

## دراسة أثر محسنات الاحتراق على مسخنات الهواء لدى احتراق الفيول في محطات التوليد البخارية

د. صلاح داوود\*

(تاريخ الإيداع 26 / 6 / 2011. قُبل للنشر في 7 / 8 / 2011)

### □ ملخص □

تحدث التآكلات الكيميائية على سطوح أنابيب مسخنات الهواء في المراجل البخارية والنااتجة عن تفاعل حمض الكبريت الممدد مع المعدن، خاصة وأن الفيول السوري المستخدم في هذه المراجل يحتوي على نسبة عالية من الكبريت تشكل حوالي 5%. لذلك تم البحث في دراسة تقليل هذه التآكلات من خلال تحسين عملية الاحتراق في المراجل البخارية، عن طريق إضافة أكسيد المغنيزيوم إلى الفيول المستخدم في المراجل البخارية وأثر ذلك على عملية الاحتراق، وفترة خدمة المراجل، وكذلك منع توقفاتها المتكررة. تم في البحث تقدير حالة الرماد، عبر قياس درجة حموضته، ومن خلال فروق الضغط على طرفي مسخن الهواء. وبالنتيجة تخفيف الأثر السلبي الناتج عن احتراق الفيول على مسخنات الهواء المستخدمة في مولدات البخار.

**الكلمات المفتاحية:** المراجل البخارية، عملية الاحتراق، أكسيد المغنيزيوم، مسخن الهواء.

\* أستاذ مساعد في قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## Studying the Effect of Fuel Burning Evolution on Air Heaters at Steam-Power Plants

Dr. Salah Dawoud\*

(Received 26 / 6 / 2011. Accepted 7 / 8 / 2011)

### □ ABSTRACT □

Chemical corrosion occur on the surfaces of the tubes of air heaters located in steam boilers; this results from the reaction between sulphuric acid and metal, since the Syrian fuel used in these boilers includes a high percentage of sulphuric acid, about 5%. So, the main focus of this research is to reduce these corrosions by improving the burning process in steam boilers by way of adding of MgO to the fuel used in steam boilers. This study has also examined the impact of this addition on the burning process, the period of boiler service, and the avoidance of frequent stopping. This paper studies the evaluation of dust state by measuring its PH degree and the pressure differences on either side of the air heater. In conclusion, we reduce the negative effect of fuel burning on the air heaters used in steam generators.

**Keywords:** Steam Boilers, Burning Process, MgO, Air heater

---

\*Associate Professor, Mechanical Power Department, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

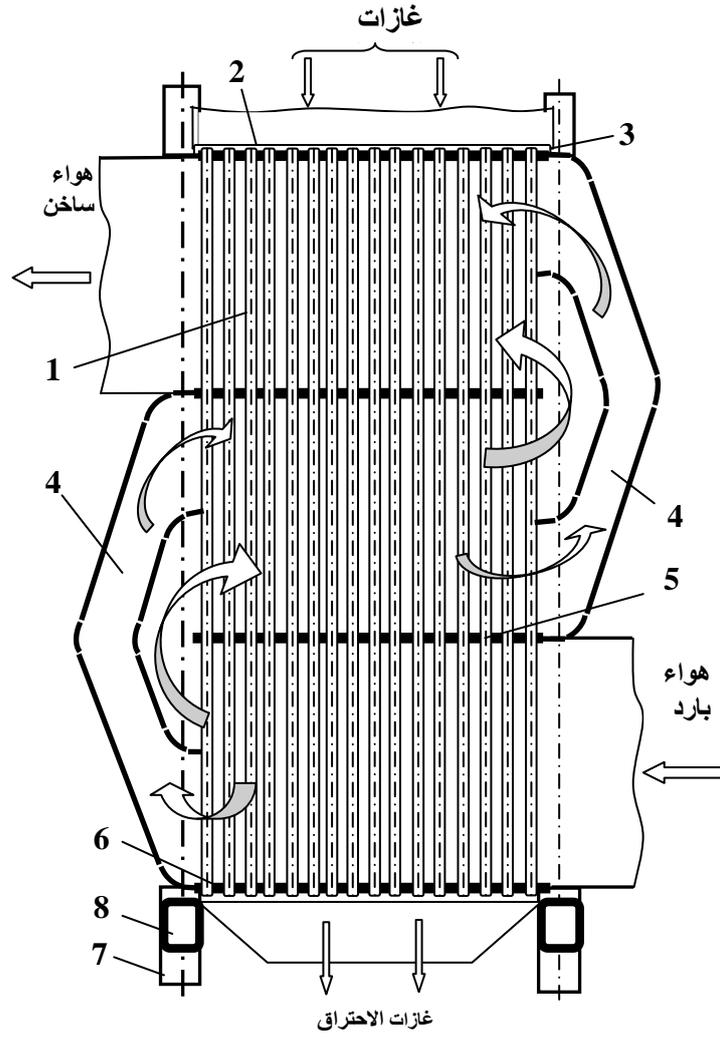
## مقدمة:

تشهد سورية تزايداً كبيراً في الطلب على الطاقة الكهربائية، حيث يتم تأمين الزيادة في استهلاك الطاقة من خلال إقامة مشاريع طاقة مختلفة ومتنوعة المصدر. توفر محطات توليد الطاقة الكهروحرارية نسبة كبيرة من الطاقة المولدة في القطر، والتي تستخدم الفيول كوقود لعملية الاحتراق في المراجل البخارية بهدف تسخين الماء وتأمين البخار اللازم لتدوير العنفات البخارية وتوليد الطاقة الكهربائية. يعتبر الفيول السوري الوقود الرئيس لمحطات الكهروحرارية في سورية، والذي يتصف بمحتواه المرتفع من الكبريت، كما هو وارد في الجدول (1)، وياحتراق سيئ، مما يؤدي إلى خفض كمية الحرارة المتولدة بسبب عدم احتراق قسم كبير من المركبات الهيدروكربونية الثقيلة [1]. وبالتالي لضمان استرجاع كامل الطاقة تظهر الحاجة إلى زيادة كمية الهواء اللازم لعملية الاحتراق (الهواء الزائد) المتوجب إضافته. كما تتشكل رواسب كربونية، وتحدث تآكلات على سطوح الأنابيب المشكلة للمبادلات الحرارية المتوضعة في طريق غازات الاحتراق [2]، ما يتطلب الحاجة إلى صيانات متكررة خلال فترات زمنية قصيرة للمراجل البخارية العاملة على الفيول الثقيل، وهذا يسبب خسائر مالية كبيرة في قطاع الطاقة.

لتحسين عملية احتراق الوقود في الحراقات من الضروري تسخين الهواء الداخل إلى المرجل في مسخنات الهواء الشكل (1) إلى درجة حرارة  $250-350^{\circ}\text{C}$  وذلك بالاستفادة من حرارة غازات العادم. بالتالي يتعرض سطح معدن المسخن إلى تآكل ناتج عن تأكسد معدنه، وخاصة عند مدخل الهواء (القسم البارد من المسخن)، حيث تتعرض سطوح التبادل الحراري في منطقة درجات الحرارة المنخفضة من غازات الاحتراق وخصوصاً سطوح مسخنات الهواء إلى التآكل الناتج عن التأكسد، بالإضافة إلى ترسب الرماد على سطوحها، مما يقلل من معامل انتقال الحرارة الإجمالي [3]. يعود سبب التآكل إلى تفاعل حمض الكبريت الممدد مع المعدن بسبب احتواء الفيول على نسبة عالية من الكبريت، حيث تتفاعل أكاسيد الكبريت  $\text{SO}_2$  و  $\text{SO}_3$  مع بخار الماء الموجود في غازات العادم في المنطقة الباردة من المسخن. كما تحدث تآكلات حارة ناتجة عن وجود أكاسيد الفانديوم في الوقود المحترق [4]. لذلك لابد من تحسين عملية الاحتراق داخل المراجل البخارية، بهدف تقليل التآكلات الحمضية، وإطالة فترة خدمة المراجل البخارية، ومنع توقفات هذه المراجل. إن مثل هكذا معالجة يجب أن ترتبط مع كفاءة المرجل البخاري ومردوده الحراري، خاصة وأن مادة أكسيد المغنيزيوم المستخدمة في معالجة الفيول تحوي جزيئات كربوكسيل الحديد والتي تعمل على تسخين أفضل للمركبات الهيدروكربونية الثقيلة المحتواة في الفيول والمرافقة لاحتراق الوقود، وعلى درجة الحموضة لغازات الاحتراق وللرماد المتطاير [1].

الجدول (1) النسب المئوية للعناصر الداخلة في تركيب الفيول السوري

المركب	كربون	هيدروجين	كبريت	نتروجين	أكاسيد	رطوبة/رماد
النسبة المئوية	83.37	11.75	4.8-5.1	0.2	0.58	0.1-0.4



الشكل (1) مسخن هواء أنبوبي

- 1- أنابيب فولاذية 2،6- لوحة توزيع الأنابيب العلوية والسفلية 3- وصلة تعويض التمدد الطولي 4- مجرى توزيع الهواء  
5- لوحة توزيع أنابيب المبادل 7-8 - مساند هيكل المسخن

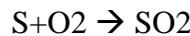
### أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى التخفيض من التآكلات التي تتعرض لها مسخنات الهواء (Air Heaters) في محطات توليد الطاقة، عبر إضافة أكسيد المغنيزيوم إلى الفيول الداخل إلى المرجل البخاري، وذلك من أجل تحسين عملية الاحتراق من خلال تسريع عملية الاشتعال ورفع درجة حرارة مخروط اللهب وتحسينه بالشكل الذي يضمن احتراق معظم المركبات الهيدروكربونية الثقيلة، والذي يؤدي إلى زيادة عمر المسخنات، وكذلك تقليل توقيات المراجل بسبب الأضرار التي تصيب هذه المسخنات، مما يوفر الكثير من الكلف المادية الناتجة عن هذه التوقيات.

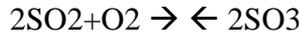
## طرائق البحث ومواده:

قمنا في هذا البحث الذي أجري خلال عام 2007-2008 م بإضافة أكسيد المغنيزيوم MgO إلى الفيول الداخلى إلى مرجل محطة التوليد الثالثة في مصفاة بانياس. تم ذلك خلال عدة أشهر متتالية وأخذت قياسات ميدانية على عينات من الرماد المتجمع في مأخذ جمع عينة الرماد قبل المدخنة والمتوضع بزاوية ميل  $45^\circ$ . تم قياس درجة الحموضة للرماد PH قبل وبعد إضافة أكسيد المغنيزيوم وذلك بوساطة مقياس درجة الحموضة PHmeter. كما تم تسجيل فرق الضغط على جانبي مسخن الهواء AH خلال الأشهر المتتالية نفسها. يتم تخفيض التآكلات التي تتعرض لها مسخنات الهواء عن طريق تقليل حمض الكبريت المتشكل وفق آلية التآكل الكيميائي التالي:

يتم احتراق الكبريت وفق المعادلة التالية [2]:



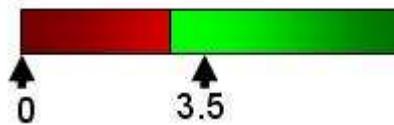
وعند انخفاض درجة الحرارة على طول مجرى الغازات يحدث التفاعل الثاني الذي يزداد بازدياد نسبة الهواء الفائض excess air



إن هذا التشكل لثلاثي أكسيد الكبريت لا يشكل خطورة على سطوح الأنابيب في مناطق المرجل ذات درجات الحرارة العالية جداً، حيث يميل هذا التفاعل إلى الانعكاس وذلك لكون  $SO_3$  أكسيداً غير مستقر [5]. أما في المناطق الباردة نسبياً من المرجل وخاصة في منطقة مسخنات الهواء فالتفاعل يتم بصورة كبيرة في الاتجاه المباشر. ويوجد بخار الماء المتشكل نتيجة اتحاد الأوكسجين بالهيدروجين أثناء الاحتراق يتشكل حمض الكبريت وفق التفاعل التالي [1]:



يحدث التآكل الحمضي على سطوح معدن المسخنات وتتوقف سرعة وخطورة التآكل على درجة الـ pH للحمض، حيث تعتبر الأنابيب والمسخنات آمنة عند درجة  $PH \leq 3.5$  كما هو موضح في الشكل (2).



الشكل (2) درجة الحموضة على سطح معدن المسخن

تقوم مادة أكسيد المغنيزيوم برفع درجة الـ pH بالطريقة التالية [6]:

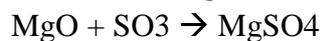
تتأكسد مركبات المغنيزيوم المنحلة في الزيت (hydrocarbon) عند الاحتراق لتكون أكسيد المغنيزيوم وفق



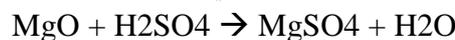
المعادلة التالية:

يقوم أكسيد المغنيزيوم بحماية المعدن من التآكل كما يلي :

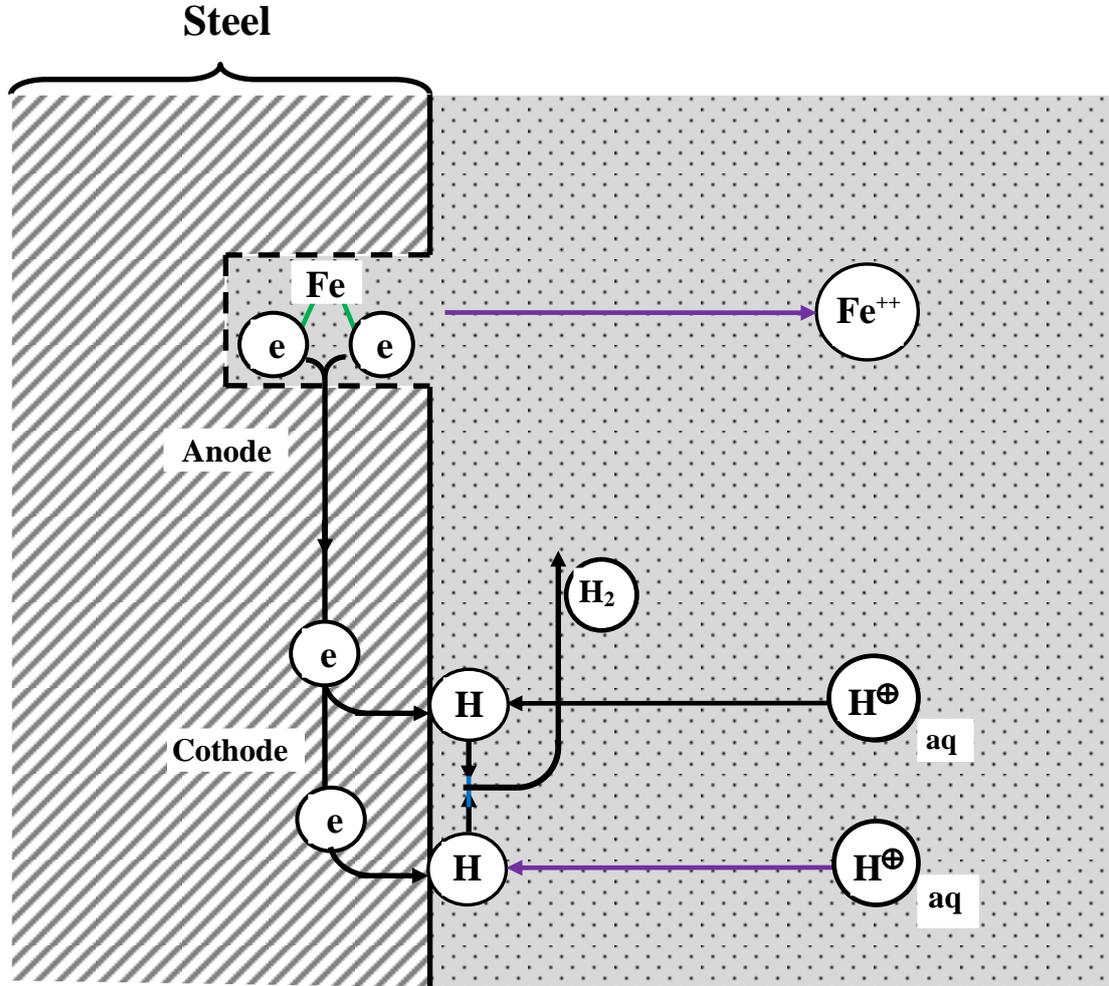
1- يتفاعل MgO مع مركب  $SO_3$  عند السطوح لتكوين مركب  $MgSO_4$



2- تتم معادلة الحوامض المتكونة، وفق التفاعل التالي:



يؤدي هذا التفاعل إلى تعديل الأحماض المتشكلة وخفض كمية  $SO_3$  التي تعتبر المسبب الرئيس لحمض الكبريت  $H_2SO_4$ . إضافة إلى تشكل طبقة الحماية. يبين الشكل (3) آلية حدوث التآكل بين المعدن وحمض الكبريت الناتج.



الشكل (3) آلية حدوث التآكل بين المعدن وحمض الكبريت

تم إضافة أكسيد المغنيزيوم إلى الفيول المستخدم والمسخن أولاً بمعدل 5-10Lit/hr لكل طن فيول وعلى مدى ثلاثة أشهر. تم تسجيل درجة الحموضة بعد الإضافة بواسطة مقياس PHmeter وأوردنا النتائج في الجدول رقم (2). مع الإشارة إلى أن قياس متوسط درجة الحموضة للرماد خلال الأشهر التي سبقت إضافة أكسيد المغنيزيوم أعطت قيماً ضمن المجال: [1.4-3.3]. وهذه القيم تعتبر ضمن المجال الخطر لدرجة الحموضة.

### النتائج والمناقشة:

تم وضع كوبون بعد المسخن على مجرى الغازات للمرجل المضاف إليه أكسيد المغنيزيوم، وكوبون آخر على مرجل يعمل بشروط مماثلة، ولكن دون إضافة أكسيد المغنيزيوم إلى الفيول المستخدم نفسه، وذلك لمعرفة التأثير

الحقيقي لحمض الكبريت على مسخن الهواء، أخذت القياسات لمدة أسبوع بطريقة NACE STANDARDS وفق المعادلة التالية [7]:

$$\text{Corrosion Mpy} = (W1 - W2) \cdot \text{The coupon factor/day}$$

حيث:

Mpy – مقدار التآكل مقدراً بـ gr/7 days

W1 – وزن الكوبون قبل التجربة بالغمم.

W2 – وزن الكوبون بعد التجربة بالغمم.

بتطبيق المعادلة انخفض وزن الكوبون بمقدار 0.03gr/7 days، وهذا يدل على حدوث التآكل نتيجة لتشكل طبقة كثيفة من أوكسيد حمض الكبريت عليه.

من جهة أخرى، تم قياس درجة الـ pH للرماد الناتج وفقاً لنظام الـ ASTM [4-7]. محلول (ماء مقطر +1% رماد)، حيث يوزن 1gr من الرماد المتجمع في مأخذ العينات عند مجرى الغازات و يحل في 100 cm<sup>3</sup> من الماء المقطر مع التحريك لمدة 5 دقائق وبعدها تم أخذ القياس. نعرض النتائج في الجدول (2).

الجدول (2) درجة حموضة الرماد

درجة الحموضة PHmeter	مرحلة بعد الغسيل الكيميائي وقبل الإقلاع
2.3	19/03/2007
2.27	22/03/2007
2.41	25/03/2007
2.7	27/03/2007
2.42	المعدل

كما نبين على الجدول (3) قياسات درجة الحموضة خلال فترة استخدام أوكسيد المغنيزيوم

الجدول (3) درجة الحموضة بعد استخدام MgO

PHmeter درجة الحموضة	فترة استخدام MgO
4	28/03/2007
3.5	29/03/2007
3	31/03/2007
2.5	02/04/2007
2.5	03/04/2007
3.2	05/04/2007
3.35	07/04/2007
3.1	10/04/2007
3.54	16/04/2007
4.5	28/04/2007
3.6	30/04/2007
4	03/05/2007
3.35	05/05/2007

3.5	13/05/2007
3.5	14/05/2007
3.61	15/05/2007
3.85	16/05/2007
3.85	20/05/2007
3.9	30/05/2007
3.5	المعدل
3.75	المعدل بعد اقتطاع الأيام اللازمة حتى ظهور تأثير المادة على المرجل أي بعد 10 أيام

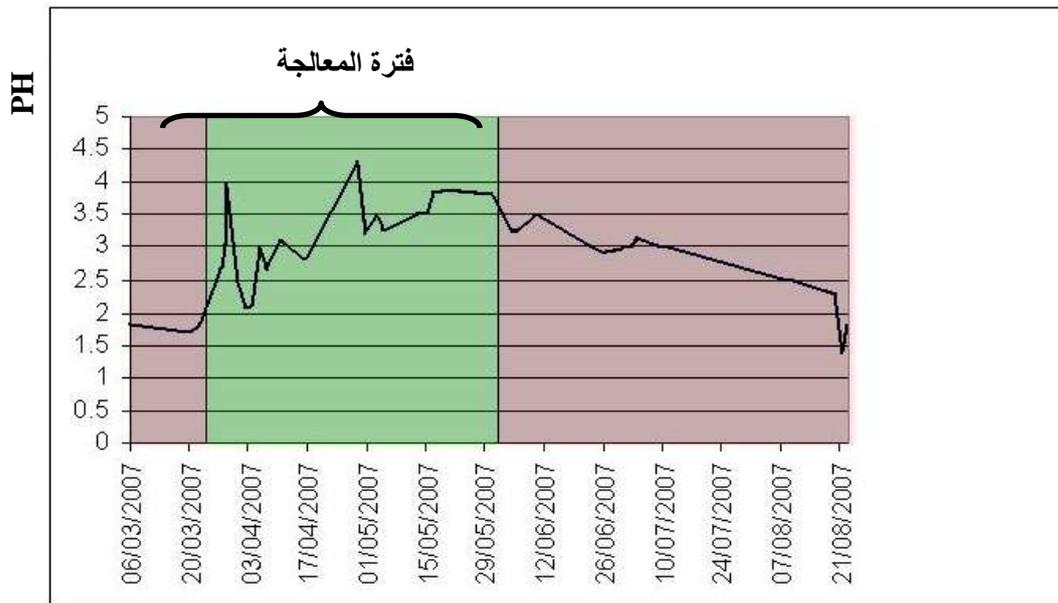
كما نعرض نتائج قياس درجة الـ PH بدون إضافة أكسيد المغنيزيوم في الجدول رقم (4).

الجدول (4) درجة الحموضة للرماد دون إضافة أكسيد المغنيزيوم

درجة الحموضة PHmeter	مرحلة بدون المعالجة
3.27	04/06/2007
3.5	10/06/2007
2.9	25/06/2007
3.1	03/07/2007
3.11	05/07/2007
2.3	19/08/2007
2.6	20/08/2007
1.6	21/08/2007
2.4	22/08/2007

بالمقارنة عند إيقاف المعالجة بـ MgO تم ملاحظة استمرار تناقص درجة الحموضة PH حتى تصل إلى

الدرجة الخطرة جدا (1.4) . أما تطور درجة الحموضة PH خلال عملية المعالجة فبينها على الشكل (4).



الشكل (4) تغيرات درجة الحموضة خلال خمسة أشهر بدون معالجة ومع المعالجة بأوكسيد المغنيزيوم.

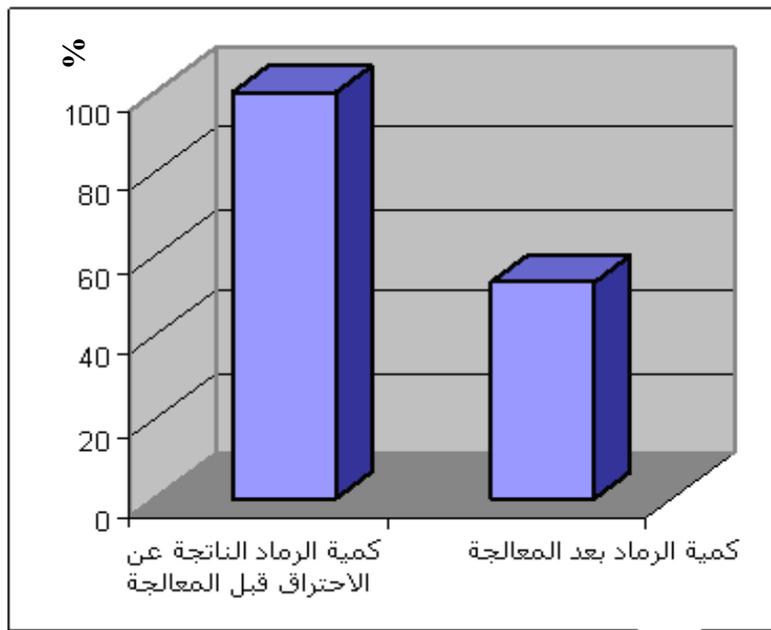
كما قمنا بتقدير حالة الرماد خلال عملية المعالجة باعتماد العناصر التالية:  
 أولاً: كمية الرماد المأخوذة مباشرة من مأخذ جمع عينة الرماد على المجموعة 3 مقارنة مع المجموعة 4 خلال ساعة واحدة.

ثانياً: فرق الضغوط على مدخل و مخرج مسخن الهواء

نبين الملاحظات التالية على كل عنصر:

\* نتائج قياس كمية الرماد المأخوذة مباشرة من مأخذ جمع عينة الرماد قبل المدخنة خلال ساعة واحدة (زاوية ميل المأخذ  $45^\circ$ ).

إن كمية الرماد المتجمعة في مأخذ العينات أعطت صورة عن مقدار التحسن الحقيقي للاحتراق في المرجل كما هو مبين في الشكل (5).



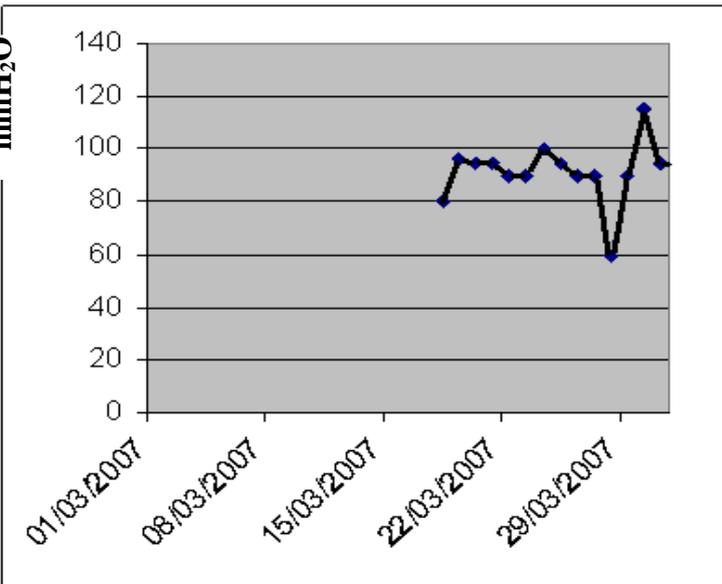
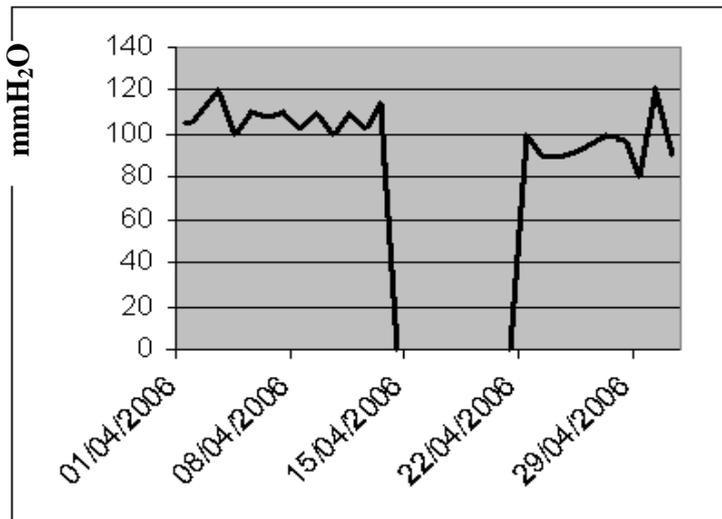
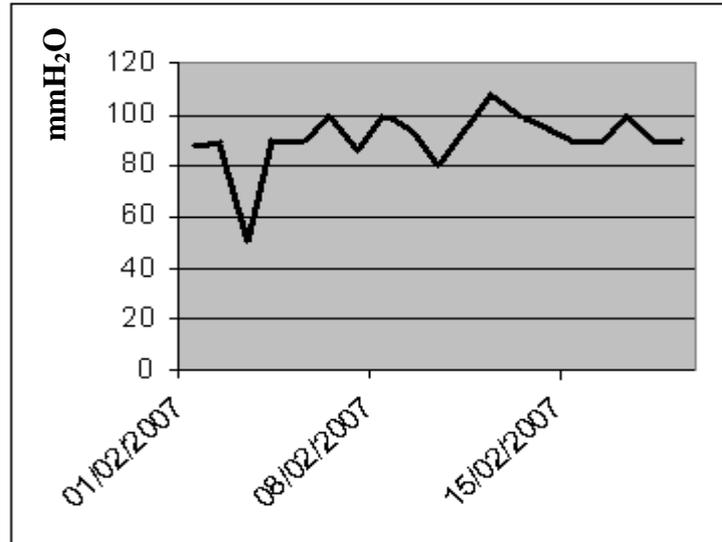
الشكل (5) الفرق بين كمية الرماد قبل وبعد إضافة أكسيد المغنيزيوم

يلاحظ أن مقدار التخفيض في كمية الرماد المنبعث من المدخنة بلغ : 52.33% .

\*\* فرق الضغوط على طرفي مسخن الهواء:

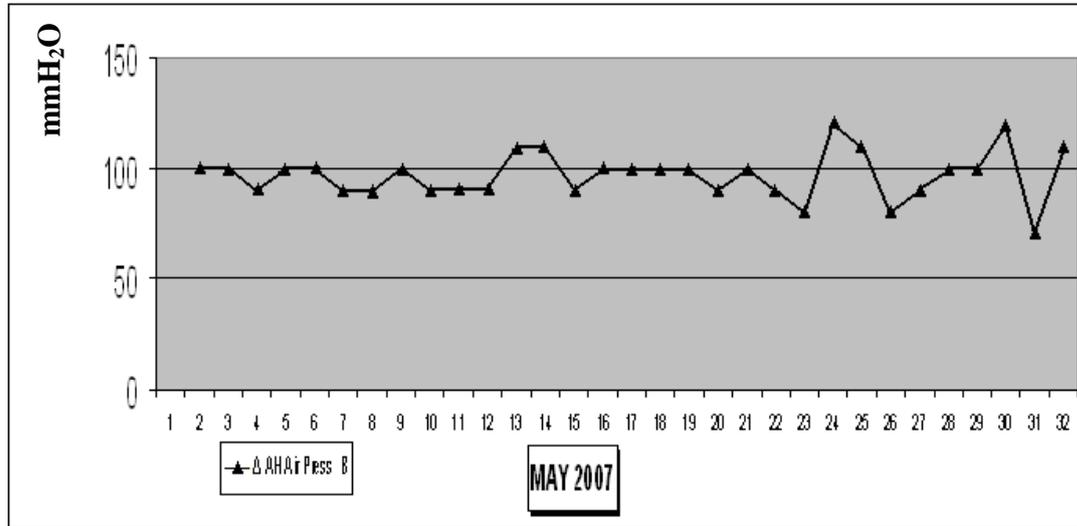
تم أخذ قياسات الضغط على طرفي مسخن الهواء قبل المعالجة بأوكسيد المغنيزيوم وأثناء الإضافة. ونبين

النتائج على الشكلين (6) و(7).



الشكل (6) قيم فرق الضغط على طرفي مسخن الهواء قبل المعالجة

يلاحظ من الشكل (6) أن فرق الضغوط على طرفي مسخنات الهواء ارتفعت من 80 إلى 120 mmH<sub>2</sub>O والذي يشكل الحد الأقصى للتشغيل، مما يتطلب توقف المرجل وغسل المسخنات خلال مدة زمنية من 14 يوم إلى شهر.



الشكل (7) فرق الضغوط على طرفي مسخن الهواء أثناء المعالجة

أم أثناء المعالجة لمدة شهر فنلاحظ من الشكل (7) استقرار فرق الضغوط بين المدخل و المخرج عند حدود 100 mmH<sub>2</sub>O ، بسبب عدم تراكم الرماد والترسبات المعيقة لدخول الهواء وخروجه مقارنة مع الفترة ذاتها عند نفس الحمولة بدون معالجة حيث يصل فرق الضغط حتى 120 mmH<sub>2</sub>O.

### الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- إن إضافة أكسيد المغنيزيوم قد أدى إلى زيادة درجة الحموضة PH إلى القيم الآمنة  $\leq 3.5$  وهذا يؤدي إلى تقليل التآكلات الحمضية التي تحدث على سطوح أنابيب مسخنات الهواء .
- 2- انخفاض كميات الرماد المتكاثفة وأبعاد الجزيئات في المرجل يقلل من عمليات الكسح التي تتم داخل المرجل البخارية ويحسن من قابلية تطايرها عبر المدخنة إلى الوسط الخارجي على شكل جزيئات ناعمة جداً وبالتالي تكون أضرارها على البيئة المحيطة أقل .
- 3- استقرار الضغط على طرفي مسخن الهواء يؤدي إلى زيادة عمره الاقتصادي وإلى تقليل توقفات عمل المحطات الناتجة عن الترسبات على مسخنات الهواء .

## المراجع:

- [1]- BARROSO, J; BARRERAS, F; BALLESTER, J. *Behavior of a high- Capacity Steam Boiler using Heavy Fuel oil*. Fuel processing Technology Spain, vol.86 .N<sup>0</sup> .2 ,2004,107- 121.
- [2]- EROKHIN,V G; MAKHANKO, M G; SAMOILENKO, P I . *Fundamentals of Thermodynamics and Heat Engineering*. Mir Publishers Moscow, 84, 1986, 118 – 119.
- [3]- GANAPATHY, V . *Gold – end corrosion: Causes and cures*. Hydrocarbon processing, vol 68, 1989, 57-59.
- [4]- RHYS – JONES, T N; NICHOLLS, J R; HANCOCK, P. *Effect of So<sub>2</sub>/ So<sub>2</sub> on the efficiency with which Mgo inhibits vanadic Corrosion in residual Fuel Fired gas turbines*. Corrosion Science, vol 23, no2, 1983, 139 -149.
- [5] - بيليايف.أ.أ- إصلاح المراجل ذات الضغط المرتفع، 1989، 170-169 (باللغة الروسية).
- [6]- BURDETT, A; GLINDDON, B I; HOTCHKISS, R C. *Magnesium additive Performance in oil Fired boilers Kinetics of the Mgo / So<sub>3</sub> Reaction*. Combustion Science and Technology, Vol23 , 1980 , 103- 112.
- [7]- *Standard test Method for Proximity in Metallic Coating by Humid Sulfur Vapor*. ASTM committee BO 8.10, Current edition Approved Feb . 10 . Published May 2003.