مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (34) العدد (2) 2012
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (34) No. (2) 2012

تحسين كفاءة مراجل أنابيب اللهب باستخدام تقنيات متعددة

الدكتور حسين ابراهيم*
الدكتورحبيب محمود**
الدكتور سليمان سليمان***

(تاريخ الإيداع 28 / 11 / 2011. قُبِل للنشر في 24/ 4 / 2012)

□ ملخّص □

في ظل الطلب العالمي المتزايد على الطاقة، وارتفاع أسعار النفط أصبحت عمليات الحد من الهدر، وتوفير الطاقة من خلال تحسين كفاءة مراجل البخار حاجة ملحة، وضرورية، لهذا تم انجاز عدد من الاختبارات على عدد من مراجل أنابيب اللهب العاملة في الصناعة السورية بغرض تحسين كفاءتها، حيث تم استبدال فالات تذرير الوقود، واستخدام تقنيات الصفيحة المثقبة، وأسلاك التدويم، لتحسين عمليات المزج داخل حجرة الاحتراق وانتقال الحرارة إلى وسيط التشغيل، وقد أظهرت النتائج أن كفاءة مرجل أنبوب اللهب المختبر، تحسنت عند استبدال فالة التذرير القديمة بأخرى جديدة بحوالي 6%، كما تحسنت الكفاءة بنتيجة استخدام الصفيحة المثقبة، بالمقارنة مع استخدام نظام التدويم الحلقي، بحوالي 5%. أما في حالة استخدام أسلاك التدويم في أنابيب مساري غازات الاحتراق الأول، والثاني، فقد أدى ذلك إلى رفع الكفاءة بما يتجاوز 2 %. ما يعني وفراً سنوياً وسطياً يتراوح مقداره بين 4 و6.5 مليوناً ل.س في السنة لكل مرجل، وذلك بحسب إجمالي استهلاك المرجل السنوي من الوقود المرتبط بصورة رئيسة بزمن التشغيل وباستطاعة المرجل، وبافتراض أن سعر الفيول يبلغ 13000 ل.س/طن.

الكلمات المفتاحية: كفاءة المرجل– التبادل الحراري– عمليات المزج– الوفر السنوي.

* دكتور مهندس في هندسة الطاقة الحرارية – دمشق– سورية.
** أستاذ في قسم هندسة القوى الميكانيكية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية –جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
*** أستاذ في قسم الفيزياء في المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا – مركز الدراسات والبحوث العلمية– دمشق– سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (34) العدد (2) 2012
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (34) No. (2) 2012

Fire tube Boiler Efficiency Improvement Through Using Several Techniques

Dr. Hussein Ibrahim*
Dr. Habib Mahmoud**
Dr. Suleiman Suleiman***

(Received 28 / 11 / 2011. Accepted 24 / 4 / 2012)

□ ABSTRACT □

With the ever increasing world requirement to the power and the high cost of fuel, the losses reducing and saving processes became very important through improving the boiler efficiency. Therefore, the number of tests are performed on some of fire tube boilers used in industrial public sectors to improve their efficiency. The old atomizing nozzle is replaced. Also, the perforated plate and swirler coil wires are used to improve the mixing process inside the combustion chamber and increasing the heat transfer to working media. The boiler efficiency has been improved by replacing old atomizing nozzle by other new at excess air ratio about 30.% by 6.%, and the efficiency improved by using the perforated plate in comparison with using the swirler desk system at excess air ratio about 24% by 5%. In state of swirler coil wires using in first and second gas tubes paths, the efficiency increased by 2% at excess air ratio 40%. On the other hand, that means, the boiler efficiency improvements will allow to earn between 4 and 6.5 million S.P. yearly for each boiler according to fuel consumption of boilers, which mainly related to the period of operation and the capacity of boiler; that is, by assuming that the cost of fuel is about 13000 S.P./ton.

Keywords: Boiler efficiency; Heat transfer; mixing process.

* **Professor; Thermal Engineering, Director of Decision Support at Prime Ministry, Damascus, Syria.**
** **Professor; Mechanical Power Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
*** **Professor; Physical Department, Higher Institute of Applied Sciences and Technology, Damascus, Syria.**

مقدمة

تؤمن المراجل الحاجة من البخار اللازمة للأغراض الصناعية والاستهلاكية المختلفة، ويوجد في القطر العربي السوري عددٌ كبيرٌ من مراجل أنابيب اللهب المستخدمة لإنتاج البخار في شركات قطاع الصناعة التحويلية، سواء في القطاع العام أم الخاص، ومن هذه المراجل ما يزيد عمرها على الثلاثين عاماً، وقد أصبحت كفاءتها بالمقارنة مع كفاءة المراجل الحديثة المتوافرة عالميا متدنية للغاية، لذا أصبح من الأهمية بمكان بالنسبة لهذه الشركات القيام بتطوير هذه المراجل لزيادة كفاءتها، بغرض تخفيض تكلفة البخار المنتج، وتقليل الملوثات الضارة بالبيئة المنبعثة منها [2-1].

وفي هذا الإطار أظهرت دراسة الواقع الراهن لمراجل أنابيب اللهب المستخدمة في قطاع الصناعة التحويلية العام، أن حوالي 73% من هذه المراجل بعمر يتجاوز العشر سنوات، وأن حوالي 43 % منها يتجاوز عمرها الـ 25عام. كما تبين من خلال القياسات التي تم إجراؤها، أن العديد من هذه المراجل تعمل عند كفاءة أقل من الكفاءة المعيارية بحدود قد تتجاوز10% ، وهذا يعود، كما هو معلوم بالنسبة للمختصين في هذا المجال، إلى أسباب عديدة، منها ما قد يتعلق بسوء التشغيل والصيانة، أو بقدم (أو ربما تقادم) التقنيات المستخدمة في تحضير مزيج الوقود والهواء أو بنوعية الوقود المستخدم أو لأسباب تتعلق بالعازل الخارجي، وغيرها، مما يتسبب بالنتيجة في خسارة مادية هائلة وفي انبعاث المزيد من الملوثات الضارة بالبيئة، ما يعني أهمية دراسة أسباب انخفاض كفاءة هذه المراجل وإيجاد الحلول المناسبة لها.

هنالك العديد من الأبحاث التي تناولت موضوع تقليل الضياعات، لتحسين كفاءة المراجل، واعتمدت في تحديد هذه الضياعات على التحليل الإكسيرجي [7-3]. وقد تركزت الجهود على تحسين كفاءة المراجل من خلال تخفيض كمية الهواء الزائد ودرجة حرارة غازات العادم إلى أقل حد ممكن، مع الحفاظ على انبعاثات أكاسيد النيتروجين وأول أكسيد الكربون والهيدروكربونات غير المحترقة (CO, HC)، بما يتفق مع المعايير العالمية في هذا المجال [10-8].

وبحسب تقرير المنظمة الأمريكية EPA لتوفير الطاقة والحفاظ على البيئة، فإن كمية الهواء الزائد المعيارية بشكل عام واللازمة للحصول على احتراق كامل في المراجل التي تعمل على الوقود السائل الثقيل هي 20% [11]، ولكن لسوء الحظ فإن معظم المراجل المستخدمة في شركاتنا تعمل عند نسب هواء زائد أعلى بكثير من هذه النسبة، وهذا يؤدي إلى زيادة معدل تدفق هواء الاحتراق وانخفاض درجة حرارة الغازات الناتجة عن الاحتراق، وبالنتيجة يؤدي ذلك إلى انخفاض كفاءة المرجل. وكما هو معروف، فإن الوصول إلى أقل نسبة ممكنة للهواء الزائد مرتبط بمجموعة من العوامل، التي يجب استقصاؤها، والعمل على تطويرها، مثل التقنيات المستخدمة في الحراق لتذرير، ومزج الوقود، وخصائص الوقود ونوعه وبرنامج الصيانة المعتمد وغيرها من العوامل الأخرى [12].

أهمية البحث وأهدافه

إن التأثير البيئي للغازات المنبعثة من مراجل توليد البخار، وكذلك الضياعات الحرارية المرافقة لهذه الغازات تؤدي إلى نتائج غير مرغوبة سواء على الكائنات الحية، أوعلى الاقتصاد الوطني وخاصة في ظل ارتفاع أسعار المواد النفطية. لذلك نسعى من خلال هذا البحث إلى تحسين كفاءة عينة من مراجل أنابيب اللهب المستخدمة في قطاع الصناعة التحويلية العام، من خلال إدخال تحسينات جديدة (استبدال فالات تزرير الوقود Atomizing Nozzles، استخدام تقنية الصفيحة

المثقبة Perforated Plate، استخدام تقنية أسلاك التدويم Swirler Coil wires) من شأنها أن تساعد في تحسين عملية الامتزاج داخل حجرة الاحتراق، ومن انتقال الحرارة إلى وسيط التشغيل، على أن يتم لاحقاً تعميم نتائج هذا البحث والاستفادة منها في تطوير هذا النوع من المراجل في مؤسسات وشركات القطاعين العام والخاص على حد سواء.

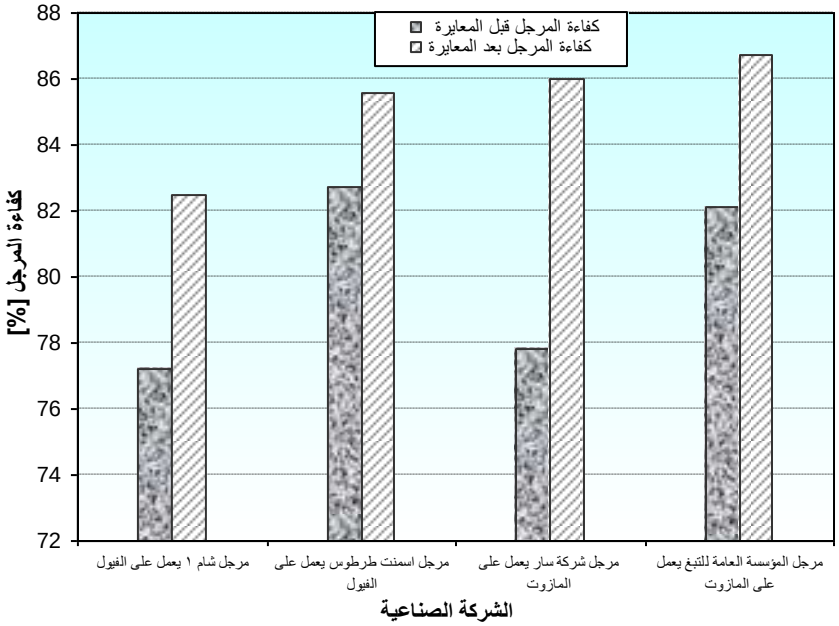
طرائق البحث ومواد

يبدأ البحث بدراسة مرجعية عن ضياعات مراجل أنابيب اللهب وطرق تحديدها والحد منها من خلال استعراض عدد من الأبحاث التي أجريت في هذا المجال، ومن ثم يتناول طريقة إجراء القياسات، والتي تمت بشكل مباشر على أرض الواقع على عينة من مراجل القطاع العام الصناعي لتحديد مدى التحسن في كفاءة هذه المراجل بعد استبدال فالة تزرير الوقود واستخدام الصفيحة المثقبة وأسلاك التدويم، وقد تم استخدام هذه التقنيات المختلفة على مراجل متنوعة، وفقاً لتصميم المرجل وعمره وظروف تشغيله. ومن ثم استعرضت النتائج التي تم التوصل إليها من خلال تحليل نتائج القياس التي تم إجراؤها، والتي أظهرت تحسناً في كفاءة المراجل المختبرة أدت بدورها إلى وفر كبير في الطاقة، وبالنتيجة يخرج البحث بمجموعة من التوصيات التي من شأنها الحد من الهدر الطاقي وبالتالي تخفيض تكلفة الإنتاج الصناعي.

الاختبارات التجريبية

في المرحلة الأولى، وقبل استخدام أية تقنية جديدة، قمنا بمعايرة عينة المراجل المختارة، لضبط الهواء الزائد عند حدوده الدنيا، وأظهرت القياسات التجريبية، التي تم إجراؤها، أن غالبية هذه المراجل تعمل عند كفاءة أقل مما هو متاح في حالة معايرتها وضبطها بصورة احترافية، حيث ارتفعت الكفاءة في بعض الحالات بما يتجاوز الـ 10%، وهذا يعود إلى أن الفنيين المعنيين بتشغيلها ومراقبتها، يفتقرون إلى الخبرة وإلى التجهيزات الفنية اللازمة لذلك، الأمر الذي يتسبب في هدر طاقي هائل غير مبرر، وفي المزيد من الأنبعاثات الغازية الضارة بالبيئة، ويبين الشكل (1) التحسن الكبير في كفاءة بعض مراجل العينة المختارة، بعد ضبطها ومعايرتها.

وبعد أن تم ضبط الهواء الزائد في المرحلة الأولى، تم في المرحلة الثانية العمل على رفع كفاءة المرجل من خلال تحسين عملية الاحتراق وانتقال الحرارة إلى وسيط التشغيل، حيث جرى استبدال فالة تذرير الوقود في بعض المراجل التي تجاوز عمر تشغيلها مدة عام، للتعرف على التحسن الممكن تحققه في كفاءة المرجل، وفي أخرى تم استخدام تقنية الصفيحة المثقبة بغرض توزيع هواء الاحتراق بصورة أفضل لتحسين عملية الامتزاج بين الأكسجين والوقود المزرر، كما تم في بعض المراجل الأخرى استخدام تقنية أسلاك التدويم في أنابيب مساري غازات الاحتراق الأول، والثاني لتحسين عملية انتقال الحرارة من غازات العادم إلى وسيط التشغيل، وقد تم إجراء هذه التطبيقات على المراجل، كلٍ بحسب حالته، وبحسب ظروف تشغيله، بحيث تم اختيار التقنية الملائمة لحالة كل مرجل.



الشكل (1): كفاءة بعض المراجل في شركات القطاع العام قبل وبعد معايرتها

استبدال فالات تزرير الوقود التي يتجاوز عمر تشغليها العام بأخرى جديدة

تعد فالة التزرير باعتبارها التجهيز المسؤول عن تزرير الوقود، بصورة تساعد على استمرار واستقرار اللهب وتحقيق شدة الاحتراق الملائمة، من تجهيزات المرجل الهامة التي يجب أن تراقب وتنظف ومن ثم تستبدل عند انخفاض كفاءتها التشغيلية. والواقع أن مقاربة واقع التشغيل لمراجل أنابيب اللهب في شركات القطاع العام الصناعي أظهرت أن عملية استبدال فالات التزرير في العديد من هذه الشركات لا تخضع لعمر تشغيل محدد، حيث أن عملية الاستبدال لا تتم غالباً إلا بعد تدهور كفاءة الحراق وتشكل الدخان الكثيف الذي يتبدى للعيان من خلال مدخنة المرجل، عندئذ يمكن أن يقوم الفنيون بالمبادرة إلى استبدال فالة الحراق، علماً أن استبدال الفالة في حالة المراجل التي تحرق الوقود الثقيل يجب أن يتم بعد سنة تشغيل على الأكثر بسبب بدء تآكل نتوءاتها وحوافها الداخلية، مما يتسبب في تراجع كفاءة المرجل، دون أن يظهر ذلك عياناً في البداية، الأمر الذي يؤدي إلى ضياع طاقي كبير، إذا لم يتم تدارك ذلك في الوقت المناسب، وللتعرف على النتائج المتحققة عند استبدال فالة المرجل التي تجاوز زمن استخدامها العمر المسموح به، بفالة أخرى جديدة، تم استبدال فالة مرجل شام (1) المستخدم في الشركة العامة للمغازل والمناسج بدمشق، وهي فالة قديمة تجاوز عمر استخدامها عام ونصف، بفالة جديدة، وهذا المرجل يتمتع المواصفات التي يبينها الجدول (1).

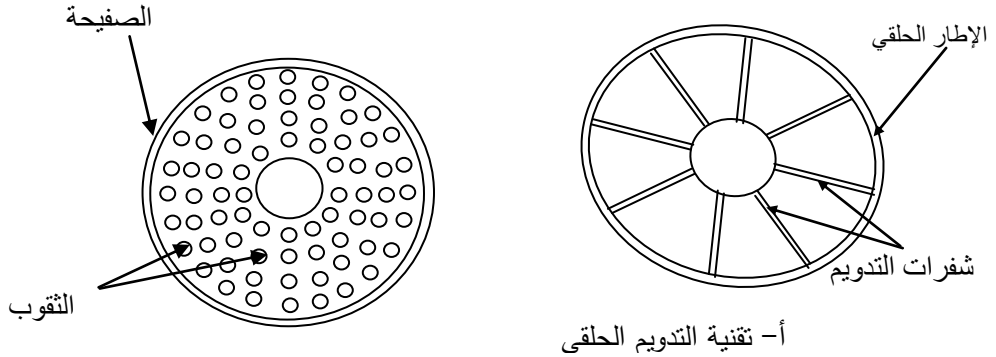
الجدول (2): مواصفات مرجل شام(1) المستخدم في الشركة العامة للمغازل والمناسج

الجهة المصنعة للحراق:	إيطاليا – شركة Baltur
تاريخ صنع الحراق:	1996
الجهة المصنعة لجسم المرجل	شركة الإنشاءات المعدنية السورية
تاريخ تصنيع المرجل	1996
تاريخ تشغيل المرجل	بداية عام 1997
الوقود المستخدم	الفيول
استطاعة المرجل	8 طن/سا
الضغط	14 بار
الاستهلاك الاسمي الأعظم للمرجل	410 كغ/سا

استخدام تقنية الصفيحة المثقبة

تم إجراء تعديل في منظومة الحراق عن طريق استخدام تقنية الصفيحة المثقبة (Perforated plate) بغرض تدويم هواء الاحتراق وتوزيعه بطريقة منتظمة، لتحسين عملية الامتزاج Mixing بين الهواء والوقود وبالتالي الوصول إلى الاحتراق الكامل عند أقل نسبة ممكنة للهواء الزائد ومقارنة نتائج القياسات التي يتم الحصول عليها بعد إجراء التعديلات، مع النتائج في حال استخدام قرص التدويم (Swirler Desk) الشائع الاستخدام في مراجل أنابيب اللهب.

وكما هو معروف للمهتمين في هذا المجال يستخدم قرص التدويم في العديد من مراجل أنابيب اللهب بغرض تدويم هواء الاحتراق، وهي عبارة عن تجهيزات تدويم حلقية تتألف من عدد من الشفرات المائلة بزوايا محددة، كما يبين الشكل (3– أ)، وهذه الأنظمة تتيح في حالة توزع شفراتها على نحو ملائم وإعطائها الميل المناسب إتمام عملية احتراق الوقود بصورة ملائمة، والواقع أن هذه التجهيزات بالرغم من استخدامها الواسع في الحراقات إلا



أ– تقنية التدويم الحلقي

الشكل (2): تقنية التدويم الحلقي والصفيحة المثقبة

أنها غير قادرة على تأمين توزع هواء الاحتراق على نحو منتظم، بالشكل الذي يؤدي إلى تحقيق الامتزاج الأمثل للوقود المزرر الذي يأخذ شكلا مخروطياً Cone Spray، الأمر الذي يتطلب، لاسيما في حالة حرق الوقود الثقيل، رفع نسبة الهواء الزائد لتحقيق عملية الاحتراق الكامل للوقود، مما يتسبب بالنتيجة، كما هو معلوم، في تراجع كفاءة المرجل، وهذا تبدى واضحاً من خلال نتائج القياسات التي أجريت، حيث تبين أن تحقيق عملية الاحتراق الكامل للمراجل التي تحرق وقود

الفيول الثقيل، يتطلب على الأقل نسبة هواء زائد تتراوح بين 35 إلى 45 % ، وفي استخدام المازوت تتراوح نسبة الهواء الزائد المطلوبة لتحقيق الاحتراق الكامل بين 15 إلى 25 %. لهذا يعد العمل على تحسين عملية تدويم الهواء وتوزيعه وبالتالي تحسين عملية الامتزاج بين الوقود والهواء، لاسيما في حراقات المراجل التي تحرق الوقود الثقيل من المسائل البحثية الهامة، التي حظيت وما تزال باهتمام الباحثين [12] في هذا المجال. وفي هذا الإطار جاءت عملية تجريب استخدام تقنية الصفيحة المثقبة، المبينة في الشكل (3- ب)، بهدف تحسين عملية تدويم الهواء وتأمين توزيعه بصورة منتظمة، ولتحقيق هذا الغرض تم تركيب صفيحة مثقبة على منظومة الحراق لمرجل شام2 (ويتمتع هذا المرجل بنفس مواصفات المرجل شام1 المبينة أعلاه) في الشركة العامة للمغازل وقد تم اختيار عدد الثقوب وقطرها بعد انجاز عدد من التجارب على عدة صفائح للوصول إلى النموذج الأفضل.

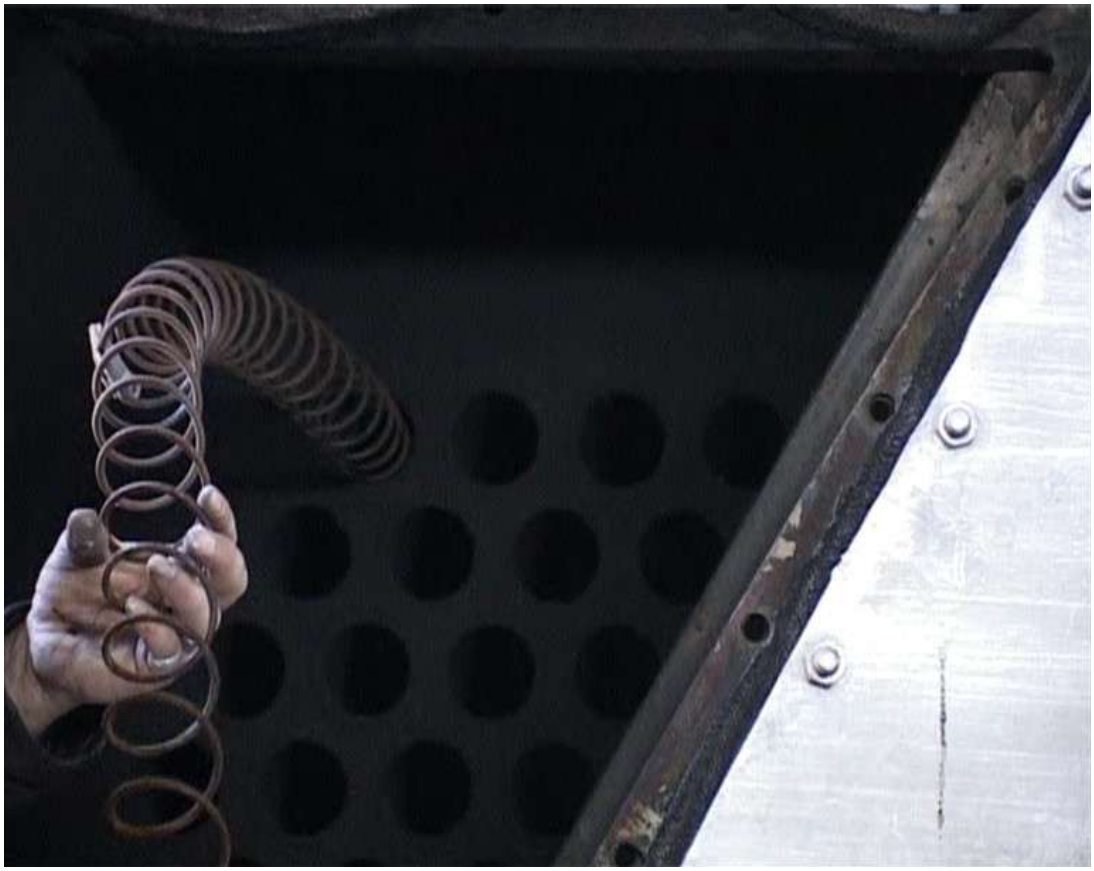
استخدام تقنية أسلاك التدويم في مسارات أنابيب غازات الاحتراق

بغرض تحسين عملية انتقال الحرارة من مزيج الغازات الناتجة عن الاحتراق إلى وسيط التشغيل ضمن مسارات أنابيب الغاز، تم استخدام تقنية أسلاك التدويم (Swirler Coil wires) في مسارات أنابيب غازات الاحتراق، وهي عبارة عن وشائع معدنية حلقية يجري استخدامها داخل أنابيب مسارات غازات الاحتراق بغرض زيادة معدل انتقال حرارة هذه الغازات عبر جدران هذه الأنابيب. ويعول على مسارات أنابيب الغاز، في مراجل أنابيب اللهب، كما هو معلوم، والتي يختلف عددها بحسب تصميم المرجل (في بعض المراجل الحديثة قد يصل عدد المسارات إلى أربعة)، لتخليص الغازات الناتجة عن الاحتراق من أكبر قدر ممكن من كمية الحرارة قبل انبعاثها إلى الوسط الخارجي عبر مدخنة المرجل.

وفي الواقع غالب مراجل أنابيب اللهب المستخدمة في سورية (لاسيما المراجل التي يتجاوز عمرها عشر سنوات) هي بعدد مسارات لا يتجاوز الاثنين، مما يجعل إمكانية الوصول إلى أقل درجة حرارة مسموح بها لغازات العادم والتي يجب ألا تتجاوز حوالي 210 درجة مئوية في حالة استخدام الوقود الثقيل أمراً غير قابل للتحقق عملياً عند حدود مقبولة لكمية الهواء الزائد، وهذا ما أظهرته القياسات التجريبية التي تم إجراؤها على مرجل أنبوب لهب من نوع وانسون في الشركة العامة للمغازل والمناسج، وهذا المرجل يتمتع المواصفات التي يبينها الجدول(2).

الجدول (2): مواصفات مرجل وانسون المستخدم في الشركة العامة للمغازل والمناسج

الجهة المصنعة للحراق:	ألمانيا (Weisbaupt)
تاريخ صنع الحراق:	2009
الجهة المصنعة لجسم المرجل	فرنسا
تاريخ تصنيع المرجل	1966
تاريخ تشغيل المرجل	1966
الوقود المستخدم	الفيول
استطاعة المرجل	10 طن/سا
الضغط	10 بار
الاستهلاك الاسمي الأعظم للمرجل	970 كغ/سا



الشكل (3): أسلاك التدويم المركبة في مسار غازات العادم.

حيث تبين عدم إمكانية الوصول إلى هذه الدرجة، عند نسب مقبولة للهواء الزائد، حيث تراوحت أقل درجة حرارة ممكنة لغازات العادم بين 235 و 260 درجة مئوية، وهذا يتسبب في انخفاض كفاءة المرجل بحدود تتراوح بين 2 و 3 %. وللتغلب على هذه المشكلة تمت عملية تجريب استخدام أسلاك التدويم الحلقية أو ما يسمى بـ Swirler Generators، ضمن أنابيب الغازات بهدف زيادة اضطراب الغازات ضمن مسارات هذه الأنابيب وإطالة زمن بقائها وبالتالي زيادة إجمالي كمية الحرارة المنتقلة من الغازات الناتجة عن الاحتراق إلى وسيط التشغيل، ما يعني بالنتيجة تحقيق المزيد من الانخفاض في درجة حرارة غازات العادم ورفع كفاءة المرجل، ويبين الشكل (3) صورة فوتوغرافية لهذه الأسلاك أثناء تركيبها، حيث تم اختيار معدن السلك وقطره والخطوة بناء على العديد من الاختبارات التجريبية.

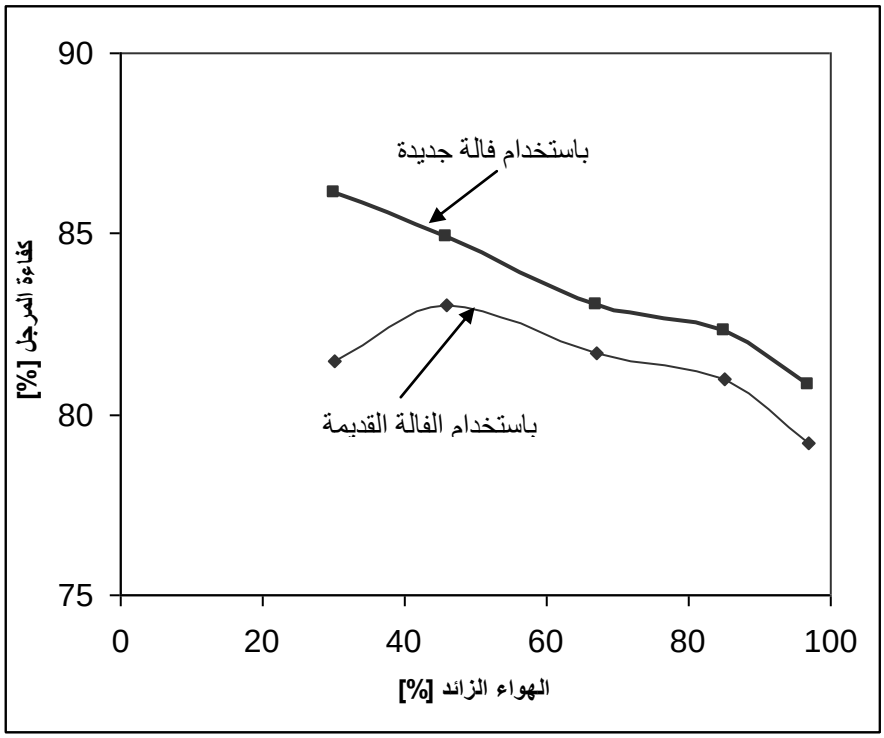
النتائج والمناقشة

تم استخدام جهاز تحليل غازات العادم من النوع (Testo335-b) ذو الدقة العالية في القياس والذي يقوم بقياس كل من O_2, NO, CO وعدة غازات أخرى، ومن ثم يقوم بحساب كل من CO_2، وكفاءة الاحتراق وكفاءة المرجل، وأما بالنسبة لدرجة الحرارة فيتم قياسها بواسطة مزدوجة حرارية من النوع K. ويحتوي جهاز التحليل على فلتر لإزالة الجزيئات

الموجودة في عينة الغاز ويتم تخفيف العينة في غرفة خاصة ضمن الجهاز، ويتم أخذ العينة من خلال إدخال مجس الغاز في فتحة خاصة موجودة في أعلى جسم المرجل ومخصصة لأخذ عينة من غازات العادم. هذا وقد تم قياس كفاءة المراجل في وضعها الراهن وبعد إدخال التقنيات، المنوه عنها أعلاه، لتبيان مقدار التحسن الحاصل في الكفاءة.

استبدال فالة التزرير

يبين الشكل (4) التحسن في كفاءة مرجل شام1 في الشركة العامة للمغازل بنتيجة استبدال فالة الحراق بأخرى



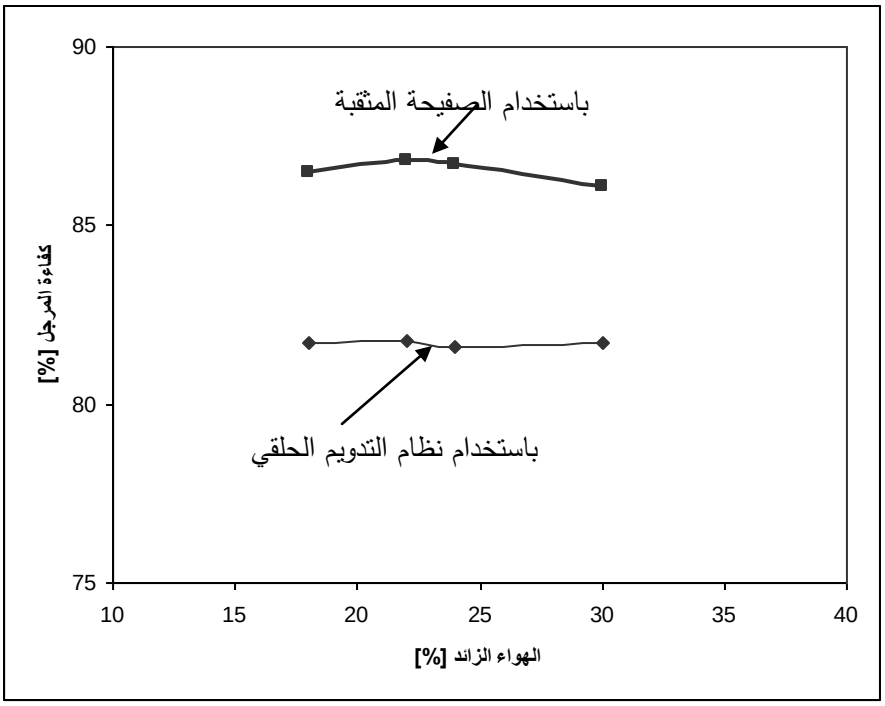
الشكل (4): العلاقة بين كفاءة المرجل والهواء زائد قبل وبعد استبدال الفالة

جديدة، عند قيم مختلفة لنسبة الهواء الزائد، حيث وصل التحسن في الكفاءة عند التشغيل الأمثل (أي عند نسبة هواء زائد حوالي 30 %) إلى حوالي 6 %، وهذا يعني بالنتيجة توفيراً في استهلاك وقود المرجل بمبلغ يصل إلى حوالي 1.7 مليون ل.س سنوياً وفقاً لأسعار الوقود المحلية، ووفراً يصل بالحد الأدنى إلى حوالي 6.5 مليون ل.س، وفقاً للأسعار العالمية الرائجة حالياً، وقد تم تحديد الوفر السنوي المتحقق بافتراض أن المرجل يعمل ستة أيام في الأسبوع، وأن استهلاكه الساعي من الفيول يبلغ 400 كغ/سا، وأن السعر المحلي يبلغ 13 ل.س للكغ، والسعر العالمي يبلغ 40 ل.س للكغ.

تقنية الصفيحة المثقبة

يبين الشكل (5) التحسن في كفاءة مرجل شام2 في الشركة العامة للمغازل والمناسج (الذي يتمتع بنفس مواصفات مرجل شام1)، عند قيم مختلفة لنسبة الهواء الزائد، الذي تحقق بنتيجة استخدام الصفيحة المثقبة، مقارنة بالحالة التي يتم فيها استخدام نظام التدويم الحلقي الشائع استخدامه في مراجل أنابيب اللهب، حيث ازدادت الكفاءة من 82% إلى 87% عند نسبة هواء زائد بلغت حوالي 24% ، أي أن الزيادة في كفاءة المرجل وصلت وسطياً إلى حوالي 5%، وهذا يعني بالنتيجة توفيراً في استهلاك وقود المرجل بنتيجة استخدام تقنية الصفيحة المثقبة بمبلغ يصل إلى حوالي 2 مليون ل.س سنوياً وفقاً

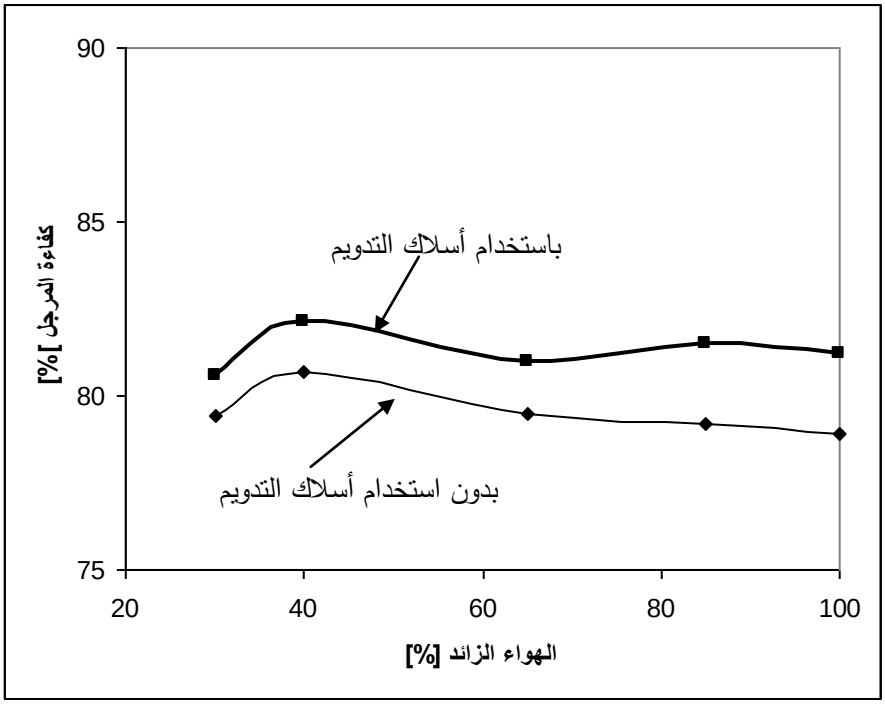
لأسعار الوقود المحلية، ووفراً يصل بالحد الأدنى إلى حوالي 5.4 مليون ل.س، وفقاً للأسعار العالمية الرائجة حالياً، وقد تم تحديد الوفر السنوي المتحقق بافتراض أن المرجل يعمل ستة أيام في الأسبوع وأن استهلاكه الساعي من الفيول يبلغ 400 كغ/سا، وأن السعر المحلي للفيول يبلغ 13 ل.س/كغ، والسعر العالمي يبلغ 40 ل.س/كغ.



الشكل (5): العلاقة بين كفاءة المرجل والهواء زائد بحالتي استخدام الصفيحة المثقبة ونظام التدويم الحلقي بشفرات

تقنية أسلاك التدويم

أظهرت التجربة التي تمت على مرجل وانسون في الشركة العامة للمغازل والمناسج، وكما هو مبين في الشكل (6)، وهو مرجل بعمر استخدام يتجاوز الـ 30 عام، أن استخدام أسلاك التدويم في أنابيب مساري الغازات الأول والثاني، البالغة 60 أنبوب، يؤدي إلى رفع كفاءة بحدود وسطية بلغت حوالي 2 % على الأقل، وهذا يعني بالنتيجة توفيراً في استهلاك وقود المرجل بمبلغ يصل إلى حوالي 1.8 مليون ل.س سنوياً وفقاً لأسعار الوقود المحلية، ووفراً يصل إلى حوالي 4.9 مليون ل.س وفقاً للأسعار العالمية الرائجة حالياً، وقد تم تحديد الوفر السنوي المتحقق، أيضا بافتراض أن المرجل يعمل ستة أيام في الأسبوع وأن استهلاكه الساعي من الفيول يبلغ 900 كغ/سا، وأن السعر المحلي للفيول يبلغ 13 ل.س/كغ والسعر العالمي يبلغ 40 ل.س/كغ.



الشكل (6):العلاقة بين تغير كفاءة المرجل والهواء الزائد في حالتي استخدام أسلاك التدويم وعدم استخدامها

الاستنتاجات والتوصيات

أظهرت القياسات التي تم أجراؤها على عينات مختارة من مراجل أنابيب اللهب العاملة في الصناعة السورية، أن نسبة الهواء الزائد التي تعمل عندها هذه المراجل أعلى من النسب المعيارية بكثير، وهذا يؤدي إلى هدر كبير في الطاقة يذهب لتسخين الهواء الزائد المنبعث مع غازات العادم إلى الخارج، الأمر الذي يؤثر سلباً على كفاءة المراجل، وبالتالي على كلفة إنتاج البخار المستخدم كوسيط في العمليات الإنتاجية. لهذا تم القيام في المرحلة الأولى بضبط عدد من حراقات هذه المراجل، بحيث تعمل عند أقل نسبة ممكنة للهواء الزائد، وبنتيجة ذلك تم التمكن من رفع كفاءة هذه المراجل بين 3– 10% ، وذلك وفقاً لتصميم وعمر استخدام وظروف تشغيل كل مرجل. هذا وقد تمت عملية الضبط باستخدام أجهزة قياس متطورة مع إبقاء معدل استهلاك الوقود دون تغيير بناءً على طلب القائمين على صيانة وتشغيل هذه المراجل. وفي المرحلة الثانية تم استخدام أساليب وتقنيات مطورة طبقت كل واحدة على مرجل وتم اختيار التقنية الخاصة بكل مرجل بما يتناسب مع بنيته التصميمية وظروف تشغيله، وبينت القياسات التي تم إجراؤها على هذه المراجل أن:

1. استبدال فالة التزرير القديمة بأخرى جديدة أدى إلى تحسن كفاءة المرجل بحوالي 6 %، عند نسبة هواء زائد بلغت حوالي 30 % .
2. استخدام الصفيحة المثقبة أدى إلى تحسن الكفاءة بحوالي 5%، عند نسبة هواء زائد 24%، مقارنة مع حالة استخدام نظام التدويم الحلقي الشائع استخدامه.

3. استخدام أسلاك التدويم في أنابيب مساري الغازات الأول والثاني، أدى إلى رفع الكفاءة بحوالي 2 % على الأقل، عند نسبة هواء زائد بلغت حوالي 40%.
4. الوفر المتحقق بنتيجة معايرة عينة مراجل البحث وبنتيجة استخدام التقنيات، آنفة الذكر، وصل بالحدود الدنيا إلى حوالي 1.5 مليون ل.س سنوياً لكل مرجل، وفقاً لأسعار الوقود المحلية، فإذا علمنا أنه لدينا في قطاع العام الصناعي، ما يزيد على 200 من مراجل أنابيب اللهب، فإنه يتبين مقدار التوفير الذي قد نصل إليه، والذي ربما يتجاوز بالحد الأدنى حوالي 300 مليون ليرة سورية سنوياً، في حال القيام بصيانة وتطوير هذه المراجل، لهذا نوصي بضرورة إلزام الجهات العامة بإجراء فحوص دورية لمعايرة المراجل المستخدمة لديها، والعمل على تطوير منظومة الاحتراق، وتحسين انتقال الحرارة عبر استخدام التقنية المناسبة لكل مرجل، لاسيما للمراجل التي تجاوز عمر استخدامها عشر سنوات، بهدف رفع كفاءتها والتقليل من الهدر الطاقي إلى أقل الحدود الممكنة.

المراجع

1. Delta Institute **"Sector-Based Pollution Prevention: Toxic Reductions through Energy Efficiency and Conservation Among Industrial Boilers",** A Report to the Great Lakes National Program Office July 2002, 39.
2. Gupta, R., Ghai, S., and Jain A., **"Energy Efficiency Improvement Strategies for Industrial Boilers: A Case Study"** Journal of engineering and technology, 2011, Vol.1, 52-56.
3. Rosen**.** A. M. and Tang R. **"Improving steam power plant efficiency through exergy analysis: effects of altering excess combustion air and stack-gas temperature"** Int. J. Exergy, Vol. 5, No. 1, 2008, 362–376
4. Cownden, R., Nahon, M. and Rosen, M.A.) "**Exergy analysis of a fuel cell power system for transportation applications**", Exergy, An Int. J.,Vol. 1, 2001, 112–121.
5. Crompton, P. and Wu, Y. () "**Energy consumption in China: past trends and future directions**", Energy Economics, Vol. 27, No. 1, 2005, 195–208.
6. Miketa, A. and Mulder, P. () "**Energy productivity across developed and developing countries in 10 manufacturing sectors: patterns of growth and convergence**", Energy Economics, Vol. 27, No. 3, 2005, 429–453.
7. Eskilsson D., Ronnback M., Samuelsson J. and Tullin C. "**Optimization of efficiency and emissions in pellet burners**" Biomass and Bioenergy 27 , 2004, 541–546.
8. Carpenter, K. and Kissock, K. "**Quantifying Savings From Improved Boiler Operation**" National Industrial Energy Technologies Conference, New Orleans, LA, May, 2005, 1-9.
9. Kouprianov VI, "**Optimization of excess air for the improvement of environmental performance of a 150 MW boiler fired with Thai lignite**", Applied Energy 74, 2003, 445–453.
10. Kouprianov VI, Kaewboonsong W. **"Modeling the effects of operating conditions on fuel and environmental costs for a 310 MW boiler firing fuel oil"**. Energy conversion Mgmt 45(1): 2004; 1–14.

11. U.S.Environment Protection Agency. "**Guide to Industrial Assessment for Pollution and Energy Efficiency**." EPA/625/R-99/003.Cincinnati:June, 2001. 482.
12. Carpenter, K., Kissok, K., **"Common Excess Air Trends in Industrial Boilers With Single-Point Positioning Control and Strategies to Optimize efficiency"** ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, 2007, 167.