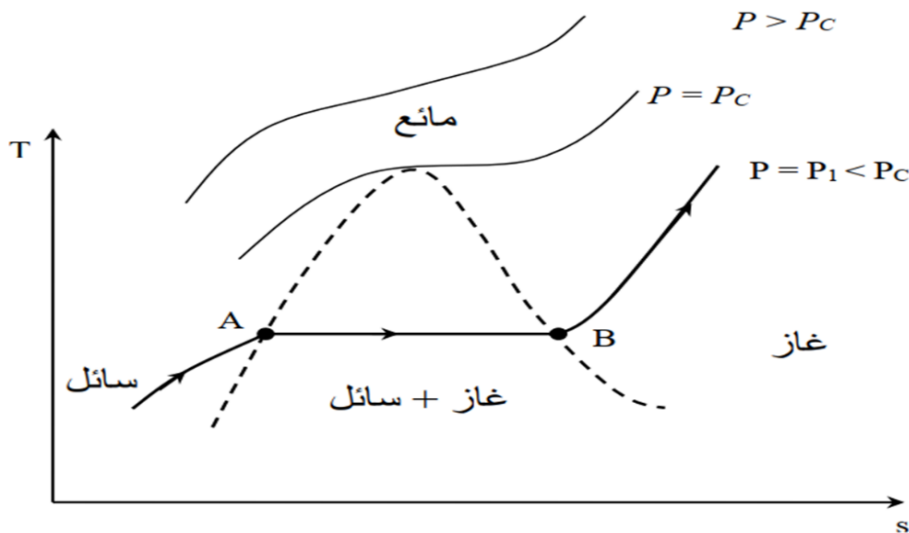
vg : الحجم النوعي للبخار المشبع المناظر لدرجة حرارة التشبع

hf : انتالبي الماء المشبع المناظر لدرجة حرارة التشبع

hg : انتالبي البخار المشبع المناظر لدرجة حرارة التشبع

3.1.2.3 مخطط درجة الحرارة و الأنتروبي الكتلي (T-S) :

لنفترض أننا نريد رسم مخطط لدرجة الحرارة و الأنتروبي الكتلي لعملية تسخين مادة نقية عند ضغط ثابت.



الشكل 2 . 10 مخطط الأطوار للماء في الاحداثيات (T,S)

على هذا الخط: السائل مشبع (يعني جاهز يتحول لبخار).

3. **منحني الندى:** هو الخط الذي يربط كل نقاط بداية التكثف (تحول البخار إلى سائل).

على هذا الخط: البخار مشبع (يعني جاهز يتحول لسائل).

4. **نقطة الندى:** هي النقطة التي يبدأ فيها البخار بالتكثف إلى سائل.

5. **النقطة الحرجة: (C)** أعلى نقطة في القبة. بعدها ما نقدر نميز بين السائل والبخار. كلهم يصيرون نفس الشكل تقريباً.

6. **الخط الثلاثي:** خط أفقي داخل القبة. عنده المادة تكون خليط من سائل وبخار في نفس الوقت.

مثل ماء يغلي، فيه جزء سائل وجزء بخار.

7. **سطح التشبع:** هو المساحة داخل القبة (بين منحني الغليان و منحني الندى).

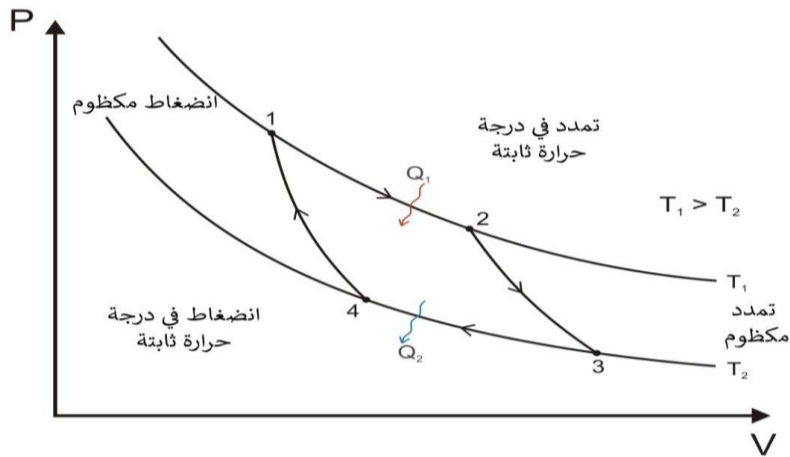
المادة فيها تكون جزء سائل وجزء بخار.

8. **مزيج سائل وبخار مشبع:** يعني المادة ليست فقط سائل ولا فقط بخار، بل خليط بينهم. مثل القدر

وقت الغليان: فيه ماء (سائل) و فقاعات بخار (بخار مشبع) [18].

2.2.3 الدورات الترموديناميكية للتوربينات البخارية :

1.2.2.3 دورة كارنو:



الشكل 2 . 12 دورة كارنو المثالية في مخطط الضغط الحجم (P-V)

شرح الدورة:

دورة كارنو تتكون من أربع عمليات حرارية مرتبة :

من 1 إلى 2: تمدد متساوي الحرارة يحدث عند درجة حرارة ثابتة . يمتص النظام حرارة من المصدر الساخن. يزداد الحجم ويقل الضغط.

من 2 إلى 3: تمدد مكوم لا يتم تبادل حرارة مع الوسط الخارجي. تنخفض درجة الحرارة من إلى . يستمر التمدد وينخفض الضغط.

من 3 إلى 4: انضغاط متساوي الحرارة عند درجة حرارة ثابتة . يطلق النظام حرارة إلى المصدر البارد. ينخفض الحجم ويزداد الضغط.

من 4 إلى 1: انضغاط مكوم لا يتم تبادل حرارة. ترتفع درجة الحرارة من إلى . يعود النظام إلى حالته الابتدائية. نظرًا لعدم وجود تبادل للحرارة أثناء عمليات الأيزنتروبيك (1-2) و (3-4)

الشغل الصافي = الحرارة المكتسبة - الحرارة الضائعة

$$= T_2(s_2 - s_3) - T_1(s_2 - s_3)$$

$$= (T_1 - T_2)(s_2 - s_3)$$

$$\eta = \frac{\text{الشغل الصافي المبذول}}{\text{الحرارة المزودة}}$$

$$= \frac{(T_1 - T_2)(s_2 - s_3)}{T_1(s_2 - s_3)} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

على الرغم من أن دورة كارنو بسيطة (من الناحية الديناميكية الحرارية) ولها أعلى كفاءة حرارية لقيم معينة إلا أنه من الصعب للغاية تشغيلها عمليًا للأسباب التالية:

1. من الصعب ضغط البخار الرطب بشكل متساوٍ إلى الحالة المشبعة كما هو مطلوب في العملية 3-4.

2. من الصعب التحكم في جودة المكثف الخارج من المكثف بحيث يتم الحصول على الحالة 3 بالضبط.

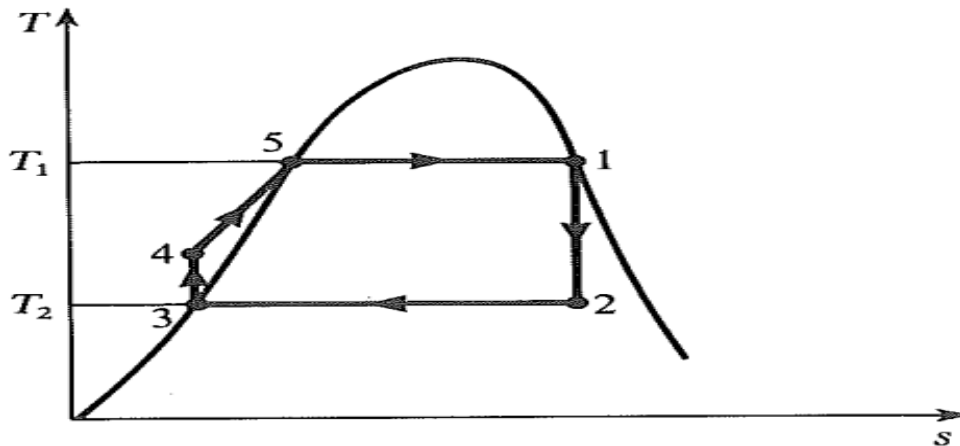
3. تتأثر كفاءة دورة كارنو بدرجة كبيرة بدرجة الحرارة T ، التي تنتقل عندها الحرارة إلى مائع العمل. ونظراً لأن درجة الحرارة الحرجة للبخار هي 374 درجة مئوية فقط، وبالتالي إذا كانت الدورة ستعمل في المنطقة الرطبة، فإن درجة الحرارة القصوى الممكنة محدودة للغاية.

4 . ولا يزال تشغيل الدورة أكثر صعوبة في الممارسة العملية مع البخار شديد السخونة بسبب ضرورة توفير الحرارة الفائقة عند درجة حرارة ثابتة بدلاً من الضغط الثابت (كما هو معتاد).

- في الدورة العملية، تكون حدود الضغط والحجم أسهل بكثير من حدود درجة الحرارة بحيث لا يوجد في الوقت الحاضر أي محرك عملي يعمل بدورة كارنو، على الرغم من أن جميع الدورات الحديثة تطمح إلى تحقيق ذلك [18].

2.2.2.3 دورة رانكين للبخار الرطب :

دورة رانكين هي الدورة النظرية التي يعمل عليها التوربين البخاري للمحرك.



الشكل 2 . 13 دورة رانكين للبخار الرطب

شرح الدورة :

دورة رانكين تتكون من العمليات التالية.

العملية 1-2: تمدد أدياباتي عكسي في التوربين (لمحرك بخاري).

العملية 2-3: انتقال حرارة بضغط ثابت في المكثف.

العملية 3-4: عملية ضخ أدياباتي عكسية في مضخة التغذية.

العملية 4-1: انتقال حرارة بضغط ثابت في الغلاية.

تطبيق معادلة طاقة التدفق الثابت على الغلايات والتوربينات والمكثفات والمضخات:

• بالنسبة للغلاية:

$$h_{f4} + Q_1 = h_1$$

$$Q_1 = h_1 - h_{f4}$$

• بالنسبة للتوربين:

$$h_1 = W_t + h_2$$

$$W_t = h_1 - h_2$$

• بالنسبة للمكثف:

$$h_2 = Q_2 + h_{f3}$$

$$Q_2 = h_2 - h_{f3}$$

• بالنسبة لمضخة التغذية :

$$h_{f3} + W_p = h_{f4}$$

$$W_p = h_{f4} - h_{f3}$$

$$\eta_{\text{Rankine}} = \frac{W_{\text{net}}}{Q_1} = \frac{W_t - W_p}{Q_1}$$

$$= \frac{(h_1 - h_2) - (h_{f4} - h_{f3})}{h_1 - h_{f4}}$$

عادةً ما يتم إهمال مصطلح مضخة التغذية $(h_{f4} - h_{f3})$. كونه كمية صغيرة مقارنةً بعمل التوربين W_t . خاصةً عندما تكون ضغوط الغلاية منخفضة.

مقارنة بين دورة رانكين ودورة كارنو:

• إنتاج الشغل : تعطي دورة رانكين شغلاً أكبر من دورة كارنو عند نفس درجات الحرارة. هذا يعني

أن محطات الطاقة التي تستخدم دورة رانكين يمكن أن تكون أصغر حجمًا لنفس القدرة الإنتاجية.

- **كفاءة الدورة** : كفاءة دورة رانكين أقل من كفاءة دورة كارنو. السبب هو أن دورة رانكين لا تستخدم كل الحرارة عند أعلى درجة حرارة بشكل ثابت. يمكن تحسين كفاءة رانكين بتقليل التسخين الفائق.
- **عملية الضخ** : استخدام مضخة لضخ الماء إلى الغلاية في دورة رانكين أكثر كفاءة من ضغط البخار الرطب في دورة كارنو. ضخ السائل يتطلب طاقة أقل بكثير من ضغط البخار.

تأثير ظروف التشغيل على كفاءة دورة رانكين :

يمكن تحسين كفاءة دورة رانكين عن طريق: زيادة درجة حرارة البخار الداخل إلى التوربين (التحميص الفائق) و عند إضافة الحرارة (في الغلاية) تزيد من متوسط درجة الحرارة التي يتم عندها إضافة الحرارة، مما يحسن الكفاءة.

خفض ضغط المكثف: خفض درجة الحرارة التي يتم عندها رفض الحرارة (في المكثف) يقلل من متوسط درجة الحرارة التي يتم عندها رفض الحرارة، مما يحسن الكفاءة.

يمكن أيضا تحسين كفاءة دورة رانكين من خلال إجراء تعديلات مناسبة على ظروف توليد البخار أو تكثيفه، كما يلي:

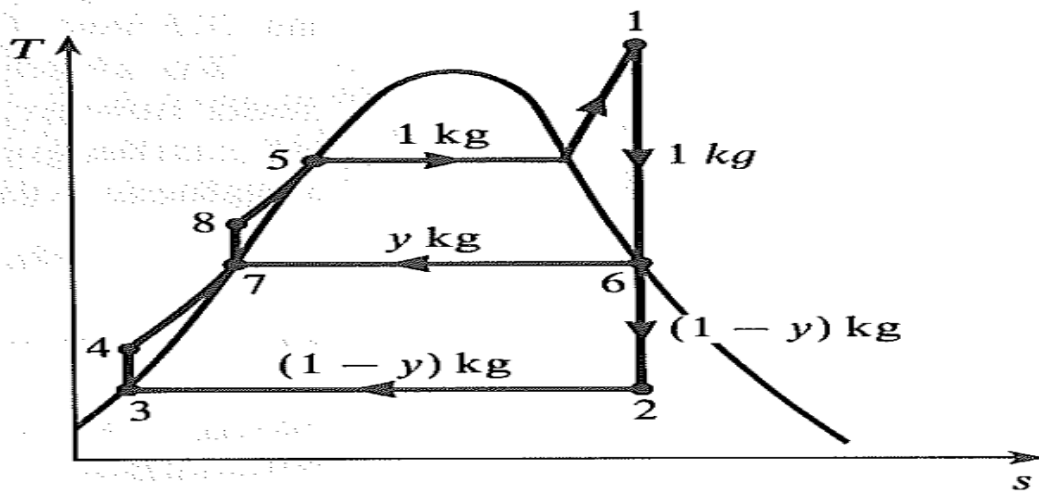
- **زيادة ضغط الغلاية** : عند زيادة ضغط الغلاية (مع ثبات العوامل الأخرى)، تميل كفاءة الدورة إلى الارتفاع، وتصل إلى قيمة قصوى عند ضغط غلاية يبلغ حوالي 166 بار. يؤدي رفع ضغط الغلاية إلى زيادة درجة حرارة البخار، مما يزيد من كمية الطاقة الحرارية المتاحة للتحويل إلى طاقة ميكانيكية في التوربين.
- **التسخين الفائق** : مع ثبات العوامل الأخرى، يمكن زيادة كفاءة دورة رانكين عن طريق تسخين البخار قبل السماح له بالتمدد في التوربين. يضمن استخدام البخار فائق التسخين إطالة عمر ريش التوربين، حيث يقلل من تأكلها الناتج عن جزيئات الماء المتواجدة في البخار الرطب. زيادة درجة حرارة البخار الداخل للتوربين يزيد من متوسط درجة الحرارة التي يتم عندها إضافة الحرارة في الدورة مما يزيد من الكفاءة الحرارية للدورة.
- **تقليل ضغط المكثف** : يمكن تحسين الكفاءة الحرارية للدورة بشكل كبير عن طريق تقليل ضغط المكثف (وبالتالي تقليل درجة الحرارة التي يتم عندها التخلص من الحرارة). يتم الحصول على زيادة

في الكفاءة مع زيادة فراغ المكثف. تقليل ضغط المكثف يزيد من فرق الضغط بين التوربين والمكثف، مما يزيد من الطاقة المتاحة للتحويل في التوربين [18].

3.2.2.3 الدورة التجديدية :

في دورة رانكين، يُلاحظ اختلاط المكثف، الذي يكون عند درجة حرارة منخفضة نسبياً، بشكل غير عكسي مع مياه الغلايات الساخنة، مما يؤدي إلى انخفاض كفاءة الدورة. لذلك، تُعتمد طرق لتسخين مياه التغذية من البئر الساخن للمكثف بشكل غير عكسي عن طريق تبادل الحرارة داخل النظام، مما يحسن كفاءة الدورة

- **مبدأ التجديد:** يتم استخراج البخار من التوربين في نقاط مختلفة لتسخين مياه التغذية، مما يزيد من كفاءة الدورة.
- **عدد السخانات:** يعتمد عدد السخانات المستخدمة على حجم وضغط التوربين:
- التوربينات متوسطة السعة: حتى 3 سخانات.
- التوربينات عالية الضغط والسعة: 5 إلى 7 سخانات.
- التوربينات فوق الحرجة: 8 إلى 9 سخانات.
- **درجة حرارة التسخين:** يتم اختيار درجة حرارة التسخين المثلى للمكثف بناءً على ظروف التوربين.
- **الاحتياطات:** يتم الحفاظ على فرق درجة حرارة بين البخار المشبع للغلاية وماء التغذية لمنع التبخر في أنابيب التغذية.
- **ظروف الاستنزاف:** يتم اختيار ظروف استنزاف البخار لكل سخان بحيث تكون درجة حرارة البخار المشبع أعلى من درجة حرارة المكثف النهائية.



الشكل 2 . 14 مخطط الدورة التجديدية

مزايا الدورة التجديدية:

- تحسين الكفاءة الحرارية: يزداد متوسط درجة حرارة إضافة الحرارة إلى الدورة، مما يزيد الكفاءة.
- تقليل الضغوط الحرارية: تنخفض نطاقات درجات الحرارة في الغلاية، مما يقلل الضغوط الحرارية.
- تقليل معدل الحرارة: يتم تقليل كمية الحرارة المطلوبة لإنتاج نفس القدر من الطاقة.
- تقليل ارتفاع الشفرة: يقل ارتفاع شفرة التوربين بسبب انخفاض كمية البخار المار عبر مراحل الضغط المنخفض.
- تحسين تصريف التوربينات: بفضل عمليات الاستخراج المتعددة، يتحسن تصريف التوربينات ويقل التآكل الناتج عن الرطوبة.
- تقليل حجم المكثف: يتطلب المكثف حجمًا أصغر.
- زيادة عكسية عملية التسخين: تصبح عملية التسخين في الغلاية أقرب إلى العكسية.

عيوب الدورة التجديدية:

- زيادة التعقيد: يصبح النظام أكثر تعقيدًا بسبب إضافة سخانات.
- زيادة الصيانة: تتطلب السخانات صيانة إضافية.
- الحاجة إلى غلاية أكبر: يتطلب إنتاج نفس القدر من الطاقة غلاية ذات سعة أكبر.
- ارتفاع التكلفة: السخانات مكلفة، وزيادة الكفاءة الحرارية لا تبرر دائمًا التكلفة الإضافية [18].

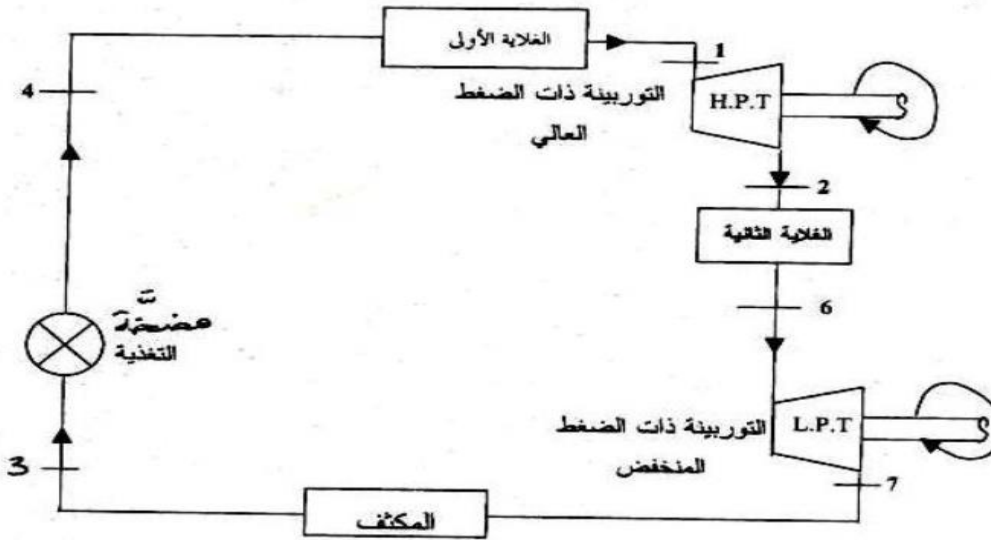
4.2.2.3 دورة إعادة التسخين :

لتحقيق كفاءة حرارية أعلى عند رفع الضغط الابتدائي للبخار إلى ما يزيد عن 42 بار، وُجد أن حالة البخار الناتجة بعد التمدد أصبحت أكثر رطوبةً، وتجاوزت الحد الآمن البالغ 12% من التكتيف. لذلك، أصبح من الضروري إعادة تسخين البخار بعد جزء من التمدد، بحيث تقع الحالة الناتجة بعد التمدد الكامل ضمن نطاق الرطوبة المسموح به.

تُستخدم إعادة تسخين البخار أو إعادة التسخين الفائق بشكل شائع عند استخدام ظروف بخار عالية الضغط ودرجة الحرارة، مثل ضغط يتراوح بين 100 و250 بار، ودرجة حرارة تتراوح بين 500 و600 درجة مئوية،

لتمدد البخار في التوربينات البخارية. أما في المحطات ذات الضغوط ودرجات الحرارة الأعلى، فيمكن استخدام إعادة تسخين مزدوجة.

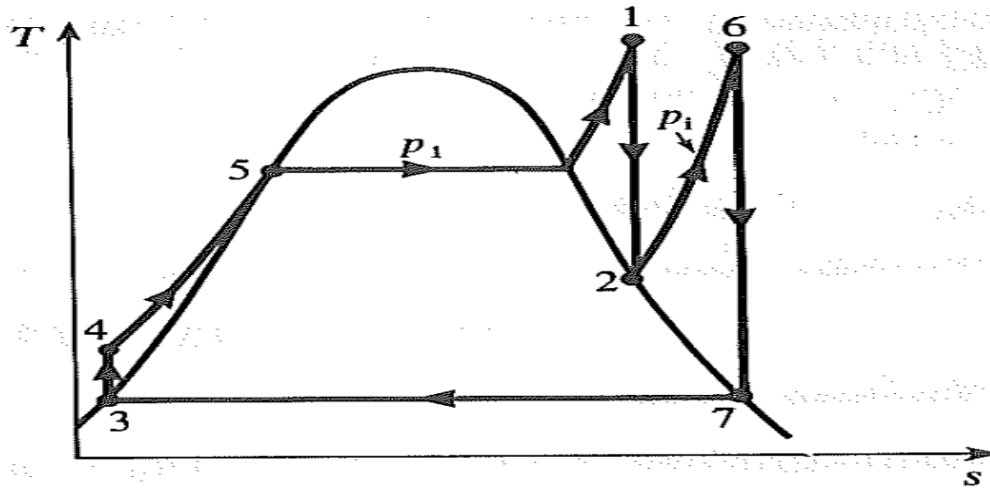
في الواقع، يُحسّن إعادة التسخين كفاءة الدورة بنحو 5% عند دورة ضغط 15/85 بار. أما إعادة التسخين الثانية، فسُتُعطي مكسبًا أقل بكثير، بينما ستكون التكلفة الأولية مرتفعة للغاية، مما يمنع استخدام إعادة التسخين على مرحلتين إلا في حالات الضغط العالي جدًا. قد تزيد تكلفة معدات إعادة التسخين، التي تتكون من الغلاية والأنابيب وأجهزة التحكم، بنسبة تتراوح بين 5% و 10% عن تكلفة الغلايات التقليدية، ولا يُبرر هذا الإنفاق الإضافي إلا إذا كان الكسب في الكفاءة الحرارية كافيًا لضمان عائد استثماري. عادةً ما تُبرر محطة ذات سعة تحميل أساسية تبلغ 50,000 كيلوواط وضغط بخار أولي يبلغ 42 بار التكلفة الإضافية لإعادة التسخين اقتصاديًا.



الشكل 2 . 15 دورة إعادة التسخين

يوضح الشكل عملية تكوين البخار في الغلاية. يدخل البخار عند نقطة الحالة 1 (أي الضغط p ودرجة الحرارة T) إلى التوربين ويتمدد بشكل متساوي الإنتروبيا إلى ضغط معين p_2 ودرجة حرارة T_2 . من نقطة الحالة 2 هذه، يُسحب البخار بالكامل من التوربين ويُعاد تسخينه في سخان إعادة التسخين إلى درجة حرارة T . على الرغم من وجود ضغط مثالي يجب عنده سحب البخار لإعادة التسخين للحصول على أعلى كفاءة، إلا أنه للتبسيط، يُسحب البخار بالكامل من عادم التوربين عالي الضغط، حيث يكون الضغط حوالي خمس ضغط الغلاية. وبعد انخفاض الضغط بنسبة 10% أثناء مروره عبر السخان، يُعاد البخار إلى التوربين

متوسط أو منخفض الضغط. ثم يُعاد إدخال هذا البخار المُسخن إلى التوربين حيث يتمدد إلى ضغط المكثف بشكل متساوي الإنتروبيا [18].



الشكل 2 . 16 مخطط دورة اعادة التسخين

ملاحظة: الهدف من فرط تسخين البخار هو تقليل تكثفه عند نهاية التمدد، مما يحسن كفاءة الأداء. في المحركات البخارية، نقص فرط التسخين يؤدي إلى تكثف داخل الأسطوانة، وفي التوربينات يزيد من الرطوبة، ما يسبب تآكل الشفرات. يُسمح بنسبة رطوبة قصوى قدرها 12% في التوربين، وكل زيادة بنسبة 1% في الرطوبة تقلل الكفاءة بنسبة 1.5% في التوربين و 2% في المحركات.

مزايا البخار فائق التسخين:

يؤدي التسخين الزائد إلى تقليل تكثف البخار المبكر في المحركات البخارية.

يؤدي استخدام البخار فائق الحرارة إلى تحسين كفاءة تشغيل المصنع عن طريق تقليل تكلفة الوقود. يمكن أن يصل هذا التوفير إلى 6% إلى 7% خلال أول 38 درجة مئوية من التسخين، و 4% إلى 5% عند 38 درجة مئوية التالية، وهكذا. ينتج هذا التوفير عن زيادة المحتوى الحراري وبالتالي القدرة على العمل في البخار فائق الحرارة، وتقليل كمية البخار المطلوبة لإنتاج طاقة معينة. على الرغم من الحاجة إلى إضافة حرارة إضافية إلى الغلاية، إلا أن هناك انخفاضاً في العمل الذي يتعين على مضخة التغذية ومضخة المكثف والملحقات الأخرى القيام به بسبب انخفاض كمية البخار المستخدمة. يُقدر أن كمية البخار يمكن أن تتخفف بنسبة 1% إلى 18% عند أول 38 درجة مئوية من التسخين الفائق، ثم تتخفف قليلاً عند 38 درجة مئوية التالية في توربينات التكثيف.

عند استخدام سخان فائق في الغلاية، فإنه يساعد في تقليل درجات الحرارة المرتفعة عن طريق استخلاص الحرارة من غازات المداخل قبل خروجها من المدخنة.

الكفاءة الحرارية مع إعادة التسخين (إهمال عمل المضخة):

$$W_P = h_4 - h_3 \quad W_T = (h_1 - h_2) + (h_6 - h_7)$$

$$q_{in} = (h_1 - h_4) + (h_6 - h_7)$$

$$q_{out} = (h_7 - h_3)$$

$$\eta = \frac{W_{net}}{q_{in}} \quad \longrightarrow \quad \eta = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}}$$

$$\eta = 1 - \frac{h_7 - h_3}{(h_1 - h_4) + (h_6 - h_7)}$$

مزايا إعادة التسخين:

- زيادة إنتاج التوربين.
- التخلص من مشاكل التآكل والتآكل في التوربينات البخارية أو تجنبها.
- تحسين الكفاءة الحرارية للتوربينات.

عيوب إعادة التسخين:

- تتطلب عملية إعادة التسخين مزيداً من الصيانة.
- الزيادة في الكفاءة الحرارية ليست ملحوظة مقارنة بالنفقات.
- فقد جزء من الحرارة أثناء إعادة التسخين.

4. الخاتمة :

في هذا الفصل، تم إجراء تحليل حراري للتوربينات الغازية والبخارية، حيث ركزنا على دورة برايتون في التوربينات الغازية ودورة رانكين في التوربينات البخارية، مع دراسة تأثير العوامل التشغيلية على الكفاءة. كما تم استعراض وسائل تحسين الأداء مثل الدورات المركبة، تقنيات التبريد، إعادة التسخين، والتغذية المسبقة، مع الإشارة إلى استخداماتها في إنتاج الكهرباء والصناعات المختلفة.

الفصل الثالث

الدراسة الحرارية و النظرية لمحطة توليد الطاقة
البخارية تعمل بدورة تسخين مياه التغذية المغلقة

1. المقدمة:

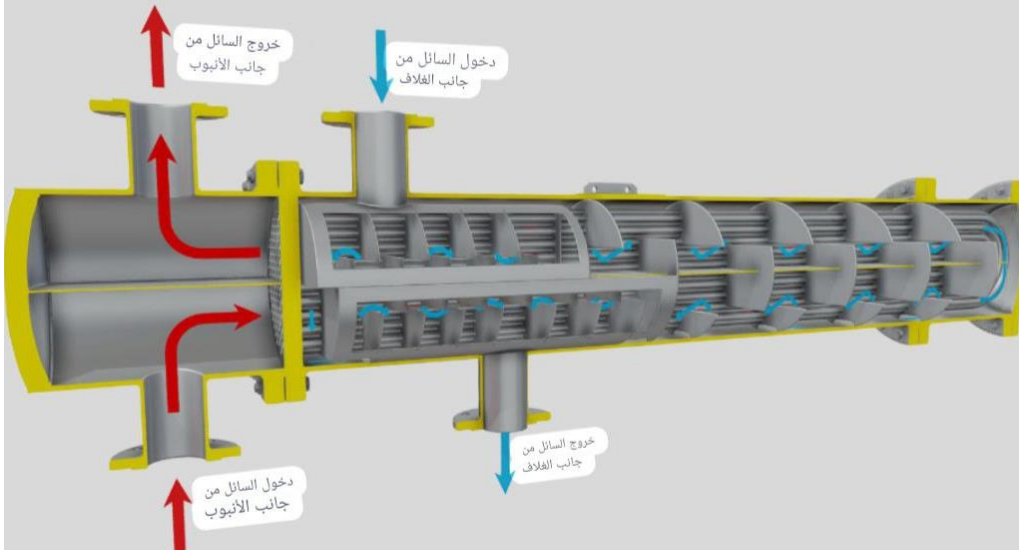
تعتبر محطات التوليد البخارية من الركائز الأساسية في توليد الطاقة الكهربائية، حيث تعتمد على مبدأ تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية ومن ثم إلى طاقة كهربائية، يتجسد هذا المبدأ في دورة متكاملة تبدأ بتسخين المياه وتحويلها إلى بخار ذي ضغط عالٍ، ثم توجيه هذا البخار لتشغيل توربينات متصلة بمولدات كهربائية. سنتحدث في هذا الفصل عن عملية تسخين مياه التغذية التي تعتبر عاملاً أساسياً في زيادة درجة الحرارة للبخار و تقليل كمية الحرارة المكتسبة من الغلاية و بالتالي زيادة كفاءة الدورة .

2. تسخين مياه التغذية:

يُعد سخان ماء التغذية عنصراً أساسياً في محطات الطاقة التقليدية، حيث يقوم بتسخين ماء تغذية الغلاية قبل دخوله إليها، وذلك باستخدام البخار المستخلص من التوربينات، مما يحسن الكفاءة الديناميكية الحرارية للدورة. يعتمد التكوين الأكثر شيوعاً على مبادل حراري من النوع الأنبوبي والصدفي، حيث يتدفق ماء التغذية داخل الأنابيب بينما يتكثف البخار خارجها، ناقلاً الحرارة إلى الماء. يمكن أن يحتوي السخان على مناطق مختلفة، مثل منطقة إزالة التحميص ومنطقة تبريد المصارف، لتحسين كفاءة نقل الحرارة. يساهم هذا التسخين المسبق في تقليل استهلاك الوقود وزيادة الكفاءة الحرارية للمحطة، بالإضافة إلى تقليل الانبعاثات الضارة [24].

1.2. سخان مياه التغذية :

تُعتبر المبادلات الحرارية مكونات أساسية في العديد من الأنظمة الصناعية والمنزلية، حيث تعمل على نقل الحرارة بكفاءة بين المواد المختلفة دون الحاجة إلى تلامس مباشر. هذا يساهم في تحسين الأداء الحراري وتقليل استهلاك الطاقة في تطبيقات متنوعة مثل أنظمة التدفئة والتبريد، والصناعات النفطية والكيميائية، وأنظمة التبريد والتدفئة المركزية في المباني. بفضل التكنولوجيا المتقدمة، تضمن المبادلات الحرارية تشغيل هذه الأنظمة بسلاسة وكفاءة [25].

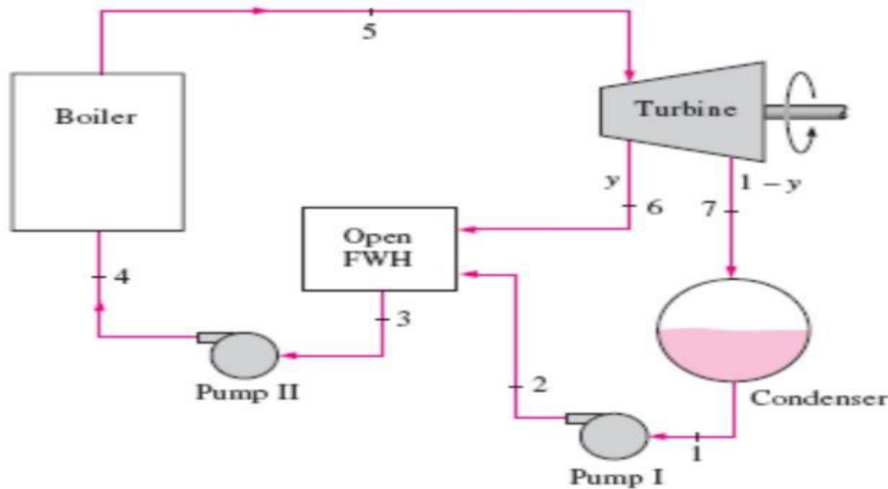


الشكل 3 . 1 مبادل حراري

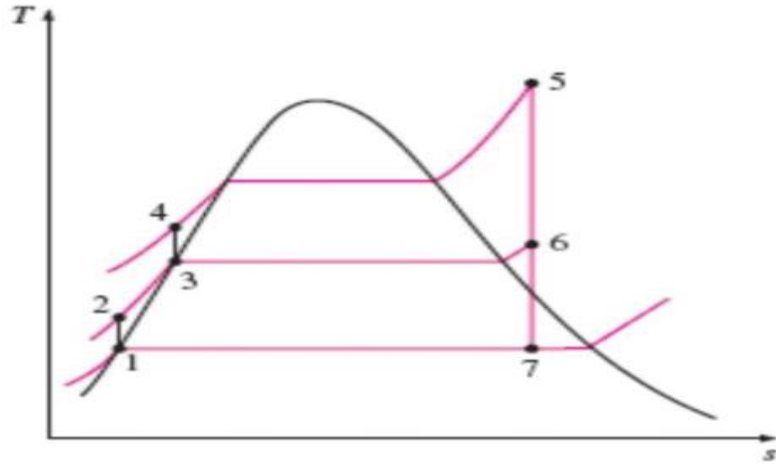
1.1.2. أنواع سخان مياه التغذية :

1.1.1.2. سخان مياه التغذية المفتوحة :

هي أجهزة أساسية في محطات الطاقة البخارية تعمل كغرف خلط مباشرة، حيث يختلط البخار المستخرج من التوربين مع مياه التغذية القادمة من المضخة. يهدف هذا الخلط إلى إنتاج سائل مشبع عند ضغط السخان، مما يساعد على تحسين كفاءة دورة الطاقة البخارية وتقليل الفقد في الطاقة الحرارية. من خلال استغلال حرارة البخار المستخرج لتسخين مياه التغذية، يتم تقليل استهلاك الوقود وزيادة الكفاءة الكلية للمحطة [26].



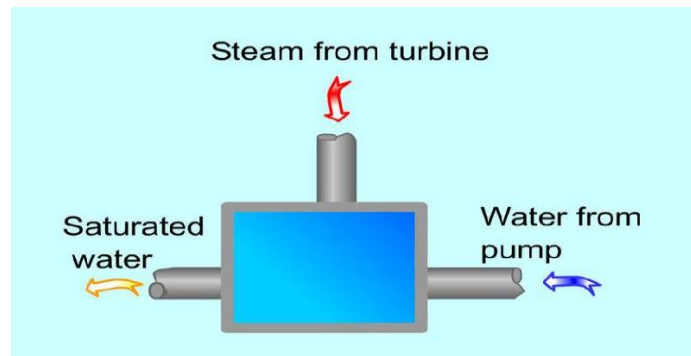
الشكل 3 . 2 دورة تسخين مياه التغذية المفتوحة



الشكل 3 . 3 حلقة تسخين مياه التغذية المفتوحة

شرح الدورة :

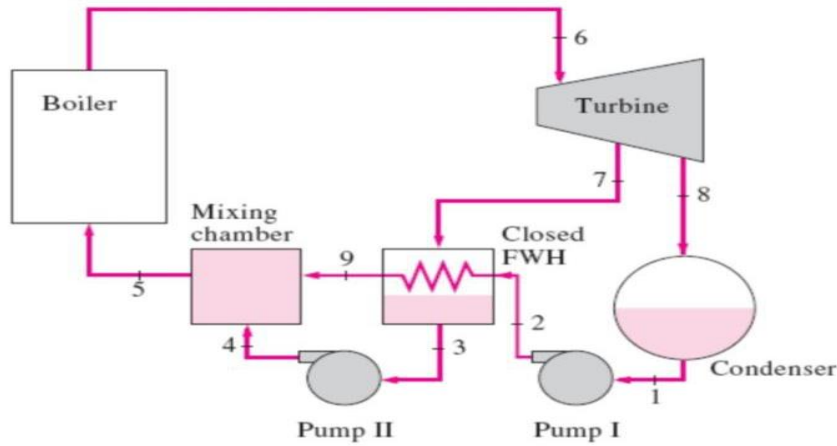
في دورة رانكين التجديدية المثالية، يدخل البخار التوربين عند ضغط المرجل (الحالة 5) ويتمدد بشكل متساوي الانتروبيا إلى ضغط وسيط (الحالة 6). يتم استخراج جزء من البخار في هذه الحالة وتوجيهه إلى سخان مياه التغذية، بينما يستمر البخار المتبقي في التمدد بشكل متساوي الانتروبيا إلى ضغط المكثف (الحالة 7). يخرج هذا البخار من المكثف كسائل مشبع عند ضغط المكثف (الحالة 1) . ثم يدخل الماء المكثف، والذي يسمى أيضًا مياه التغذية، إلى مضخة متساوية الانتروبيا، حيث يتم ضغطه إلى ضغط سخان مياه التغذية (الحالة 2) ويتم توجيهه إلى سخان مياه التغذية، حيث يختلط بالبخار المستخرج من التوربين. يتم تحديد جزء البخار المستخرج بحيث يخرج الخليط من السخان كسائل مشبع عند ضغط السخان (الحالة 3). ترفع مضخة ثانية ضغط الماء إلى ضغط المرجل (الحالة 4). تكتمل الدورة بتسخين الماء في المرجل إلى حالة مدخل التوربين (الحالة 5) [26].



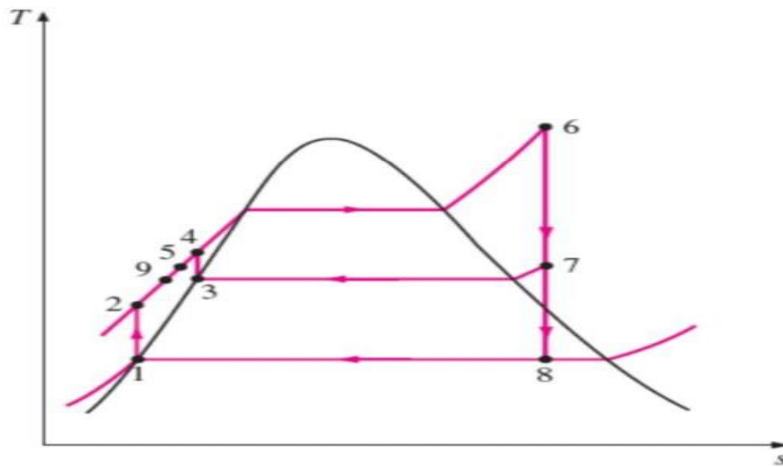
الشكل 3 . 4 مداخل ومخارج سخان مياه التغذية المفتوحة

2.1.1.2. سخان مياه التغذية المغلق :

تُستخدم سخانات مياه التغذية المغلقة في محطات الطاقة البخارية لنقل الحرارة من البخار المستخرج إلى مياه التغذية دون حدوث اختلاط مباشر بينهما، مما يسمح بوجود ضغوط مختلفة للتيارين. في الحالة المثالية، يتم تسخين مياه التغذية إلى درجة حرارة خروج البخار المستخرج، لكن في الواقع، يتطلب نقل الحرارة الفعال وجود فرق في درجة الحرارة، لذا تخرج مياه التغذية بدرجة حرارة أقل. هذا النوع من السخانات يساهم في تحسين كفاءة دورة الطاقة البخارية من خلال استغلال حرارة البخار المستخرج لتسخين مياه التغذية قبل دخولها المرجل. ثم يتم ضخ البخار المكثف إما إلى خط مياه التغذية أو توجيهه إلى سخان آخر أو إلى المكثف عبر جهاز يسمى المصيدة. تسمح المصيدة للسائل بالاختناق إلى منطقة ضغط منخفض، لكنها تحجز البخار. يبقى المحتوى الحراري للبخار ثابتاً خلال عملية الاختناق هذه [26].



الشكل 3 . 5 مخطط تسخين مياه التغذية المغلقة

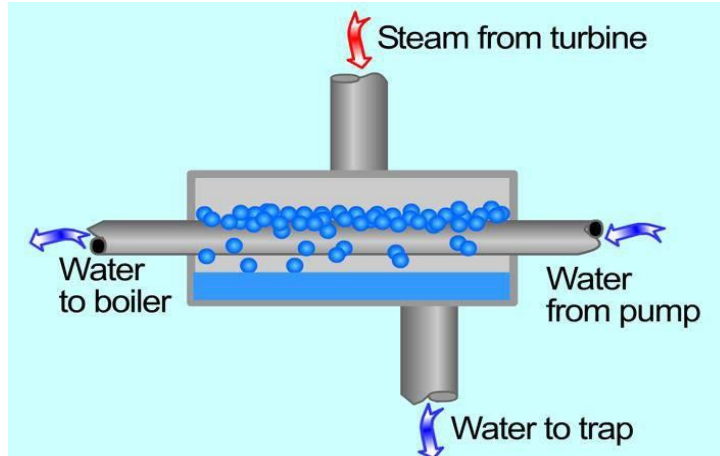


الشكل 3 . 6 حلقة تسخين مياه التغذية المغلقة

شرح الحلقة المغلقة :

يُظهر الرسم البياني أعلاه سخان مياه تغذية مغلق ومنحنى درجة الحرارة-الانتروبيا (T-S). تدخل مياه التغذية إلى السخان عند النقطة 2 ويتم تسخينها من T2 إلى T3 عن طريق تكثيف البخار المستخرج من 6 إلى 3. يجب ضخ البخار المكثف عند الضغط المتوسط مرة أخرى إلى خط التغذية إلى الحالة 4 عند ضغط المرجل قبل خلطه مع مياه التغذية عند 3'. ثم يدخل البخار المختلط عند 4' إلى المرجل. النقاط 3، 3، 4، 4' تتطابق مع بعضها البعض من حيث درجة الحرارة والانتروبيا.

تصميم وبناء كل من سخانات مياه التغذية المفتوحة والمغلقة بسيط. يمكن استخدام مضخة إضافية واحدة لكلا سخاني مياه التغذية للبخار المكثف. ولكن في سخان مياه التغذية المغلق، يمكن التخلص من البخار المكثف باستخدام مصيدة بخار وصمام خانق كما هو موضح في الرسم التخطيطي. يسمح فقط بمرور السائل وليس البخار [27].



الشكل 3 . 7 مداخل ومخارج سخان مياه التغذية المغلقة

2.1.2. المقارنة بين سخان المياه التغذية المفتوحة و المغلقة :

يمكن مقارنة سخانات مياه التغذية المفتوحة والمغلقة على النحو التالي:

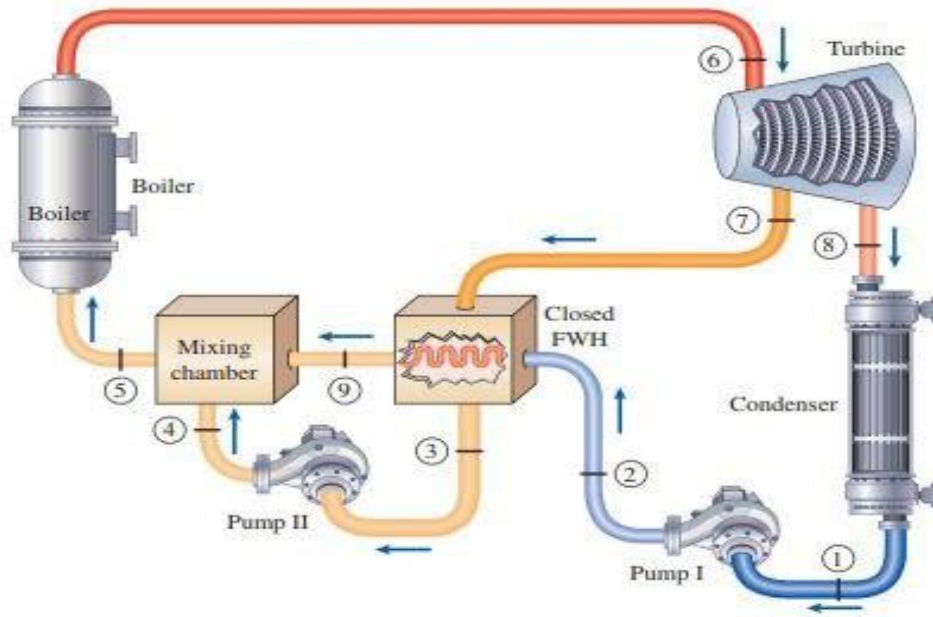
- سخانات مياه التغذية المفتوحة بسيطة وغير مكلفة ولها خصائص نقل حرارة جيدة.
- كما أنها توصل مياه التغذية إلى حالة التشبع.
- لكل سخان، يلزم وجود مضخة للتعامل مع مياه التغذية.
- سخانات مياه التغذية المغلقة أكثر تعقيدًا بسبب شبكة الأنابيب الداخلية، وبالتالي فهي أكثر تكلفة

- نقل الحرارة في سخانات مياه التغذية المغلقة أقل فعالية أيضًا لأن التيارات لا يُسمح لهما بالتلامس المباشر.
- لا تتطلب سخانات مياه التغذية المغلقة مضخة منفصلة لكل سخان لأن البخار المستخرج ومياه التغذية يمكن أن يكونا عند ضغوط مختلفة [26].

3. الدراسة الترموديناميكية لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المغلقة :

تُعد سخانات مياه التغذية المغلقة عادةً مبادلات حرارية من نوع الأنبوب والصدفة، حيث تمر مياه التغذية عبر الأنابيب ويتم تسخينها بواسطة البخار المستخلص من التوربين. لا تتطلب هذه السخانات مضخات منفصلة قبل وبعد السخان لرفع ضغط مياه التغذية إلى ضغط البخار المستخلص، كما هو الحال في

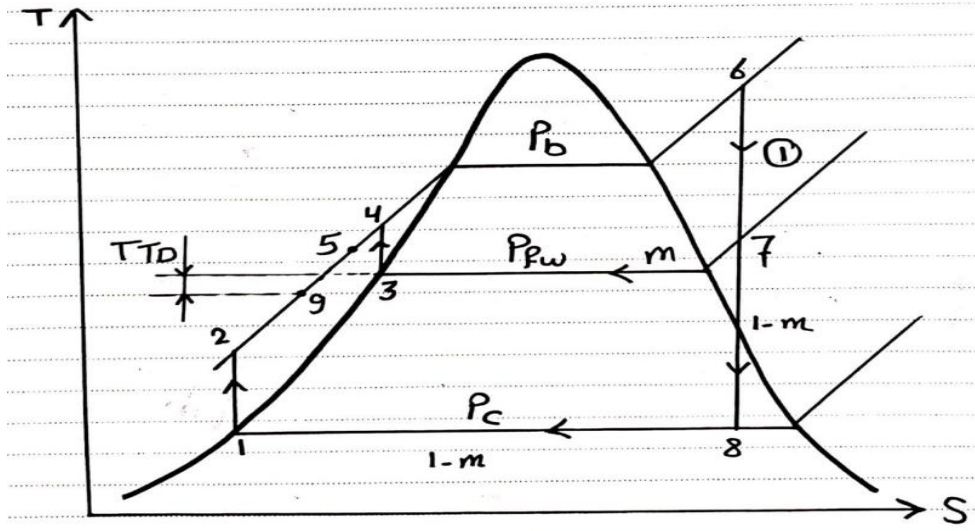
$$P_b > P_{fw} > P_c . [28]$$



الشكل 3 . 8 مخطط يوضح محطة بخارية تعمل بمياه التغذية المغلقة

- في هذا النوع يقوم البخار المسحوب من التربينة بتسخين الماء المار في الانابيب والقادم من المكثف.
- هنا لا يوجد خط مباشر بين البخار والماء حيث يتم سحب البخار من التربينة بضغط P_{fw} بينما الماء القادم من المكثف يتم رفع ضغطه إلى ضغط الغلاية داخل انابيب تمر داخل المبادل الحراري.

- يقوم البخار بالمرور على أنابيب المياه من الخارج فيتكثف البخار ويتحول إلى سائل مشبع
- عند ضغط P_{fw} بينما ترتفع درجة حرارة المياه الموجودة داخل الأنابيب ويخرج ماء سخن عند ضغط الغلاية P_b .
- في هذا النوع يوجد مخرجان للمياه من المبادل الحراري أحدهما عند ضغط P_{fw} والآخر عند ضغط الغلاية P_b .



الشكل 3 . 9 حلقة لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المغلقة

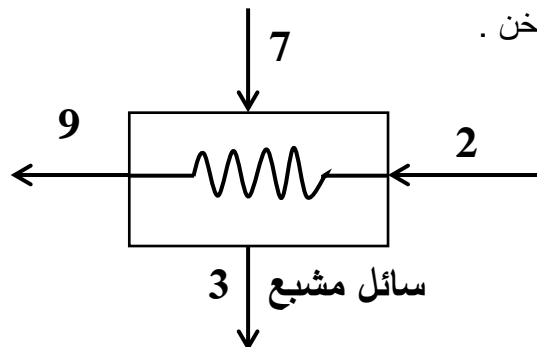
P_b : يمثل ضغط الغلاية

P_{fw} : يمثل ضغط سخان التغذية

P_c : يمثل ضغط المكثف

الفرق النهائي في درجة الحرارة TTD :

نظرًا لوجود مخرجين للمياه في حالة المسخن المغلق للماء المغذي (CFWH)، ولكون كل منهما يعمل عند ضغط ودرجة حرارة مختلفين، يتم استخدام مفهوم فرق درجات الحرارة الطرفي (TTD) لتحديد مدى فعالية انتقال الحرارة في المسخن .



$$TTD = T_3 - T_9$$

$$T_3 = T_{sat|P_{fw}}$$

يوجد لنقطة [9] ثلاث احتمالات :

- الاحتمال الأول : أن يعطى قيمة TTD ومنها تحصل على T9 من القانون السابق .
- الإحتمال الثاني : أن يعطى قيمة T9 مباشرة ونستخدمها في الحل كما هي .
- الإحتمال الثالث : لا يذكر أي شيء عن نقطة 9 ولا يعطى قيمة TTD وبذلك تعتبر المسألة CFWH مثالية ونعتبر $T_3 = T_9$ وفي هذه الحالة $h_3 = h_9$.

تحليل الدورة :

- الحالة 1 : $P_1 = P_c$ سائل مُشبع

من جداول البخار :

$$v_1 = [v_1]_{P_c} \quad h_1 = [h_f]_{P_c}$$

- الحالة 2 : $P_2 = P_c$ سائل مُشبع

$$h_{2s} = h_1 + v_1(P_b - P_c)$$

- الحالة 3 : $P_3 = p_{fw}$ سائل مشبع

من جداول البخار:

$$h_3 = h_f$$

$$v_3 = v_f$$

- الحالة 4 :

$$h_{4s} = h_3 + v_3(P_b - P_{fw})$$

- الحالة 9 : سائل دون التشبع $P_9 = P_b$

$$T_9 = T_3 \quad \longrightarrow \quad h_9 = h_3$$

TTD معطى :

$$TDD = T_3 - T_9 = T_{sat|P_{fw}}$$

$$T_9 = T_{\text{sat}|P_{fw}} - \text{TDD}$$

من جداول البخار المشبع عند درجة الحرارة T_9 :

$$H_9 = H_{f|T_9}$$

• الحالة 6 :

$$P_6 = P_b$$

$$T_6 > T_{\text{sat}|P_b}$$

من جداول البخار المحمص :

وبإستخدام القيم (T_5 و P_5) : نجد h_6 و s_6

• الحالة 7 :

$$s_7 = s_6 \quad P_7 = P_{fw}$$

من جداول البخار المشبع بالإستعانة ب P_{fw} : نجد الأنتروبيا (S_g) P_{fw}

عندنا يكون $s_7 > s_g$ الحالة (6) هي بخار محمص

و عندنا يكون $s_7 < s_g$ الحالة (6) هي خليط من السائل و البخار (بخار رطب)

الحالة 8 : تماثل الحالة 6 من حيث الإنتروبيا ($s_8 = s_6$).

هذا يعني أن العملية بين الحالة 6 و الحالة 8 هي عملية متساوية الإنتروبيا (isentropique)، وهي

عملية مثالية (كفاءة 100%) لا يحدث فيها توليد للإنتروبيا.

موازنة سخان ماء التغذية المغلق **CFHW balance** :

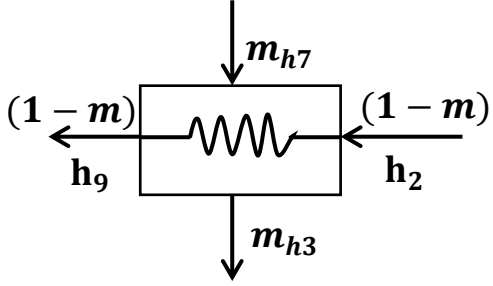
هدف هذه الموازنة هو تحديد كميات تدفقات البخار والماء وخصائصها (مثل الإنتالبي) التي تدخل وتخرج من سخان ماء التغذية المغلق. هذه العملية ضرورية لحساب كفاءة الدورة الإجمالية، وتحديد كمية البخار المستنزف من التوربين اللازمة لتسخين ماء التغذية، وأيضاً لحساب الإنتالبي لماء التغذية الخارج من السخان والتمتجه إلى الغلاية.

بشكل عام، تعتمد موازنة الطاقة على مبدأ أن الطاقة الداخلة إلى السخان تساوي الطاقة الخارجة منه، مع الأخذ في الاعتبار تدفقات الكتلة المختلفة.

$$\sum E_{in} = \sum E_{out}$$

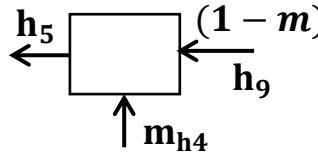
$$m_{h7} + (1 - m)h_2 = m_{h3} + (1 - m)h_9$$

نجد m_5



الحالة 5 :

موازنة غرفة الخلط بهدف ضمان أن عملية الخلط تتم بكفاءة ودقة .



$$h_5 = (1 - m)h_9 + m_{h4}$$

نجد h_5

القوانين :

$$w_T = (h_6 - h_7) + (1 - m)(h_7 - h_8) \quad \left(\frac{k_j}{k_g} \right)$$

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

$$w_{net} = w_T - w_p$$

$$q_{in} = h_6 - h_5$$

$$\eta = \frac{w_{net}}{q_{in}}$$

4. الدراسة الترموديناميكية لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المغلقة مزودة بسخانين

مياه التغذية :

المحطة البخارية المزودة بسخانين مغلقين لمياه التغذية هي نوع من محطات توليد الطاقة التي تستخدم البخار لتدوير التوربينات وتوليد الكهرباء، وتُحسّن من كفاءتها باستخدام سخانات مياه التغذية [28].

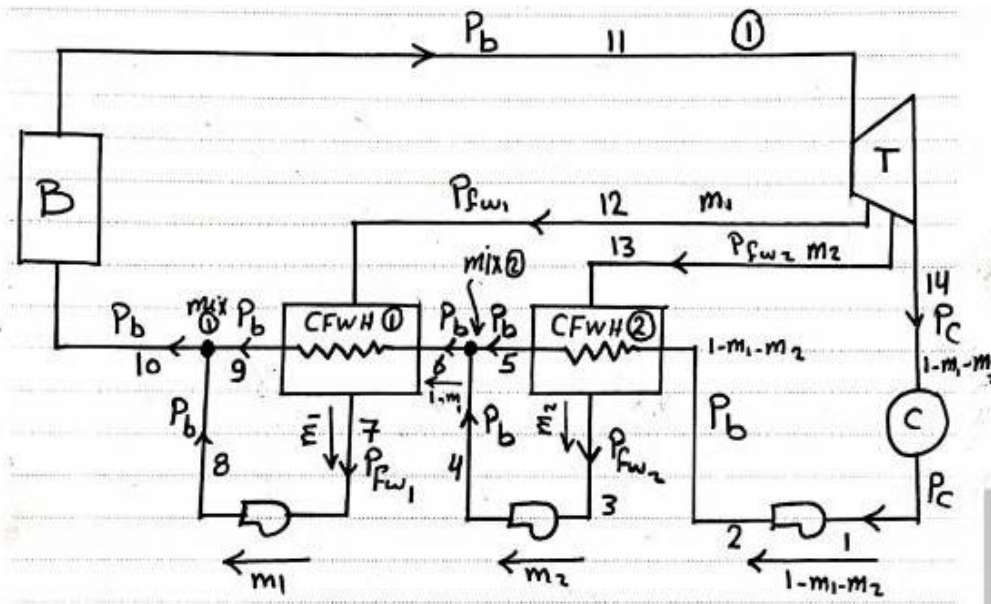
- السخان المغلق الأول : يُسخن ماء التغذية باستخدام بخار مأخوذ من مرحلة منخفضة في التوربين.

- **السخان المغلق الثاني** : يُسخن الماء بدرجة أعلى باستخدام بخار من مرحلة ضغط أعلى.

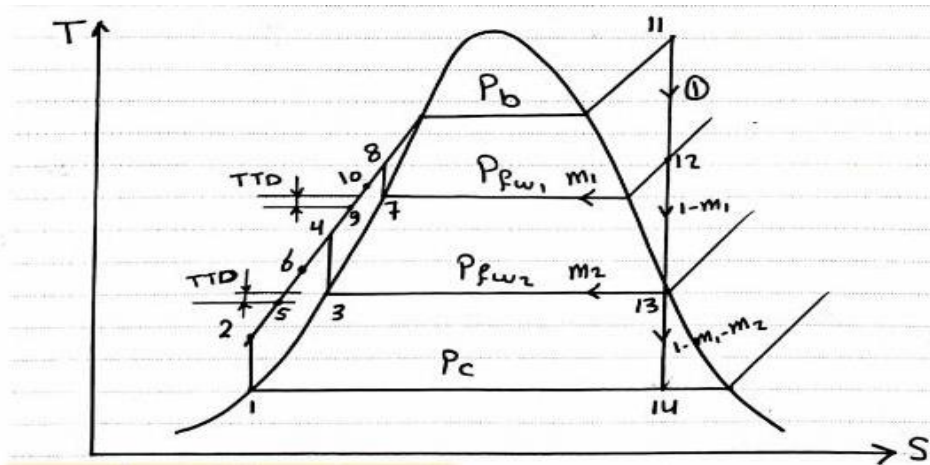
فوائد استخدام سخانين مغلقين:

- عن طريق زيادة الكفاءة الحرارية لمحطة الطاقة (Rankine Cycle) تقليل الطاقة اللازمة لرفع الحرارة ماء التغذية في الغلاية.
- خفض استهلاك الوقود وتحسين الأداء الاقتصادي.
- تقليل الإجهاد الحراري على الغلاية والمعدات الأخرى.

$$P_b > P_{fw1} > P_{fw2} > P_c$$



الشكل 3 . 10 مخطط مياه التغذية المغلق مزود بسخانين مياه التغذية

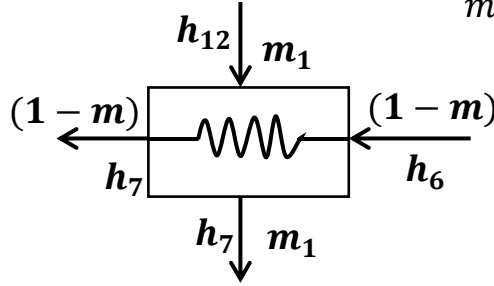


الشكل 3 . 11 حلقة مياه التغذية المغلق مزودة بسخانين مياه التغذية

موازنة سخان ماء التغذية المغلق 1 : CFHW1 balance 1

$$m_1 h_{12} + (1 - m_1) h_6 = m_1 h_7 + (1 - m_1) h_7$$

نحصل على علاقة بين h_6 و m_1

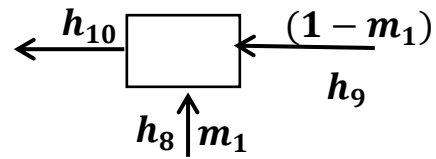


موازنة سخان ماء التغذية المغلق 2 : CFHW2 balance 2

$$m_2 h_{13} + (1 - m_1 - m_2) h_2 = m_2 h_3 + (1 - m_1 - m_2) h_5$$

نحصل على علاقة بين m_2 و m_1

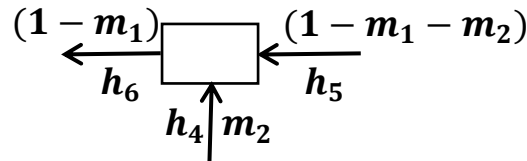
موازنة غرفة الخلط 1 :



$$(1 - m_1) h_9 + m_1 h_8 = h_{10}$$

نحصل على علاقة بين m_1 و h_{10}

موازنة غرفة الخلط 2 :



$$(1 - m_1 - m_2) h_5 + m_2 h_4 = (1 - m_1) h_6$$

نحصل على علاقة بين m_2 و m_1 و h_6

أصبح لدينا أربع معادلات بأربع مجاهيل h_{10} , h_6 , m_2 , m_1 نقوم بحل المعادلات ونحصل على المجاهيل .

$$W_p = (1 - m_1 - m_2)(h_2 - h_1) + m_2(h_4 - h_3) + m_1(h_8 - h_7)$$

$$W_T = h_{11} - h_{12} + (1 - m_1)(h_{12} - h_{13}) + (1 - m_1 - m_2)(h_{13} - h_{14})$$

$$w_{net} = W_T - W_p$$

$$q_{in} = h_{11} - h_{10}$$

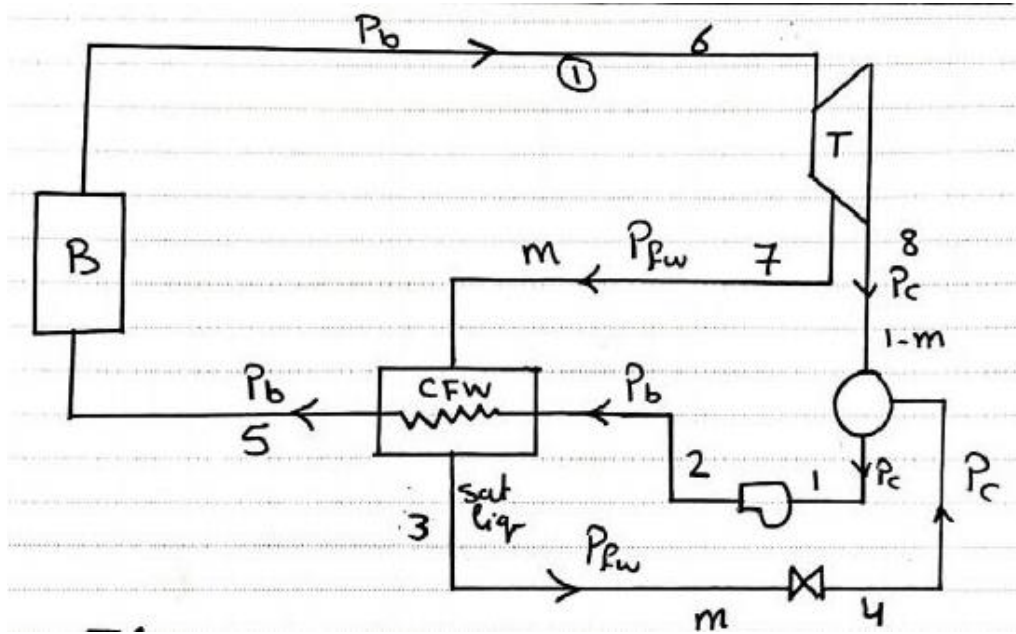
$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{q_{in}}$$

5. الدراسة الترموديناميكية لمحطة بخارية تعمل بمخفض الضغط :

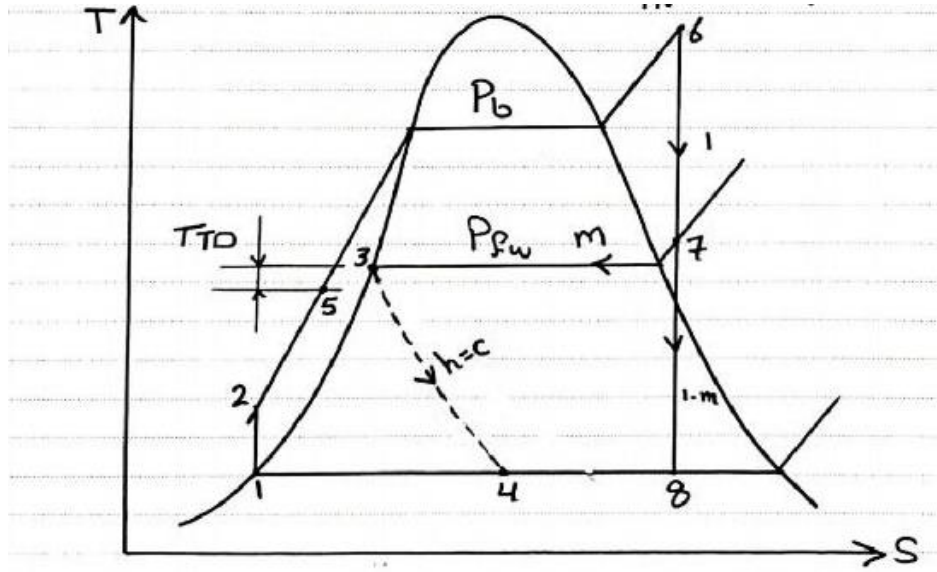
في هذا النوع يتم إرجاع السائل المشبع الموجود عند ضغط P_{fw} إلى ضغط المكثف . بعد أن يقوم البخار المستخرج من التوربين بتسخين مياه التغذية داخل السخان المغلق، يتكثف هذا البخار إلى ماء (مكثف). يكون هذا المكثف ذو درجة حرارة وضغط مرتفعين . هنا يأتي دور الخنق:

الخنق هو عملية تقليل الضغط بشكل متعمد للمكثف الساخن عن طريق تمريره عبر صمام خاص (صمام خنق أو فتحة صغيرة). عندما يمر المكثف الساخن عالي الضغط عبر هذا التقييد، ينخفض ضغطه بشكل كبير. يؤدي هذا الانخفاض في الضغط إلى تبخر جزء من المكثف وتحوله إلى بخار [28].

$$P_b > P_{fw} > P_c$$



الشكل 3 . 12 مخطط نظام تسلسل خلفي لسخان مياه تغذية مغلق باستخدام مخفض الضغط



الشكل 3 . 13 حلقة نظام تسلسل خلفي لمسخن تغذية مغلق باستخدام مخفض الضغط

$$m[(u_2 - u_1) + (P_2 v_2 - P_1 v_1)] = 0$$

$$h = u + Pv$$

$$m(h_2 - h_1) = 0$$

$$(h_2 - h_1) = 0 \implies h_2 = h_1 \implies h = \text{const}$$

6. الخاتمة :

في هذا الفصل تم إجراء دراسة حرارية ونظرية لمحطة توليد طاقة بخارية تعتمد على دورة تسخين مياه التغذية المغلقة، حيث تم تحليل مكونات الدورة وأثرها على الكفاءة الحرارية للمحطة. حيث استنتجنا أن استخدام مسخنات مياه تغذية المغلقة يساهم في تقليل الفواقد الحرارية وزيادة كفاءة التشغيل مقارنة بالدورات التقليدية. كما تم تسليط الضوء على أهمية تحسين ظروف التشغيل لتحقيق أداء أفضل، مما يمهد للانتقال إلى الدراسة الرقمية في الفصل التالي للتحقق من النتائج باستخدام أدوات المحاكاة.

الفصل الرابع

الدراسة الرقمية لمحطة توليد الطاقة البخارية

تعمل بدورة تسخين مياه التغذية المغلقة

1. مقدمة :

تُعد محطات توليد الطاقة البخارية من الركائز الأساسية في أنظمة إنتاج الكهرباء حول العالم، وذلك بفضل قدرتها العالية على تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية بكفاءة جيدة. وتعتمد هذه المحطات غالبًا على دورات رانكين الحرارية، التي يمكن تحسين أدائها من خلال إدخال تقنيات متقدمة مثل إعادة التسخين وتسخين مياه التغذية .

في هذا الفصل، يتم التركيز على دراسة رقمية لمحطة بخارية تستخدم نظام تسخين مياه تغذية مغلق، وهو أحد الأساليب الفعالة لزيادة الكفاءة الحرارية وتقليل الفاقد في الطاقة و كذلك تقليل الطاقة الحرارية المستهلكة في الغلاية. يتناول هذا التحليل تقييم أداء الدورة الحرارية تحت ظروف تشغيل مختلفة، مع دراسة تأثير المتغيرات الأساسية مثل ضغط السحب من التوربين و درجة حرارة الغلاية و كذلك كتلة البخار الممتصة من طرف سخان التغذية المغلق وكفاءة كل من المضخة والتوربين، ودرجات حرارة إعادة التسخين ، باستخدام أدوات المحاكاة الحاسوبية وذلك بناء على معطيات حقيقية من محطات موجودة .

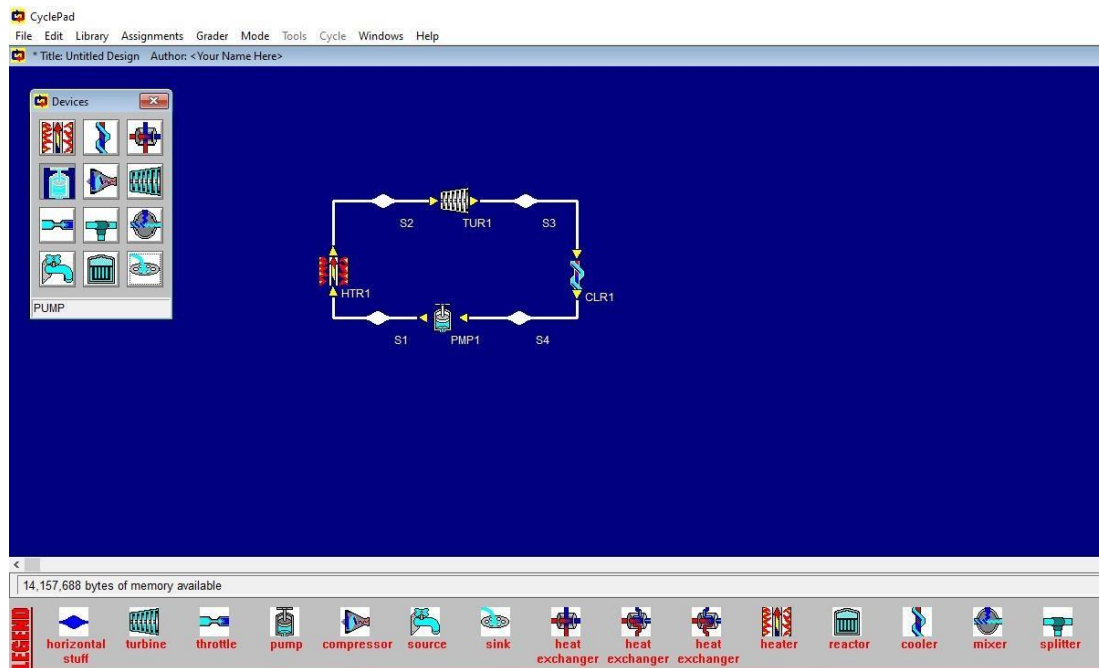
2. التعريف بالمحاكي المستخدم CyclePad :

هو برنامج حاسوبي مصمم خصيصًا لتحليل ودراسة الدورات الديناميكية الحرارية، حيث يوفر بيئة تفاعلية تمكن المستخدم من استكشاف مجموعة متنوعة من هذه الدورات، مثل دورة رانكين، دورة ستيرلنغ، ودورة برايتون. يهدف البرنامج إلى تعزيز فهم المستخدم لمفاهيم الديناميكا الحرارية بشكل عملي وواضح. يسمح البرنامج بمحاكاة كل من الدورات المغلقة والدورات المفتوحة .

1.2 واجهة المحاكي :

واجهة محاكي **CyclePad** هي شاشة تفاعلية يستخدمها المستخدم لبناء وتحليل الأنظمة الحرارية مثل المحطات البخارية. تسمح هذه الواجهة بإضافة مكونات الدورة (مثل التوربين، الغلاية، المكثف، المضخة) وتوصيلها ببعضها عن طريق خطوط تمثل تدفق البخار أو الماء.

يُمكن للمستخدم من خلال هذه الواجهة إدخال القيم المطلوبة (كالضغط ودرجة الحرارة)، ومن ثم يقوم البرنامج بحساب القيم المجهولة تلقائيًا باستخدام قوانين الديناميكا الحرارية. كما تعرض الواجهة نتائج التحليل مثل الكفاءة واستهلاك الطاقة بطريقة منظمة وسهلة الفهم.



الشكل 4. 1 واجهة المحاكى

2.2 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 4. 2 أيقونات المحاكى

3. الدراسة الرقمية لمحطة بخارية تعمل بدورة رانكين البسيطة:

تهدف الدراسة الرقمية إلى تحليل الأداء الحراري لهذه الدورة باستخدام أدوات محاكاة مثل Cycle Pad ، حيث يتم إدخال الشروط الابتدائية (مثل الضغط ودرجة الحرارة) وحساب المعايير الأساسية مثل:

الكفاءة الحرارية ، معدل استهلاك البخار ، الطاقة المنتجة. كما تساهم هذه الدراسة في بناء فهم أعمق لكيفية تأثير تغيير المعطيات التشغيلية على كفاءة وأداء المحطة، مما يساعد في تقييم فرص التحسين والتطوير في محطات الطاقة البخارية

خصائص هذه المحطة :

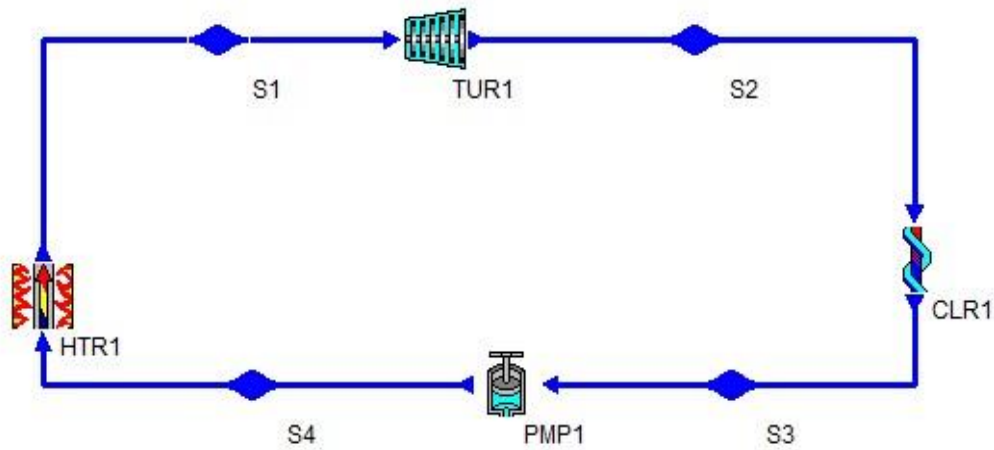
جدول 4. 1 خصائص محطة بخارية تعمل بدورة رانكين البسيطة

	P(kpa)	T(C°)	m. kg
الغلاية	4000	400	2

حيث ان هذه المحطة تتكون من غلاية و توربين و مكثف و مضخة .

نقوم برسم الحلقة باستخدام برنامج Cyclepad .

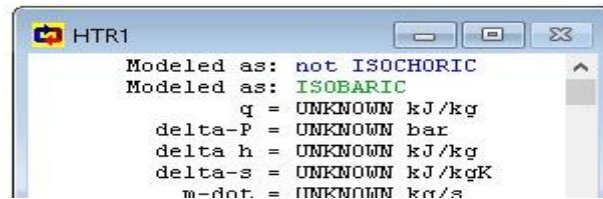
رسم الحلقة في البرنامج :



الشكل 4. 3 حلقة رانكين المثالية البسيطة

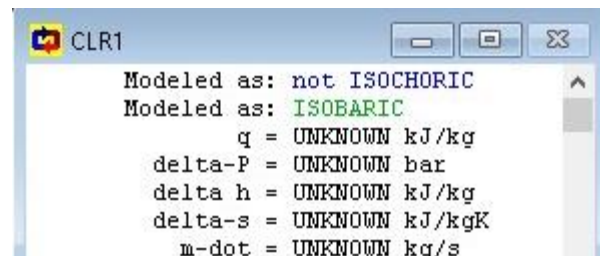
ادخال حالة مكونات هذه المحطة البخارية :

- الغلاية : و تكون ذات ضغط ثابت .



الشكل 4. 4 حالة الغلاية

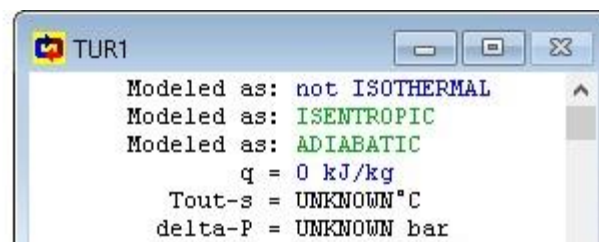
- المكثف : و يكون ذو ضغط ثابت **Isobar**.



الشكل 4. 5 حالة المكثف

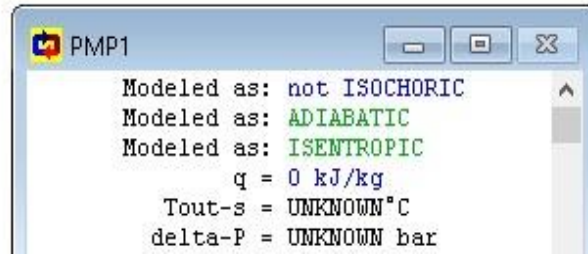
في الشكل 4.4 و الشكل 5.4 لكي يشتغل المحاكي يجب ادخال الشروط الابتدائية الخاصة بحالة الغلاية و المكثف واللذان يكونان تحت ضغط ثابت نظرا لأنهما مرتبطان بكمية الحرارة **Q** .

- التوربين : ذو الحالة **Adiabatique isentropique**



الشكل 4. 6 حالة التوربين

- المضخة : ذات الحالة **Adiabatique isentropique**



الشكل 4. 7 حالة المضخة

في الشكل 6.4 و الشكل 7.4 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 4. 2 نتائج كل من الحجم و الأنتروبي و الأنتالبي و الطاقة الداخلية

	T (C°)	P (kpa)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)	m (kg/s)	T-sat (C°)	P-sat (kpa)
S1	400.0	4000	0.0734	2920	3213	6.77	2.00	250.4	—
S2	157.9	5850	0.3235	2566	2756	6.77	2.00	157.9	5850
S3	157.9	5850	0.0011	665.7	666.3	1.92	2.00	157.9	5850
S4	158.3	4000	0.0011	665.7	670.1	1.92	2.00	250.4	5910

تمثل النقاط S1 S2 S3 S4 و مخرج مكونات المحطة و المحاكي 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 4. 3 يوضح قيم العمل الصافي كمية الحرارة و الكفاءة

η Carnot	η thermal	Tmax (C°)	Tmin (C°)	Pmax (bar)	Pmin (bar)	Power in (kW)	Power out (kW)	Net power (kW)	Back- work ratio (%)	Work ratio (%)	\dot{Q}_{in} (kW)	\dot{Q}_{out} (kW)	Net \dot{Q} (kW)
35.97%	17.85%	400.0	157.9	40.00	5.85	-7.57	915.7	908.1	0.8264	99.17	5,087	-4,178	908.1

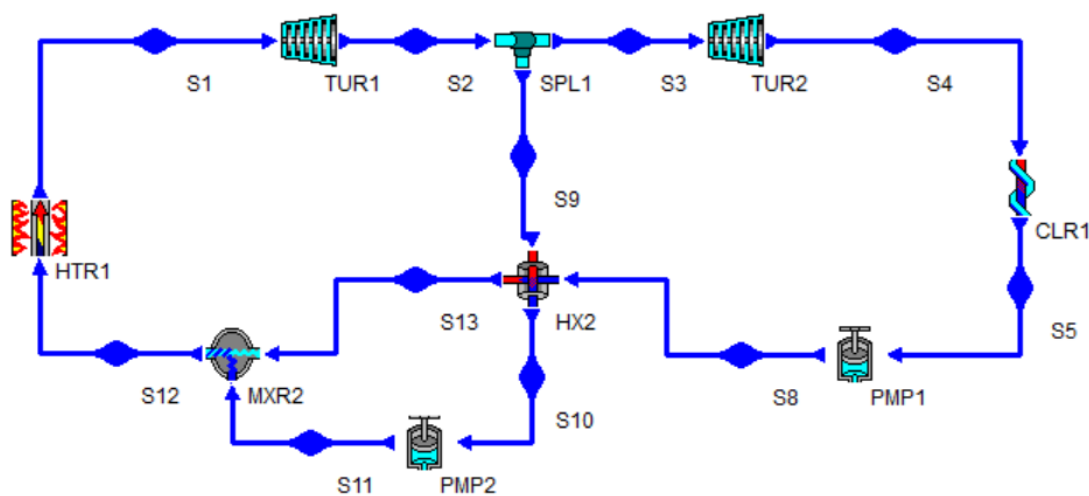
4. الدراسة الرقمية لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المغلقة :

ومن خصائص هذه المحطة :

جدول 4. 4 خصائص محطة بخارية تعمل بمياه التغذية المغلقة

	P(KPa)	T(C°)	m. kg
الغلاية	10300	520	2
سخان مياه التغذية	-	120	0.3

رسم الحلقة في البرنامج :



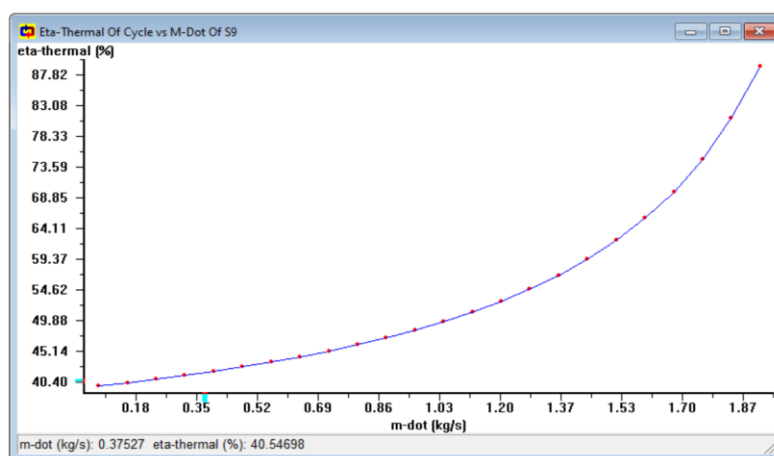
الشكل 4. 8 مخطط الدورة لمحطة بخارية مزودة بمياه التغذية المغلقة

حيث ان هذه المحطة تتكون من غلاية، توربين مكثف مضختين و سخان مياه التغذية المغلق وغرفة خلط.

بادخال المعطيات نتحصل على النتائج في الجدول 5.4

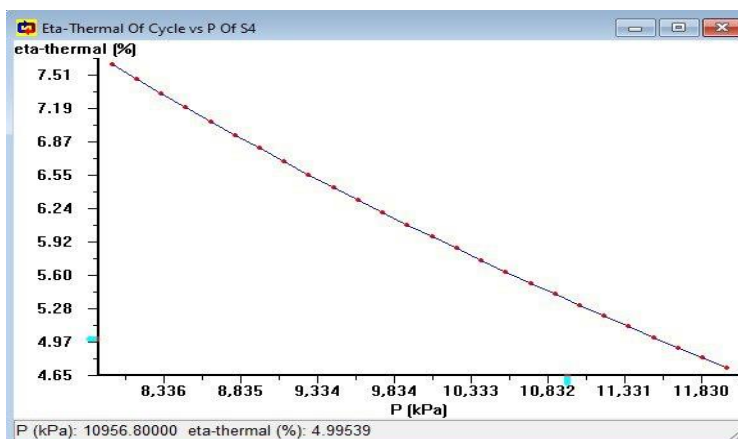
جدول 5.4 نتائج كل من الحجم الأنتروبي و الأنتالبي و الطاقة الداخلية

	T [C°]	P [kpa]	V [m³/kg]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg·K]	m [kg/s]	T_sat [C°]	P_sat [kpa]
S1	520.0	10,300	0.0329	3,083	3,422	6.65	2.00	313.2	—
S2	172.5	839.8	0.2295	2,578	2,771	6.65	2.00	172.5	839.8
S3	172.5	839.8	0.2295	2,578	2,771	6.65	2.00	172.5	839.8
S4	45.82	10.00	11.73	1,987	2,105	6.65	1.70	45.82	10.00
S5	20.00	10.00	0.0010	83.83	83.84	0.2962	1.70	45.82	2.35
S8	20.16	10,300	0	83.86	94.13	0.2962	1.70	313.2	2.37
S9	172.5	839.8	0.2295	2,578	2,771	6.65	0.300	172.5	839.8
S10	120.0	839.8	0.0011	503.3	504.2	1.53	0.300	172.5	198.5
S11	120.8	10,300	0.0011	503.4	514.2	1.53	0.300	313.2	203.5
S12	116.7	10,300	0.0011	486.3	497.1	1.48	2.00	313.2	178.9
S13	116.0	10,300	0.0011	483.3	494.1	1.48	1.70	313.2	174.8



الشكل 4.9 منحنى تغيرات الكفاءة بدلالة معدل التدفق الكتلي

- حيث نلاحظ انه كلما زادت قيمة الكتلة المسحوبة زادت الكفاءة .



الشكل 4 . 10 منحنى تغيرات الكفاءة بدلالة الضغط

نلاحظ ان قيم الكفاءة تتناقص كلما زاد الضغط الخارج من توربين الضغط المنخفض و هذا دليل على ان الضغط استهلك في التوربين من اجل انتاج العمل .

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

جدول 4 . 6 قيم العمل الصافي كمية الحرارة و الكفاءة

η_{Carnot} %	$\eta_{thermal}$ %	Tmax (C°)	Tmin (C°)	Pmax (kPa)	Pmin (kPa)	Power in (kW)	Power out (kW)	Net power (kW)	Back- work ratio (%)	Work ratio (%)	\dot{Q}_{in} (kW)	\dot{Q}_{out} (kW)	Net \dot{Q} (kW)
63.04	41.27	520.0	20.0	10,300	10.00	-20.50	2,435	2,414	0.8422	99.16	5,849	-3,435	2,414

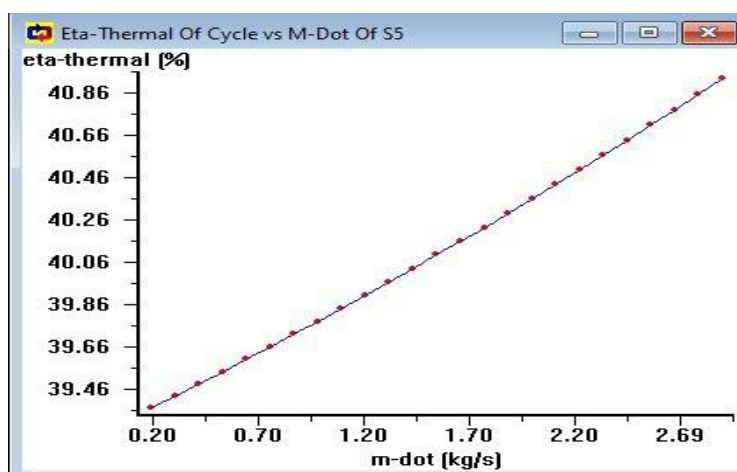
- قيمة الكفاءة مع وجود سخان مياه التغذية أكبر من قيمتها في حالة دورة رانكين البسيطة.

5. الدراسة الرقمية لمحطة بخارية تعمل بمخفض الضغط :

و من خصائص هذه المحطة :

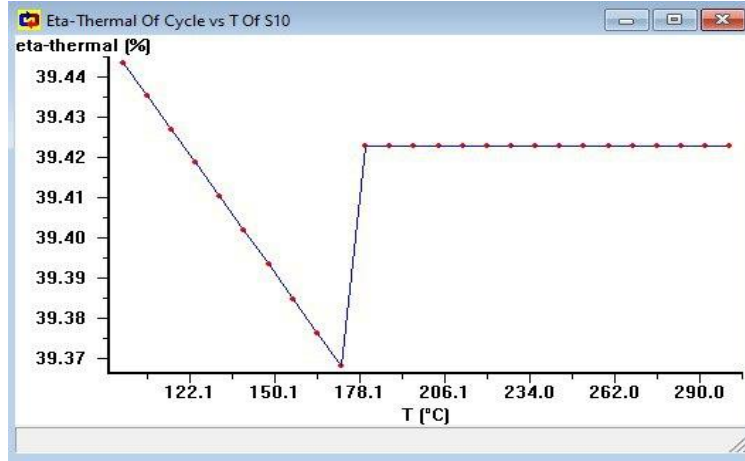
جدول 4. 8 نتائج كل من الحجم الأنتروبي و الأنتالبي و الطاقة الداخلية

	T (C°)	P (kPa)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)	m-dot (kg/s)	T_sat (C°)	P_sat (kPa)
S1	520.0	10,300	0.0329	3,083	3,422	6.65	13.74	313.2	—
S2	172.5	839.8	0.2295	2,578	2,771	6.65	13.74	172.5	839.8
S3	172.5	839.8	0.2295	2,578	2,771	6.65	13.74	172.5	839.8
S4	45.82	10.00	11.73	1,987	2,105	6.65	13.44	45.82	10.00
S5	172.5	839.8	0.2295	2,578	2,771	6.65	0.3000	172.5	839.8
S6	45.82	10.00	11.52	1,954	2,070	6.54	13.74	45.82	10.00
S7	20.00	10.00	0.0010	83.83	83.84	0.2962	13.74	45.82	2.35
S8	20.16	10,300	0	83.86	94.13	0.2962	13.74	313.2	2.37
S9	32.07	10,300	0.0010	133.3	143.6	0.4615	13.74	313.2	4.78
S10	120.0	839.8	0.0011	503.3	504.2	1.53	0.3000	172.5	198.5
S11	45.82	10.00	1.92	485.1	504.2	1.63	0.3000	45.82	10.00



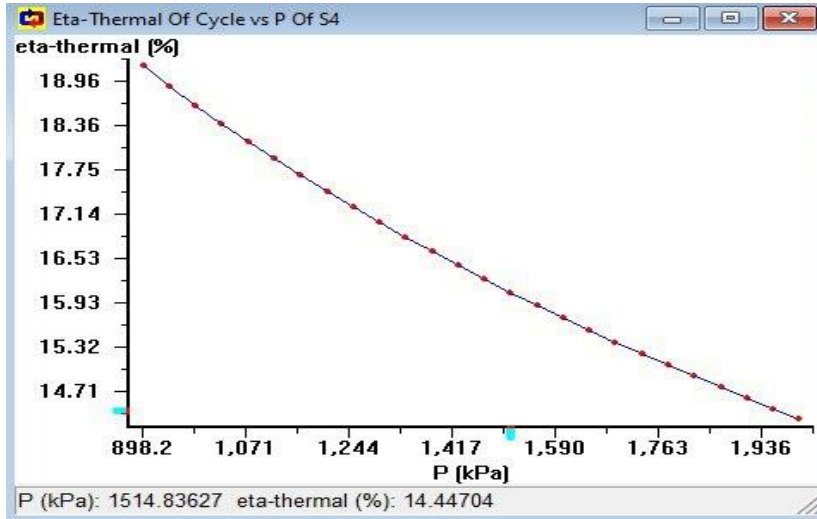
الشكل 4. 12 منحني تغيرات التدفق الكتلي بدلالة الكفاءة

نلاحظ ان الكفاءة تتناسب طرديا مع كمية (الكتلة) البخار المسحوبة من سخان التغذية و هذا لانه يقلل من كمية الحرارة المكتسبة داخل الغلاية .



الشكل 4. 13 منحنى تغيرات الحرارة بدلالة الكفاءة

- الكفاءة تنخفض كلما زادت درجة حرارة حتى تصل درجة الحرارة إلى 172,6 ثم عند زيادة درجة حرارة أعلى من 172,6 فإن الكفاءة تزيد حتى تثبت عند 39.42 وهي كفاءة الحلقة الدروسة .



الشكل 4. 14 منحنى تغيرات الكفاءة بدلالة الضغط

- كلما زاد الضغط في نهاية التوربين (الضغط الخارج) قل فرق الضغط عبر التوربين و قل الشغل الناتج و قلت الكفاءة.

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

جدول 4. 9 قيم العمل الصافي كمية الحرارة و الكفاءة

η_{Carnot} %	$\eta_{thermal}$ %	Tmax (C°)	Tmin (C°)	Pmax (kPa)	Pmin (kPa)	Power in (kW)	Power out (kW)	Net power (kW)	Back-work ratio (%)	Work ratio (%)	\dot{Q}_{in} (kW)	\dot{Q}_{out} (kW)	Net \dot{Q} (kW)
63.04	39.42	520.0	20.0	10,300	10.00	-141.4	17,899	17,757	0.7901	99.21	45,043	-27,28	17,757

نلاحظ أن قيمة الكفاءة في حالة مكثف مخفض الضغط أقل من الكفاءة في حالة سخان مياه تغذية مغلقة لأن سخان مياه التغذية يقلل الحمل الحراري على الغلاية باستخدام حرارة مجانية (من البخار المسحوب)، بينما المكثف المخنوق يهدر هذه الطاقة دون تعويض، لذا كفاءة الحلقة المدروسة ككل تصبح أقل في حالة مخفض ضغط .

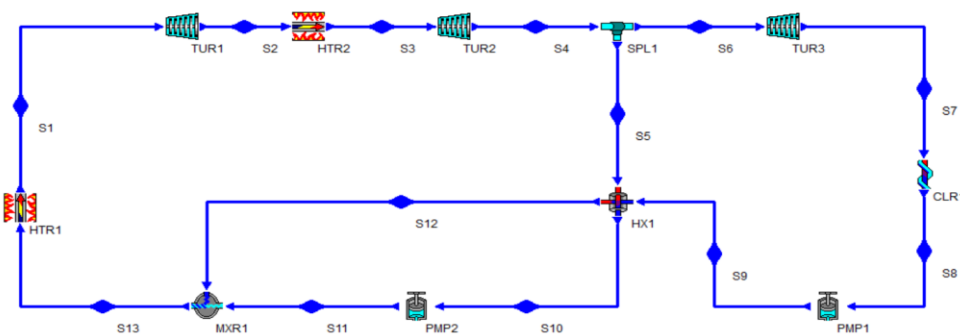
6. الدراسة الرقمية لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المغلقة مع إعادة التسخين :

و من خصائص هذه المحطة :

جدول 4. 10 خصائص محطة بخارية تعمل بمياه التغذية المغلقة مع إعادة التسخين

	P(KPa)	T(C°)	m. kg
الغلاية	10300	520	13.74
إعادة التسخين	5000	520	-
سخان مياه التغذية	3000	-	8

رسم الحلقة في البرنامج :



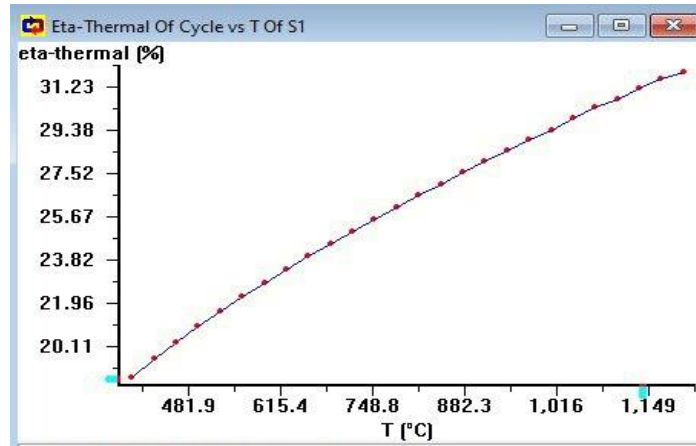
الشكل 4. 15 مخطط الدورة لمحطة بخارية تعمل بمياه التغذية المغلقة مع إعادة التسخين

- حيث ان هذه المحطة تتكون من غلاية مع إعادة تسخين، توربين، مكثف، مضختين ، غرفة خلط و سخان مياه التغذية المغلق.

بإدخال جميع المعطيات في نقاط الحلقة نتحصل على النتائج التالية في الجدول 11.4

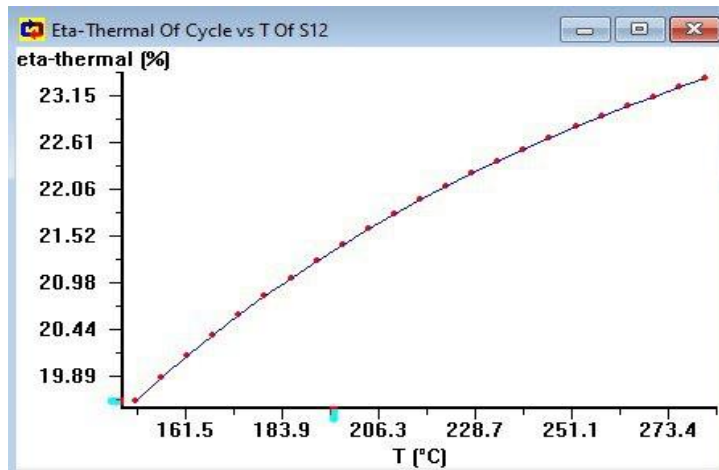
جدول 11.4 نتائج كل من الحجم الأنتروبي و الأنتالبي و الطاقة الداخلية

	T (C°)	P (kPa)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)	m (kg/s)	T_sat (C°)	P_sat (kPa)
S1	520.0	10,300	0.0329	3,083	3,422	6.65	13.74	313.2	—
S2	400.1	5,000	0.0578	2,907	3,196	6.65	13.74	264.0	—
S3	500.0	5,000	0.0686	3,091	3,434	6.98	13.74	264.0	—
S4	408.4	3,000	0.1139	2,947	3,249	6.98	13.74	233.9	—
S5	408.4	3,000	0.1139	2,947	3,249	6.98	8.00	233.9	—
S6	408.4	3,000	0.1139	2,947	3,249	6.98	5.74	233.9	—
S7	308.4	1,500	0.1949	2,797	3,055	6.98	5.74	198.3	9,648
S8	50.0	1,500	0.0010	209.1	210.6	0.7031	5.74	198.3	12.35
S9	50.32	10,300	0.0010	209.1	219.5	0.7031	5.74	313.2	12.55
S10	233.9	3,000	0.0663	2,594	2,793	6.16	8.00	233.9	3,000
S11	394.6	10,300	0.0252	2,814	3,072	6.16	13.74	313.2	—
S12	200.0	10,300	0.0011	844.2	856.1	2.34	13.74	313.2	1,554.5
S13	313.2	10,300	0.0104	2,040	2,146	4.62	13.74	313.2	10,300



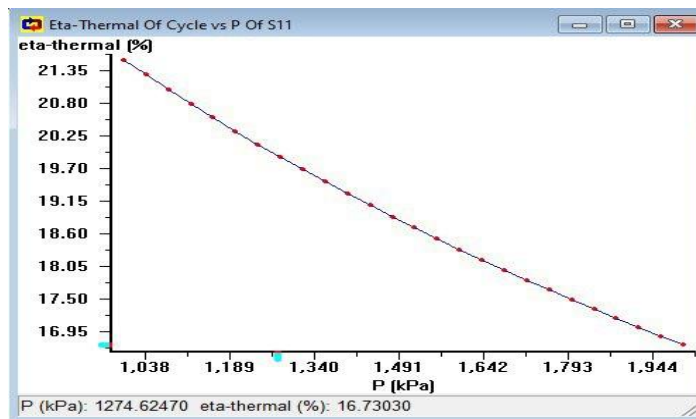
الشكل 4. 16 منحنى تغيرات الحرارة بدلالة الكفاءة

- كلما زادت درجة حرارة البخار الخارج من الغلاية ، يؤدي إلى زيادة الكفاءة.



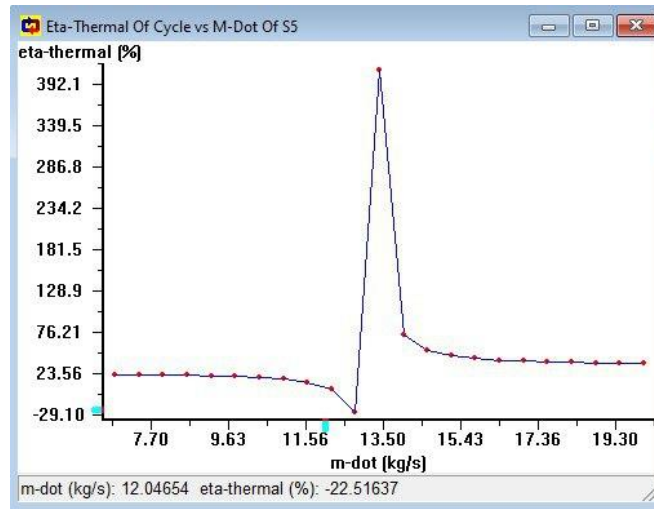
الشكل 4. 17 منحنى تغيرات الحرارة بدلالة الكفاءة

- نلاحظ أنه كلما زادت درجة حرارة الماء الخارج من سخان ماء التغذية زادت الكفاءة .



الشكل 4. 18 منحنى تغيرات الكفاءة بدلالة الضغط

- كلما زاد الضغط في نهاية التوربين (الضغط الخارج) قل فرق الضغط عبر التوربين و قل الشغل الناتج و قلت الكفاءة.



الشكل 4. 19 منحنى تغيرات الكفاءة بدلالة معدل التدفق الكتلي

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

جدول 4. 12 قيم العمل الصافي كمية الحرارة و الكفاءة

η_{Carnot} %	$\eta_{thermal}$ %	Tmax (C°)	Tmin (C°)	Pmax (kPa)	Pmin (kPa)	Power in (kW)	Power out (kW)	Net power (kW)	Back-work ratio (%)	Work ratio (%)	\dot{Q}_{in} (kW)	\dot{Q}_{out} (kW)	Net \dot{Q} (kW)
59.26	21.48	520.0	50.00	10,300	1,500	-2,287	6,754	4,467	33.86	66.14	20,796	-16,32	4,467

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

جدول 4. 13 قيم العمل الصافي وكمية الحرارة و الكفاءة

η_{Carnot} %	$\eta_{thermal}$ %	Tmax (C°)	Tmin (C°)	Pmax (kPa)	Pmin (kPa)	Power in (kW)	Power out (kW)	Net power (kW)	Back-work ratio (%)	Work ratio (%)	\dot{Q}_{in} (kW)	\dot{Q}_{out} (kW)	Net \dot{Q} (kW)
58.20	19.03	520.0	50.0	10,300	1,500	-265.0	14,471	14,206	1.83	98.17	74,642	-60,43	14,206

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

7. الدراسة الرقمية لمحطة بخارية تعمل بسخانين مياه التغذية المغلقة و سخان التغذية

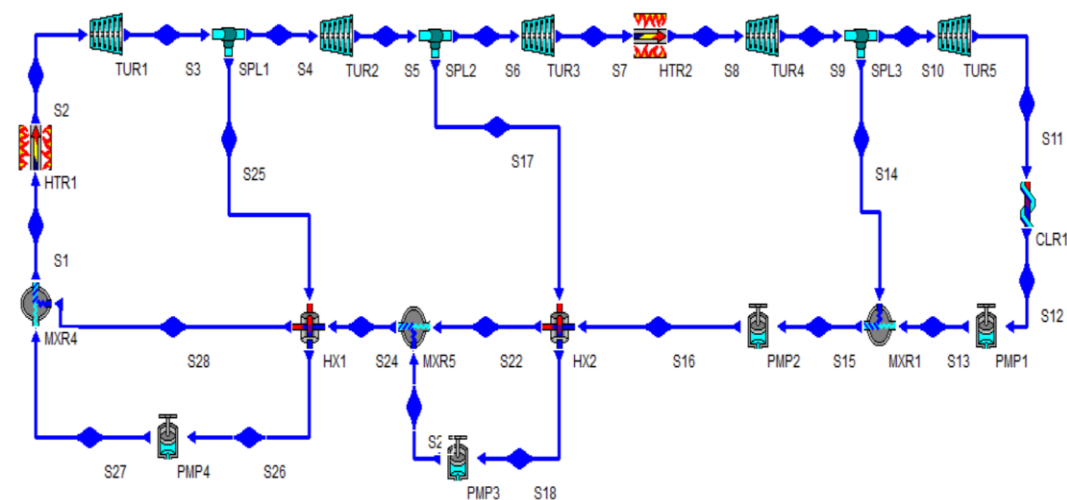
المفتوح مع إعادة التسخين :

و من خصائص هذه المحطة :

جدول 4. 14 خصائص محطة بخارية تعمل بمياه التغذية مزودة بسخانين مياه التغذية مع إعادة التسخين

	P(KPa)	T(C ⁰)	m. kg
الغلاية	10300	520	13.74
إعادة التسخين	1000	500	-
سخان مياه التغذية 1	6000	-	1.36
سخان مياه التغذية 2	2500	-	2.38

رسم الحلقة في البرنامج :



الشكل 4. 20 مخطط محطة بخارية تعمل بسخانين مياه التغذية المغلقة و المفتوح مع إعادة التسخين

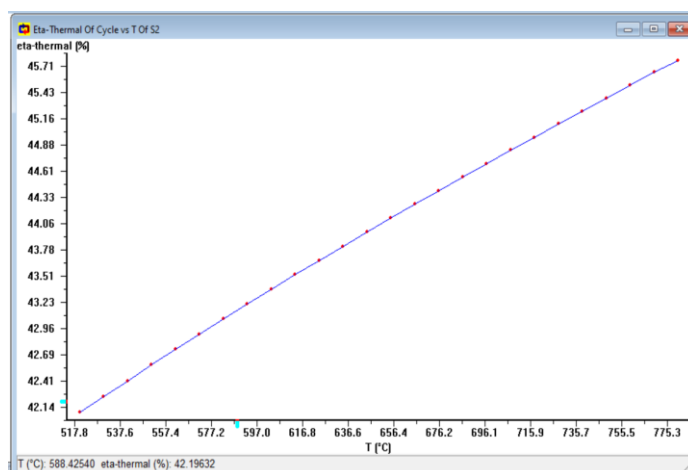
- حيث ان هذه المحطة تتكون من غلاية مع إعادة التسخين ، توربين ، مكثف ، مضختين ، غرف خط و سخانين مياه التغذية المغلق .

بإدخال جميع المعطيات في نقاط الحلقة نتحصل على النتائج التالية في الجدول 15.4

جدول 15.4 نتائج كل من الحجم الأنتروبي و الأنتالبي و الطاقة الداخلية

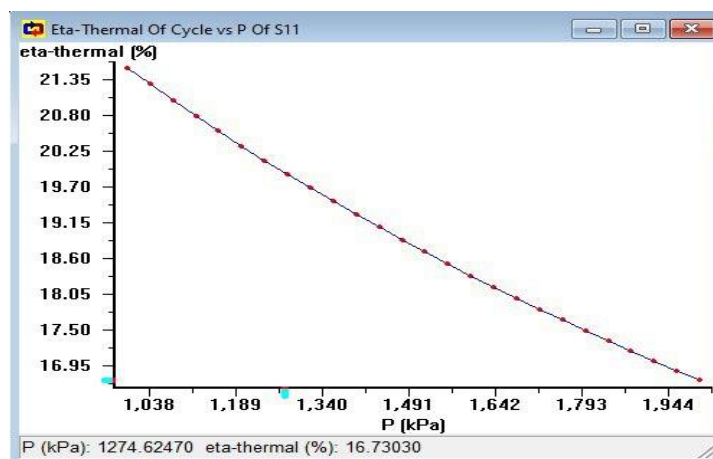
	T (C°)	P (kPa)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)	m (kg/s)	T_sat (C°)	P_sat (kPa)
S1	266.2	10300	0.0013	1151	1164	2.93	13.74	313.2	5182
S2	520.0	10300	0.0329	3083	3422	6.65	13.74	313.2	—
S3	435.7	6000	0.0508	2962	3267	6.67	13.74	275.6	—
S4	435.7	6000	0.0508	2962	3267	6.67	12.38	275.6	—
S5	312.1	2500	0.1117	2783	3036	6.71	12.38	224.0	10146
S6	312.1	2500	0.1117	2783	3036	6.71	10.00	224.0	10146
S7	212.7	1000	0.2129	2644	2857	6.76	10.00	179.9	2011
S8	500.0	1000	0.3541	3124	3479	7.76	9.17	179.9	—
S9	215.4	100	2.24	2681	2905	7.90	9.17	99.63	2123
S10	215.4	100	2.24	2681	2905	7.90	9.17	99.63	2123
S11	45.82	10	14.43	2400	2400	0.6493	9.17	45.82	10.00
S12	45.82	10	0.0010	191.8	191.8	0.6493	9.17	45.82	10.00
S13	45.83	100	0.0010	191.9	192.0	0.6493	9.17	99.63	10.01
S14	215.4	100	2.24	2681	2905	7.90	9.17	99.63	2123
S15	99.63	100	0.0010	417.4	418.5	1.30	10.00	99.63	100.0
S16	100.6	10300	0.0010	418.6	429.3	1.31	10.00	313.2	103.6
S17	312.1	2500	0.1117	2783	3036	6.71	10.00	224.0	—
S18	224.0	2500	0.0012	959.0	962.0	2.55	10.00	224.0	2500
S22	215.0	10300	0.0012	911.2	923.2	2.46	10.00	313.2	2104
S23	225.8	10300	0.0012	960.1	972.3	2.56	2.38	313.2	2586
S24	217.1	10300	0.0012	920.6	932.7	2.48	12.38	313.2	2191

S25	435.7	6000	0.0508	2962	3267	6.67	1.36	275.6	6000
S26	275.6	6000	0.0013	1205	1213	3.03	1.36	275.6	6000
S27	277.2	10300	0.0013	1206	1220	3.03	—	313.2	6145
S28	265.0	10300	0.0013	1145	1158	2.92	12.38	313.2	5082



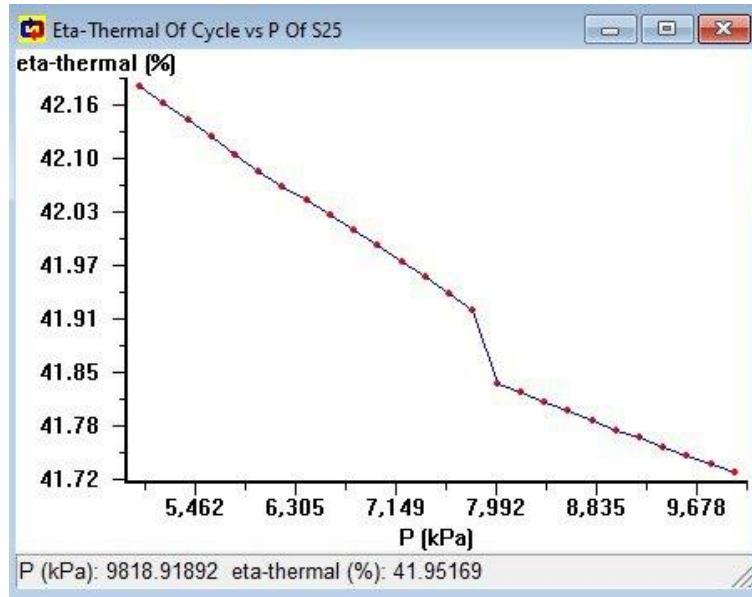
الشكل 4. 21 منحنى تغيرات الحرارة بدلالة الكفاءة

- كلما زادت درجة حرارة البخار الخارج من الغلاية يؤدي إلى زيادة الكفاءة.



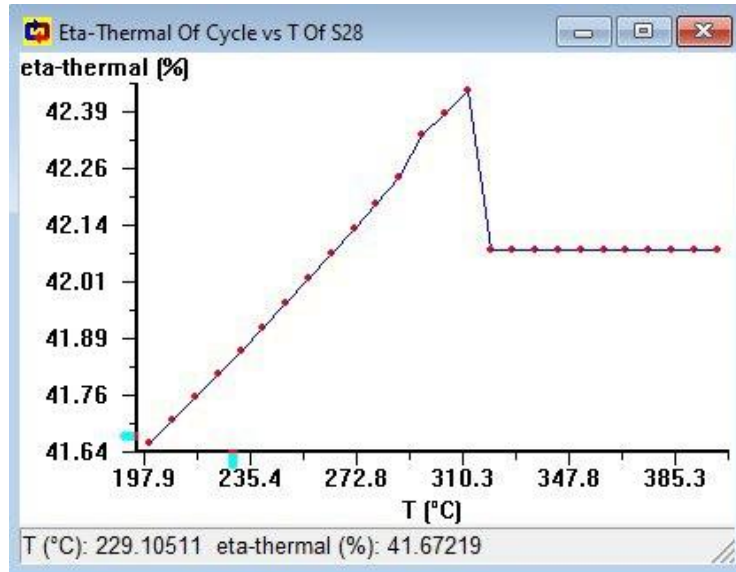
الشكل 4. 22 منحنى تغيرات الكفاءة بدلالة الضغط

- كلما زاد الضغط في نهاية التوربين (الضغط الخارج) قل فرق الضغط عبر التوربين و قل الشغل الناتج و قلت الكفاءة.



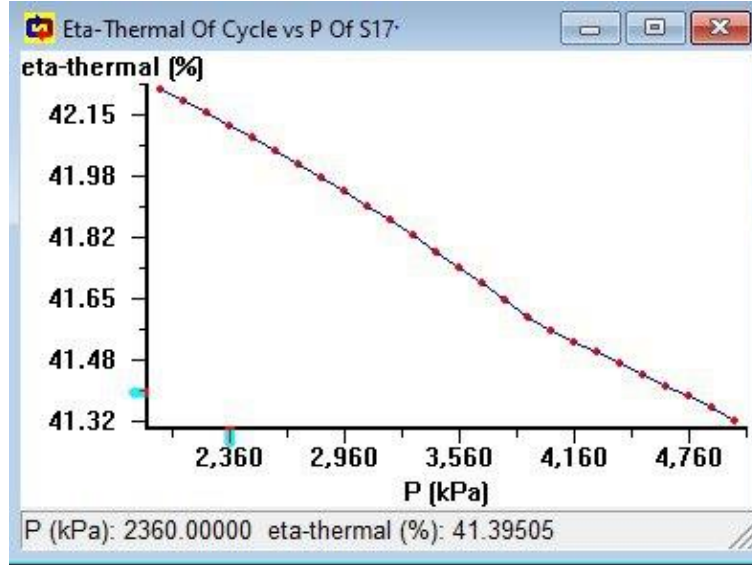
الشكل 4. 23 منحنى تغيرات الكفاءة بدلالة الضغط

- كلما زاد الضغط نقصت الكفاءة لأن سخان التغذية لايهتم بالضغط وإنما يتهم بزيادة درجة الحرارة وكتلة البخار المسحوبة.



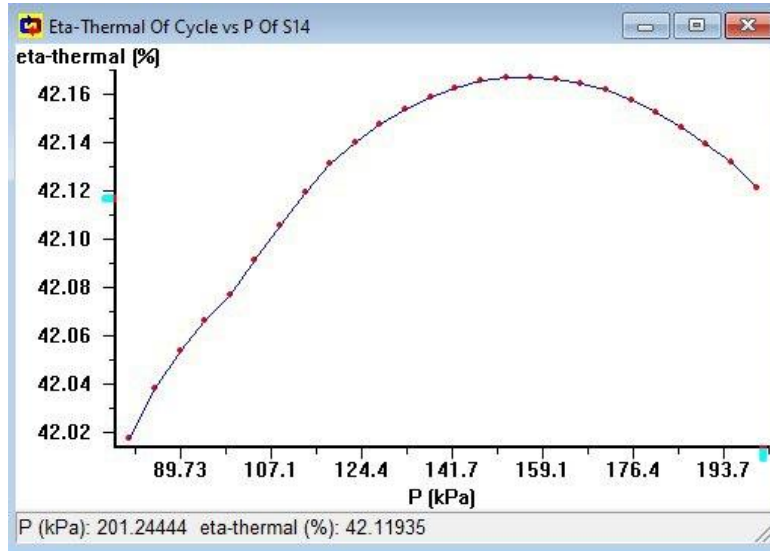
الشكل 4. 24 منحنى تغيرات الحرارة بدلالة الكفاءة

- نلاحظ أن الكفاءة تزداد حتى تصل إلى 42,40 ثم تنخفض وتثبت عند القيمة 42,08 التي تمثل قيمة مردود الحلقة المدروسة



الشكل 4. 25 منحنى تغيرات الكفاءة بدلالة الضغط

- كلما زاد الضغط نقصت الكفاءة لأن سخان التغذية لايهتم بالضغط وإنما يتهم بزيادة درجة الحرارة وكتلة البخار المسحوبة.



الشكل 4. 26 منحنى تغيرات الكفاءة بدلالة الضغط

- نلاحظ أن الكفاءة تتزايد بتزايد الضغط حتى تصل إلى 150 Kpa ثم تبدأ بالإنخفاض .

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

جدول 4. 16 قيم العمل الصافي كمية الحرارة و الكفاءة

η_{Carnot} %	η_{thermal} %	Tmax (C°)	Tmin (C°)	Pmax (kPa)	Pmin (kPa)	Power in (kW)	Power out (kW)	Net power (kW)	Back- work ratio (%)	Work ratio (%)	\dot{Q}_{in} (kW)	\dot{Q}_{out} (kW)	Net \dot{Q} (kW)
59.78	42.08	520.0	45.82	10,300	10.00	-152.5	15,821	15,668	0.9637	99.04	37,233	-21,56	15,668

نلاحظ أن كفاءة محطة مزودة بسخانين مياه التغذية مع إعادة التسخين تكون أكبر من كفاءة محطة تعمل بسخان واحد مغلق مع إعادة التسخين

لأن كلما زاد عدد سخانات مياه التغذية المغلقة في دورة مع إعادة التسخين، زادت درجة حرارة ماء التغذية الداخل إلى الغلاية، وقلّت الحرارة المطلوبة من الوقود لإنتاج البخار، وبالتالي زادت الكفاءة الحرارية

8. الخاتمة :

في هذا الفصل، قمنا بتحليل أداء محطة بخارية تعمل بدورة تغذية مياه مغلقة باستخدام نموذج رقمي. تمت مقارنة كفاءة هذه المحطة مع كفاءة دورة رانكن البسيطة ، وقد أظهرت النتائج أن استخدام سخان مياه التغذية يؤدي إلى تحسن ملحوظ في الكفاءة . كما أجرينا مقارنة إضافية بين أداء هذه المحطة ومحطة بخارية أخرى تحتوي على سخانين لمياه التغذية ، وتبين أن وجود سخان واحد فقط أسفر عن كفاءة أقل مقارنة بالمحطة المزودة بسخانين. وعليه، خلُصت النتائج إلى أن زيادة عدد سخانات مياه التغذية تسهم في رفع كفاءة المحطة البخارية.

خاتمة عامة :

تُعد محطات الطاقة البخارية التي تعمل بدورة تغذية مياه مغلقة من الركائز الأساسية في شبكة توليد الطاقة الكهربائية على مستوى العالم، حيث توفر حلولاً فعالة لتلبية احتياجات الطاقة في مختلف المناطق، خاصة النائية أو النامية. وتمتاز هذه المحطات ببساطة التصميم وسهولة التشغيل، مما يجعلها خياراً عملياً واقتصادياً في العديد من الحالات.

في هذه المذكرة، تطرقنا إلى أهم أنواع محطات توليد الطاقة الحرارية، حيث شملت الدراسة تحليلاً لمحطات الطاقة الغازية والبخارية، وصولاً إلى المحطات البخارية التي تعمل بدورة تغذية مياه مغلقة. كما أجرينا دراسة نموذجية ورقمية باستخدام برنامج **CYCLEPAD**، الذي مكّننا من استخراج الخصائص التشغيلية للمحطة عبر مختلف دورات التوربين.

شملت الدراسة أربع دورات تشغيلية: دورة رانكن البسيطة، دورة بمياه تغذية مغلقة، دورة تعمل بمخفض الضغط، دورة تجمع بين مياه التغذية المغلقة وإعادة التسخين وأخرى تجمع بين سخانين مياه التغذية المغلقة وإعادة التسخين. وقد أظهرت النتائج تبايناً في الكفاءة بين هذه الدورات، حيث تبين أن المحطة البخارية التي تعمل بدورة تغذية مياه مغلقة تحقق كفاءة جيدة، إلا أن هناك إمكانيات واضحة لتحسين أدائها من خلال بعض التعديلات الهندسية والإضافات التقنية مثل زيادة عدد سخانات مياه التغذية أو استخدام إعادة التسخين.

قائمة المراجع :

• المراجع العربية :

- [1] د. ابراهيم عبد الله عبد الرؤوف محمد، مجلة البحوث القانونية والاقتصادية، ص. 1062، أكتوبر 2013.
- [4] تصفح، [متصل]. متاح. <https://tsf7.com>. تم الدخول: 2024-12-12.
- [5] د. أحمد شمس الدين، محطات إنتاج الطاقة الكهربائية.
- [6] م. خيرو. جمال. زيباري، «منصة أوريد»، 01-2018. [متصل]. متاح <https://www.google.com/...> تم الدخول: 2024-12-07.
- [7] م. برجاق، «mawdoo3.com»، 26-07-2023. [متصل]. متاح <https://mawdoo3.com> : الطاقة_الكهرومائية_واستخداماتها. [تم الدخول: 2024-12-24].
- [8] ا. سامي، «almrsal.com»، 22-03-2019. [متصل]. متاح : <https://www.almrsal.com/post/797458> تم الدخول: 2024-12-19.
- [9] «enec.gov.ae»، مؤسسة الإمارات للطاقة النووية. [متصل]. متاح <https://www.enec.gov.ae/ar/...> تم الدخول: 2024-12-08.
- [10] نور عياصرة ووفاء عابور، «mawdoo3.com»، إيجابيات وسلبيات الطاقة النووية، 2010. [متصل]. متاح : <https://mawdoo3.com>. تم الدخول: 2024-09-27.
- [11] esi.edu.sa، معهد علوم الهندسة للتدريب. [متصل]. متاح <https://esi.edu.sa> : تم الدخول: 2024-12-28.
- [12] «ingco.com»، [متصل]. متاح : <https://www.ingco.com/ar/blog/what-is-diesel-generator> تم الدخول: 2024-12-27.
- [13] «ww.emsa.gen.tr»، عيوب محركات الديزل. [متصل]. متاح <https://www.emsa.gen.tr/ar/...> تم الدخول: 2024-12-28.
- [14] م. عدنان بهجت. جليل، التوربين الغازي، Noor Book، 2018.
- [15] م. عدنان بهجت. جليل، «fr.scribd.com»، [متصل]. متاح <https://fr.scribd.com/document>. تم الدخول: 2024-12-28.
- [16] «fr.slideshare.net»، [متصل]. متاح <https://fr.slideshare.net/slideshow/...> تم الدخول: 2024-12-28.
- [17] المؤسسة العامة لتصميم وتطوير، محطات التوليد وطرق الحماية، Noor Book، 19-07-2004.
- [20] « فولتيات»، [متصل]. متاح <https://www.voltiat.com/>... تم الدخول: 2025-03-10.
- [25] أ. شهيبي، «أسيك للاستشارات الهندسية»، مدينة نصر - الحي الثامن - مصطفى النحاس، 03-2022. [متصل]. متاح <https://asecbim.com/>... تم الدخول: 2025-03-19.
- [26] جامعة المستقبل -العراق-، Thermodynamics Lectures، 2009. [متصل]. متاح : <https://uomus.edu.iq/>... تم الدخول: 2025-03-20.
- [30] Al-Mustaqbal University College، Thermodynamics، D. A. Al-Abbasi، الحلة، العراق.

• المراجع الأجنبية :

- [2] j. j. imaz, "REPSOL S.A," Repsol, 03-04-2024. [Online]. Available: <https://www.repsol.com/en/energy-and-the-future/future-of-the-world/solar-thermal-energy/index.cshtml>. [Accessed: 24-12-2024].
- [3] M. Arcelli, "Oyher electric power generation company," ACWA Power, 03-2023. [Online]. Available: <https://acwapower.com/ar/projects/energy-types/about-photovoltaic-pv-power/>. [Accessed: 24-12-2024].
- [18] R. K. Rajput, Engineering Thermodynamics, LAXMI Publications (P) LTD113, Golden House, Daryaganj, New Delhi-110002, 1996.
- [19] OilGasWiki, 27-04-2020. [Online]. Available: <https://www.oilgaswiki.com/2020/11/Steam-boilers.html>. [Accessed: 10-03-2025].
- [21] "Trusted Industrial Steam Boiler Manufacturer in India," Thermodyne Boilers, [Online]. Available: <https://thermodyneboilers.com/steam-power-station/>. [Accessed: 10-03-2025].
- [22] Paul Mueller, [Online]. Available: <https://academy.paulmueller.com/the-different-types-of-steam-in-industrial-steam-generation>. [Accessed: 10-03-2025].
- [23] "PROPERTY TABLES AND CHARTS," 15-04-2002.
- [24] G. Hewitt, "Thermopedia," Begell House, 2005. [Online]. Available: <https://www.thermopedia.com/content/756/>. [Accessed: 20-03-2025].
- [27] "mechanicaltutorial," [Online]. Available: <https://www.mechanicaltutorial.com/types-of-feed-water-heater>. [Accessed: 12-04-2025].
- [28] D. E. Mostafa, "CLOSED FEED WATER HEATER," [Online].
- [29] International Journal of Advanced Research in Science Communication and Technology, pp. 67–68, 2024.
- [31] N. Mukherjee, LinkedIn, 26-12-2020. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/entropy-generation-two-phase-vaporization-nikhilesh-mukherjee>. [Accessed: 12-03-2025].