مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (4) العدد(10) 2020
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (4) No. (10) 2020

دراسة تأثير نسبة الكبريت في الفيول على تآكل السطوح الباردة في مراجل توليد البخار وعلى مردودها

م. سندس عمّار*

(تاريخ الإيداع 6/10 /2020. قُبِل للنشر في 23 /12/ 2020)

□ ملخّص □

يقدم البحث دراسة تحليلية لتأثير نسبة الكبريت في الفيول على مردود مراجل توليد البخار وتآكل سطوحها الباردة. وذلك من خلال: إجراء تحليل كيميائي للفيول المستهلك في الحراقات، ولغازات العادم الناتجة عن الاحتراق. بالإضافة إلى إجراء مقارنة لبارامترات المرجل عند العمل بالاستطاعتين التصميمية والفعلية. وقد تم إجراء تجارب عملية زرعت خلالها كوبونات معدنية في مجرى غازات العادم بحيث تتعرض لنفس الظروف التي تتعرض لها السطوح الباردة، وتم تحليل الترسبات على سطح الكوبون المستعمل.

خلصت الدراسة إلى أن وجود الكبريت بنسبة عالية في الفيول أدى إلى تعرض السطوح الباردة إلى تآكل كبير نتيجة تكاثف بخار حمض الكبريت عند انخفاض درجة حرارتها إلى ما دون نقطة الندى، كما أثر ذلك على مردود المرجل. وتبين أن تخفيض نسبة الكبريت إلى (3%) أدى إلى عمل هذه السطوح عند درجات حرارة أعلى من نقطة الندى، وبالتالي تقليل التآكل فيها بشكل كبير وبنفس الوقت زيادة مردود المرجل إلى القيمة (% 94.299).

الكلمات المفتاحية: نسبة الكبريت – تآكل السطوح الباردة– مردود المرجل – درجة حرارة نقطة الندى –

*عضو هيئة فنية – قسم المعدات والآليات – كلية الهندسة التقنية – جامعة طرطوس – طرطوس - سوريا

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (4) العدد(10) 2020
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (4) No. (10) 2020

Study the effect of sulfur content in the fuel on the cold end corrosion in steam generating boilers and their efficiency

Eng Sundos Ammar *

(Received 10/6/2020. Accepted 23/ 12/2020)

□ **ABSTRACT** □

The research provides an analytical study of the effect of fuel sulfur content on the boiler efficiency, and on the cold end corrosion in steam generating boilers. By conducting a chemical analysis of the fuel consumed in burners and the exhaust gases resulting from combustion. In addition to making a comparison of the boiler parameters when working with the design and actual capabilities. Practical experiments were conducted during which metallic coupons were implanted in the exhaust gas stream to be exposed to the same conditions as cold surfaces, and the sedimentation on the surface of the coupon was analyzed.

The study concluded that the presence of sulfur in a high percentage in the fuel, led to the exposure of cold surfaces to great corrosion as a result of the condensation of sulfuric acid vapor when its temperature drops below the dew point, as it affected the boiler efficiency. Therefore, reducing the sulfur content to (3%) led to the work of these surfaces at temperatures higher than the dew point, and thus greatly reducing corrosion in them and at the same time increasing the boiler efficiency to (94.299%).

Key words: sulfur content - cold end corrosion - boiler efficiency - dew point temperature

*Technical staff member - department equipment and machinery - Faculty of Engineering Technology- Tartous University - Tartous – Syria .

1- مقدمة:

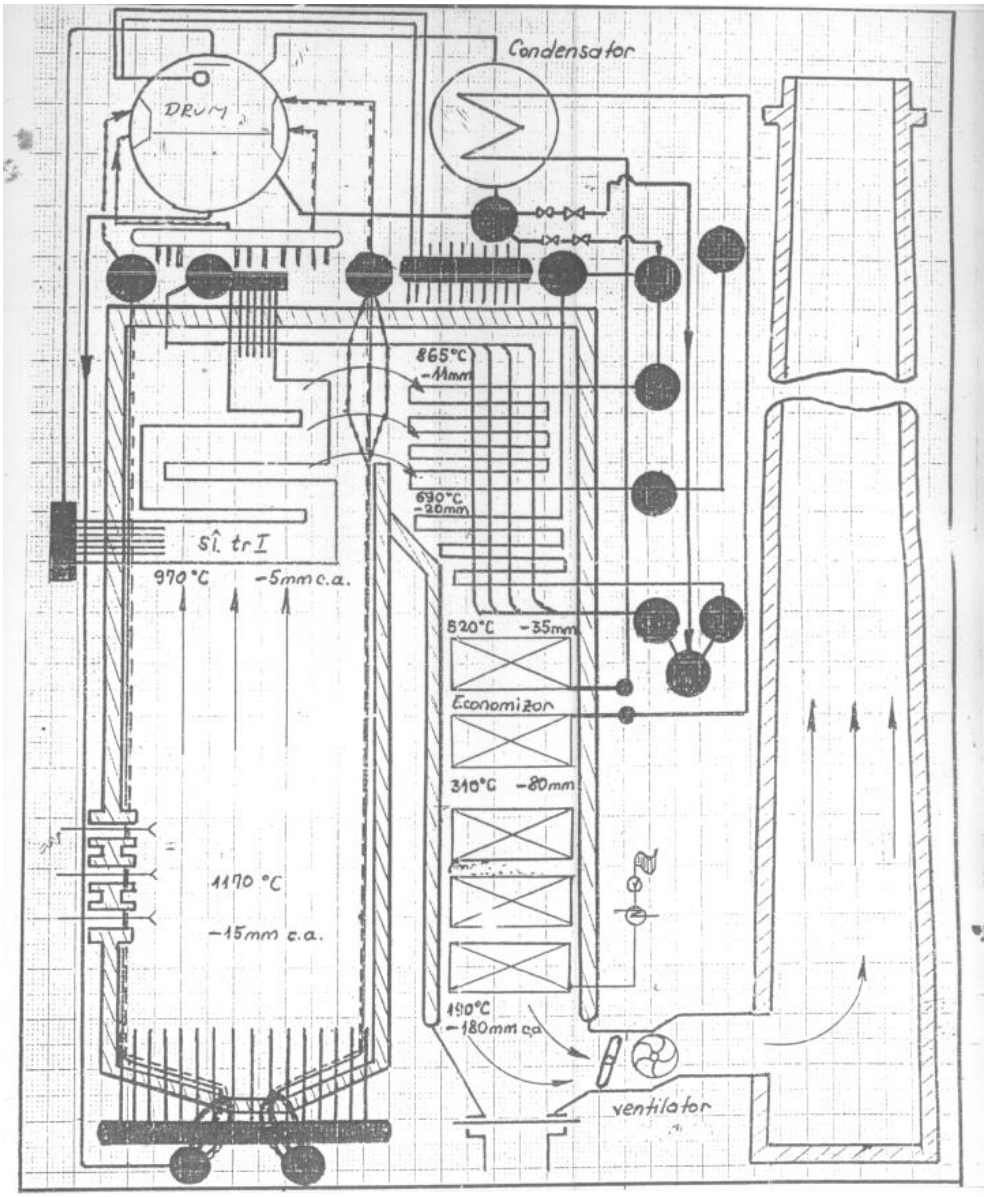
تعتبر مراجل توليد البخار الجزء الرئيسي في محطات توليد الطاقة ، حيث تقوم بتحويل الطاقة الكامنة في الوقود إلى بخار محمص، والذي يقوم بدوره بتدوير العنفة المربوطة مع مولد كهربائي لإنتاج الطاقة الكهربائية، إذ توفر محطات توليد الطاقة نسبة كبيرة من الكهرباء المنتجة في القطر.

يعد تآكل السطوح الباردة مشكلة تعاني منها المراجل، وتتسبب بخسائر مادية كبيرة نتيجة التوقف عن الإنتاج للقيام بعمليات الصيانة والاستبدال للسطوح المتآكلة. وتظهر هذه التآكلات في الأجزاء التي تكون فيها درجة حرارة سطح المعدن أقل من درجة حرارة نقطة الندى لحمض الكبريت وخاصة في أجزاء المرجل ذات درجات الحرارة المنخفضة نسبياً مثل مسخنات هواء الاحتراق ومراوح دفع الهواء والمداخن. إذ أن مجال تغير درجات حرارة غازات العادم بين المرجل والمدخنة كبير جداً (121−1650 ◦c)، وهذا ما يسبب تغيرات فيزيائية وكيميائية كبيرة في مركبات غازات المداخن. ويعتبر التفاعل بين بخار الماء وثالث أكسيد الكبريت لتشكيل بخار حمض الكبريت من أكثر التفاعلات ضرراً، حيث يتكاثف بخار حمض الكبريت إلى حمض الكبريت السائل عند تلامسه مع السطوح الباردة نسبياً . [1]

وتكون عادة درجة الحرارة الدنيا للمعادن (minimum metal temperature) (MMT) منخفضة بشكل غير مقبول عند مستويات مرتفعة للكبريت في الوقود، أو عند العمل بأحمال منخفضة ، وهذا ما يجعل احتمال حدوث تآكل المعدن كبيراً.

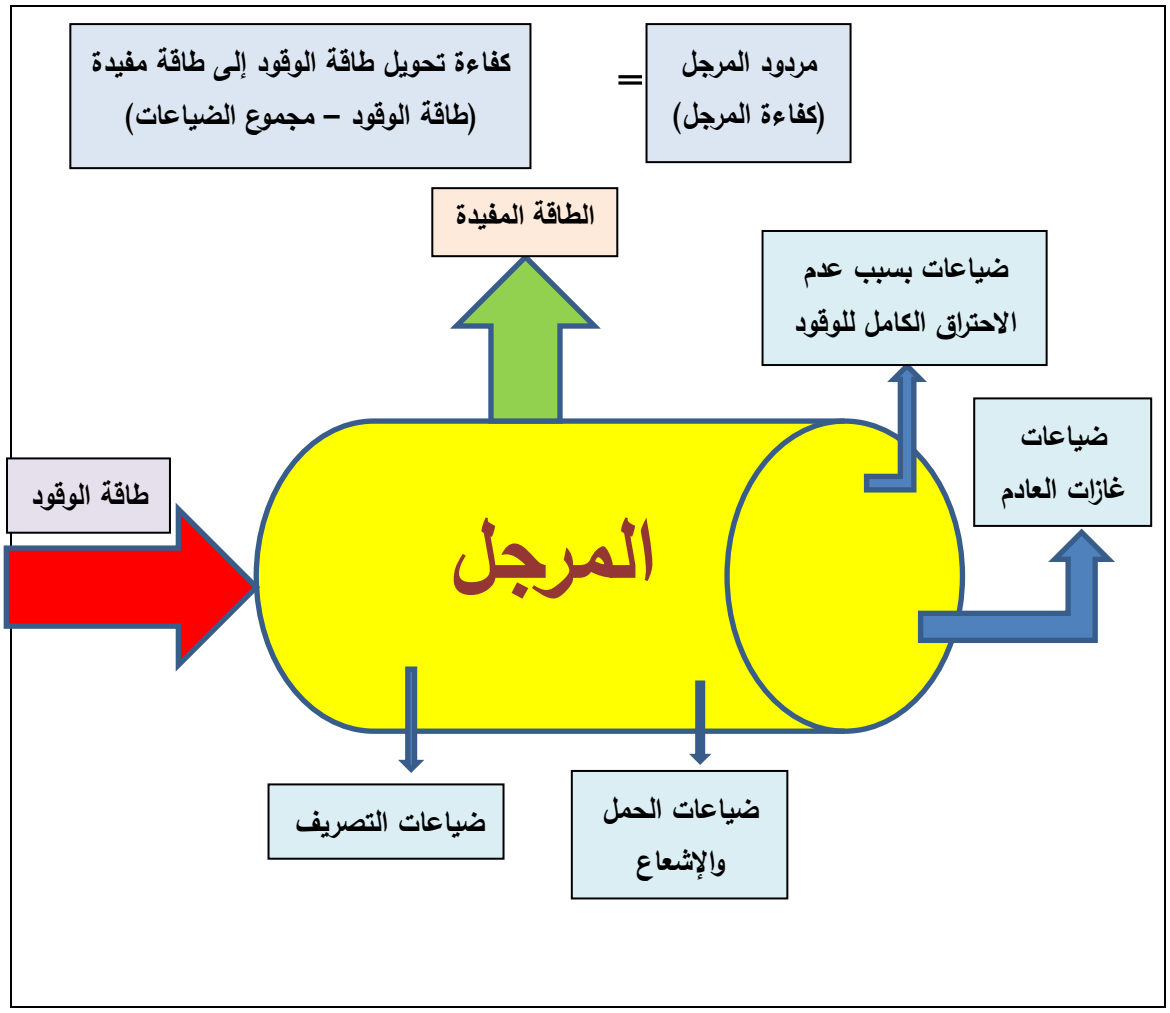
تتميز التصاميم الحديثة لمراجل توليد البخار بالاتجاه نحو استخدام درجات الحرارة العالية والضغوط المرتفعة، والرغبة في الحصول على أعلى مردود ممكن لهذه المراجل التي تستخدم الفيول الحاوي على نسبة كبيرة من الكبريت كوقود لها. ولما كانت أهم الضياعات هي كمية الحرارة التي تذهب مع غازات العادم الناتجة عن الاحتراق، لذلك سعت الشركات إلى تعديل تصميم المراجل بحيث تم العمل على تزويد هذه المراجل بموفرات لتسخين ماء التغذية الداخل إلى الحراقات، وبمسخنات أنبوبية لتسخين الهواء اللازم للاحتراق بعد خروجه من مسخن الهواء البخاري للاستفادة من أقصى مردود حراري، كما هو موضح في الشكل (1).

ولإنقاص الضياعات الحرارية للمدخنة إلى الحد الأدنى. إذ إن قيمة هذه الضياعات تتعلق بالدرجة الأولى بدرجة حرارة الغازات الخارجة من المرجل إلى الوسط الخارجي، [2] (أي بدرجة حرارة خرج مسخن الهواء الأخير بالنسبة لغازات العادم)، وكذلك بدرجة الحرارة المرجعية (درجة حرارة الهواء على خرج مسخن الهواء البخاري). وهذا ما يفسر الحصول على مردود عال في المراجل الحديثة التي تحتوي على أجهزة استعادة الحرارة من غازات العادم، إذ يزداد مردود المرجل بمعدل (1%) لكل ارتفاع في حرارة ماء التغذية بمقدار (6) درجات [3]. كما ويزداد بمعدل (1%) لكل انخفاض في درجة حرارة غازات العادم بمقدار (20−22°C) في مسخنات هواء الاحتراق [4].



الشكل(1): مخطط لمرجل توليد البخار.

يعتبر مردود المرجل أحد أهم خصائص الأداء للمراجل وهو يعبر عن كفاءة المرجل في تحويل الطاقة الكامنة في الوقود إلى طاقة مفيدة، ولذلك تسعى كل الشركات الاستثمارية إلى زيادة قيمته وبالتالي زيادة كمية البخار المنتجة واللازمة لتدوير عنفات توليد الكهرباء، الأمر الذي يؤدي إلى تقليل الضياعات الناتجة عن الظروف التي تعمل عندها هذه المراجل، إذ يتعلق مردود عمل المرجل بالأحمال الجزئية المطبقة، و بنوع الوقود المستهلك في الحراقات، كما يتعلق بتصميم المرجل نفسه، ويوضح الشكل(2) أهم الضياعات المؤثرة على مردود عمل المرجل.



الشكل (2): الضياعات المؤثرة على مردود عمل المرجل

2- هدف البحث وأهميته:

في ظل الطلب المتزايد على الطاقة الكهربائية، تركز الاهتمام على زيادة مردود مراجل توليد البخار في ظل الشروط التي تعمل فيها في الظروف الحالية، وخاصة الظروف الاقتصادية للمنشأة، لذلك يتلخص هدف البحث في النقاط التالية:

- إجراء دراسة تحليلية شاملة لتوضيح تأثير نسبة الكبريت في الفيول على تآكل السطوح الباردة في مراجل توليد البخار متمثلة بمسخنات هواء الاحتراق، وخاصة المسخن الأخير بالنسبة لغازات العادم.
- دراسة تأثير نسبة الكبريت في الفيول على مردود المرجل، واقتراح الحلول المناسبة لتحسين المردود وتخفيض تآكل السطوح الباردة بما يعود بالفائدة الاقتصادية على المنشأة .

3- مواد وطرائق البحث:

يتضمن البحث دراسة تحليلية شاملة لتحديد تأثير نسبة الكبريت في الفيول على مشكلة التآكل التي تتعرض لها السطوح الباردة (مسخنات هواء الاحتراق) في مراجل توليد البخار، وذلك من خلال:

- إجراء تحليل كيميائي للفيول المستخدم في حراقات المراجل في المختبر المركزي التابع لمصفاة بانياس،
- إجراء تحليل كيميائي لغازات العادم الناتجة عن الاحتراق.
- إجراء مقارنة بين بارامترات عمل المرجل عند العمل بالاستطاعتين التصميمية والفعلية.
- القيام بالتجارب العملية من خلال تحضير كوبونات من نفس نوع معدن السطوح المدروسة وهو (St37)، بطول(300 mm)، وعرض(30 mm)، وسماكة(2–3 mm) ، ويتراوح وزنها بين (270–300g). وزرعها في مجرى غازات العادم لمدة معينة، ودراسة مقدار التغير في وزنها نتيجة عملية التآكل التي تعرضت لها.
- إجراء تحليل كيميائي لترسبات رماد الوقود على سطح الكوبون المستعمل في مختبر المعهد العالي للبحوث البحرية، ورسم مخطط توضيحي يحدد نسب مكوناتها مع زمن التحليل.

كما يتضمن البحث دراسة تأثير نسبة الكبريت في الفيول على مردود المرجل وتوضيح ذلك باستخدام العلاقات الرياضية المناسبة.

4- النتائج والمناقشة:

4-1- دراسة تأثير نسبة الكبريت في الفيول على تآكل السطوح الباردة:

يلعب التركيب الكيميائي للفيول دوراً هاماً في التأثير على مردود المراجل، وعلى تآكل السطوح الباردة المتمثلة بمسخنات هواء الاحتراق، إذ تتشكل نسب وكميات مختلفة من الغازات في نواتج الاحتراق وفي غازات العادم والتي تحتوي على عناصر أكالة للمعادن، تسبب تآكل وتلف سطوح التسخين في المرجل، مما يسبب أضراراً مادية جسيمة ناتجة عن تكاليف قطع الغيار والتوقفات المتكررة للمرجل [2].

من أهم هذه العناصر الخطرة الناتجة ثاني أكسيد الكبريت الذي يسبب ما يعرف باسم "التآكل الحمضي "، والذي يتشكل نتيجة تفاعل ثاني أكسيد الكبريت الموجود ضمن الغازات مع الأكسجين وتحوله إلى ثالث أكسيد الكبريت، والذي بدوره يتفاعل مع أبخرة الماء لتشكيل بخار حمض الكبريت وفق المعادلات الآتية:[1]

$$(1) \qquad S + O_2 \rightarrow SO_2$$

$$(2) \qquad SO_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow SO_3$$

$$(3) \qquad SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

إن تشكل SO_2 وSO_3 ليس بمشكلة بحد ذاته في المرجل (على الرغم من أنه يشكل مشكلة خارج المرجل في حال تواجد التكاثف الحامضي)، ولكن المشكلة تكمن في تفاعل SO_3 بوجود بخار الماء لتشكيل بخار حمض الكبريت. إذ تتكاثف هذه الأبخرة على سطوح التسخين المتوضعة ضمن مجرى الغازات عند

انخفاض درجة حرارتها إلى درجة أقل من درجة حرارة الندى (120−160°C). وبما أن النهاية المعدنية الباردة لمسخنات الهواء كثيراً ما تكون منخفضة إلى (93°C) ، يحدث التآكل الحمضي بسبب تشكل نقطة الندى [3].

ويقصد بنقطة ندى الحمض درجة حرارة الغازات التي تحدث عندها عملية تكاثف أبخرة حمض الكبريت. حيث تنخفض درجة حرارة السطح إلى أقل من نقطة الندى، مما يسمح للرطوبة بالتشكل على سطوح الأنابيب، وتعمل الرطوبة بالتآزر مع الترسبات الكبريتية التي تغطى السطح على تشكيل إلكتروليت ذي درجة حموضة (PH) منخفضة مما يسبب حدوث التآكل بمعدل كبير.

وتتوقف خطورة وسرعة حدوث التآكل الحمضي على قيمة درجة حموضة الالكتروليت ، إذ تعتبر المعادن والمسخنات آمنة عند درجة حموضة (PH≥3.5). [5] كما هو موضح في الشكل(3).

الشكل (3): درجة الحموضة على سطح المسخن

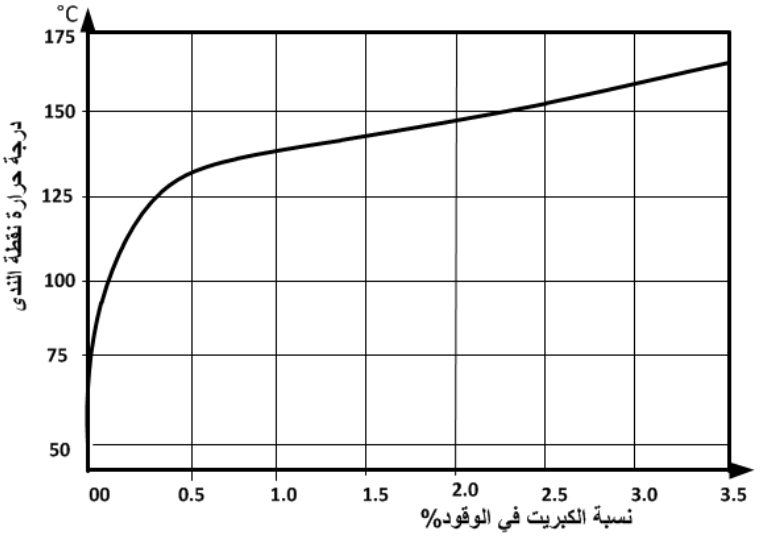
وترتبط درجة حرارة نقطة الندى بعوامل عديدة من أهمها نسبة الكبريت في الوقود، إذ أنه كلما ازدادت نسبة الكبريت في الوقود كلما ارتفعت درجة حرارة نقطة الندى وذلك وفق القانون الذي يعبر عن العلاقة بين درجة حرارة نقطة الندى لغازات العادم وبين النسبة المئوية للكبريت في الوقود [6] :

$$T_G = 19.57Ln(S) + 132.97 \quad (4)$$

حيث : T_G : درجة حرارة نقطة ندى غازات العادم .

S : النسبة المئوية للكبريت في الوقود .

كما يوضح الشكل (4) أيضاً تأثير نسبة الكبريت في الفيول على درجة حرارة نقطة الندى لغازات العادم.



الشكل (4): تأثير نسبة الكبريت في الوقود على درجة حرارة نقطة الندى [7]

يلعب عنصر الفناديوم الموجود في الفيول دوراً فعالاً في تلف الأنابيب نتيجة تكون الرماد Ash الحاوي على مركبات هذه العناصر، بحيث يحدث تآكل سريع يؤدي إلى تلف الأنابيب والسبب يعود إلى تشكل أكسيد

الفناديوم V_2O_5 وهو أكسيد متطاير، بالإضافة إلى أنه يعمل كعامل مساعد لتحويل ثاني أكسيد الكبريت إلى ثالث أكسيد الكبريت مسبباً تآكلاً شديداً للحديد [8] .

تمت الدراسة على أحد مراجل توليد البخار في محطة توليد الطاقة التابعة لمصفاة بانياس. والذي يعمل باستطاعة تصميمية قدرها (120t/h)، عند ضغط (100 bar)، ودرجة حرارة للبخار المحمص حوالي(500 °C). حيث يستخدم الفيول السائل الحاوي على نسبة كبريت (4.13%) ، بالإضافة إلى الفناديوم. والذي تم توصيفه وفق الجدول (1).

الجدول(1) تحليل الفيول المستخدم في حراقات المراجل

الخصائص	طريقة الفحص والاختبار	النتيجة
الوزن النوعي بدرجة C(15.6°) أو F(60)	ASTEM–D 1298	0.9813[N/m³]
الكثافة عند الدرجة(c15◦)	By Table /23/	0.9807
اللزوجة الكينماتيكية عند الدرجة (c100◦)	ASTEM–D 1552	38 Cst
الاسفلتينيات (مواد لا تذوب في روح الفيول)	UOP – 614	%9.3
نسبة الكبريت	ASTEM–D 445	%4.13
نسبة الفناديوم	UOP – 391	107PPM

وبالاعتماد على نسبة الكبريت في الفيول فإن درجة حرارة نقطة الندى المحسوبة وفق المعادلة (4) تكون:

$$T_G = 19.57Ln(4.13) + 132.97 = 160.709(C\circ)$$

ولما كانت هذه المراجل لا تعمل باستطاعتها التصميمية فقد أدى ذلك إلى تغير في ظروف العمل وبالتالي تغير درجات الحرارة لغازات العادم ضمن مجراها داخل المرجل إذ تبين أن درجة حرارة خروج غازات العادم من مسخن الهواء الأخير إلى المدخنة في حالة الاستطاعة التصميمية كان (190°C)، وعند العمل بأحمال جزئية أصبحت درجة حرارة خروج غازات العادم من المسخن نفسه وسطياً (155 °C)، وهي أقل من نقطة الندى المحسوبة في المعادلة(3). كما هو موضح في الجدول (2).

الجدول (2): تغير بارامترات عمل المرجل عند العمل بالاستطاعة الجزئية.

بارامترات عمل المرجل		العمل بالاستطاعة التصميمية	العمل بالاستطاعة الجزئية
كمية البخار المولد (استطاعة المرجل)		120(t/h)	(60 –80) t/h
كمية الوقود المستهلكة في الحراقات		9 t/h	(4.6–5.4) t/h
درجة حرارة غازات العادم داخل المرجل (c°)	حجرة الاحتراق	970 c°	932c°
	بعد المحمصات	520c°	490 c°
	بعد الموفرات	310c°	274 c°
	بعد المسخنات	190c°	155c°
درجة حرارة هواء الاحتراق	بعد المسخن البخاري	120 c°	120 c°
	بعد مسخنات هواء الاحتراق	240c°	207 c°

وعند القيام بتحليل كيميائي لغازات العادم تبين أنها تحتوي على نسب مرتفعة من أكاسيد الكبريت والنتروجين، وأن وسط هذه الغازات حامضي (PH<7)، إذ إن درجة حموضة الرماد أقل من (3) وهي ضمن المجال الخطر المسبب لحدوث التآكل الحمضي. كما يظهر بوضوح من خلال الجدول(3).

الجدول (3) تحليل كيميائي لغازات العادم في مراجل توليد البخار

نسب العناصر في أيام عمل مختلفة	12/23	1/6	1/20	1/31	2/3
البخار المولد(t/h)	68	75	65	61	62
الفيول المستهلك	5.2	5.4	4.8	4.5	4.6
نسبة الكبريت(%)	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71
$CO_2(\%)$	14.6	15.8	15.3	15.9	15.9
درجة حموضة الرماد (PH)	2.4	2.4	2.5	2.9	2.9
الهواء الزائد (%)	24.52	32.93	28.77	33.33	34.23
$C_xH_x\left({}^{mg}/_{m^3}\right)$	16	15	10	15	17
$O_2(\%)$	4.57	3.67	4.07	3.63	3.82
$CO\left({}^{mg}/_{m^3}\right)$	99	44	40	38	37
$NO_X\left({}^{mg}/_{m^3}\right)$	111	86	82	115	104
$SO_2\left({}^{mg}/_{m^3}\right)$	2402	1564	1361	1364	1047
$SO_X\left({}^{mg}/_{m^3}\right)$	2450	1595	1388	1391	1207
درجة حرارة الغاز بعد المسخنات(C°)	155	157	154	151	152

المصدر: الجدول من إعداد الباحثة

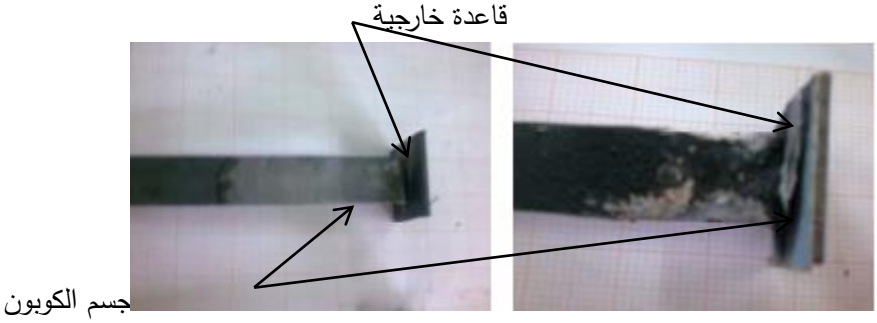
إن استنزاف حرارة غازات العادم عبر دورتها داخل المرجل يسرع تفاعل أكاسيد الكبريت والنتروجين مع بخار الماء لتشكيل بخار حمض الكبريت وبخار حمض النتروجين، وهذا الوسط الحمضي المتشكل في منطقة المسخنات يشكل خطورة على معادن تلك المسخنات بحيث يجعلها عرضة للتآكل، خاصة وأن درجة حرارة غازات العادم على سطوحها تكون أقل من درجة حرارة نقطة الندى لحمض الكبريت. حيث تغطى بترسبات ناتجة عن التآكل تحجب المنطقة المتآكلة ويكون من الصعب التعرف عليها بالعين المجردة .

وبما أن درجة الحرارة تنخفض إلى ما دون نقطة الندى المحسوبة فهذا يؤكد حدوث التآكل الحمضي (بسبب عنصر الكبريت) لمسخن الهواء الأخير بالنسبة لخروج غازات العادم.

ولدراسة حجم التآكل في هذا المسخن تم زرع كوبونات معدنية في مجرى غازات العادم بين المسخن الأخير ومروحة السحب بحيث يتعرض لنفس الظروف التي يتعرض لها هذا المسخن. وتتألف من قاعدة خارجية لتثبيتها على جدار قناة المرجل من الخارج ومن جسم الكوبون الذي يدخل إلى القناة بحيث تتم الدراسة التحليلية عليه كونه يتعرض لنفس ظروف عمل مسخن الهواء كما هو موضح في الشكل (5).

وقبل زرع الكوبون في كل تجربة نقوم بتنظيفه جيداً بورق صنفرة لإزالة الأوساخ والأكاسيد عن سطحه ثم وزنه على ميزان إلكتروني رقمي بدقة (0.01g)، ثم يترك الكوبون المزروع لمدة ثلاثين يوماً ويتم إخراجه من المرجل، ليزرع كوبون جديد مكانه من أجل تجربة أخرى.

وقد لوحظ بعد التجربة تشكل طبقة سوداء من هباب الفحم تغطي كامل سطح الكوبون وتحتها طبقة بيضاء اللون سميكة وهشة وتحتها تآكل عام يمتد على بعد(5 Cm) من قاعدة الكوبون (من جهة جدار قناة المرجل). كما هو موضح في الشكل(5).



الشكل (5): صورة توضيحية للكوبون المستعمل.

تم تنظيف الكوبون المستعمل في التجربة وإزالة الرواسب المتكونة على سطحه، وجمعت هذه الترسبات في وعاء زجاجي محكم الإغلاق لإجراء تحليل كيميائي لها، بعد ذلك تم وزن الكوبون من جديد لتحديد مقدار التغير في الوزن. وعند تكرار التجربة تبين وجود نفس الملاحظات على سطح الكوبونات المزروعة. وقد رتبت نتائج التجارب في الجدول (4):

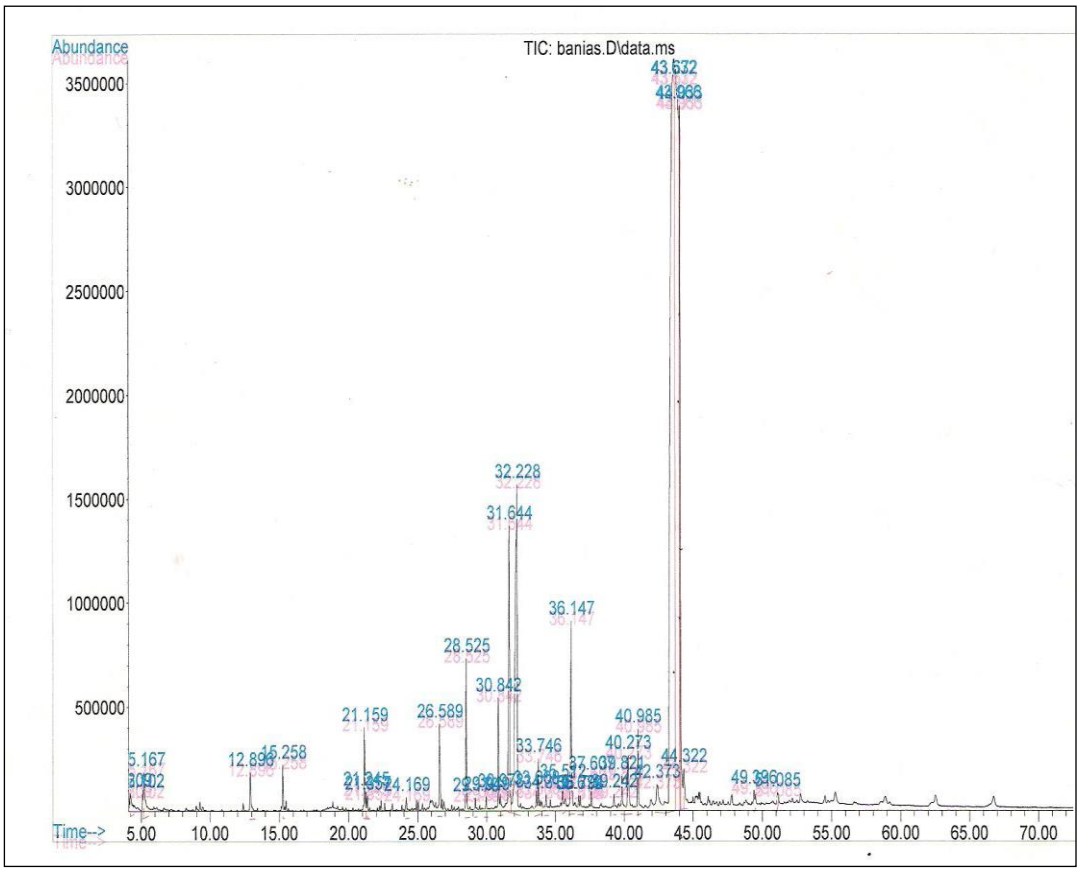
الجدول(4): بيانات الكوبون المستعمل خلال التجربة

رقم الكوبون	تاريخ زرع الكوبون	الوزن الأولي للكوبون (g)	مدة التجربة (يوم)	الوزن بعد التجربة(g)	الوزن المفقود (g)
1	8/15	285	30	270	15
2	9/15	277	30	264	13
3	10/15	280	30	268	12
4	11/15	278	30	264	14
6	12/15	281	30	267	14

الجدول من إعداد الباحثة.

ومن خلال الجدول يلاحظ أن النقص في وزن الكوبونات المزروعة هو بنفس النسبة تقريباً.

وبما أن التأثير الأكبر للتآكل على المعدن يكون محصوراً بالسطوح المغطاة بترسبات الرماد الناتج عن احتراق الفيول، ويكون في مناطق محددة من المعدن بينما تبقى المناطق الأخرى سليمة. لذلك تم إجراء تحاليل كيميائية للمادة المترسبة على سطح الكوبون والمؤلفة من الطبقة البيضاء وهباب الفحم في مخبر المعهد العالي للبحوث البحرية . ورسم مخطط بياني مرافق للتحليل الكيميائي يوضح العلاقة بين وفرة المركبات الكيميائية الداخلة في تركيب المادة المترسبة على الكوبون وبين الزمن المستغرق خلال التحليل، وذلك عند كل ذروة . كما هو موضح بالشكل (6).



الشكل (6) رسم تخطيطي يوضح العلاقة بين وفرة المركبات الكيميائية مع الزمن

يظهر من المخطط البياني الموضح في الشكل (6) أن المركب الكيميائي الأساسي في العينة والذي يملك النسبة الأكبر هو: (1,2–Benzenedicarboxylic acid ,mono(2–ethylhexyl) ester) وله ذروة متوافقة مع الزمن (43.632 min) ، كذلك المركب (1,2–Benzenedicarboxylic acid, diis octyl ester) وله ذروة متوافقة مع الزمن (43.672 min) وذروة أخرى متوافقة مع الزمن (43.966 min). ويبين الجدول (5) بعض المركبات الكيميائية الناتجة عن تحليل المواد المترسبة على سطح الكوبون المستعمل والتي تملك النسب الأكبر في هذه العينة. وذلك بالاعتماد على المخطط الموضح في الشكل (6) . حيث يتم تحديد المركب الكيميائي الناتج عن التحليل ونسبته عند الذروة الموافقة لكل زمن .

الجدول(5): نسب بعض المركبات الكيميائية في عينة الاختبار

الذروة peak	الزمن R.T(min)	اسم المركب الكيميائي	النسبة(%)
1	5.168	1- Hexanol, 2-ethyl-	0.66
2	12.899	Phthalic anhydride	0.38
4	19.50	sulfur	0.04
5	21.161	2-Tetradecane, (E)- . 1-Heptadecanol	0.53
10	26.591	1-Nonadecane . 5-Octadecane, (E)-	0.77
11	28.525	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl)ester	1.13
12	30.843	Dibutyl phthalate	0.76
13	30.980	E-11-Hexadecanoic acid, ethyl ester	0.14
14	31.644	Hexadecanoic acid, ethyl ester	2.65
15	32.227	Cyclic octaatomic sulfur	6.36
17	33.744	1,2-Benzenedicarboxylic acid,mono butyl ester	0.35
20	36.147	Octadecanoic acid, ethyl ester	1.85
23	39.821	1,2-Benzisothiazole, 3-(hexahydro-1H-azepin-1-yl)-, 1,1-dioxide	0.37
24	40.273	Triphenyl phosphate	0.70
25	40.988	Octicizer . phosphoric acid, isodecyl diphenyl ester	0.69
26	43.632	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	26.47
27	43.672	1,2-Benzenedicarboxylic acid, diis octyl ester	26.39
28	43.966	1,2-Benzenedicarboxylic acid, diis octyl ester	5.37
29	44.324	Trichioroacetic acid, hexadecyl ester	0.60
30	49.393	Erucic acid	0.15
31	51.087	2-chloropropionic acid, Octadecyl ester	0.13

وقد تبين أن معظم المواد في هذا الجدول هي مواد حمضية هيدروكربونية معقدة ومواد عضوية كبريتية تؤكد وجود الكبريت كعنصر يدخل في تركيب ترسبات الرماد على سطح الكوبون، وبالتالي على السطوح الباردة لأنابيب مسخنات هواء الاحتراق، وبالتالي تؤكد وجود الكبريت كعامل أساسي في حدوث التآكل الذي يصيب معدن السطوح الباردة في المرجل عند انخفاض درجة حرارة السطوح إلى ما دون نقطة الندى لحمض الكبريت.

4-2- دراسة تأثير نسبة الكبريت على مردود المرجل:

بالرغم من إجراءات التعديل على تصميم المراجل، إلا أن تحسين مردود هذه المراجل ظل الهاجس الأكبر الذي تسعى له شركات التصنيع، إذ إن هذه المراجل لا تعمل عند الشروط التصميمية وإنما تحكمها ظروف عديدة أهمها الظروف الاقتصادية، فهي تعمل بأحمال جزئية وهذا يؤثر على مردود المرجل، فقد تبين ومن خلال الخبرة العملية أن ازدياد الحمولة على مولد البخار (الاستطاعة) تعني زيادة كمية الوقود المستهلكة في الحراقات، كما أن ضياعات السحب تزداد مع ازدياد الحمولة وبالتالي غزارة الهواء اللازم للاحتراق وزيادة غزارة غازات العادم الناتجة.

فقد تبين من خلال الجدول(2) أن كمية الفيول المستهلكة في الحراقات عند الاستطاعة التصميمية هي 9(t/h) في حين أن العمل بأحمال (استطاعة) جزئية كانت الكمية الفيول المستهلكة في الحراقات متفاوتة بين t/h(4.6−5.4).

ويلعب نوع الوقود المستعمل في الحراقات دوراً كبيراً في التأثير على المردود، إذ يلاحظ أن مردود المرجل أقل عند استعمال الوقود الغازي منه في حالة استعمال الوقود السائل منه في حالة استعمال الفحم المسحوق. وسبب ذلك هو زيادة الضياعات بسبب تشكل بخار الماء بنسبة أعلى في تركيب الوقودين الغازي والسائل، بالإضافة إلى أن اللهب في حالة الوقود السائل والغازي يكون أقل توهجاً، وبالتالي تكون كمية الحرارة المنتقلة بالإشعاع أقل، إلا أن اختيار نوع الوقود المستعمل في مولد البخار يتعلق بالدرجة الأولى بتوفره وثمنه.

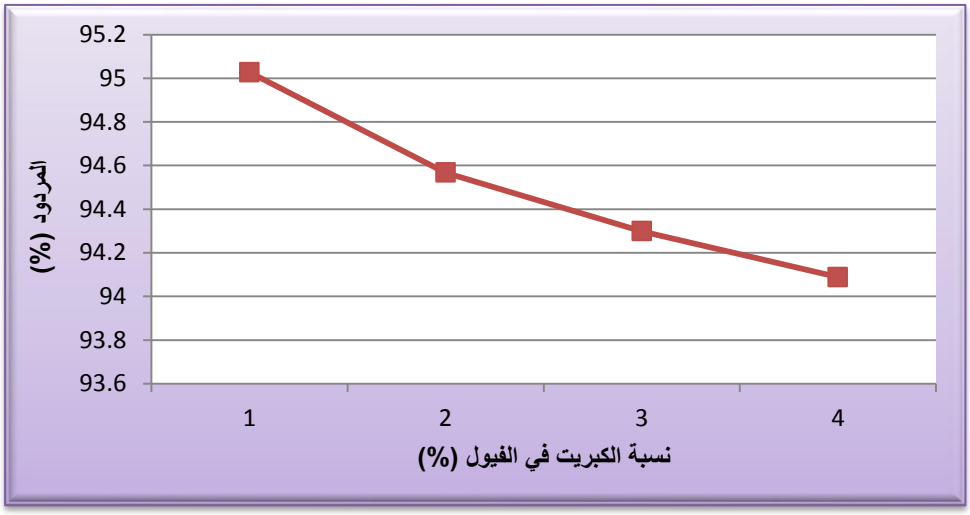
كما يتأثر المردود بشكل كبير بنوع الفيول وما يحتويه من عناصر كيميائية، حيث تتشكل نسب وكميات مختلفة من الغازات في نواتج الاحتراق وفي الغازات العادمة ضمن مجرى هذه الغازات وكذلك تختلف كمية الهواء اللازمة للاحتراق من وقود إلى آخر، وقد تبين أن عنصر الكبريت هو الأشد تأثيراً على المردود وذلك من خلال العلاقة التي تربط بين نسبة الكبريت في الفيول والمردود الحراري للمرجل والمحددة وفق الآتي [5]:

$$\eta_{Boi} = 95.027/S^{0.007} \qquad (5)$$

وبالتعويض في هذه العلاقة وبحسب نسبة الكبريت الموجودة في الفيول نجد أن قيمة المردود للمرجل هي:

$$\eta_{Boi} = 95.027/(4.13)^{0.007} = 94.088\ \%$$

ومن خلال العلاقة (5) يتبين أن العلاقة بين نسبة الكبريت والمردود الحراري للمرجل هي علاقة عكسية أي أنه كلما كانت نسبة الكبريت في الفيول أكبر كلما كان المردود أقل. وهذا يؤثر على خصائص أداء المرجل وعلى كفاءة تحويل طاقة الوقود الكامنة إلى عمل أو طاقة مفيدة . وقد تم حساب المردود عند قيم مختلفة لنسبة الكبريت في الفيول ورسم مخطط بياني وفق ما هو موضح بالشكل(7):



الشكل (7) تأثير نسبة الكبريت في الفيول على المردود الحراري للمرجل.

وتبين من خلال الشكل(7) أن انخفاض نسبة الكبريت في الفيول يؤدي إلى تحسين مردود عمل المرجل، وبنفس الوقت يؤدي إلى خفض درجة حرارة نقطة الندى، الأمر الذي يؤدي إلى جعل درجة حرارة خروج غازات العادم من المرجل أعلى من نقطة الندى وبالتالي تقليل نسبة التآكل الحمضي الذي تتعرض له النهايات الباردة في المرجل متمثلة بمسخنات الهواء. ويوضح الجدول (6) تأثير نسبة الكبريت في الفيول على كل من مردود المرجل ودرجة حرارة نقطة الندى لحمض الكبريت وذلك وفق المعادلتين (4) ، (5) .

الجدول(6) تأثير نسبة الكبريت على مردود المرجل ودرجة حرارة نقطة الندى

نسبة الكبريت في الفيول (%)	4.13	4	3	2	1
درجة حرارة نقطة الندى (c°)	160.7	160	154.4	146.5	132.92
مردود المرجل (%)	94.088	94.11	94.299	94.567	95.027

يؤدي تخفيض نسبة الكبريت في الفيول إلى (3)% إلى خفض درجة حرارة نقطة الندى لحمض الكبريت إلى (154.4°C). أي أقل من درجة حرارة خروج غازات العادم من المسخنات (155° C) وبالتالي تقليل التآكل الحمضي الحاصل على السطوح الباردة بشكل كبير وذلك لعدم تشكل قطرات بخار حمض الكبريت عليها، وبالتالي تقليل فترات التوقف للصيانة ولتبديل السطوح المتآكلة. ومن جهة أخرى فإن تخفيض نسبة الكبريت بهذا المقدار يؤدي إلى تحسين مردود المرجل إلى (94.299)% وبالتالي تقليل الضياعات الحرارية في المرجل الأمر الذي يؤدي إلى تحسين أداء محطة القوى التابع لها. وهذا يعود بالفائدة الاقتصادية على المنشأة ككل. وذلك من دون إحداث أي تغير في تصميم أي جزء من أجزاء المرجل أو تغيير ظروف عمل هذا المرجل في ظل الظروف الاقتصادية الحالية التي تعمل عندها المنشأة.

5- الاستنتاجات:

1. يمثل وجود الكبريت بنسبة كبيرة في الفيول عاملاً أساسياً في حدوث التآكل الذي تتعرض له السطوح الباردة في المرجل، إذ يسبب تشكل (SO_2) والذي بدوره يتحول إلى (SO_3) وبالتالي تشكل بخار حمض الكبريت وتكاثفه عند انخفاض درجة الحرارة دون درجة حرارة نقطة الندى.
2. من خلال إجراء تحليل كيميائي لنواتج غازات العادم تبين أن وسط هذه الغازات حمضي حيث (PH<3.5)، أي تقع ضمن المجال الخطر المسبب للتآكل الحمضي الذي تتعرض له السطوح الباردة، بسبب تشكل بخار حمض الكبريت.
3. أظهرت نتائج تجارب زرع كوبونات فحص التآكل، وإجراء التحاليل الكيميائية للترسبات الموجودة على سطح الكوبون، وجود الكبريت كعنصر يدخل في تركيب بعض المركبات الكيميائية الناتجة عن التحليل والذي يشكل عاملاً أساسياً في حدوث التآكل.
4. تبين من خلال دراسة تأثير نسبة الكبريت على مردود المرجل أن هناك علاقة عكسية بينهما أي أن انخفاض نسبة الكبريت في الفيول يؤدي إلى تحسين مردود المرجل الأمر الذي يؤدي إلى تقليل الضياعات وبالتالي زيادة كمية البخار المنتج.
5. إن تخفيض نسبة الكبريت في الفيول إلى (3%) من شأنه أن يحسن المردود في المرجل إلى القيمة (94.299)%، بالإضافة إلى تقليل درجة حرارة نقطة الندى إلى (154.4°C) بحيث تعمل مسخنات هواء الاحتراق عند درجات حرارة أعلى من نقطة ندى حمض الكبريت وبالتالي تقليل التآكل الحاصل فيها.

6- التوصيات:

1. يوصى بأن تعمل مراجل توليد البخار بالاستطاعة التصميمية للمرجل ، بحيث توفر ظروفاً مثالية لعمل أجزاء المرجل كلها بما فيها السطوح الباردة ممثلة بمسخنات هواء الاحتراق، بما يؤدي إلى زيادة مردود المرجل.
2. تقليل نسبة الكبريت في الفيول المستخدم في حراقات المراجل، بحيث تعمل السطوح الباردة عند درجات حرارة أعلى من درجة حرارة نقطة الندى، بحيث يتحسن مردود المرجل عند الظروف التي يعمل عندها.

المراجع العلمية:

1- Huisbregts, W.M.M ,Leferink, *R.''Ant-corrosion Methods and Materials''*, Vol 51,3 (2004) . P(173-188).

2- Резников, М. И., Липов, Ю. М. Паровые котлы тепловых лектростанций чебник для студентов вузов .-М: Энергоиздат 1981. 240с.

3- CHATTOPADHYAY,P.P. *Boiler Operation Engineering, Second Edition, McGraw-Hill, New York,* 2001, 1377.

4- نحاس، د. أحمد. *مولدات البخار* – منشورات جامعة حلب ، 1983.

5- داوود، صلاح،2011. *دراسة أثر محسنات الاحتراق على مسخنات الهواء لدى احتراق الفيول في محطات التوليد البخارية*، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، سلسلة العلوم الهندسية، المجلد.33العدد5، 29-40.

6- 6- علي، د. يونس. *دراسة تأثير درجة الحرارة وتركيب الفيول على أداء محطات التوليد الكهروحرارية* – ليبيا، . 2008. (7،8)

7- GEP,W 2009.*Handbook of industrial water treatment. General Electrical Company*, England,480p

8- . WWW.arab-eng.org/vb/register.php