

## تأثير تشغيل المراجل البخارية عند الحمولات الجزئية على المردود و التآكل

الدكتور أحمد سلامة\*

الدكتور هيثم حسن\*\*

(تاريخ الإيداع 5 / 4 / 2012. قُبل للنشر في 28 / 5 / 2012)

### □ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى دراسة تقليل تآكل مسخنات الهواء في المراجل البخارية التي تعمل عند الحمولات الجزئية، وزيادة مردودها، من أجل ذلك تمت دراسة عمل مرجلين: يحوي الأول ثلاثة مسخنات لهواء الاحتراق، بينما يحوي الثاني مسخينين. أظهرت النتائج تآكلاً فعالاً في مسخنات هواء المرجل الأول بينما كان مردوده أعلى من مردود المرجل الآخر، الذي كان تآكل مسخنات الهواء فيه أقل. كما أظهر هذا البحث أن المحافظة على درجة حرارة لغازات العادم أعلى من نقطة الندى لحمض الكبريت عن طريق إنقاص سطح التبادل الحراري لمسخن الهواء الأول حتى  $1900\text{m}^2$  تؤدي إلى تخفيض التآكل في المسخن الأول، و زيادة مردود المرجل بحوالي 2% وتخفيض استهلاك الوقود بنسبة 2% .

الكلمات المفتاحية: مردود المرجل-الحمولات الجزئية،- مسخنات الهواء- التآكل.

\* مدرس -رئيس قسم هندسة التصميم و الإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية - جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

\*\* مدرس\_ قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية - جامعة البعث - حمص - سورية.

## The influence of Steam Boilers operating at partial loads on efficiency and corrosion

Dr.Ahmad Salamah<sup>\*</sup>  
Dr.Haitham Hasan<sup>\*\*</sup>

(Received 11 / 11 / 2011. Accepted 9 / 5 / 2012)

### □ ABSTRACT □

This research aims to study the reduction of air heaters' corrosion in steam boilers that work at partial loads, and to increase their efficiency. Therefore, the work of two boilers were studied: the first one contains three air heaters, while the other one contains two.

The results showed an active corrosion in air heaters of the first boiler; however, its efficiency was higher than that of the other boiler, in which the air heaters showed lower corrosion. This research also showed that maintaining the exhaust gases temperature above the dew point of sulfuric acid by decreasing the heat exchange surface of the first air heater up to 1900m<sup>2</sup> will lead to corrosion reduction in the first heater, increasing the boiler efficiency almost 2% and reducing the fuel consumption 2% .

**Key Word:** Boiler efficiency, partial loads, air heaters, corrosion.

---

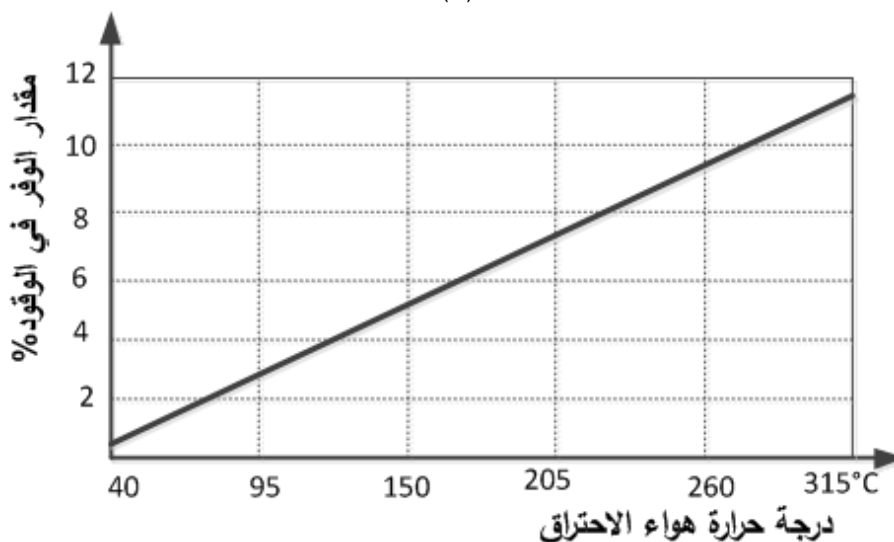
<sup>\*</sup> Assistant Professor ,Department of Design and Production, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering , Tishreen University , Syria

<sup>\*\*</sup> Assistant Professor ,Department of Mechanical Power Engineering , Faculty of Mechanical and Electrical Engineering , Al-Baath University , Homs - Syria

**مقدمة:**

تعدّ المراحل في محطات الطاقة البخارية منشآت معقدة وظيفتها تحويل الطاقة الكيميائية للوقود إلى طاقة حرارية ذات مستوى عالٍ تتمثل بالبخار، الذي يدير العنفة البخارية التي تدير بدورها المولدة الكهربائية. تعمل المراحل البخارية عادة ضمن مجال واسع للاستطاعة، وتعطي أفضل مردود عندما تعمل عند الشروط الاسمية، ويهبط مردود المراحل عموماً إذا عملت عند شروط مخالفة لذلك [7] [8]، كما يؤثر ذلك في أدائها، إذ يتم التعبير عن أداء المراحل البخارية بطرق عديدة، غير أن المردود واستهلاك الوقود يعدّان من الصيغ الأكثر شيوعاً في تحديد أداء عملها [5]، والتي تعتمد على تصميمها وطريقة تشغيلها ونوع الوقود المستخدم فيها. كما أن ذلك قد يؤدي إلى حدوث تآكل واهتراء لأجزاء المراحل خصوصاً التآكل عند درجات الحرارة المنخفضة، وتعدّ مسخنات هواء الاحتراق العنصر الأكثر تعرضاً لهذا النوع من التآكل [3].

يتم عادة تسخين هواء الاحتراق في المراحل البخارية عن طريق مبادلات حرارية (مسخنات الهواء) تعمل على استنزاف حرارة غازات العادم من أجل تحسين مردود الاحتراق [11] [1] الذي يؤدي بدوره إلى زيادة المردود الكلي للمرجل وتخفيض استهلاك الوقود [10] كما يبين الشكل (1).



الشكل (1) مقدار الوفر في الوقود اعتماداً على درجة حرارة تسخين هواء الاحتراق في مولد البخار. من جهة ثانية تشكل مؤشرات الوثوقية عوامل هامة في المحافظة على الشروط الاستثمارية العالية لعمل المراحل، إذ تؤثر الفترات الزمنية اللازمة للصيانة الدورية والطائرة سلباً على ذلك، ويحمل هذا الأمر أهمية كبيرة بالنسبة لمحطات الطاقة الكهربائية إذ يستهلك الإنتاج في لحظة التوليد نفسها [2].

**أهمية البحث وأهدافه:**

تعدّ زيادة مردود المراحل البخارية هدفاً عاماً يسعى إليه المصممون والمستثمرون لهذه المنشآت، مع المحافظة على نفقات الصيانة والاستثمار ضمن الحدود المقبولة، والسعي الدائم إلى زيادة موثوقية استثمار عمل هذه المنشآت، لذلك نسعى في هذا البحث إلى زيادة مردود المراحل البخارية العاملة في مصافي تكرير النفط التي تعمل عند حمولات جزئية عن طريق تخفيض استهلاك الوقود في ظل ارتفاع سعر المنتجات النفطية، كما سنبحث في كيفية التخفيف من

تآكل مسخنات الهواء عند درجات الحرارة المنخفضة عن طريق المحافظة على درجة حرارة لغازات العادم تحد من الضياعات الحرارية وتخفف من عملية التآكل في آن واحد.

أي ينبغي البحث عن علاقة بين درجة الحرارة الدنيا لمعدن مسخن الهواء من جهة، ودرجة حرارة غازات العادم وصفات الوقود من جهة أخرى، للحصول على مردود جيد للمرجل وعلى تصميم صحيح لا يسبب تآكل المسخن الأول لهواء الاحتراق بسبب تكاثف أبخرة الغازات عند تشكل نقطة الندى، مما يؤدي إلى زيادة موثوقية استثمار وعمل هذه المنشأة عن طريق التقليل من توقفات المراجل من أجل عمليات الصيانة واستبدال الأجزاء المهترئة.

### طريقة البحث ومواده:

إن الطريقة المتبعة في إجراء هذا البحث تعتمد على إجراء مقارنة تحليلية لأداء المراجل البخارية العاملة عند حملات جزئية، التي تملك ثلاث مسخنات هواء والمراجل الأخرى ذات المسخنين التي تم تعديلها في محطات توليد الطاقة الكهربائية الخاصة بمصفاة تكرير النفط لتقليل التآكل الحاصل لها ، إذ يتم مقارنة الميزات الأساس لكلا المرجلين التي تحدد اقتصادية إنتاج الطاقة كاستهلاك الوقود والمردود ومؤشرات الوثوقية بما في ذلك تآكل مسخنات الهواء المستخدمة في كلا المرجلين، كما تم استخدام الموازنة الحرارية لمسخنات الهواء من أجل تحديد مواصفات مسخن جديد لهواء الاحتراق يتلافى سلبيات كلتا الحالتين المدروستين ويلبي متطلبات الاستثمار الجيد من تقليل التوقفات من أجل عمليات الصيانة واستبدال الأجزاء المهترئة بسبب التآكل و تخفيض استهلاك الوقود وزيادة المردود .

### النتائج والمناقشة:

تمت الدراسة على مرجلين من المراجل العاملة في محطات توليد الطاقة الكهربائية الخاصة بمصفاة تكرير النفط في بانياس، حيث الاستطاعة الأسمية لكل مرجل  $120 \text{ ton/h}$  وبتدفق وقود اسمي  $9 \text{ ton/h}$  وذلك لإنتاج بخار محمص درجة حرارته  $500 \text{ C}^\circ$  يستخدم لتوليد  $25 \text{ MW}$  من الطاقة الكهربائية.

غير أن هذه المراجل تعمل عند حملات جزئية مختلفة حسب متطلبات مصفاة تكرير النفط مما ينتج عن ذلك تآكل مسخنات هواء الاحتراق عند درجات الحرارة المنخفضة، ويؤدي إلى اهترائها واستبدال المسخن الأول الذي يدخل إليه هواء الاحتراق أولاً كل ستة أشهر كحد أدنى وستين كحد أقصى، لذلك تم اللجوء لاحقاً إلى الاستغناء عن المسخن الأول لأحد المراجل وأصبح يعمل بمسخنين بدلاً من ثلاثة من أجل تقادي انخفاض درجة حرارة غازات العادم إلى ما دون درجة نقطة الندى، وبالتالي تقليل تآكلها واستبدالها المستمر .

مما نتج عن ذلك اختلاف في ظروف عمل كلا المرجلين لذلك قمنا بمقارنة عمل هذين المرجلين من حيث استهلاك الوقود والمردود ومعدل التآكل، لبيان الاستثمار الأفضل في كلا النوعين.

يتم حساب مردود المراجل البخارية  $\eta_{SG}$  كنسبة بين كمية الحرارة المفيدة  $Q_u$  للمرجل وكمية الحرارة الداخلة إليه  $Q_s$  بالمعادلة (1):

$$\eta_{SG} = \frac{Q_u}{Q_s} = \frac{D (h_s - h_{FW})}{B \cdot L \cdot C \cdot V} \dots\dots (1)$$

حيث:

$Q_u$ : كمية الحرارة المفيدة KJ/Kg

$Q_s$  : كمية الحرارة الداخلة إلى المرجل KJ/Kg

$L.C.V$  : القيمة الحرارية الدنيا للوقود المستخدم KJ/Kg

$B$  : تدفق الوقود ton/h

$h_s$  : إنتالبي البخار المحمص KJ/Kg

$h_{FW}$  : أنتالبي مياه التغذية KJ/Kg

$D$  : كمية البخار المولدة ton/hr

يستخدم الاستهلاك النوعي للحرارة  $C_{qSP}$  والاستهلاك النوعي للوقود  $S_{fC}$  لتقييم عمل محطات الطاقة البخارية

وأدائها [4]:

يحسب الاستهلاك النوعي للحرارة  $C_{qSP}$  بالعلاقة (2):

$$C_{qSP} = 3600 \frac{Q_F}{P_u} = 3600 \frac{m_F \cdot L.C.V}{P_u} \left[ \frac{KJ}{KW - h} \right] \dots (2)$$

حيث:

$Q_F$  : التدفق الحراري الذي يحمله الوقود معه  $\left[ \frac{KJ}{S} \right]$

$P_u$  : الاستطاعة المفيدة لمحطة الطاقة  $[KW]$

$m_F$  : استهلاك الوقود  $\left[ \frac{Kg}{S} \right]$

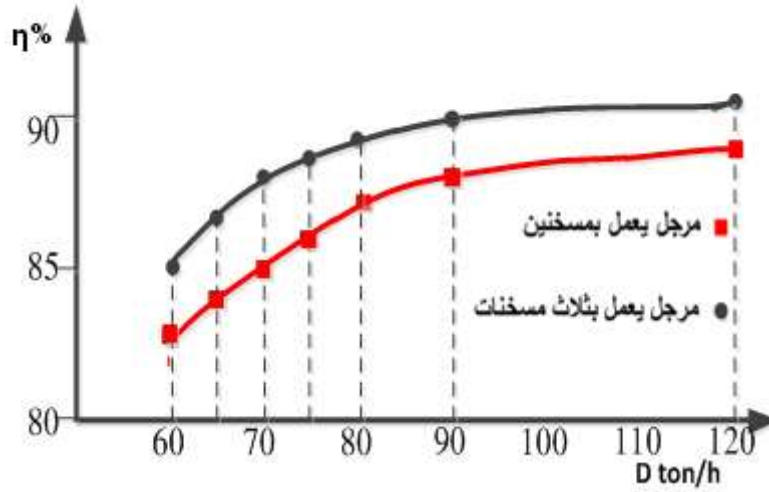
أما الاستهلاك النوعي للوقود  $S_{fC}$  فيحسب بالعلاقة (3):

$$S_{fC} = 3600 \frac{m_F}{P_u} \left[ \frac{Kg}{KW - h} \right] \dots \dots (3)$$

يبين الجدول (1) القيم المقاسة والنتائج الحسابية لكلا المرجلين وفق المعايير السابقة

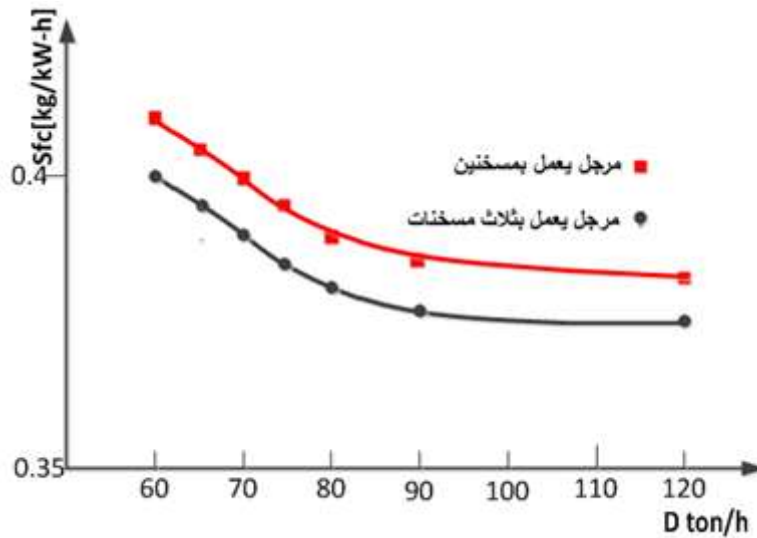
الجدول (1) القيم المقاسة والنتائج الحسابية للمرجلين المدروسين

مرجل يعمل بمسخنين لهواء الإحتراق				مرجل يعمل بثلاث مسخنات لهواء الإحتراق				الاستطاعة المولدة $P_u$ MW	تدفق البخار $D$ ton/h
المردود $\eta\%$	الاستهلاك النوعي للوقود $S_{fc}$	الاستهلاك النوعي للحرارة $C_{qps}$	تدفق الوقود $B$ ton/h	المردود $\eta\%$	الاستهلاك النوعي للوقود $S_{fc}$ Kg/kW-h	الاستهلاك النوعي للحرارة $C_{qps}$ MJ/kW-h	تدفق الوقود $B$ ton/h		
83	0.41	16.77	4.91	85	0.4	16.4	4.8	12	60
84	0.405	16.59	5.26	85.9	0.395	16.21	5.14	13	65
85	0.4	16.4	5.6	86.8	0.391	16.04	5.48	14	70
86	0.395	16.21	5.93	87.9	0.386	15.85	5.8	15	75
87.1	0.39	15.99	6.24	89	0.381	15.63	6.1	16	80
88	0.386	15.83	6.95	90	0.377	15.48	6.8	18	90
88.7	0.383	15.71	9.2	90.6	0.375	15.37	9	24	120

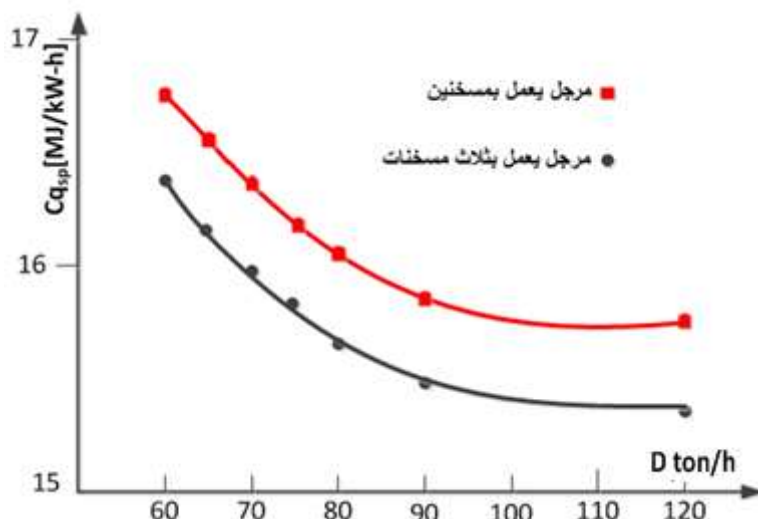


الشكل (2) علاقة المردود بالحمولات الجزئية لعمل المرجل

نلاحظ أن مردود المرجلين ينخفض على نحو كبير عند الحمولات الجزئية كما يظهر ذلك في الشكل (2). غير أن مردود المرجل ذي الثلاثة مسخنات أعلى من مردود المرجل ذي المسخنين نتيجة انخفاض الاستهلاك النوعي للوقود وللحرارة مقارنة مع المرجل الآخر كما يظهر في الشكلين (3) و (4)، حيث يتم تبريد الغازات العادم بشكل أكبر منه في المرجل ذي المسخنين، إذ تخرج غازات العادم منه بدرجة حرارة بحدود  $194\text{ C}^\circ$



الشكل (3) الاستهلاك النوعي للوقود كتابع لحمولة المرجل



الشكل (4) الاستهلاك النوعي للحرارة كتابع لحمولة المرجل

تبين من الدراسة أن المسخن الأول في المرجل الذي يعمل بثلاث مسخنات يتآكل بسرعة، ويؤدي ذلك لإهترائه على نحو مستمر بسبب انخفاض درجة حرارة غازات العادم فيه حتى  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  وهي درجة حرارة أقل من درجة حرارة

تكاثف أبخرة حمض الكبريت (نقطة الندى) الموجودة في غازات العادم التي يتم حسابها وفق العلاقة (4) [6]

$$T_G = 19.57 \ln(S) + 132.97 = 19.57 \ln(4.13) + 132.97 = 160\text{ }^{\circ}\text{C} \dots (4)$$

حيث S : النسبة المئوية للكبريت في الوقود تبلغ في وقود الفيول المستخدم في المراحل المدروسة 4.13%

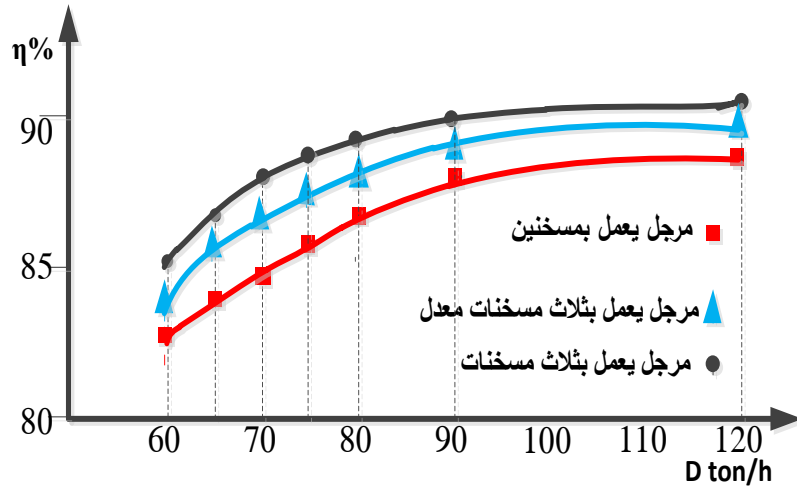
ومنه تكون درجة حرارة التكاثف لأبخرة حمض الكبريت أقل من  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$  وهذا ما يفسر تآكل مسخن الهواء الأول في المراحل ذات الثلاث مسخنات التي تغادرها غازات العادم بدرجة حرارة  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ . في حين نلاحظ أنه بالإمكان تخفيض درجة حرارة غازات العادم المغادرة للمرجل ذي المسخنين بمقدار  $33\text{ }^{\circ}\text{C}$  (الفرق بين  $161\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $194\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) مما يؤدي إلى توفير استهلاك الوقود بحوالي 2% وفق [9] وهذا بدوره سيقود إلى زيادة مردود هذا المرجل. من أجل ذلك نقترح عدم إزالة المسخن الأول وإنما دراسته من جديد لتحديد سطح التبادل الحراري الأفضل، ويبين الجدول (2) النتائج الحسابية للمرجل بعد تعديل مساحة المسخن الأول

الجدول (2) النتائج الحسابية للمرجل بعد تعديل مساحة المسخن الأول

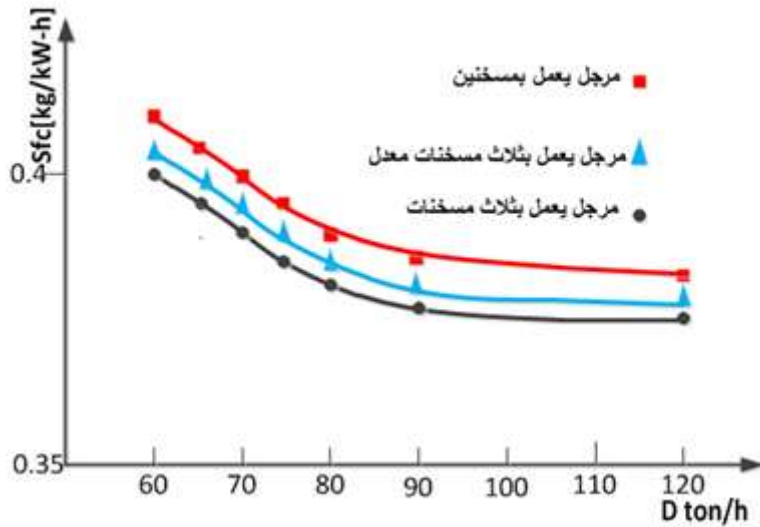
مرجل يعمل بثلاث مسخنات لهواء الإحتراق بعد تعديل مساحة سطح التبادل للمسخن الأول (الحل المقترح)				الاستطاعة المولدة	تدفق البخار
المردود $\eta\%$	الاستهلاك النوعي للوقود $S_{fc}$ Kg/kW-h	الاستهلاك النوعي للحرارة $Cq_{ps}$ MJ/kW-h	تدفق الوقود B ton/h	Pu MW	D ton/h
84.47	0.403	16.5	4.83	12	60
85.49	0.397	16.3	5.17	13	65
86.38	0.393	16.14	5.51	14	70
87.44	0.388	15.94	5.83	15	75
88.59	0.384	15.74	6.14	16	80
89.47	0.38	15.58	6.84	18	90
90.16	0.377	15.46	9.05	24	120

يظهر الشكل (5) ارتفاع المردود للمرجل المقترح تعديل مسخن الهواء الأول فيه نتيجة انخفاض الاستهلاك

النوعي للوقود الموضح بالشكل (6) .



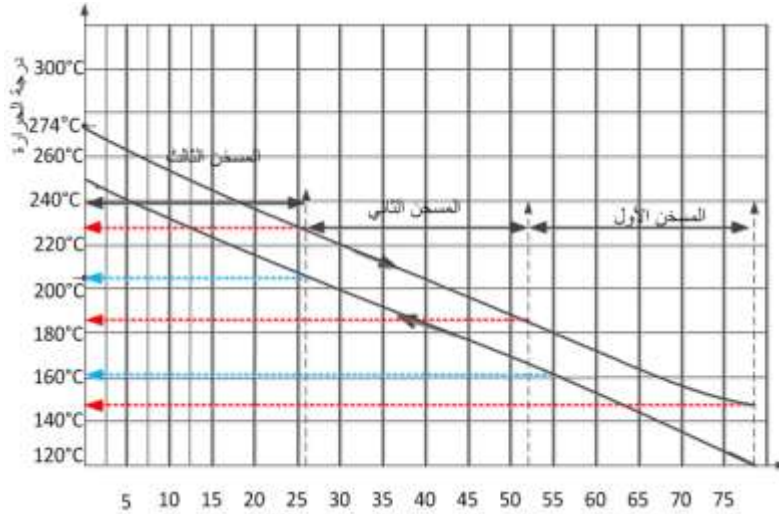
الشكل (5) علاقة المردود بالحمولات الجزئية لعمل المراجل



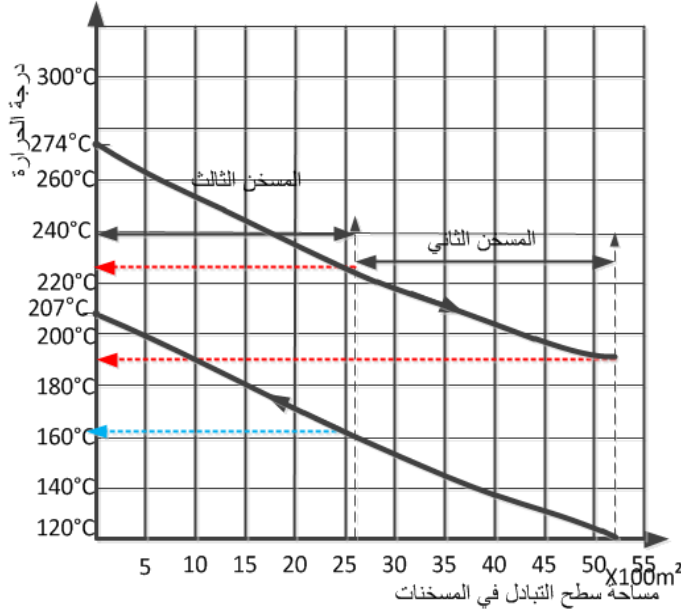
الشكل (6) الاستهلاك النوعي للوقود كتابع لحمولة المراجل

يبين الشكلين (7) و (8) مخطط تغير درجات الحرارة لهواء الاحتراق وغازات العادم للمسخنات المدروسة إذ تم قياس جميع درجات الحرارة عند مدخل وحدة تسخين هواء الاحتراق ومخرجها في المرجلين.





الشكل (7) مخطط تغير درجات الحرارة لهواء الاحتراق وغازات العادم من أجل ثلاثة مسخنات.



الشكل (8) مخطط تغير درجات الحرارة لهواء الاحتراق وغازات العادم من أجل مسخينين.

نلاحظ من المخططات السابقة أن درجة حرارة هواء الاحتراق منخفضة نسبياً في المرجل ذي المسخينين في حين درجة حرارة غازات العادم مرتفعة  $194\text{ }^{\circ}\text{C}$  عكس ما هو عليه في المرجل الآخر حيث درجة حرارة الهواء مرتفعة  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  ولكن درجة حرارة غازات العادم منخفضة كما ذكرنا سابقاً  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  لذلك سنقوم بحساب مساحة مسخن الهواء المقترح الذي يتلافى السلبيات في الحالتين المدروستين، أي يمنع انخفاض درجة حرارة غازات العادم إلى مادون نقطة الندى مما يخفض التآكل، ويرفع درجة حرارة هواء الاحتراق مما يزيد المردود، حيث نقوم بداية بإجراء الموازنة الحرارية لمسخن الهواء باعتبار أن كمية الحرارة التي تفقدها غازات العادم في المسخن تساوي كمية الحرارة التي يكتسبها الهواء فيه:

$$V_G C_{PG} (\Delta t)_G = V_a C_{Pa} (\Delta t)_a \dots\dots (5)$$

حيث:

$$V_a: \text{حجم الهواء المار عبر المسخن } \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$C_{Pa}: \text{السعة الحرارية للهواء } \frac{KJ}{m^3 \cdot C}$$

$(\Delta t)_a$ : فرق درجات حرارة هواء الاحتراق على طرفي المسخن.

$$C_{PG}: \text{السعة الحرارية لغازات العادم } \frac{KJ}{m^3 \cdot C}$$

$(\Delta t)_G$ : فرق درجة حرارة غازات العادم على طرفي المسخن.

ونحسب كمية الحرارة التي تفقدها غازات العادم في المسخن الأول للحل المقترح:

$$13.52 \times 4.83 \cdot \frac{10^3}{3600} \times 1.38 \times 113 = 12.72 \times 4.83 \cdot \frac{10^3}{3600} \times 1.33 (\Delta t)_a$$

ومنها نقوم بحساب فرق درجة حرارة الهواء على طرفي المسخن المقترح:  $(\Delta t)_a = 124$

بعدئذ يمكن حساب مساحة هذا المسخن من العلاقة:

$$A = Q / K \Delta t_m \dots (6)$$

حيث:

$Q$ : الاستطاعة الحرارية لمسخن الهواء  $[W]$

$K$ : عامل نفوذ الحرارة  $\left[ \frac{W}{m^2 \cdot C} \right]$

$\Delta t_m$ : فرق درجة الحرارة الوسطي اللوغاريتمي وتحسب من العلاقة:

$$\Delta t_m = \frac{(\Delta t_{max} - \Delta t_{min})}{\ln \left( \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}} \right)} \dots (7)$$

حيث:

$\Delta t_{max}$ : فرق درجات الحرارة الأعظمي.

$\Delta t_{min}$ : فرق درجات الحرارة الأصغري.

ومن أجل المسخن ذي الجريان المتعاكس:

$$\Delta t_{max} = t_{G_{ent}} - t_{\alpha_{exit}}$$

$$\Delta t_{min} = t_{G_{exit}} - t_{\alpha_{ent}}$$

حيث:

$t_{G_{exit}}, t_{G_{ent}}$ : درجة حرارة غازات العادم عند مدخل المسخن ومخرجه.

$t_{\alpha_{exit}}, t_{\alpha_{ent}}$ : درجة حرارة الهواء عند مدخل المسخن ومخرجه.

ويستخدم فرق درجات الحرارة الوسطي الحسابي عندما يكون:  $\frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}} < 1.7$

$$\Delta t_m = \frac{(\Delta t_{max} - \Delta t_{min})}{2}$$

يمكننا جعل عامل النفوذ الحراري متساوياً لكلا المسخنين لأن معدن المسخنات متماثل وظروف التشغيل

متشابهة:

$$K = \frac{Q_1}{A_1 \Delta t_{m_1}} = \frac{Q_2}{A_2 \Delta t_{m_2}} \dots (8)$$

حيث:

$Q_1$ : الاستطاعة الحرارية لمسخن هواء المرجل المدروس وتساوي:

$$Q_1 = 12.72 \times 4.8 \times \frac{10^3}{3600} \times 1.33 \times 130 = 2933 \text{ Kw}$$

$Q_2$ : الاستطاعة الحرارية لمسخن الهواء المقترح وقد حسبناها سابقاً  $2800 \text{ Kw}$

$\Delta t_{m1} = 20$ : فرق درجات الحرارة الوسطي للمسخن المدروس.

$\Delta t_{m2} = 35.5$ : فرق درجات الحرارة الوسطي لمسخن الهواء المقترح.

$A_2$ : مساحة مسخن الهواء المقترح المراد حسابها.

$A_1$ : مساحة مسخن هواء الاحتراق للمرجل المدروس، إذ يتألف من أربع حزم من الأنابيب في كل منها 651

أنبوباً بطول 6.39 متراً وقطر 50 ملم أي تبلغ مساحته الإجمالية  $2612 \text{ m}^2$  وبتعويض القيم السابقة في العلاقة (8)

( نحصل على مساحة المسخن المقترح التي تساوي:

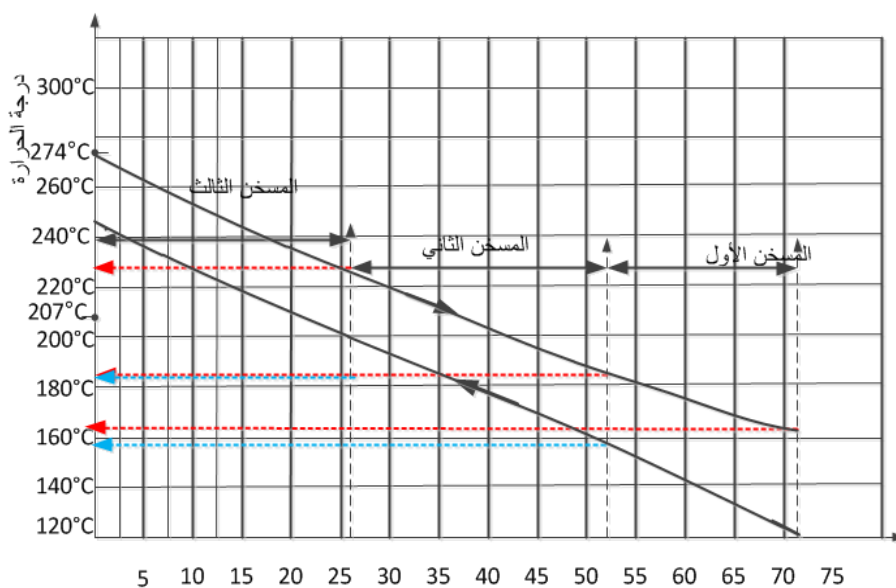
$$A_2 = 0.73 A_1 = 0.73 \times 2612 = 1900 \text{ m}^2$$

يبين الشكل (9) مخطط تغير درجات الحرارة لهواء الاحتراق وغازات العادم لمسخن الهواء المقترح بعد أن تم

تخفيض مساحة مسخن الهواء الأول حتى أصبحت  $1900 \text{ m}^2$  بدلاً من  $2612 \text{ m}^2$  وذلك لضمان عدم حدوث تآكل

مع زيادة في المردود بحوالي 2% وتوفير استهلاك الوقود 2% مقارنة مع المرجل ذي المسخنين كما يوضح ذلك

الشكلان (5) (6) .



الشكل (9) مخطط تغير درجات الحرارة لهواء الاحتراق وغازات العادم لمسخن الهواء المقترح

أما إذا قارنا المسخن المقترح مع المسخن ذي الثلاثة مسخنات نلاحظ أنه يتلافى الاستبدال الدائم لمسخن الهواء المهترئ والذي تبلغ قيمته حسب نشرة أسعار الشراء في المصفاة بـ 30 مليون ليرة سورية كما يرافق ذلك توقف المرجل عن العمل لإجراء عملية الاستبدال كل ستة أشهر أو أكثر، والتي تستغرق 15 يوماً وهذا يؤثر في موثوقية عمل هذا المرجل من الناحية الفنية والاقتصادية.

### الاستنتاجات والتوصيات:

أظهرت الدراسة التي تمت على مرجلين عاملين في محطات توليد الطاقة الكهربائية التابعة لمصفاة تكرير النفط، واللذين يعملان عند حملات جزئية مختلفة حسب متطلبات مصفاة تكرير النفط، أن المرجل الذي يعمل بثلاثة مسخنات يتعرض للتآكل والاهتراء على نحو مستمر، ويتم استبداله بفترات زمنية تتراوح بين سنة أشهر وستين كحد أقصى، نتيجة انخفاض درجة حرارة غازات العادم إلى أقل من درجة تكاثف أبخرة حمض الكبريت، غير أن مردوده يكون أعلى من مردود المرجل ذي المسخنين، الذي يتعرض لزيادة في الاستهلاك النوعي للوقود وللحرارة نتيجة خروج غازات العادم بدرجة حرارة مرتفعة نسبياً مما يسبب ضياعاً كبيراً في الحرارة، لذلك نوصي باستخدام مسخن هواء الاحتراق المقترح في هذا البحث الذي يتلافى مشاكل التآكل والاهتراء السريع لمسخن الهواء الأول في المرجل ذي المسخنات الثلاثة، ويتفادى الاستهلاك النوعي للوقود الزائد للمرجل ذي المسخنين عن طريق تخفيض درجة حرارة غازات العادم إلى درجة مناسبة أعلى من نقطة ندى الأبخرة لحمض الكبريت من جهة، وتزيد من درجة حرارة تسخين هواء الاحتراق من جهة ثانية وبالتالي يزداد المردود بحوالي 2% ويتم توفير استهلاك الوقود بنسبة وسطية تبلغ 2% ناهيك عن زيادة موثوقية عمل المرجل من الناحية الفنية والاقتصادية، نتيجة تقليل فترات التوقف اللازمة لاستبدال المسخن المعرض لمعدل تآكل عالٍ والتي تستغرق 15 يوماً.

### المراجع:

1. الكنج، راتب، *مولدات البخار*، منشورات جامعة البعث، 2003، 371.
2. باكير، محمد عبدة، *محطات توليد الطاقة*، منشورات جامعة البعث، 2008، 509.
3. حمود، بسام، حنا، سهيل، *مولدات البخار*، منشورات جامعة تشرين، 1997، 260.
4. خارتشينكو، نيكولاي، ترجمة د. بسام حمود، *الطاقة وسلامة البيئة*، المركز العربي للتعريب والترجمة والنشر دمشق، 2000، 475.
5. ضياء، تاج الدين، *هندسة توليد الطاقة واقتصادياتها*، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، جامعة حلب، 1982، 531.
6. علي، يونس، دراسة تأثير درجة الحرارة وتركيب الفيول على أداء محطات توليد الكهروحرارية، ليبيا، 2008.
7. غيلان، حنا، *مولدات البخار*، منشورات جامعة حلب، 1992، 680.
8. BACKAKOV, A.P. *Heat Engineering*, Mir Publishers, Moscow, 1991, 223.
9. CHATTOPADHYAY, P.P. *Boiler Operation Engineering*, Second Edition, McGraw – Hill, New York, 2001, 1377.
10. PAWAN, K. *Training Manual On Energy Efficiency*, Asian Productivity Organization, India, 2010, 127.
11. SHVETS, I.T. *Heat Engineering*, Mir Publishers, Moscow, 1987, 573.