

رفع كفاءة محطة توليد طاقة بخارية باستخدام تحليل الإكسيري

الدكتور أيوب حسن*

عفراء عاطف حلوم**

(تاريخ الإيداع 18 / 2 / 2018. قُبل للنشر في 2 / 10 / 2018)

□ ملخص □

تناول هذا البحث تحليل الإكسيري لمجموعة توليد بخارية في محطة توليد بانياس الحرارية استطاعتها الإسمية 170MW، بهدف زيادة مردودها. وتمت مقارنة نتائج المردود الحراري مع المردود الإكسيري بهدف إظهار أن تحليل الإكسيري يمكن أن يؤدي إلى دراسة إمكانية تحسين أداء المحطة. قمنا بتحديد المصادر الرئيسية لضياع الطاقة وإفناء (ضياع) الإكسيري في المحطة. و هذه الطريقة تزودنا بالوسائل والطرق التي تؤدي إلى تطوير أداء النظام وتقليل تأثير الوسط المحيط. كما تم انجاز دراسة لبارامترات المحطة التي تظهر كيف يتغير أداء النظام بتأثير عوامل مختلفة. حيث وجد بأن حجرة الاحتراق هي المساهم الرئيسي لإفناء الإكسيري يليها مبادل الحرارة في نظام المرجل.

الكلمات المفتاحية : الطاقة - الإكسيري - مردود الطاقة - مردود الإكسيري - ضياعات الطاقة - ضياعات الإكسيري - محطة الطاقة.

* استاذ في قسم القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
** طالبة ماجستير - قسم آلات حرارية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Increasing steam power plant efficiency through exergy Analysis

Dr.Ayoub Hasan*
Afraa.A.Halloum**

(Received 18 / 2 / 2018. Accepted 2 / 10 / 2018)

□ ABSTRACT □

This study dealt with the exergy analysis of the steam generating station at Banias thermal power plant with nominal capacity 170MW, in order to increase their efficiency. The thermal efficiency results were compared with the exergy efficiency to show that the exergy analysis could be valuable for improving the station performance. We have determined the main resources of losses of energy and exergy in the station. This method provides us with the means and methods that lead to the development of the system performance and reduce the impact of the surrounding medium. A study of station parameters was also completed that show how the performance of the system changes by different factors. Where it was found that the combustion chamber is the main contributor of the exergy destroy followed by the heat exchanger of the boiler system.

Keywords:

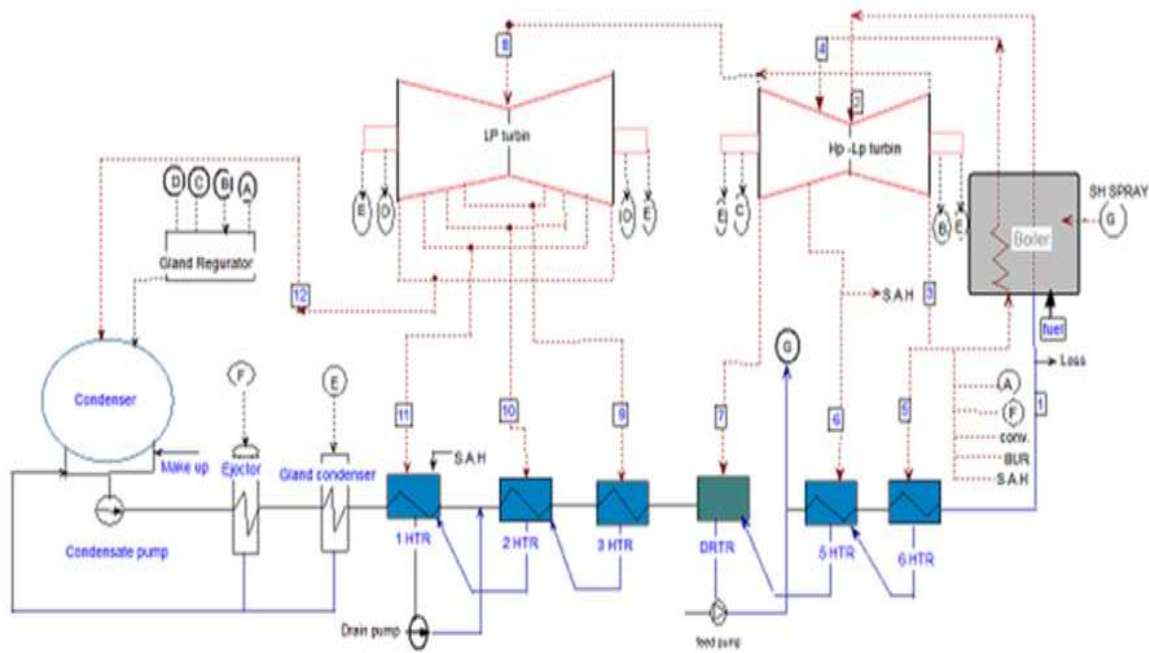
Energy – Exergy –Energy efficiency –Exergy efficiency – losses of Energy -Exergydestroy – Power plant.

*Professor, Department of Mechanical forces Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia –Syria.

**Master's Student Department of Thermo Machines, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia –Syria.

مقدمة:

يعتمد إنتاج الطاقة العالمي بشكل كبير على الوقود الأحفوري. ومعظم محطات توليد الطاقة العالمية ترتبط بالوقود الأحفوري، خصوصاً الفحم والغاز الطبيعي والفيول. بالرغم من تطور تجهيزات الطاقة المتجددة مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية، فمن المتوقع أن يستمر الاعتماد على الوقود الأحفوري بشكل كبير. بالرغم من أن المصادر المتجددة أكثر نظافة ويمكن تطويرها بشكل أسرع ولكن لا يمكن تخفيض كلفتها النسبية وعدم إمكانية وضعها حالياً في التطبيقات بحيث يمكن أن تخفض اعتمادنا بشكل ملحوظ على الوقود الأحفوري لتوليد الطاقة. وبسبب الاعتماد المستمر على الوقود الأحفوري، من الهام تقليل الأثر البيئي لمحطات الوقود الأحفوري بواسطة تشغيل أكثر فاعلية. [1] إن الطريقة الأكثر استخداماً لتقييم كفاءة عملية تحويل الطاقة هي التحليل بالاعتماد على القانون الأول في الترموديناميك. إلا أن الاهتمام المتزايد في الاستخدام المشترك للقانونين الأول والثاني للترموديناميك، حيث يعتمد على استخدام مفاهيم الإكسيرجي (الطاقة المتاحة والمتوفرة) وتوليد الأنتروبي، واللاعكوسية (إفناء الإكسيرجي) لتقييم الكفاءة والطاقة المتوفرة المستهلكة. يسمح تحليل الإكسيرجي للترموديناميك بتقييم حفظ الطاقة، لأنه يزود بالأداة لتوضيح الفارق بين ضياعات الطاقة إلى الوسط المحيط واللاعكوسية الداخلة في العملية. [2] وتعتبر محطة توليد بانيناس الحرارية مثلاً جيداً لاستخدام تحليل الإكسيرجي وفقاً للشكل (1).



الشكل (1) مخطط التدفق لمحطة بانيناس الحرارية.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى تقديم طريقة منهجية لتحليل الإكسيرجي لمحطة بانيناس الحرارية لحساب العمل الصافي ومقارنته مع العمل المقدم طاقياً وإكسيرجياً وحساب المردود الطاقى والإكسيرجي. ودراسة تأثير درجة حرارة الوسط المحيط على

تغير المردود وفق القانون الثاني للترموديناميك. ونمذجة المعادلات الرياضية المستخدمة في الحسابات الحرارية باستخدام أحد البرامج الهندسية.

تأتي أهمية البحث من خلال المساهمة في تقديم طريقة منهجية لتحديد المواقع التي يحدث فيها ضياعات أو مفاهيم الإكسيري وتصنيفها وترتيبها حسب الأهمية باستخدام برنامج EES الحراري بحيث يعطي إمكانية لدراسة أي محطة واقترح الطرق لتوجيه هذه الضياعات.

منهجية البحث و مراحلها:

اعتمد في هذا البحث على المنهج التحليلي لدراسة محطة بانياس الحرارية حيث تم إتباع المراحل التالية لإنجازه:

1. الحساب الطاقوي والإكسيري للمحطة بحيث نقوم بدراسة الوحدة الثالثة من المحطة البخارية التي تنتج 170 MW.

2. دراسة كل مكون من مكونات المحطة طاقياً وإكسيريياً.

3. نمذجة المعادلات على برنامج EES الحراري وتقييم الضياعات في كل مكون.

4. دراسة عمل المحطة إكسيريياً عند حمولات مختلفة.

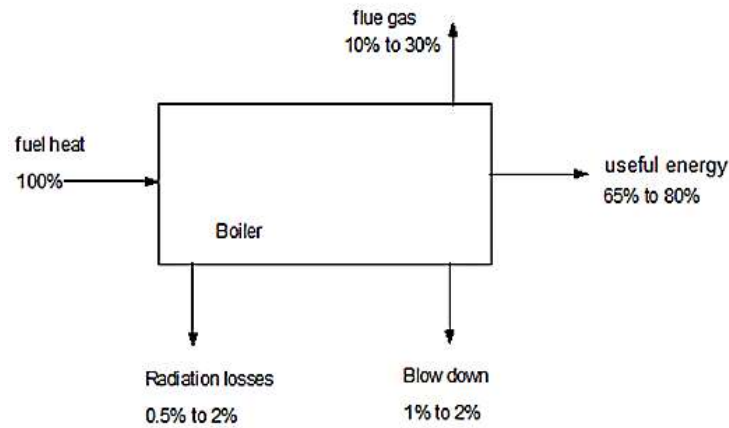
5. دراسة تأثير درجة حرارة الوسط المحيط على مردود المحطة.

6. اقتراح طرق لتقليل الضياعات في المحطة .

الدراسة الحرارية :

حساب المرجل :

تتم في المرجل عملية الاحتراق ونقل الحرارة إلى البخار وتحميصه. يتم فقد كمية كبيرة من الطاقة من خلال غازات المدخنة، حيث لا يمكن نقل كامل الحرارة الناتجة عن الوقود إلى البخار أو الماء في المرجل. [2] كما أن درجة حرارة غازات المدخنة تتراوح بين 150-250°C حيث يتم فقد حوالي 10-30% من الطاقة الحرارية من خلال غازات المدخنة. يظهر الشكل (2) التوازن الطاقوي النموذجي في المرجل.



الشكل (2) توازن الطاقة في المرجل

- حساب كمية الحرارة المقدمة في المرجل :

الوقود المستخدم في محطة بانياس هو زيت الوقود الثقيل (fuel oil)، المصدر مديرية التخطيط في محطة بانياس.

تعطى كمية الحرارة المقدمة في المرجل بالعلاقة: [3],[4]

$$\dot{Q}_b = (\dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_1 h_1) + \dot{m}_3 (h_4 - h_3) \quad (1)$$

يعطى مردود المرجل بالعلاقة :

$$\eta_b = \frac{\dot{Q}_b}{\dot{Q}_f} \quad (2)$$

- النظام الفرعي للمرجل :

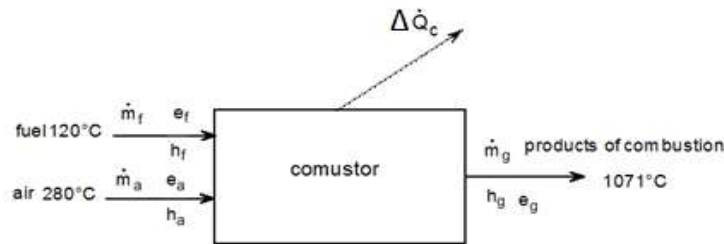
تحدد ضياعات الطاقة (ΔQ) لمكونات النظام الفرعي باستخدام معادلات توازن الطاقة وفق القانون الأول وتحسب ضياعات الإكسيريبي بشكل مشابه من معادلات توازن الإكسيريبي وفق القانون الثاني: [3],[4]

- حجرة الاحتراق :

يبين الشكل (3) توازن الطاقة والإكسيريبي لحجرة الاحتراق.

معادلة توازن الإكسيريبي لحجرة الاحتراق:

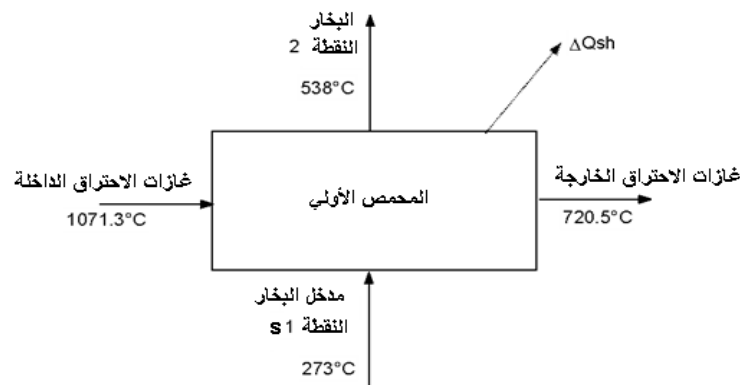
$$\dot{m}_f * (e_f - e_g) + \dot{m}_a * (e_a - e_g) = \dot{I}_c \quad (3)$$



الشكل (3) توازن الطاقة والإكسيريبي في حجرة الاحتراق.

- حساب المحمصات :

تتضمن مسخنات المحطة المسخنات السطحية والمسخنات ذات الحواجز ومسخنات الحمل [4]. إن توازن الطاقة والإكسيريبي للمسخنات يظهره المخطط الكتلتي في الشكل (4). والمعادلات المستخدمة في تحليل المسخنات هي :
 أولاً: المحمص الأولى: مبين في الشكل (4) يقوم بتحميم البخار قبل دخوله إلى العنفة. درجة حرارة البخار عند مدخل العنفة 538°C .



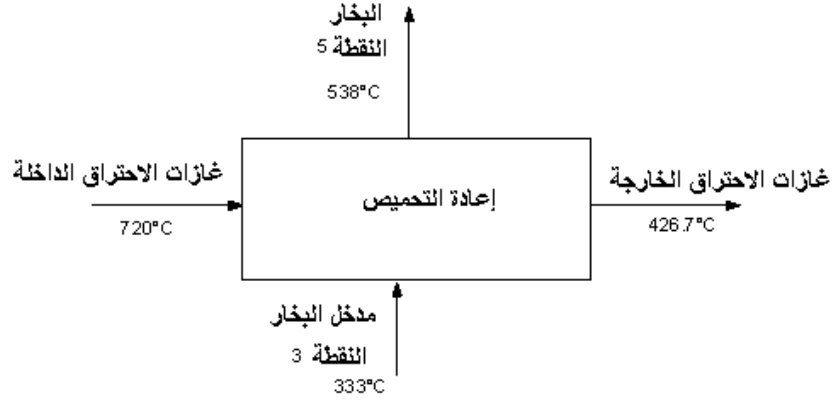
الشكل (4) المحمص الأولي

ومعادلة توازن الإكسيريبي :

$$\dot{m}_g(e_{g1} - e_{g2}) + \dot{m}_s(e_{s1} - e_{s2}) - \dot{E}_{Q_{SH}} = \dot{I}_{SH} \quad (4)$$

ثانياً: المحمص الثانوي :

تصل درجة حرارة الغازات عند مدخل إعادة التحميص إلى 720°C حيث يتم الاستفادة من حرارتها في رفع درجة حرارة البخار إلى 538°C . المصدر مديرية التخطيط في محطة بانياس الحرارية.



الشكل (5) المحمص الثانوي.

ومعادلة توازن الاكسيرجي :

$$\dot{m}_g(e_{g2} - e_{g3}) + \dot{m}_3(e_3 - e_5) - \dot{E}_{QRH} = \dot{I}_{RH} \quad (5)$$

حيث يحدث ضياع الحرارة عند درجة الحرارة 65°C .

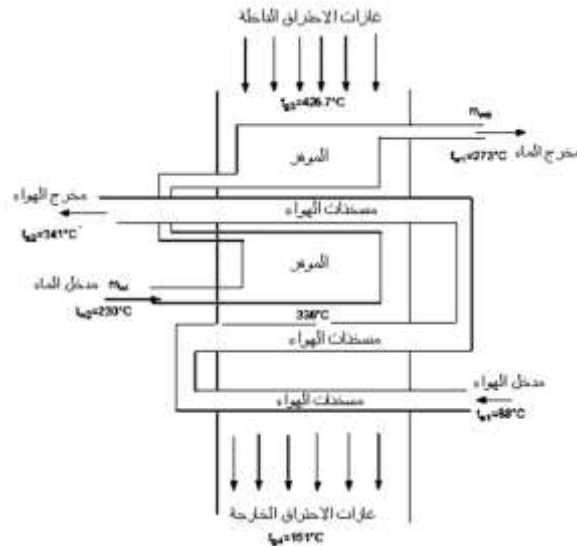
- نظام استرجاع الحرارة :

يتألف نظام استرجاع الحرارة من موفرين وثلاث مسخنات هواء كما في الشكل (6). المصدر مديرية التخطيط في محطة توليد بانياس.

معادلة توازن الإكسيرجي :

$$\dot{m}_g(e_{gi} - e_{go}) + \dot{m}_w(e_{wi} - e_{wo}) + \dot{m}_a(e_{ai} - e_{ao}) = \dot{I}_{HE} \quad (6)$$

حيث تظهر ضياعات الطاقة الحرارية من النظام عند الدرجة 40°C .



الشكل (6) توزيع درجات الحرارة في نظام استرجاع الحرارة.

- النظام الفرعي للمرجل الإجمالي :

تحسب ضياعات المرجل الإجمالية. وبحسب مردود الطاقة للمرجل من هذه الضياعات . تحدد ضياعات ومردود الإكسيري باستخدام المعادلات التالية: [3]

يعطى ضياع الطاقة الكلي في المرجل بالعلاقة:

$$\Delta \dot{Q}_B = \Delta \dot{Q}_C + \Delta \dot{Q}_{SH} + \Delta \dot{Q}_{RH} + \Delta \dot{Q}_{HE} \quad (7)$$

يعطى إفاءة (ضياع) الإكسيري الكلي في المرجل:

$$\dot{m}_f(e_f - e_{g4}) + \dot{m}_a(e_a - e_{g4}) + \dot{m}_1(e_1 - e_{s1}) + \dot{m}_3(e_3 - e_5) - \dot{E}_{Q_B} = \dot{I}_B \quad (8)$$

علاقة المردود الإكسيري للمرجل :

$$\eta_{II B} = 1 - \left(\frac{\dot{I}_B}{\dot{E}_f + \dot{E}_a + \dot{E}_1 + \dot{E}_3} \right) \quad (9)$$

نظام دارة البخار:

يتألف نظام دارة البخار من العنفة والمكثف ومسخنات ماء التغذية ومضخة ماء التكاثف الرئيسية ومضخة ماء التغذية [4],[5].

- العنفة البخارية :

حساب العنفة :

معادلة توازن الاكسيري: [7]

$$\dot{m}_2 e_2 + \dot{m}_5 e_5 - \dot{m}_3 e_3 - \dot{m}_4 e_4 - \dot{m}_6 e_6 - \dot{m}_7 e_7 - \dot{m}_9 e_9 - \dot{m}_{10} e_{10} - \dot{m}_{11} e_{11} - \dot{m}_{12} e_{12} - \dot{W}_T - \dot{E}_{Q_T} = \dot{I}_T \quad (10)$$

مردود الإكسيري للعنفة:

$$\eta_{III T} = \frac{\dot{W}_T}{(\dot{E}_2 - \dot{E}_3) + (\dot{E}_5 - \dot{E}_6 - \dot{E}_7 - \dot{E}_8 - \dot{E}_{10} - \dot{E}_{11} - \dot{E}_{12})} \quad (11)$$

- المكثف :

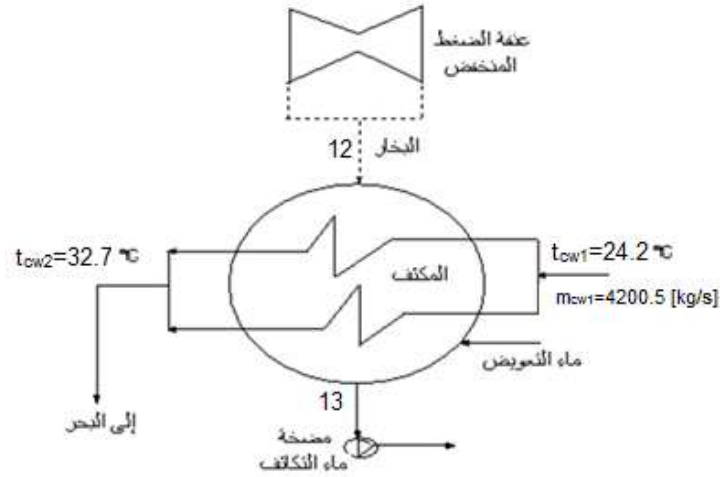
حسب القانون الثاني للترموديناميك يجب أن تقع الآلة الحرارية (العنفة) بين منبعين الأول حار ويسوده ضغط عالٍ والثاني بارد ويسوده ضغط منخفض. وكلما كان الفرق كبير يزداد العمل الذي تنتجه العنفة. وهذا يعني أن ضغط المكثف يجب أن يكون أقل ما يمكن. ويبين الشكل (7) المكثف في محطة توليد بانياس. يحدث التكاثف تحت ضغط ثابت $P=0.0507[\text{bar}]$ البخار الخارج من العنفة يدخل إلى المكثف عند درجة حرارة 33°C .

معادلة توازن الإكسيري:

$$\dot{m}_{12}(e_{12} - e_{13}) + \dot{m}_{cw}(e_{cw1} - e_{cw2}) - \dot{E}_{Q_{con}} = \dot{I}_{con} \quad (12)$$

مردود الإكسيري للمكثف :

$$\eta_{II con} = \frac{\dot{E}_{13} + \dot{E}_{cw2}}{\dot{E}_{12} + \dot{E}_{cw1}} \quad (13)$$

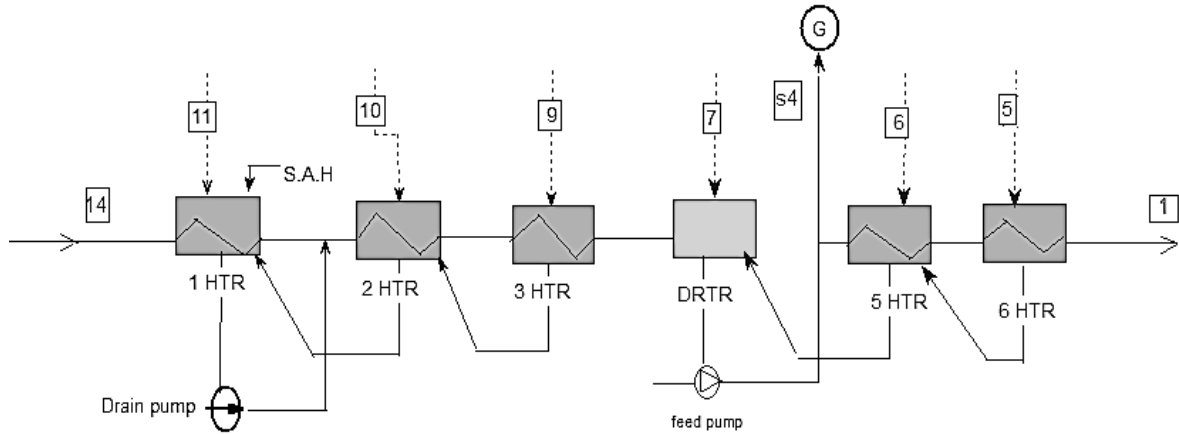


الشكل (7) المكثف.

المصدر مديرية التخطيط في محطة توليد بانياس

مسخنات ماء التغذية:

تتكون محطة توليد بانياس الحرارية من ثلاث مسخنات ضغط منخفض وثلاث مسخنات ضغط عالي. يظهر الشكل (8) توازن الطاقة والإكسيرجي من أجل جملة المسخنات. المصدر مديرية التخطيط في محطة توليد بانياس.



الشكل (8) مسخنات ماء التغذية.

معادلة توازن الإكسيرجي :

$$\dot{m}_{14}e_{14} + \dot{m}_5e_5 + \dot{m}_6e_6 + \dot{m}_7e_7 + \dot{m}_9e_9 + \dot{m}_{10}e_{10} + \dot{m}_{11}e_{11} - \dot{m}_1e_1 - \dot{m}_{s4}e_{s4} - \dot{E}_{QFWH} = \dot{I}_{FWH} \quad (14)$$

يحدث ضياع الحرارة من النظام عند درجة حرارة متوسطة 30°C يهمل ضياع الطاقة والإكسيرجي في غلاف مبرد البخار وفاصل الغازات بسبب ضآلة الكمية. [6]

مردود الإكسيرجي للمسخنات:

$$\eta_{IIHeaters} = \frac{\dot{E}_1 - \dot{E}_{14}}{\dot{E}_5 + \dot{E}_6 + \dot{E}_7 + \dot{E}_9 + \dot{E}_{10} + \dot{E}_{11} - \dot{E}_{fp1}} \quad (15)$$

- مضخة ماء التكاثف:

تمثل المعادلات التالية توازن الطاقة والإكسيرجي لمضخة انتزاع مياه التكاثف :

معادلة توازن الإكسيرجي :

$$\dot{m}_{13}(e_{13} - e_{14}) + \dot{W}_{cep} = \dot{I}_{cep} \quad (16)$$

حيث يحدث ضياع الحرارة من المضخة عند درجة حرارة الوسط المحيط.

مردود الإكسيرجي للمضخة:

$$\eta_{IIcep} = \frac{E_{13} - E_{14}}{W_{cep}} \quad (17)$$

مضخة ماء التغذية:

معادلة توازن الإكسيرجي :

$$\dot{m}_2(e_{fp1} - e_{fp2}) + \dot{W}_{fp} = \dot{I}_{fp} \quad (18)$$

مردود الإكسيرجي للمضخة:

$$\eta_{IIfp} = \frac{E_{fp1} - E_{fp2}}{W_{fp}} \quad (19)$$

تحليل الإكسيرجي لمحطة الطاقة الكلية :

معادلة توازن الطاقة للمحطة :

$$\dot{m}_f h_f + \dot{m}_a h_a + \dot{m}_{cw1} h_{cw2} + \dot{m}_g h_g - \dot{m}_{cw2} h_{cw2} - \dot{W}_{net} = \Delta \dot{Q}_{plant} \quad (20)$$

معادلة توازن الإكسيرجي لمحطة :

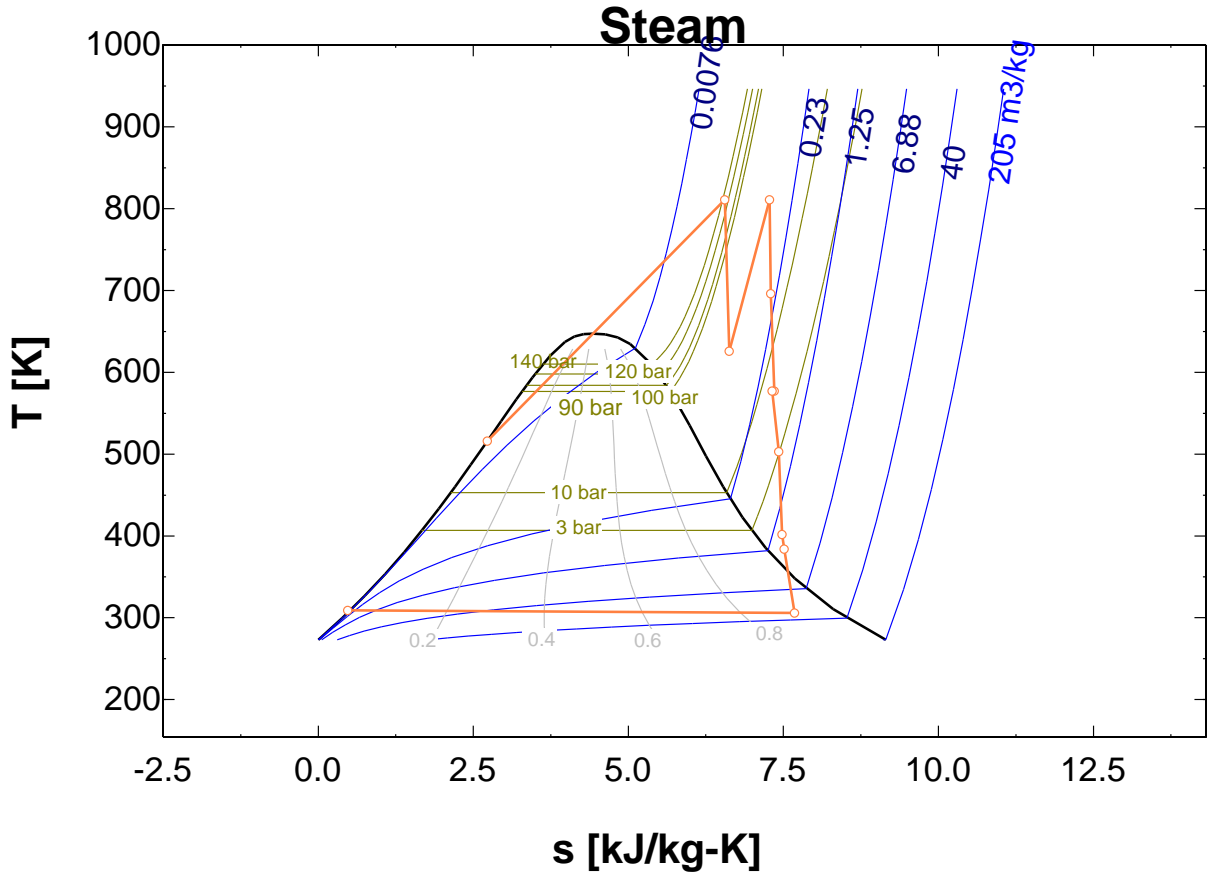
$$\dot{m}_f(e_f - e_g) + \dot{m}_a(e_a - e_g) + \dot{m}_{cw1}(e_{cw2} - e_{cw2}) - \dot{W}_{net} - \dot{E}_{Qplant} = \dot{I}_{plant} \quad (21)$$

حيث يحدث ضياع الحرارة من المحطة بشكل وسطي عند 45°C [7].

مردود الإكسيرجي للمحطة:

$$\eta_{IIPlant} = 1 - \frac{I_{plant}}{E_f} \quad (22)$$

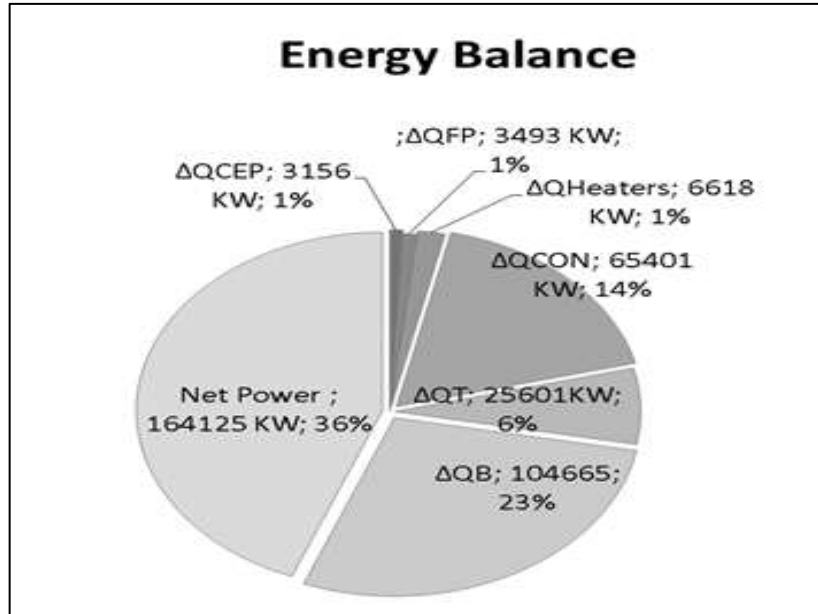
يبين الشكل (9) النقاط المميزة للمحطة على مخطط (T-S).



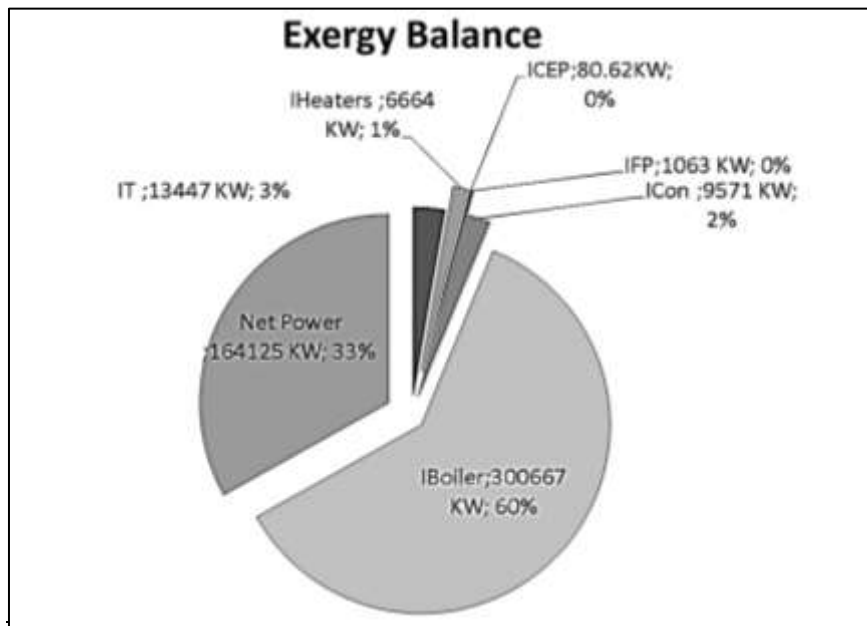
الشكل (9) النقاط المميزة للدائرة على مخطط (T-S)

النتائج والمناقشة:

تم استخدام بيانات التشغيل لمكونات المحطة مثل حجرة الاحتراق، المحمصات، الموفر، مسخنات الهواء، العنفة، المكثف، مسخنات ماء التغذية، مضخة ماء التغذية، ومضخة ماء التكاثف لتحليل الإكسيرجي باستخدام المعادلات الواردة سابقاً. تم توضيح توازن الطاقة في الشكل (10) وتوازن الإكسيرجي في الشكل (11). بالمقارنة بين ضياعات الطاقة وضياعات الإكسيرجي، نلاحظ أن أعظم ضياعات للطاقة تحدث في المرجل. حيث تبين أن 14% من الطاقة تضيع في المكثف، و 23% منها تضيع في المرجل، و فقط 36% تتحول إلى طاقة صافية مفيدة، ولتحديد مواقع إفاءة (ضياع) الإكسيرجي وتحديد تلك الضياعات في المحطة، من الملاحظ أن نسبة إفاءة (ضياع) الإكسيرجي في المرجل هو المسيطر على اللانعكاسيات الأخرى في المحطة، ويمثل 60% من الضياعات في الدارة، هذا يدل على أن التفاعل الكيميائي يعتبر مصدراً مرتفعاً للانعكاسية، بينما نسبة إفاءة (ضياع) الإكسيرجي لمضخة مياه التكاثف ومضخة مياه التغذية هي 1% فقط من إفاءة (ضياع) الإكسيرجي الكلي. من ناحية أخرى تبين أن 3% فقط من إفاءة (ضياع) الإكسيرجي يحدث في نظام العنفة.



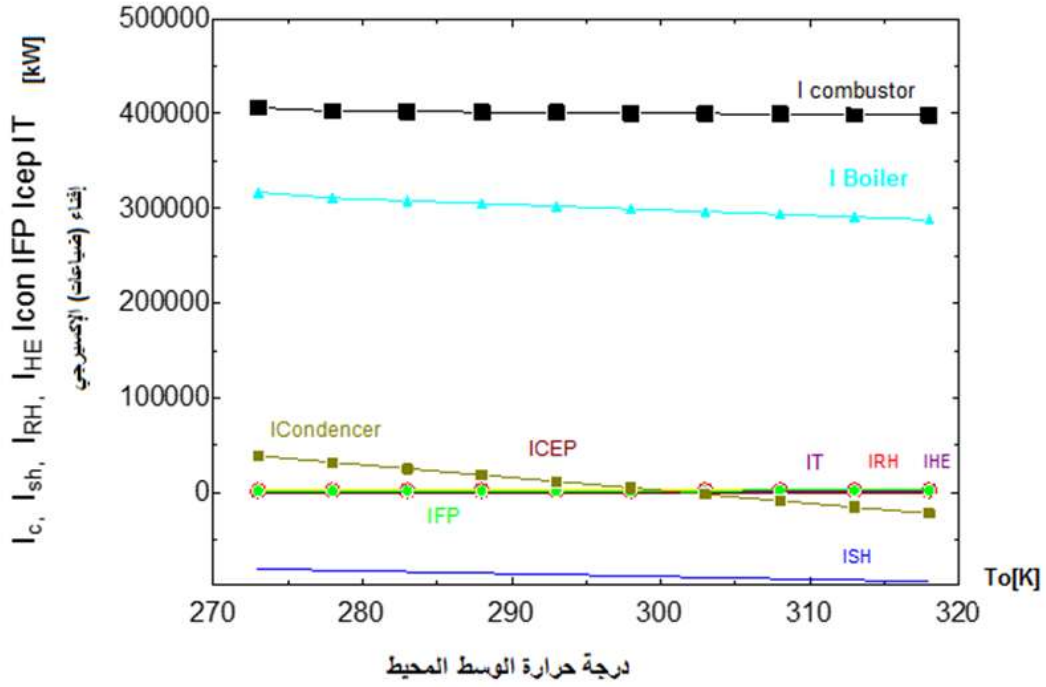
الشكل (10) توازن الطاقة.



الشكل (11) توازن الإكسيرجي.

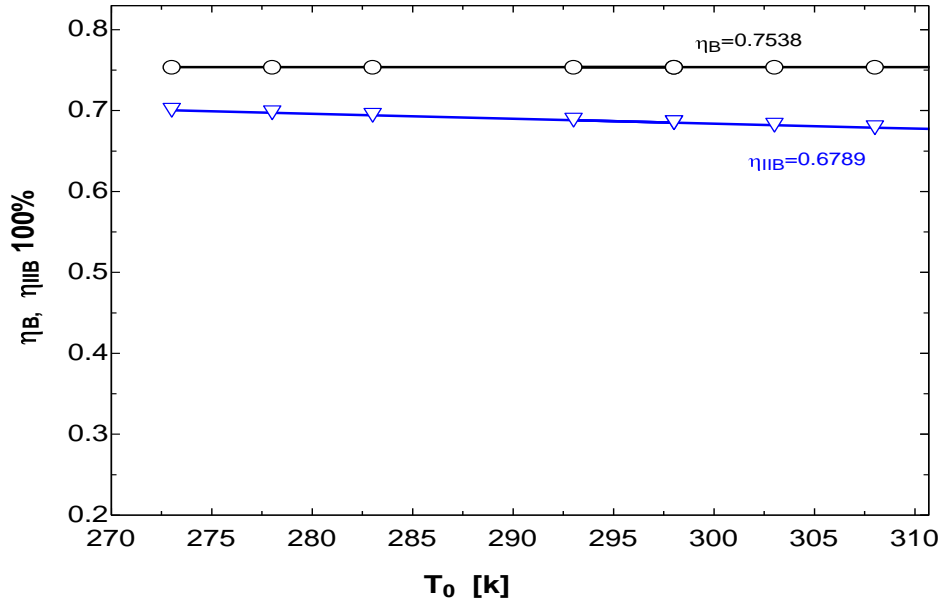
- تأثير درجة حرارة الوسط المحيط على مردود المحطة الحرارية:

يوضح الشكل (12) إفاءة الإكسيرجي للمكونات المختلفة للدارة، بتأثير درجة حرارة الوسط المحيط، ونلاحظ أن أعظم ضياعات تحدث في حجرة الاحتراق. كما نلاحظ أن إفاءة (ضياع) الإكسيرجي لمحمص البخار سالب أي لا يوجد ضياع في الإكسيرجي بل بالعكس يوجد زيادة للإكسيرجي في محمص البخار. وإفاءة الإكسيرجي للمكثف يتناقص بزيادة درجة حرارة الوسط المحيط.

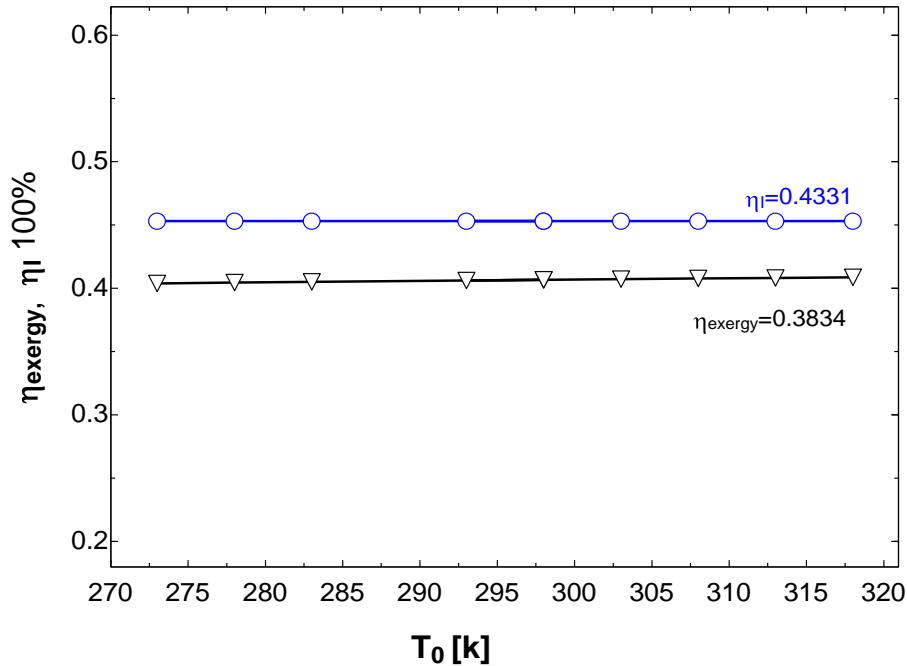


الشكل (12) عدم العكوسية لمكونات المحطة عند درجات حرارة مختلفة للوسط المحيط.

يظهر الشكل (13) تأثير درجة حرارة الوسط المحيط على كفاءة الطاقة والإكسيري للمرجل. نلاحظ انخفاض كفاءة الإكسيري للمرجل بزيادة درجة حرارة الوسط المحيط. بينما لا تتأثر كفاءة المرجل الحرارية بدرجة حرارة الوسط المحيط. ويظهر الشكل (14) تأثير درجة حرارة الوسط المحيط على كفاءة الطاقة والإكسيري لمحطة الطاقة عند ثبات ضغط المكثف. كما هو واضح، كفاءة الطاقة ثابتة عند استخدام ضغط ثابت في المكثف.

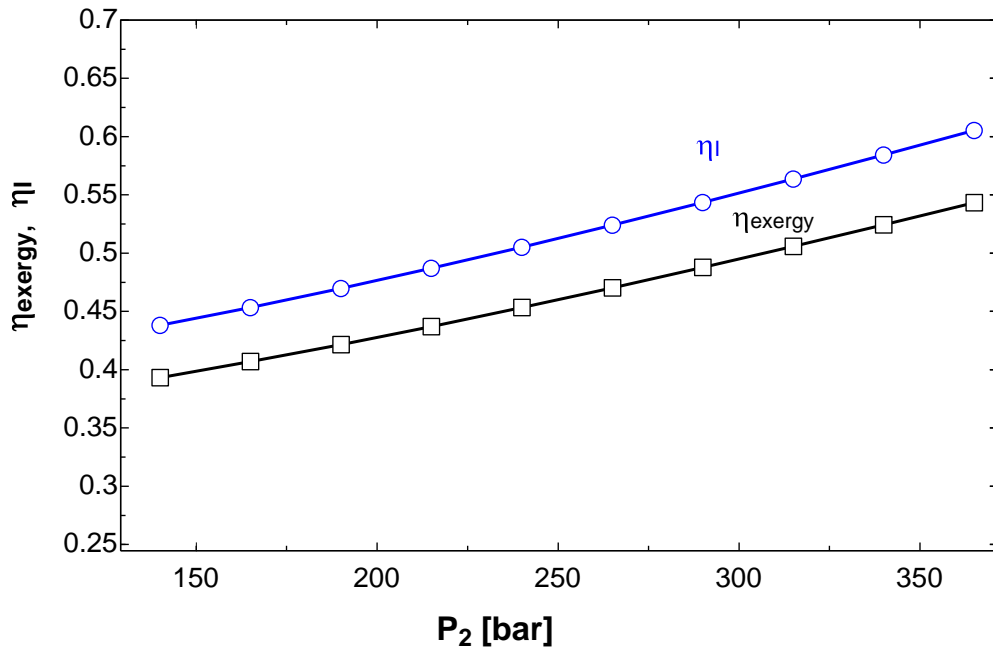


الشكل (13) تأثير درجة حرارة الوسط المحيط على مردود المرجل.

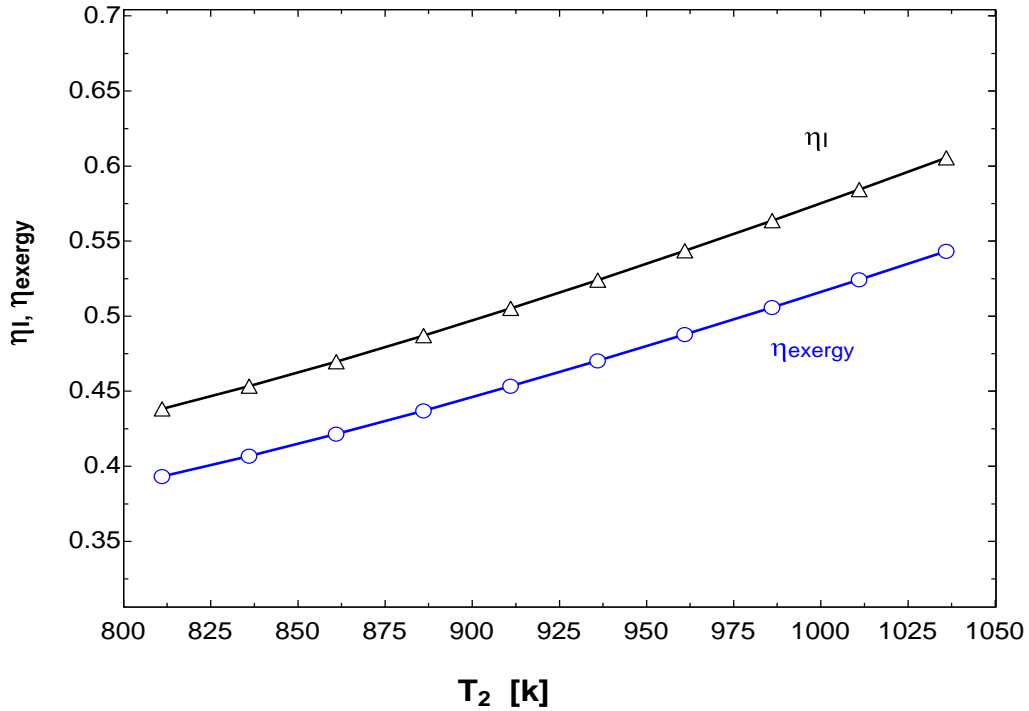


الشكل (14) تأثير درجة حرارة الوسط المحيط على المردود بثبات ضغط المكثف.

يبين الشكل (15) والشكل (16) تأثير ضغط البخار ودرجة الحرارة عند مدخل العنفة على المردود الطاقوي والاكسيرجي للمحطة. من الملاحظ زيادة المردود مع زيادة بارامترات البخار المحمص. إن زيادة ضغط ودرجة حرارة البخار في الدارة سوف تؤدي إلى مردود طاقة أعلى من أجل نفس نسبة تدفق الكتلة للبخار والوقود الداخل إلى المرجل. وبذلك يمتلك البخار محتوى إكسيريجي / طاقة أعلى، يؤدي إلى مردود عمل أعلى للعنفة .



الشكل (15) تأثير درجة حرارة البخار عند مدخل العنفة الضغط العالي على مردود المحطة.



الشكل (16) تأثير درجة حرارة البخار عند مدخل عنفة الضغط العالي على مردود المحطة.

الاستنتاجات والتوصيات:

تم التوصل من خلال الدراسة السابقة إلى الاستنتاجات والتوصيات التالية:

1. إن استخدام مسخنات مياه التغذية يرفع درجة حرارة مياه التغذية قبل المرجل إلى 300°C بدلاً من 243°C وهذا يقلل من كمية الحرارة اللازمة إضافتها في المرجل بحدود 19.4%. يظهر ذلك بأن تحسين تأثير انتقال الحرارة وبنسبة قليلة يؤدي إلى تخفيض استهلاك الوقود بنسبة 10%، وتخفيض تكاليف تشغيل محطة الطاقة.
2. يحدث ضياع الإكسيرجي الأعظمي في المرجل بنسبة 87.88% من ضياع الإكسيرجي الكلي وهذه الضياعات تظهر في غازات الاحتراق الخارجة من المرجل يمكن الاستفادة منها في تسخين مياه التغذية عن طريق مبادلات حرارية قبل المدخنة.
3. إن التصميم الجيد لمسخنات مياه التغذية وفاصل الغازات يزيد ويشكل ملحوظ من أداء الطاقة.
4. كما أن تحسين احتراق الوقود يمكن أن يساهم في تحسين أداء النظام والمرجل.
5. إن استهلاك التجهيزات الملحقة بالمحطة تعتبر استهلاك إضافي والتقليل منها يؤدي إلى زيادة مردود النظام بشكل عام.

التوصيات:

1. اقتراح إضافة مبادلات حرارية لتسخين المياه من غازات الاحتراق قبل خروجها إلى الوسط المحيط.
2. عزل المرجل بمواد أكثر فاعلية مما يقلل من الضياعات الحرارية بالحمل والإشعاع.

المراجع:

- 1- REEGULAGADDA, P.; DINCER, I.; NATERER, G.F. "Exergy analysis of a thermal power plant with measured boiler and turbine losses", 2010, pp.976-970.
- 2- A. BEJAN, "Fundamentals of Exergy Analysis, Entropy Generation Minimization, and the Generation of Flow Architecture". International Journal of Energy Research, Vol. 26, No.7, 2002, pp. 545-565
- 3- د. حسن، أيوب، الترموديناميك² – منشورات جامعة تشرين، 2013-2014. 521-599.
- 4- د. حسن، أيوب، انتقال الحرارة والكتلة. سوريا: منشورات جامعة تشرين. 2006
- 5- د. عطا بطل، محمد. تصميم واستثمار العنفات البخارية. سوريا: منشورات جامعة حلب.
- 6- SAIDURE, R.; AHMAD, J.U.; MASJUKI, H.H. *Energy, exergy and economic analysis of industrial boilers*. Energy Policy, 2010, pp. 2188-2197.
- 7-GANAPATHY, T.; ALAGUMUTHI, N.; GAAKKAR, R.P.; MURUGESAN, K. "Exergy Analysis of operating lignite fired thermal power plant", Journal of Engineering science and Technology Review 2 (1), India, 2009, pp.123-130
- 8-A. RASHAD; A. El MAIHY. *Energy and Exergy of steam power plant Egypt*, 13th International Conference on Aerospace Sciences & Aviation Technology, Egypt, (2). 2009.
- 9- P. PEERAPONG; B. L. CHOKOCHAI. "Exergetic and Thermo economic Analyses of the Rice-Husk Power Plant in Thailand", Journal of Metals, Materials and Minerals, 2009, pp.9-14
- 10-C. BOREKWAMBAI, "Exergy analysis of Olkaria I power plant, Kenya" geothermal training program, 2005.
- 11- A. EHSAN, M. ZEKI YILMAZOGLU. "Design and Exergy Analysis of a Thermal Power Plant Using Different Types of Turkish Lignite". 2011, 125-133
- 12- V. AMIR. "Improving Steam Power Plant Efficiency Through Exergy Analysis: Ambient Temperature ". 2nd International Conference on Mechanical, Production and Automobile. " Engineering (ICMPAE'2012) Singapore, April, 2012, 28-29.
- 13- برنامج EES الحراري. 2011.