تأثير فرق درجات الحرارة الأصغري على مردود الجزء البخاري لمحطة مركبة غازية – بخارية لتوليد الطاقة

الدكتور المهندس محمود الحسين

مدرس في قسم هندسة الطاقة

كلية الهندسة الميكانيكية – جامعة حلب

الملخص

يتناول هذا البحث دراسة تأثير ΔT_{g-s} pinch point فرق درجات الحرارة الأصغري (أصغر فرق بين درجات حرارة غازات الاحتراق الحاملة للطاقة الحرارية الداخلة إلى مرجل استرجاع الحرارة والوسيط العامل داخل هذا المرجل في المحطات المركبة الغازية البخارية) على مردود المحطة البخارية التي تشكل مع المحطة الغازية المحطة المركبة ، وذلك بإعداد برنامج حاسوبي لحل النموذج الرياضي لمردود المحطة الغازية والمحطة البخارية والمحطة المركبة المكونة من هاتين المحطتين ولقيم مختلفة لـ pinch point ΔT_{g-s} وتبين زيادة مردود المحطة البخارية أحد جزئي المحطة المركبة مع انخفاض قيمة pinch point ΔT_{g-s} وبالنتجة مردود المحطة المركبة أيضاً يزداد مع انخفاض قيمة pinch point ΔT_{g-s} .

كلمات مفتاحية : المردود– درجة الحرارة – pinch point– المحطة المركبة .

الرموز المستخدمة:

Q– كمية الطاقة .

Q_1 – الطاقة المقدمة في حجرة احتراق المحطة الغازية .

Q_2 – الطاقة المفيدة الناتجة من المحطة الغازية .

Q_3 – الطاقة المقدمة من المحطة الغازية إلى المحطة البخارية .

Q_4 – الطاقة المفيدة الناتجة من المحطة البخارية .

Q_5 – الطاقة الضائعة من المحطة المركبة الغازية – البخارية .

T – درجة الحرارة .

ΔT_{g-s} – pinch point فرق درجات الحرارة الأصغري .

η_{g-s} – مردود المحطة المركبة الغازية – البخارية .

η_g – مردود المحطة الغازية .

η_s – مردود المحطة البخارية .

q – درجة الاحتراق الثانوية (نسبة كمية الحرارة المضافة في المحطة البخارية إلى كمية الحرارة المضافة في المحطة الغازية) .

η_m – المردود الميكانيكي .

η_t – المردود الايزنتروبي للعنفة الغازية .

η_c – المرد الايزنتروبي للضاغط .

η_{cc} – مردود حجرة الاحتراق .

η_{is} – المردود الايزنتروبي للعنفة البخارية .

η_b – مردود المرجل .

θ – نسبة درجات الحرارة (T_3 / T_1) .

T_3 – درجة حرارة غازات الاحتراق الداخلة إلى العنفة الغازية .

T_1 – درجة حرارة الهواء الداخل إلى الضاغط .

β – نسبة الضغوط (P_2 / P_1) .

P_2 – الضغط عند مخرج الضاغط .

P_1 –الضغط عند مدخل الضاغط .

K – علاقة الاس الايزنتروبي التي تربط بين الضغوط ودرجات الحرارة للتحولات الايزنتروبية $k = [(\gamma - 1) / \gamma]$.

γ – الأس الايزنتروبي .

ζ – عامل ضياع الحمولة .

m_s – تدفق البخار المحمص .

m_g – تدفق غازات الاحتراق إلى المرجل .

h_{s1} – انتالبي البخار المحمص عند مدخل العنفة البخارية .

h_{s2} – انتالبي البخار عند مخرج العنفة البخارية .

h_{g1} – انتالبي غازات الاحتراق عند مدخل المرجل .

h_{g2} – انتالبي غازات الاحتراق عند مخرج المرجل .

1- مقـدمـة:

تعتبر الطاقة من أهم العوامل التي لعبت دوراً في تطور المجتمعات البشرية منذ بدء الحياة على الأرض وارتبط تطور هذه المجتمعات بقدرتها على اكتشاف مصادر الطاقة والاستفادة منها ، ولكن الاستخدام المفرط للمصادر التقليدية للطاقة (الفحم – البترول) أدى إلى ظهور تلوث بيئي خطير يهدد البشرية ، وسيؤدي إلى نضوب هذه المصادر التقليدية خلال فترة من الزمن .

تعتبر الطاقة الحرارية ، والطاقة الحركية ، والطاقة الكيميائية ، والطاقة الكهربائية من الأشكال المختلفة للطاقة .

الميزات الايجابية الكثيرة للطاقة الكهربائية جعلتها الأكثر طلباً واستخداماً منذ القرن العشرين حيث شهد العالم تطوراً كبيراً في بناء محطات توليد الطاقة الكهربائية بأشكالها المختلفة (البخارية – الغازية – النووية – المائية – المركبة .....) .

لهذه المحطات مردود يعبر عن نسبة الطاقة المفيدة التي يتم الحصول عليها من الطاقة المقدمة ليتم تحويلها إلى الشكل المطلوب وبالنتيجة يعبر عن ضياعات الطاقة التي لايستفاد منها وهي ضياعات كبيرة جداً تنعكس سلباً على كلفة انتاج واحدة الطاقة وعلى البيئة ، لذلك تجرى الأبحاث الكثيرة التي تهدف إلى زيادة مردود محطات توليد الطاقة من خلال البحث عن دارات جديدة ودراسة تأثير عوامل كثيرة تؤثر على مردود محطة توليد الطاقة .

2- أهمية البحث:

يعبر مردود محطات توليد الطاقة عن جودة أداء هذه المحطات وعن ضياعات الطاقة التي تنعكس على تكاليف انتاج واحدة الطاقة وأيضاً على كمية الملوثات البيئية الناتجة عن حرق الوقود كمصدر للطاقة لذلك نجد العديد من الأبحاث والدراسات تسعى لتحديد العوامل المؤثرة على المردود بغية التقليل من الآثار السلبية لهذه العوامل وزيادة التأثير الايجابي لهذه العوامل وهذا البحث هو خطوة في هذا الاتجاه .

2-1- هدف البحث:

يهدف البحث لدراسة تأثير pinch point ΔTg-s فرق درجات الحرارة الأصغري على مردود المحطة البخارية أحد مكوني المحطة المركبة الغازية – البخارية المزودة بمرجل استرجاع حرارة ذي مستوى ضغط واحد للبخار المحمص وبدون حجرة احتراق ثانوية، وبالنتيجة على مردود المحطة المركبة .

لتحقيق ذلك سيتم إعداد برنامج حاسوبي بلغة البرمجة turbo Pascal لحل النموذج الرياضي لحساب مردود المحطة الغازية والمحطة البخارية والمحطة المركبة الغازية-البخارية .

3- طرائق البحث:

تتضمن

- دراسة مرجعية .
- دراسة نظرية .

- اعداد برنامج حاسوبي لحل النموذج الرياضي لحساب مردود المحطة المركبة الغازية – البخارية والمحطات المكونة لها .
- حساب المردود للمحطة البخارية كجزء من المحطة المركبة ومردود المحطة المركبة الغازية – البخارية .
- رسم المخططات البيانية التي توضح النتائج التي يتم التوصل إليها.
- النتائج والمناقشة .
- المقترحات والتوصيات.

3-1- الدراسة المرجعية :

- أجرى (Kotowicz, J, 1991) بحثاً تناول فيه العلاقة بين مردود المحطة المركبة ونسبة الضغوط في الجزء الغازي من المحطة المركبة الغازية – البخارية لتوليد الطاقة عند درجات احتراق ثانوية مختلفة وقيم ثابتة لدرجة حرارة لغازات الاحتراق الداخلة إلى العنفة الغازية ، وبينت الدراسة أن مردود المحطة المركبة يتناقص مع زيادة قيمة نسبة الضغوط في الجزء الغازي عند قيمة ثابتة لدرجة الاحتراق الثانوية بثبات درجات حرارة غازات الاحتراق الداخلة إلى العنفة الغازية . ويزداد مردود المحطة المركبة مع زيادة درجة الاحتراق الثانوية في حال ثبات قيمة نسبة الضغوط في الجزء الغازي من المحطة المركبة .

- أجرى (Chmielniak and Kotowicz , 1989) بحثاً تناول فيه التقييم الترموديناميكي والبيئي للمحطات المركبة الغازية – البخارية التي تعمل مع مولد يستخلص الغاز من الفحم بين فيه المقارنة بين المحطات المركبة الغازية – البخارية التي تستخدم الفحم كوقود والمحطات التي تستخدم الغاز المستخلص من الفحم بواسطة مولد الغاز وتبين بالنتيجة أن المحطات التي تستخدم الغاز المستخلص بواسطة مولد الغاز أفضل من تلك المحطات التي تستخدم الفحم حيث تبين أن المردود يزداد كما أنها تعتبر الأفضل بيئياً كونها تطلق ملوثات بيئية أقل .
- أجرى (Cerri , G, 1987) بحثاً تناول فيه تحليل بعض العوامل التي تؤثر على أداء المحطات كدرجة الاحتراق الثانوية ونسبة الضغوط في المحطة الغازية ودرجة

حرارة غازات الاحتراق الداخلة إلى العنفة الغازية وتوصل الباحث أن المردود كعامل يعبر عن الأداء وتوصل إلى أن مردود المحطة المركبة يتناقص مع زيادة نسبة الضغوط في المحطة الغازية في حال ثبات درجة حرارة غازات الاحتراق في مدخل العنفة الغازية ويزداد المردود مع زيادة درجة الاحتراق الثانوية لنفس الحالة السابقة وكذلك يزداد المردود مع زيادة درجة حرارة غازات الاحتراق الداخلة إلى العنفة الغازية .

- بحث (Polyzakis et al., 2008) تأثير درجة حرارة غازات الاحتراق الداخلة إلى العنفة الغازية أحد مكوني المحطة المركبة الغازية – البخارية ولقيم مختلفة لدرجات حرارة الوسط المحيط على استطاعة ومردود الجزء الغازي من المحطة المركبة واستطاعة ومردود المحطة المركبة الغازية – البخارية بهدف تحديد القيم الأفضل لدارة المحطة الغازية للحصول على مردود أفضل للمحطة المركبة وتبين أن مردود المحطة المركبة يزداد مع ازدياد درجة حرارة غازات الاحتراق الداخلة إلى العنف الغازية في حالة ثبات درجة حرارة الوسط المحيط .

- بحث (Nico, W et al., 2010) التقييم الترموديناميكي لدارة المحطة المركبة الغازية – البخارية من خلال توزع الإكسير جي لمكونات الدارة المركبة الغازية – البخارية بين فيه الباحثون مقارنة المردود الترموديناميكي للمحطة المركبة الغازية – البخارية مع المردود الترموديناميكي لدارة كارنو .

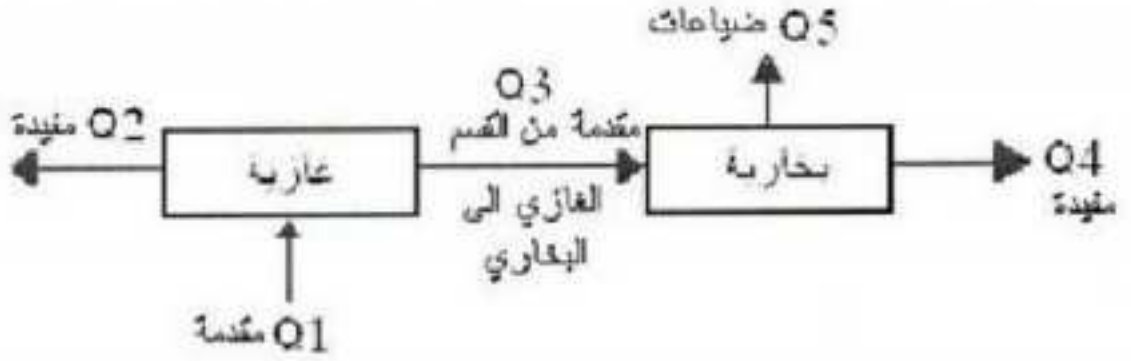
2-3- الدراسة النظرية:

يعتبر مردود محطات توليد الطاقة الهدف الرئيسي للأبحاث والدراسات التي أجريت وستجرى بغية زيادة مردود هذه المحطات سواءً كان ذلك عن طريق ايجاد دارات جديدة أو تطوير دارات موجودة أو البحث عن طرق لرفع قيم مردود أي جزء من الأجزاء المكونة لهذه المحطات .

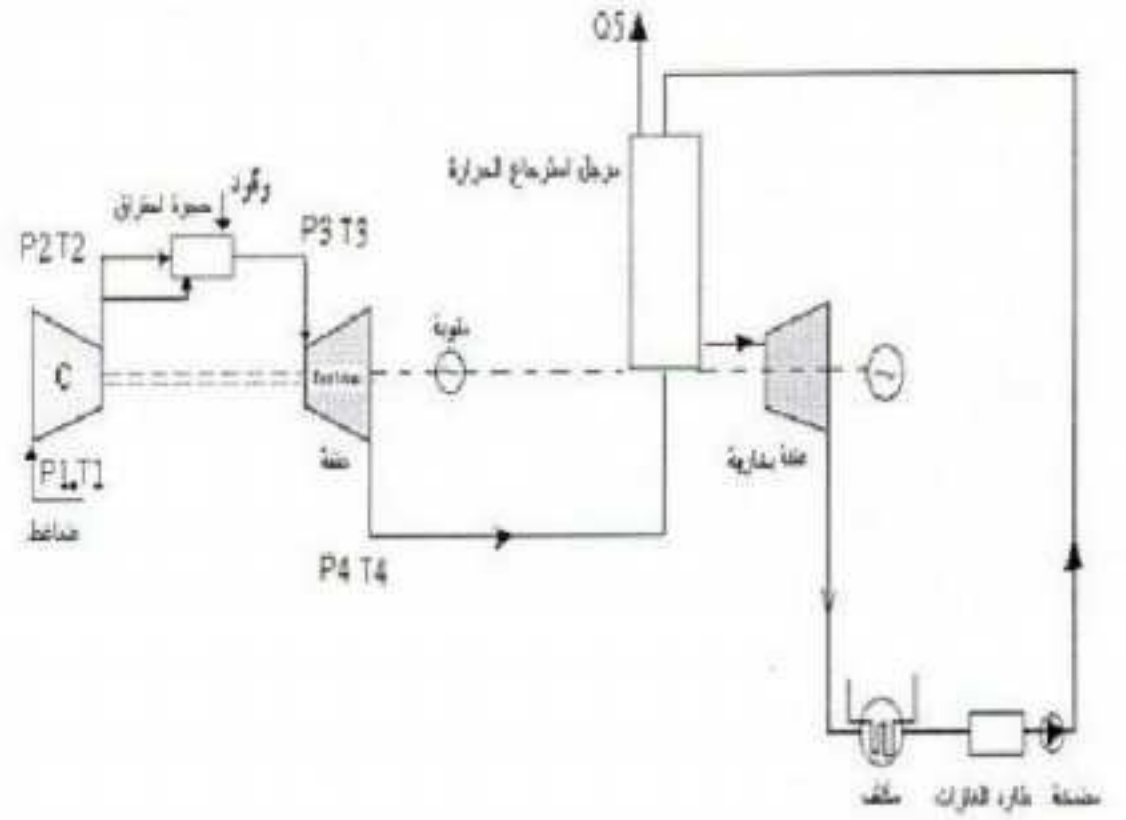
تعتبر درجة حرارة غازات الاحتراق الداخلة إلى العنفة الغازية من أهم العوامل المؤثرة على مردود المحطة الغازية (Chmielniak , 1988) ومن العوامل التي تؤثر على

مردود المحطة الغازية نسبة الضغوط (Bannister, 1994) ومن العوامل المؤثرة على مردود المحطة البخارية درجة حرارة وضغط البخار المحمص(Szargut,1985) .

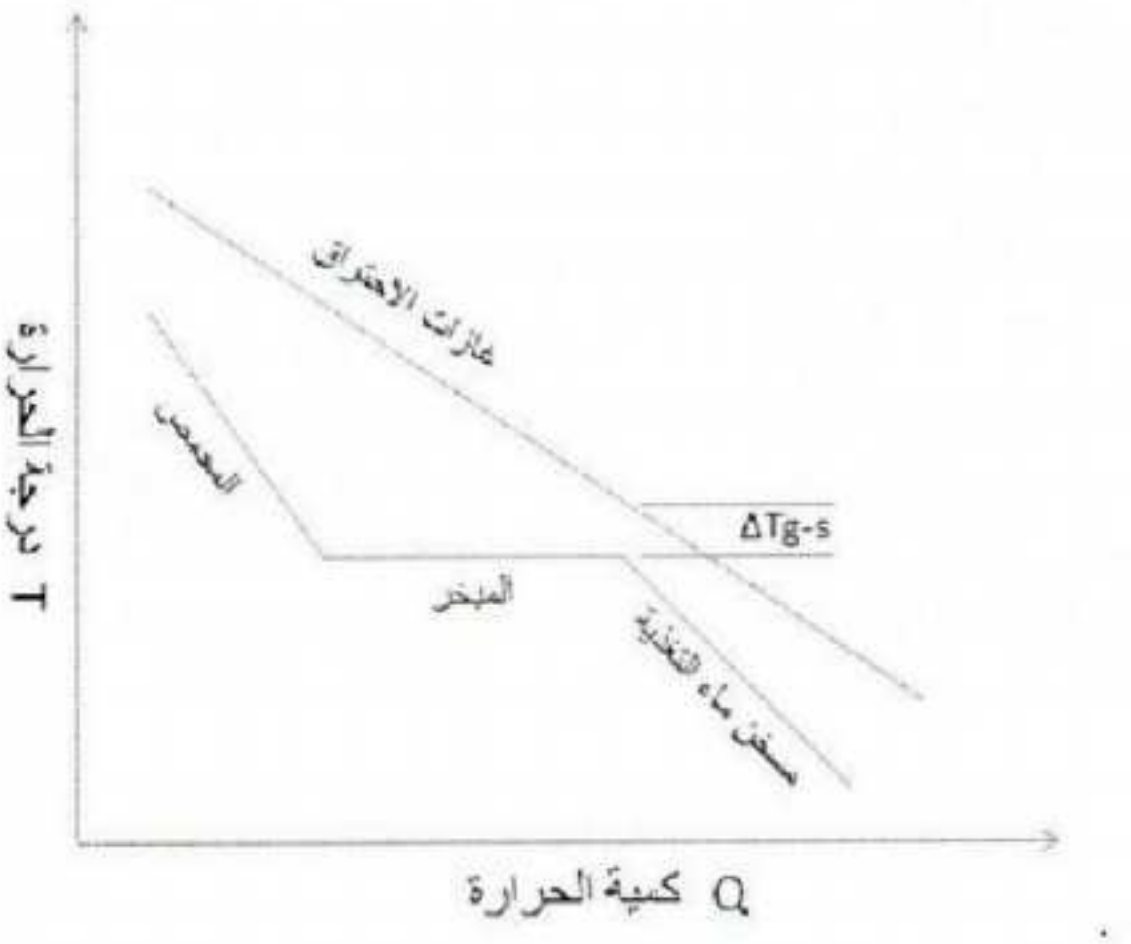
إضافة للعوامل السابقة تعتبر درجة الاحتراق الثانوية وضغط المكثف من ضمن مجموعة العوامل الكثيرة المؤثرة على مردود المحطة المركبة الغازية – البخارية لتوليد الطاقة كونها تؤثر على مردود المكونات الأساسية للمحطة (Chmielniak and Kotowicz , 1991) , لذلك سنبحث في دراستنا هذه عن تأثير قيم مختلفة لـ ΔT_{g-s} pinch point فرق درجات الحرارة الأصغري على مردود المحطة البخارية أحد مكوني المحطة المركبة الغازية – البخارية وبالنتيجة على مردود المحطة المركبة المزودة بمرجل استرجاع حرارة ذي مستوى ضغط واحد للبخار المحمص وبدون حجرة احتراق ثانوية وذلك بإعداد برنامج حاسوبي لحل النموذج الرياضي لمردود المحطة البخارية أحد مكوني المحطة المركبة ومردود المحطة المركبة .



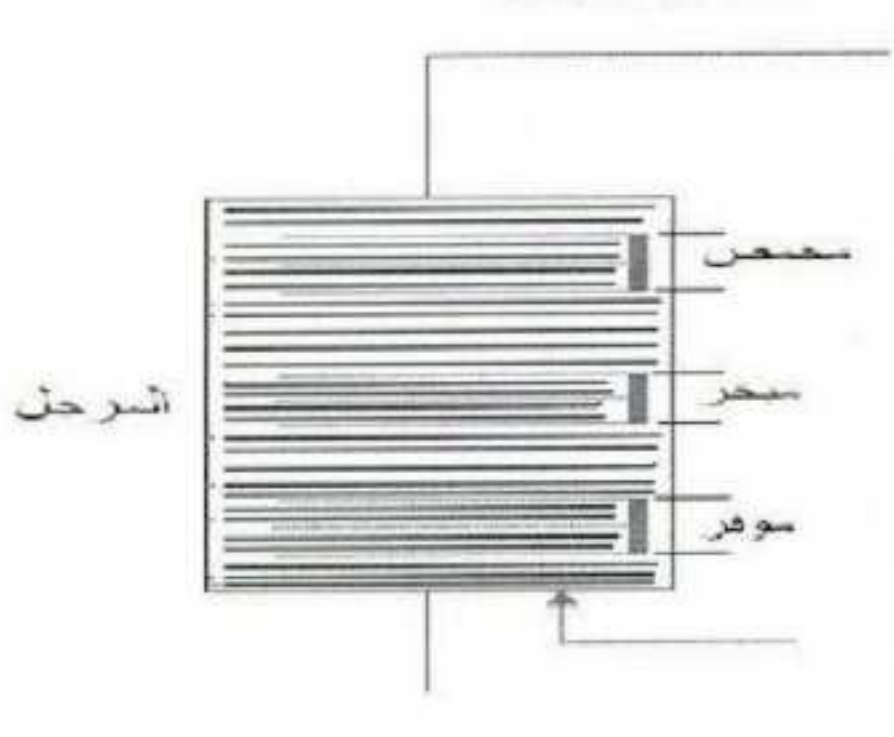
الشكل (1) يبين مخطط توزع الطاقة في المحطة المركبة الغازية – البخارية المزودة بمرجل استرجاع حرارة وبدون حجرة احتراق ثانوية



الشكل (2) يبين مخطط المحطة المركبة الغازية – البخارية المزودة بمرجل استرجاع حرارة وبدون حجرة احتراق ثانوية



الشكل (3) يبين مخطط التبادل الحراري بين غازات الاحتراق والوسيط العامل في مرجل استرجاع الحرارة .



الشكل (4) يبين مخطط الجريان في مرجل استرجاع الحرارة حيث يشير السهم السفلي لجهة تدفق ماء تغذية المرجل أما السهم العلوي فيشير لجهة تدفق غازات الاحتراق .

يحسب مردود المحطة المركبة الغازية – البخارية لتوليد الطاقة الكهربائية بدلالة مردودي المحطتين الغازية والبخارية المكونتين لهذه المحطة المركبة بشكل عام من العلاقة :

$$\eta_{gs} = [(\eta_g / 1+q) + \eta_s] - [(\eta_s \eta_g) / (1+q)] \qquad (1)$$

حيث يتم حساب مردود المحطة الغازية من العلاقة :

$$\eta_g = \{ \eta_m \eta_t \theta [1- (1/ \zeta \beta^k)] - [(1/\eta_m \eta_c) (\beta^k -1)] \} / \{ (1/\eta_{ce}) [\theta -1 - (\beta^k -1) / \eta_c] \} \qquad (2)$$

ويحسب مردود المحطة البخارية بالعلاقة :

$$\eta_s = \eta_{is} m_s (h_{s1} - h_{s2}) / m_g \eta_b (h_{gi} - h_{ga}) \qquad (3)$$

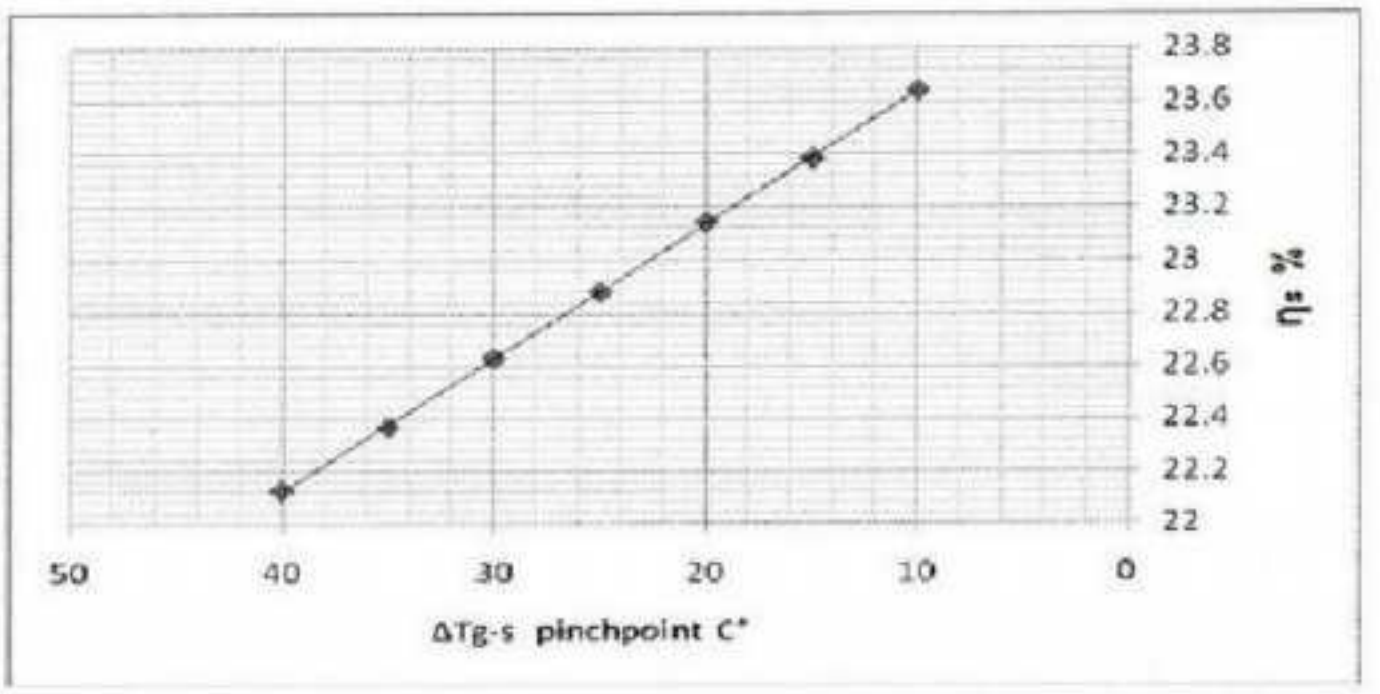
تبين العلاقة (1) أن مردود المحطة المركبة الغازية – البخارية لتوليد الطاقة الكهربائية يتعلق بكل من مردودي المحطتين الغازية والبخارية المكونتين لهذه المحطة المركبة ودرجة الاحتراق الثانوية في حال استخدام حجرة احتراق ثانوية في دارة المحطة البخارية وبالنتيجة فإن كل عامل يؤثر على مردود المحطة البخارية أو المحطة الغازية سيؤثر على مردود المحطة المركبة وبما أن كمية الحرارة التي تحملها غازات الاحتراق الداخلة إلى مرجل استرجاع الحرارة وعوامل انتقال الحرارة تحدد كمية الحرارة التي يكتسبها الوسيط العامل في مرجل استرجاع الحرارة من غازات الاحتراق الحاملة للطاقة الحرارية وكمية الحرارة المكتسبة هذه تحدد خواص البخار الناتج عن المرجل وبما أن خواص البخار الناتج عن مرجل استرجاع الحرارة والداخل إلى العنفة البخارية من أهم العوامل التي تؤثر على مردود المحطة البخارية .

تتأثر كمية الحرارة المتبادلة بين الوسيطين الحامل للطاقة الحرارية والمستقبل للطاقة الحرارية بالفرق بين درجتي حرارة الوسيطين وبكمية الحرارة ومن مخطط التبادل الحراري بين الوسيطين الموضح بالشكل (3) يبين وجود قيم مختلفة لفروقات درجات الحرارة بين الوسيطين ومن بين هذه الفروقات توجد قيمة أصغرية تسمى pinch point وسنرمز لها بالرمز ΔT_{g-s} وهي تؤثر على كمية الحرارة المتبادلة بين الوسيطين وبالتالي على خواص البخار الناتج عن مرجل استرجاع الحرارة مما سيؤثر على مردود المحطة البخارية وبالنتيجة على مردود المحطة المركبة الغازية – البخارية .

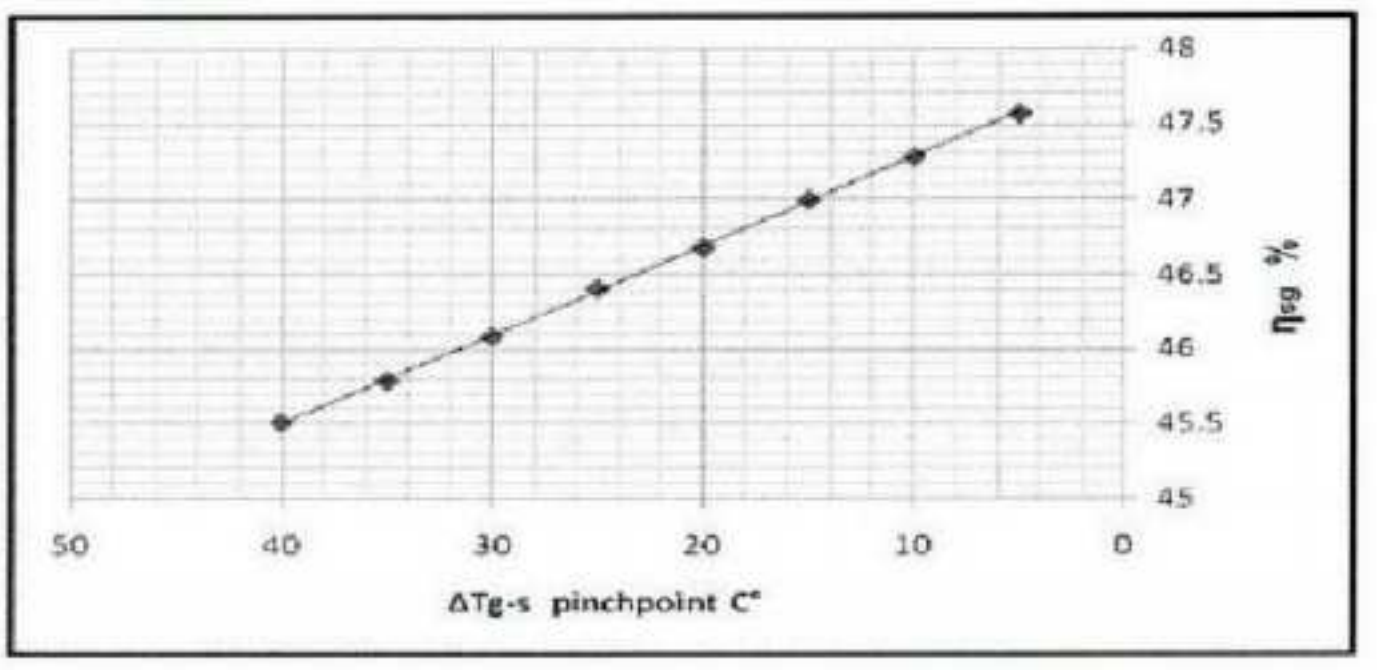
سندرس تأثير ΔT_{g-s} pinch point فرق درجات الحرارة الأصغري على مردود المحطة البخارية أحد مكوني المحطة المركبة الغازية – البخارية المزودة بمرجل استرجاع حرارة ذو مستوى ضغط واحد للبخار المحمص وبدون حجرة احتراق ثانوية وبالنتيجة على مردود المحطة المركبة ولتحقيق ذلك تم إعداد برنامج حاسوبي بلغة البرمجة turbo Pascal لحل النموذج الرياضي لحساب مردود المحطة الغازية والمحطة البخارية والمحطة المركبة الغازية- البخارية .

4- النتائج والمناقشة :

حصلنا نتيجة حل النموذج بواسطة البرنامج الحاسوبي الذي تم إعداده على نتائج نبينها على شكل منحنيات بيانية توضحها الأشكال (6,5) .



الشكل (5) يبين العلاقة بين قيم فرق درجات الحرارة الأصغري ΔT_{g-s} pinch point ومردود الجزء البخارية من المحطة المركبة الغازية –البخارية .



الشكل (6) يبين العلاقة بين قيم فرق درجات الحرارة الأصغري ΔTgs pinch point ومردود المحطة المركبة الغازية – البخارية .

4-1- المناقشـة :

نستنتج من المنحنيات البيانية التي تم الحصول عليها أن :

- العلاقة بين مردود الجزء البخاري من المحطة المركبة الغازية – البخارية المزودة بمرجل استرجاع حرارة وبدون حجرة احتراق ثانوية وفرق درجات الحرارة الأصغري pinch point ΔT_{g-s} علاقة خطية .
- يتناسب المردود عكسياً مع قيمة ΔT_{g-s} فرق درجات الحرارة الأصغري كما يبين الشكل (5) .
- العلاقة بين مردود المحطة المركبة الغازية – البخارية المزودة بمرجل استرجاع حرارة وبدون حجرة احتراق ثانوية وفرق درجات الحرارة الأصغري pinch point ΔT_{g-s} علاقة خطية .
- يتناسب المردود عكسياً مع قيمة pinch point ΔT_{g-s} فرق درجات الحرارة الأصغري كما يبين الشكل (6) .
- نسبة تغير قيمة مردود الجزء البخاري من المحطة المركبة الغازية – البخارية المزودة بمرجل استرجاع حرارة وبدون حجرة احتراق ثانوية حوالي 0.01 لكل 5 درجات تغير في قيمة pinch point ΔT_{g-s} فرق درجات الحرارة الأصغري .
- نسبة تغير قيمة مردود المحطة المركبة الغازية – البخارية المزودة بمرجل استرجاع حرارة وبدون حجرة احتراق ثانوية حوالي 0.006 لكل 5 درجات تغير في قيمة ΔT_{g-s} pinch point فرق درجات الحرارة الأصغري .
- نستنتج أن القيم الصغيرة لـ pinch point ΔT_{g-s} فرق درجات الحرارة الأصغري تعطي مردوداً أفضل من القيم الكبيرة لذا ننصح باختيار قيم صغيرة لـ ΔT_{g-s} pinch point فرق درجات الحرارة الأصغري .

5- الاستنتاجات و التوصيات

- نستنتج أن القيم الصغيرة لـ ΔT_{g-s} pinch point فرق درجات الحرارة الأصغري تعطي مردوداً أفضل من القيم الكبيرة .

- نوصي باختيار قيم صغيرة لـ ΔT_{g-s} pinch point فرق درجات الحرارة الأصغري في محطات توليد الطاقة المركبة الغازية – البخارية المزودة بمرجل استرجاع حرارة وبدون حجرة احتراق ثانوية للحصول على قيم أفضل للمردود مما سيؤدي لانخفاض كلفة واحدة الطاقة المنتجة وتخفيض الملوثات البيئية نتيجة انخفاض كمية غازات الاحتراق .

المراجع :

1- BANNISTER , R .L. , 1994 - **Development Requirements for an Advanced Gaz turbine system.-** *ASMR paper*, (94) GT,388 .

2- CERRI, G .,1987 - **Parametric Analysis of Combined Gaz - Steam Cycles .Transactions of the ASME .** *Journal of Engineering for Gaz turbines and Power.* (vol . 109) .

3- CHMIELNIAK , T ., 1988 - **Obiegi termodynamiczne turbin cieplnych** . WrocŁaw .

4- CHMIELNIAK , T; KOTOWICZ , J ., 1989 - **Termodynamiczne kryteria oceny ukŁadów parowo-gazowych z generatorem gazu .** *Opracowanie Instytutu Maszyn I Urządzeń Energetycznych* , Gliwice .

5- CHMIELNIAK , T; KOTOWICZ , J ., 1991- **Nowe technologie energetyczne , ochrona środowiska .** *Opracowanie Instytutu Maszyn I Urządzeń Energetycznych* , Gliwice .

6- KOTOWICZ , J .,1991 - **Badania szeregowego ukŁadu parowego- gazowego .** *Opracowanie Instytutu Maszyn I Urządzeń Energetycznych* , Gliwice .

7- - NICO, W; THEO, W; ARMANDO, P; TEUS , S. , -2010 **Thermodynamic evaluation of combined cycle plants .** *Energy Conversion and Management* (51) , 1099- 1110 .

8- POLYZAKIS, A. l; KORONEOS, C; XYDIS, G., 2008 - **Optimum gas turbine cycle for combined cycle power plant.** *Energy Conversion and Management* , (49) , 551- 563 .

9- - SZARGUT , J .,1985 - **Termodynamika** , PWN Warszawa.

The Effect of the Minimum Difference of the Temperature on the Efficiency of the Steam Part of the Energy Generating Station with Combined Cycle (Gas-Steam)

Dr. Eng. Mahmod alhoseen

Department of Energy

Faculty of Mechanical Engineering

University of Aleppo

Abstract

This research study the effect of the temperature difference Minimum "ΔTg-s pinch point" (a smaller difference between the temperatures of combustion gases carrying the thermal energy ,and entering the boiler heat recovery with the median worker in this boiler in the compound station gas - steam) on the thermal efficiency of the steam station, which consist with the gas station the compound station. that can be made by preparation of a computer program to solve the mathematical model of the efficiency of each the gas station and the steam station (compound station), which consisting of two stations for the different values of "ΔTg-s pinch point". Results show an- increase of the station steam efficiency, which represents one part of the compound station, with decreasing of the minimum difference "ΔTg-s pinchpoint" ,and that lead to an- increase the compound plant efficiency with decreasing the value of "ΔTg-s pinchpoint".

Keys words :efficiency – temperature – pinch point – combined cycle