Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly
DOI: http://doi.org/10.65568/gujes.2025.010207

محاكاة ودراسة تحسين أداء محطة جنوب طرابلس الغازية باستخدام التبريد بالهيدروجين

عمران الشيخي[1]، عبد اللطيف بن موسي[1]، نضال غميض، [1] أحمد أبوكيل [1]، عبد الخالق الكيلاني [1]، مجدي الصول [1]، عبد الرحمن الشريف[1]

[1] جامعة طرابلس / قسم الهندسة البحرية والمنصات العائمة، طرابلس، ليبيا، *o.alshikhi@uot.edu.ly*

Corresponding author: o.alshikhi@uot.edu.ly

Received: 15 Aug 2025	Accepted: 02 Sep 2025	Published: 15 Sep 2025

الملخص

في هذه الدراسة تم تصميم نموذج لمنظومة محطة جنوب طرابلس باستخدام البرنامج العالمي أسبن بلس وبعد معايرتها ونتيجة لارتفاع درجة حرارة العادم مما يتطلب النظر في إمكانية استغلال الطاقة الحرارية المهدورة للعادم، ظهرت فكرة مبتكرة وهي إمكانية استغلال تلك الحرارة في انتاج الهيدروجين من خلال استخدام منظومة الإصلاح الخارجي وتكمن فكرة هذه التقنية بتفاعل الوقود (الديزل) مع بخار الماء لإنتاج الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون ولكون ان هذا التفاعل ماص للحرارة تم تغطية احتياجات الطاقة من منظومة التوربين الغازي. وبعد إجراء عملية المحاكاة أظهرت النتائج عرض طريقة جديدة لاستقرار أداء المحطة الغازية على مدار العام وزد على هذه الميزة تم إنتاج الهيدروجين بمقدار (691.2 ton/day) من الديزل مما أدى إلى التحسين العام في أداء المحطة وهذا يتوقع ان ينعكس إيجابياً من الناحية الاقتصادية لكون أن الطاقة المهدورة للغازات تم استغلالها في انتاج الهيدروجين، مما يعني بصورة أخرى تقليل من الانبعاثات الكربونية والمحافظة على البيئة.

الكلمات المفتاحية: محطة التوربين الغازي، منظومة الإصلاح البخاري، انتاج الهيدروجين، ASPEN PLUS.

1. المقدمة

في ظل التوجه العالمي نحو تحسين كفاءة محطات توليد الطاقة وتقليل الانبعاثات الكربونية تبرز الحاجة الي حلول مبتكرة لاستعادة الطاقة المهدرة في أنظمة التوربينات الغازية، ومع التقدم العلمي تعددت البرامج التصميمية لمحاكاة محطات الطاقة ونمذجة عملها، حيث تطرق العلماء بحثا ودراسة في تطوير طرق إنتاج الطاقة الكهربائية والحد من الانبعاثات الهيدروكربونية مما جعل التركيز منصبا على الطاقات البديلة عن طريق استغلال حرارة غازات العادم المهدورة جواً والغير مستفاد منها بمحطات توليد القدرة الغازية.

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial4.0International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly
DOI: http://doi.org/10.65568/gujes.2025.010207

تكمن فكرة عمل الإصلاح الخارجي بإضافة وقود وبخار الماء بنسب معينة عند درجات حرارة مرتفعة قد تصل بالحد الأدنى الى (400C°)، حيث يمكن الاستفادة من درجة حرارة غازات العادم بمحطات توليد القدرة الغازية في توفير احتياجات درجات الحرارة المطلوبة للتفاعل الكيميائي بعملية الإصلاح البخاري مما ينتج عن هذا التفاعل إنتاج الهيدروجين بدرجة حرارة منخفضة تحت الصفر المئوي وقد تصل إلى (200C°−).

حيث يمكن الاستفادة من درجة حرارة الهيدروجين المنتج من عملية الإصلاح البخاري في عملية تبريد الهواء عند مدخل الضاغط بمحطات توليد القدرة الغازية عن طريق التبادل الحراري فيما بين الهواء والهيدروجين المنخفض حرارياُ، مما يساهم في استقرار ورفع من أداء المحطة على مدار العام وخاصتاً في فصل الصيف وبأوقات الدروة التي تصل فيها درجات الحرارة الى (40: 50) درجة مئوية ، والتي تنعكس بشكل سلبي على أداء المحطة ، وللمحافظة على استقراريه و أداء المحطة يفضل تشغيل المحطات بظروف تشغيليه للهواء عند درجات حرارة فيما بين (10 : 15) درجة مئوية. دراسة اخرى تمت من قبل (صميلي، واخرون) تحت عنوان أثر المناخ على استهلاك الطاقة الكهربائية السكنية، أجريت في مدينة جدة، وهدفت الى ابراز التفاوت الفصلي والشهري لمعدلات الاستهلاك الكهربائي السكني في مدينة جدة، وإيجاد العلاقة الإحصائية بين العناصر المناخية وكمية الاستهلاك الكهربائي السكني [1].

حيث قام (م. الشارف , م. عبدالمجيد) بدراسة هدفت إلى تقليل تكاليف لطاقة من خلال التنبؤ باستهلاك الوقود في ظل درجات الحرارة المختلفة ، وانشاء محطات جديدة لتوليد الطاقة الكهربائية لتقليل الضغط على الشبكة ، ومن أهم النتائج التي تحصل عليها الباحث أنه بإنخفاض درجة حرارة الهواء تزداد الطاقة المنتجة في المنظومة، واوصت إلى التركيز على أهمية انشاء محطات جديدة لتوليد الكهرباء لمواكبة الزيادة السكانية، و الاهتمام بإنتاج الكهرباء عن طريق الطاقة المتجددة ، و الترشيد في استهلاك الطاقة الكهربائية من قبل المواطن[2].

وفي الدراسة تم محاكاة لمقترح تطوير المحطة الغازية بجنوب طرابلس وتحسين أدائها في حالة الدورة المزدوجة، لغرض تقديم مقترح للشركة العامة للكهرباء بدولة ليبيا، وذلك بعد سماع عن سلسلة من التعاقدات الجديدة مع الشركات الأجنبية وعلى رأسها الشركة الألمانية الرائدة في مجال الطاقة (SIEMENS)، وتوفير احتياطي دوار للطاقة الكهربائية بالشبكة العامة لتغطية الطلب المتزايد من قبل المستهلكين، علاوة على ذلك المحافظة على المال العام للدولة الليبية عن طريق استثمار الغازات المنبوذة جوا والغير مستفاد منها في مثل هذه المحطات. تم في هذه الدراسة استخدام غازات العادم الناتجة من خمس وحدات غازية في عملية توليد البخار وذلك عن طريق مولد بخار الحرارة المسترجعة (HRSG) لتشغيل محطة بخارية متكاملة الدورة الحرارية، حيث استخدم برنامج حل المعادلات الهندسي (EES) لنمذجة المحطة المقترحة وتأثير عدة عوامل على الأداء الديناميكي الحراري للدورة. تم استخدام البيانات الحقيقية مثل درجة حرارة المحيط

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial4.0International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science
(GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly
DOI: http://doi.org/10.65568/gujes.2025.010207

الجوي، معدلات تدفق الوقود والهواء، حيث تم الاستفادة من غازات العادم في توليد البخار وتحسين الأداء للمحطة المقترحة، وتبين ذلك من خلال النتائج المتحصل عليها عند استخدام الدورة المزدوجة وكانت درجة المحيط الجوي (C°20) فإن كفاءة الدورة الحرارية بلغت (78%)، بينما كانت (24.82%) في حالة الدورة المفتوحة، وتحسن صافي الشغل المنتج بمقدار (1207 MW) بينما كان (382.32 MW) في الدورة المفتوحة. وبينت الدراسة أيضا ألية المحافظة على كفاءة الدورة الحرارية وكذلك صافي الشغل المنتج، وأساليب الحد من الفاقد الرئيسية والثانوية والخسائر بالدورة الحرارية.[3]

وفي الدارسة التي قامت بمحاكاة نموذج منظومة التوربين الغازي وخلية الوقود ذات الغشاء البروتوني حيث تم استثمار غازات عادم التوربين الغازي لتسخين الماء وغاز الميثان، مما يسهم في تعزيز الأداء الكلي لنظام الطاقة. استخدمت المنهجية حقن هذه المكونات في المصلح البخاري لإنتاج الهيدروجين، الذي يُستخدم في خلية الوقود ذات الغشاء البروتوني، مما يؤدي إلى توليد الطاقة لكهربائية بكفاءة أعلى [4]. وفي دراسة أخرى بدمج منظومة توربين غازي مع منظومة خلية وقود ذات الغشاء البروتوني ليشكلا معا نظام هجين أطلق عليه اسم (منظومة أويا). ولدراسة معاملات أداء منظومة أويا تم استخدام البرنامج العالمي أسبن بلس Aspen Plus كذلك برنامج المحاكاة حل المعادلات الهندسية EES لتصميم ومعايرة نموذج لمنظومة توربين غازي وكذلك نموذج لخلية الوقود ذات الغشاء البروتوني ، حيث أظهرت النتائج ارتفاع كفاءة منظومة أويا الى 43% بالمقارنة بمنظومة التوربين الغازي والتي قدرت ب37% وكذلك الطاقة المنتجة في منظومة أويا ارتفعت من 30.1% قبل الدمج الى 83.41% بعد الدمج. زد على ذلك فإن درجة حرارة العادم في منظومة أويا لازالت بها طاقة حرارية بالإمكان الاستفادة منها في زيادة عدد حزم خلية الوقود ذات الغشاء البروتوني مما يعني تحسن أكبر في الكفاءة [5]. وفي هذه الدراسة، تتم مقارنة أداء دورة التوربينات الغازية المبردة بالتبادل الحراري التي تعمل بالهيدروجين وشفرات التوربينات مع دورة مماثلة تستخدم وقود الديزل مع الطريقة التقليدية لضاغط الهواء للتبريد. ركز التحليل الحصول على الطاقة واستهلاك الوقود النوعي والكفاءة الحرارية للمحرك على نطاق واسع من متغيرات التشغيل وهي نسبة ضغط الضاغط Rc ودرجة الحرارة القصوى للدورة T03. تم تصميم برنامج كمبيوتر خصيصًا لإجراء جميع العمليات الحسابية. تظهر النتائج أن دورة الهيدروجين تتفوق على دورة الهواء بنحو 50٪ في الطاقة و 9٪ في الكفاءة الحرارية [6]. وفي هذه الدراسة التي سلطت الضوء على نظام الضباب لتبريد الهواء الداخلي للضاغط في محطة الوقود لتوليد الكهرباء. حيث ركزت الدراسة بشكل رئيسي على مدى ملاءمة نظام الضباب للمناخ العراقي الحار طوال فترة الصيف، حيث تم إجراء تحليل محاكاة لتشغيل وحدة توربين الغاز باستخدام نظام الضباب عند درجة حرارة محيطة تتراوح بين 25 و55 درجة مئوية في المحطة الثانية جنوب بغداد. وقد أثبت

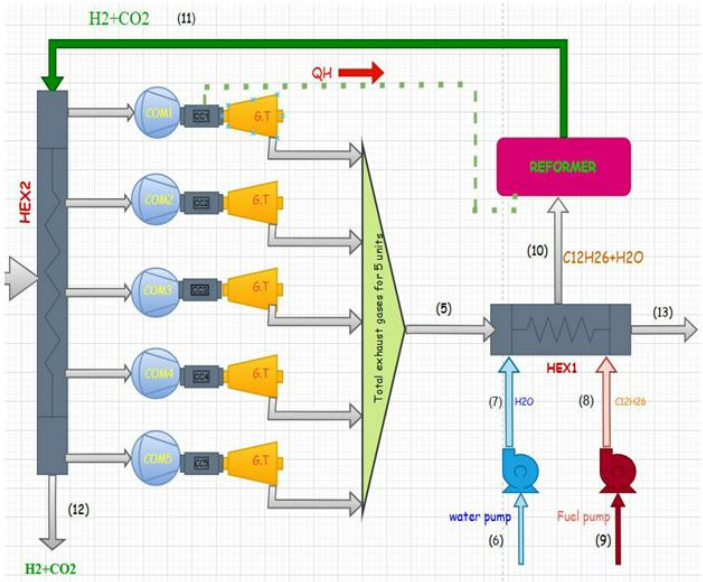
"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial4.0International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly
DOI: http://doi.org/10.65568/gujes.2025.010207

نظام الضباب فعالية عالية في رفع القدرة الفعالة والكفاءة الحرارية ومعامل الكفاءة الفعالة لوحدة توربين الغاز، بالإضافة إلى انخفاض واضح في معدل تدفق الهواء النوعي واستهلاك الوقود النوعي واستهلاك الحرارة النوعي في وحدة توربين الغاز مقارنةً بعدم استخدام نظام الضباب للتبريد ولنفس ظروف التشغيل [7].

في هذه الدراسة تم تصميم نموذج لمنظومة محطة جنوب طرابلس الغازية والتي تحتوى علي خمسة وحدات إنتاج الطاقة الكهربائية وبعد التأكد من معايرتها تم دمجها بمنظومة الإصلاح الخارجي وذلك باستخدام برنامج العالمي اسبن بلس (ASPEN $_{plus}$) وتكمن فكرة هذه الدراسة باستغلال الحرارة المهدورة في غازات العادم لمنظومة التوربين الغازي ومدي إمكانية الاستفادة بجزء منها في إنتاج الهيدروجين (H_2) من وقود نوع الديزل ($C_{12}H_{26}$) وهذه الدراسة تمثل فكرة مبتكره في إنتاج الهيدروجين (H_2) واستغلال درجة حرارته في تحسين أداء المحطة الغازية .

2. وصف المنظومة المقترحة



شكل 1 : مخطط المحطة المقترحة

يبين الشكل (1) مخطط المحطة المقترحة لجنوب طرابلس، حيث تتكون محطة جنوب من خمسة وحدات غازية تعمل بالدورة المفتوحة، حيث يتم دخول الهواء إلى مبادل حراري (HEX_2) لغرض التبادل الحراري مع منتجات التفاعل للإصلاح البخاري عند النقطة (11)، حيث تم تثبيت والتحكم بدرجة حرارة الهواء الجوي عند (10°C) على مدار العام حيث كانت تتذبذب خاصتا بفصل الصيف فيما بين (50°C:30 C°) مما ينعكس بشكل سلبي على أداء المحطة، وتكمن فكرة عمل المحطة

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial4.0International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly
DOI: http://doi.org/10.65568/gujes.2025.010207

الغازية بضغط الهواء والوقود إلى ضغط (11bar) وإدخاله إلى غرفة الاحتراق مع وجود مصدر اشتعال، يتولد عن ذلك غازات ذات درجة حرارة مرتفعة ، ومن ثم يتم دخول الغازات الي التوربين الغازي لغرض توليد شغل ميكانيكي ومن ثم تحويل هذا الشغل الي طاقة كهربائية عن طريق المولد التزامني ، وعند نهاية الدورة الغازية تخرج كمية من غازات العادم تصل درجة حرارتها الي (504°C) بمعدل تدفق (2000 Kg/S) وهذه الكمية كبيرة جدا وغير مستفادة منها بمثل هذه المحطات ، حيث تم استغلال الحرارة الكامنة لغازات العادم عند النقطة (5) بعملية الإصلاح البخاري . وتكمن تقنية الإصلاح البخاري بعملية ضخ الوقود (8) والماء (7) الي مبادل حراري (HEX_1) لغرض رفع درجة حرارة الوقود والماء من الحالة السائلة الي الحالة البخارية عند النقطة (10)، بعد عملية التبادل الحراري فيما بين غازات العادم يتم دخول بخار الماء ووقود الديزل الي جهاز الإصلاح البخاري (REFORMER) لغرض التفاعل الكيميائي وإنتاج الهيدروجين (H_2) وثاني اكسيد الكربون (CO_2) عند النقطة (11) حيث كانت درجة حرارة منتجات التفاعل (−139°C) بمعدل تدفق (85 Kg/S) ، وهذه الدرجة تعتبر منخفضة جدا مما دعي لاستخدامها كوسيط تبريد عند المبادل الحراري (HEX_2) لحل مشكلة درجة حرارة الهواء عند مداخل الضواغط بالوحدات الخمسة ، وعند نهاية التبادل الحراري يخرج وسيط التبريد (H_2+CO_2) عند النقطة (12) بدرجة حرارة 3.54 C°.

وكذلك تم انتاج الهيدروجين عند النقطة (12) بمعدل تدفق (8 Kg/S) لغرض التصدير للدول المستهلكة، وكذلك تم الحد من الانبعاثات الكربونية الناتجة لثاني أكسيد الكربون حيث بلغ (62 Kg/S) وتعتبر هذه القيمة عالية جدا مما دعي الي تخزينها والتخلص منها بطرق فنية لغرض المحافظة على البيئة والحد من التلوث البيئي.

3. النموذج الرياضي للمنظومة

فيما يلي يتسنى لنا عرض النموذج الرياضي للمحطة المقترحة ويشمل نموذج التوربين الغازي وجهاز الإصلاح البخاري والمبادلات الحرارية:

$$W_{c,s} = m_a \times c_{pa} \times (T_2 - T_1) \quad (1)$$

$$W_{c,a} = m_a \times c_{pa} \times (T_{2a} - T_1) \quad (2)$$

$$\eta_c = \frac{W\,c,s}{W\,c,a} \quad (3)$$

$$r_p = \frac{p2}{p1} \quad (4)$$

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial4.0International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly
DOI: http://doi.org/10.65568/gujes.2025.010207

$$\frac{T2}{T1} = \left(\frac{P2}{P1}\right)^{Z1} \quad (5)$$

$$Z_1 = \frac{Ka-1}{Ka} \quad (6)$$

$$m_g = m_a + m_f \quad (7)$$

$$W_{gt\ ,\ s} = m_g \times c_{pg} \times (T_3 - T_4) \quad (8)$$

$$W_{gt\ ,\ a} = m_g \times c_{pg} \times (T_3 - T_{4a}) \quad (9)$$

$$\eta_{gt} = \frac{Wgt,a}{Wgt,s} \quad (10)$$

$$Z_2 = \frac{Kg-1}{Kg} \quad (11)$$

$$\frac{T3}{T4} = \left(\frac{P3}{P4}\right)^{Z2} \quad (12)$$

$$Q_{in\ ,s} = (m_g \times c_{pg} \times T_3) - (m_a \times c_{pa} \times T_2) \quad (13)$$

$$Q_{in\ ,a} = (m_g \times c_{pg} \times T_3) - (m_a \times c_{pa} \times T_{2a}) \quad (14)$$

$$W_{net,s} = (W_{gt\ ,\ s}) - (W_{c,s}) \quad (15)$$

$$W_{net,a} = (W_{gt\ ,\ a}) - (W_{c,a}) \quad (16)$$

$$\eta_{th\ ,\ gt\ ,s} = \frac{Wnet,s}{Qin\ ,s} \quad (17)$$

$$\eta_{th\ ,\ gt\ ,a} = \frac{Wnet,a}{Qin\ ,a} \quad (18)$$

$$WP, H2O = \dot{m}w * (h7 - h6) \quad (19)$$

$$WP, c12h26 = \dot{m}c12h26 * (h8 - h9) \quad (20)$$

$$WP,FUEL = \dot{m}fuel * (h\ fuel\ out\ -\ h\ fuel\ in) \quad (21)$$

$$Wpump\ total\ =\ (WP, H2O)\ +\ (WP, C12H26)\ +\ (WP, fuel) \quad (22)$$

$$\eta\ th\ total = \frac{[(Wgt) - (W\ PUMP\ total) + (WC)]}{Q\ IN} \quad (23)$$

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial4.0International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly
DOI: http://doi.org/10.65568/gujes.2025.010207

1.3 تقنيات انتاج الهيدروجين (Technologies to Produce Hydrogen) :

a) الإصلاح الخارجي : (External Reforming)

$$C_{12}H_{26} + 12\ H_2O \longrightarrow 12\ CO + 25\ H_2 \quad (24)$$

$$CH_4 + H_2O \longleftrightarrow CO + 3\ H_2 \quad (25)$$

b) الإصلاح الداخلي (Internal Reforming) :

يقصد بعملية الإصلاح الداخلي انتاج الهيدروجين داخل منظومة تكون درجة حرارة تشغيلها المرتفعة تسمح بالتفاعل.

$$C_{12}H_{26} + 12\ H_2O \longrightarrow 12\ CO + 25\ H_2 \quad (26)$$

$$CH_4 + H_2O \longleftrightarrow CO + 3\ H_2 \quad (27)$$

$$CO + H_2O \longleftrightarrow CO_2 + H_2 \quad (28)$$

c) تفاعل الإصلاح بالبخار:

يعتبر هذا التفاعل ماص للحرارة ويعبر عليه بمصطلح (Steam Reforming Reaction).

$$C_{12}H_{26} + 12\ H_2O \longrightarrow 12\ CO + 25\ H_2 \quad (29)$$

$$CH_4 + H_2O \longleftrightarrow CO + 3\ H_2 \quad (30)$$

d) تفاعل تحول الماء:

يعتبر هذا التفاعل طارد للحرارة ويعبر عليه بمصطلح (**Water Shift Reaction**) .

$$CO + H_2O \longleftrightarrow CO_2 + H_2 \quad .(31)$$

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial4.0International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly
DOI: http://doi.org/10.65568/gujes.2025.010207

4. المدخلات التشغيلية للمحطة المقترحة:

الجدول 1: الرموز والاختصارات والقيم للمحطة قيد الدراسة

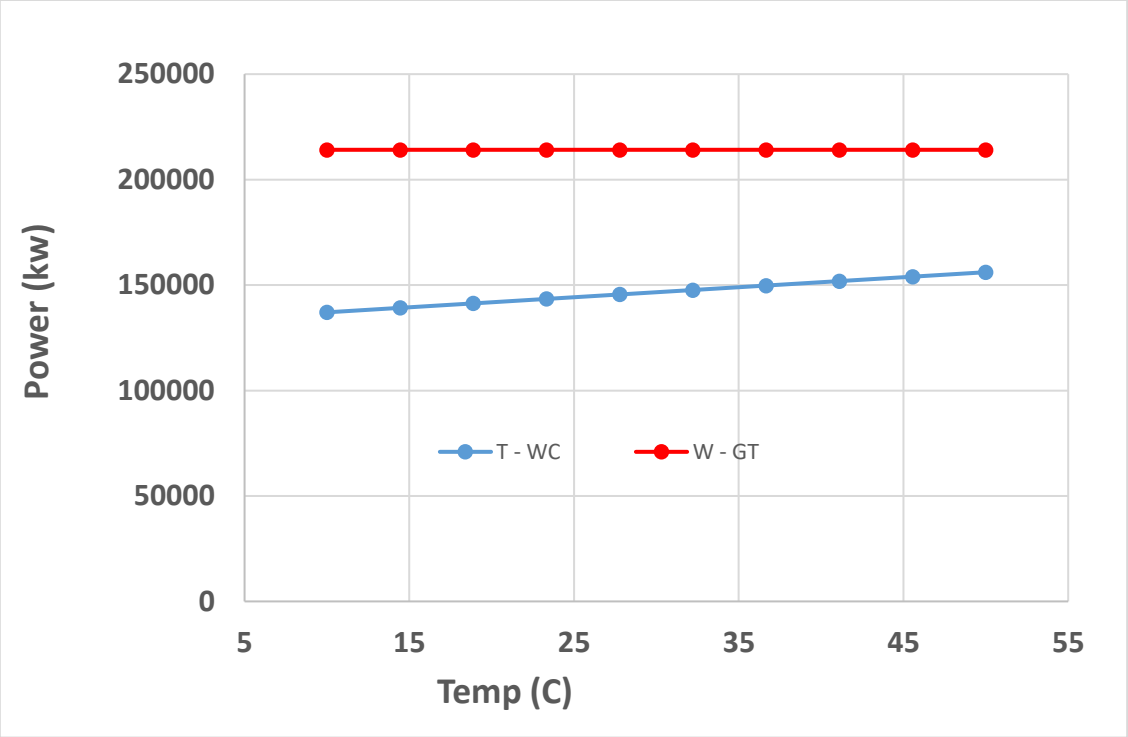
No.	الرمز	تسمية المتغير	القيمة	الوحدة
1	T1	درجة حرارة الهواء عند مدخل الضاغط	10	˚C
2	T3	أقصى درجة حرارة للغازات عند مدخل التوربين الغازي	950	˚C
3	T6	درجة حرارة الماء عند دخول المضخة	25	˚C
4	T7	درجة حرارة الماء عند تصريف المضخة	25	˚C
5	T9	درجة حرارة الوقود الديزل عند مدخل المضخة	25	˚C
6	T8	درجة حرارة الوقود عند تصريف المضخة	25	˚C
7	T10	درجة حرارة بخار الماء ووقود الديزل عند مخرج المبادل الحراري (1HEX)	405	˚C
8	T11	درجة حرارة 2H2 + CO المنتج من الإصلاح البخاري	−139	˚C
9	T12	درجة حرارة 2H2 + CO النهائية بعد التبادل الحراري لتبريد 5 وحدات غازية	3.52	˚C
10	P1	ضغط الهواء عند مدخل الضاغط	1	bar
11	P2	ضغط الهواء عند تصريف الضاغط	11	bar
12	P3	أقصى ضغط عند التوربين الغازي	10.99	bar
13	P6	ضغط الماء عند مدخل المضخة	1	bar
14	P9	ضغط الوقود عند مدخل المضخة	1	bar
15	P7	ضغط الماء عند تصريف المضخة	2	bar
16	P8	ضغط الوقود عند تصريف المضخة	2	bar
17	P10	ضغط بخار الماء + الوقود عند مخرج المبادل الحراري 1HEX	1.99	bar
18	P11	ضغط 2H2 + CO عند مخرج جهاز الإصلاح البخاري	1.99	bar
19	P12	ضغط العادم لـي 2H2 + CO عند مخرج المبادل الحراري 2HEX	1.99	bar
20	rp	نسبـــة الانضغاط	11	bar
21	M.FUEL−CC	معدل تدفق الوقود عند غرفة الاحتراق	6.4	Kg/s
22	M.WATER	معدل تدفق كتلة الماء عند جهاز الإصلاح البخاري	65	Kg/s
23	M.FUEL−REG	معدل تدفق كتلة الوقود عند جهاز الإصلاح البـــخاري	20	Kg/s
24	η_COM	كفـــــاءة الإيزنتروبيا للضاغط	82.00%	%
25	η_GT	كفـــــاءة الإيزنتروبيا للتوربين الغازي	82.00%	%

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial4.0International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly
DOI: http://doi.org/10.65568/gujes.2025.010207

5. تحليل وعرض النتائج

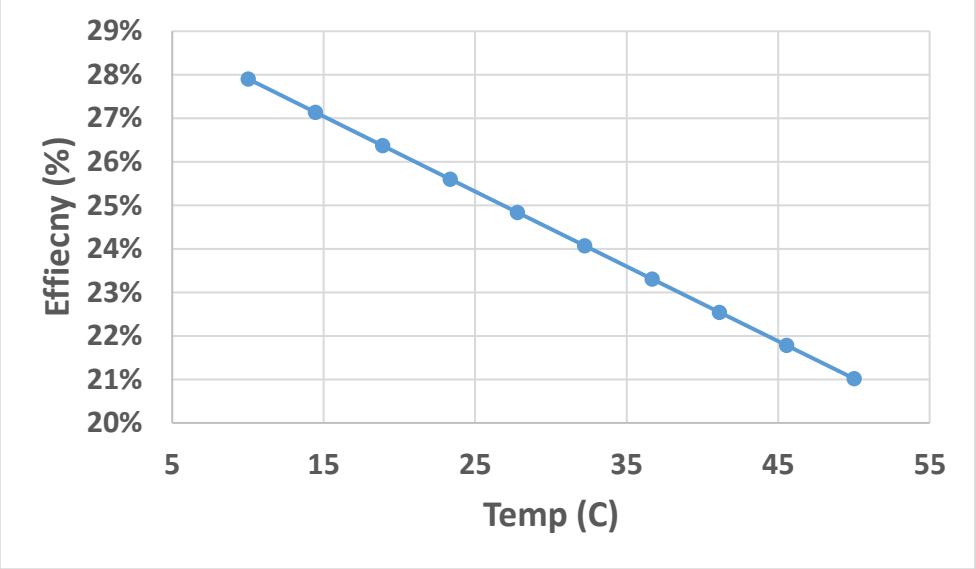
يبين الشكل رقم (1) تأثير درجة حرارة الهواء بالمحيط الخارجي على القدرة للتوربين الغازي والقدرة المستهلة للضاغط، حيث يتضح ان كلما ارتفعت درجة حرارة الهواء بالمحيط الخارجي زادت القدرة المستهلكة من قبل الضاغط وهدا ناتج عن زيادة الحجم النوعي للهواء مما يتطلب طاقة أكبر لأجراء عملية الانضغاط عند درجات الحرارة المرتفعة، بينما يلاحظ كلما انخفضت درجة حرارة الهواء للمحيط الخارجي انخفضت القدرة المستهلكة للضاغط، مع ثبوت قدرة التوربين الغازي. وهذا يعني ان صافي الطاقة المنتجة من المنظومة تتناسب طردياً مع انخفاض درجة الحرارة مما ينتج عنه تحسن في كفاءة المنظومة كما هو موضح بالشكل (3) و بالرغم من انخفاض كتلة الوقود المستهلكة في منظومة التوربين الغازي نتيجة ارتفاع درجة حرارة المحيط الخارجي كما مبين في الشكل (4) إلا أن معدل الانخفاض في الصافي الطاقة المنتجة أكبر من معدل التحسن في الطاقة المستهلكة في غرفة الاحتراق وهذا السبب الذي جعل الكفاءة تهبط مع ارتفاع درجة المحيط.



شكل رقم 2 : تأثير درجة حرارة المحيط الخارجي على القدرة لضاغط والتوربين الغازي

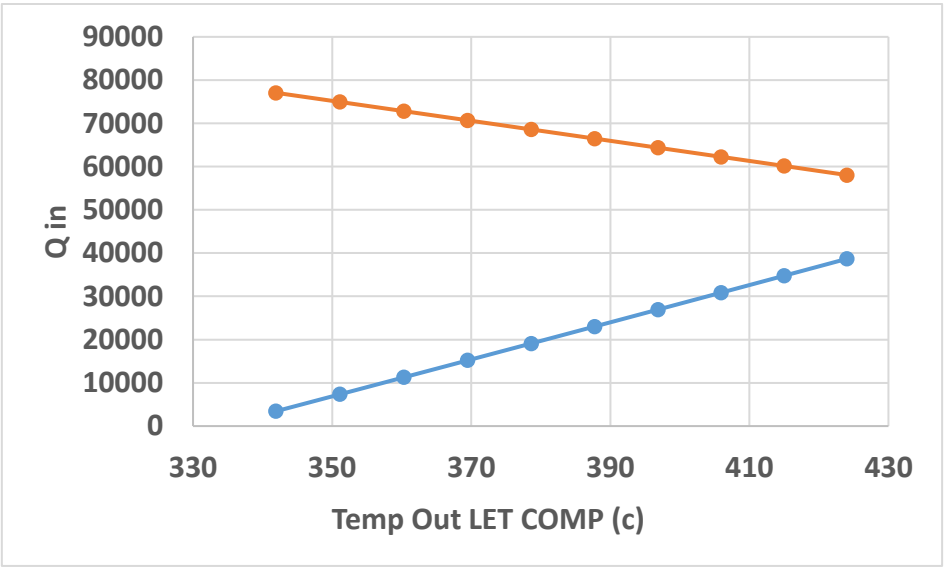
"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial4.0International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly
DOI: http://doi.org/10.65568/gujes.2025.010207



شكل 3: تأثير درجة حرارة المحيط الخارجي على الكفاءة الحرارية للمحطة الغازية بجنوب طرابلس.

يوضح الشكل (3) تأثير درجة حرارة المحيط الخارجي على الكفاءة الحرارية للمحطة الغازية حيث يتبين أنه كلما ارتفعت درجة حرارة الهواء بالمحيط الخارجي يؤثر بشكل سلبي على الكفاءة الحرارية للمحطة الغازية مما ينتج عن ذلك انخفاض كبير للكفاءة الحرارية بينما يتضح أيضا كلما انخفضت درجة حرارة الهواء بالمحيط الخارجي تتحسن الكفاءة الحرارية للمحطة الغازية قيد الدراسة وهدا ناتج عن انخفاض الطاقة المستهلكة عند الضاغط لإجراء عملية الانضغاط.

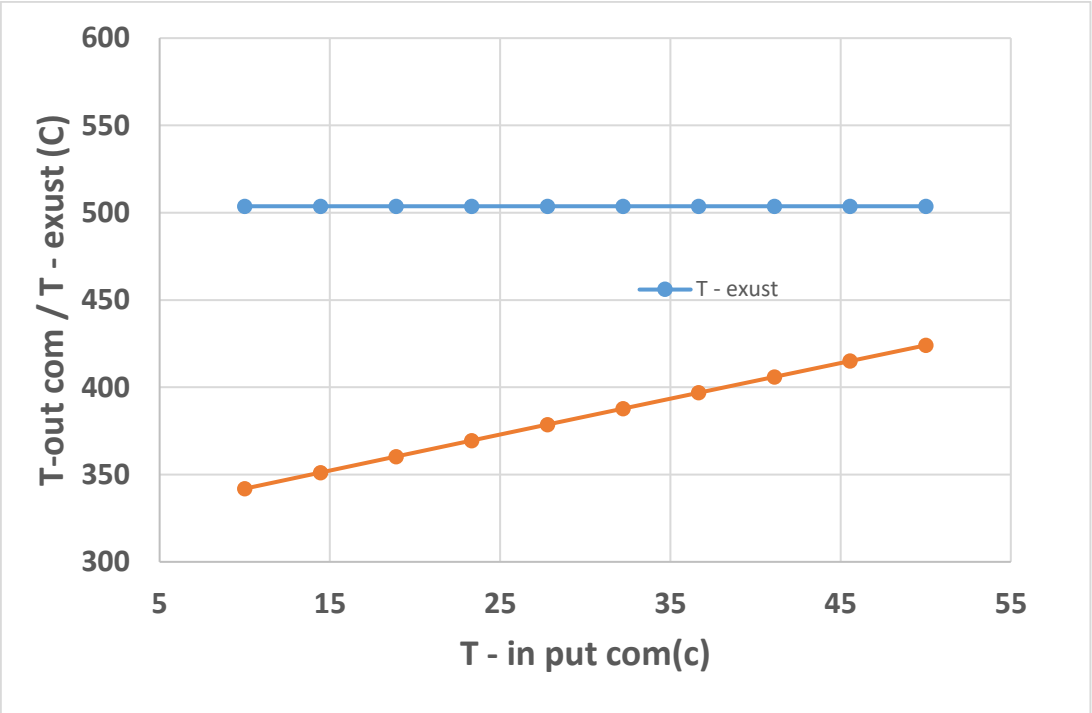


شكل رقم 4: تحليل درجة حرارة الهواء عند مخرج الضاغط على كمية الحرارة المضافة وصافي الشغل المنتج.

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial4.0International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly
DOI: http://doi.org/10.65568/gujes.2025.010207

يبين الشكل (4) تحليل درجة حرارة الهواء عند نهاية شوط الانضغاط علي كمية الحرارة المضافة داخل غرفة الاحتراق وصافي الشغل المنتج بالمحطة الغازية حيث يتضح انه كلما ارتفعت درجة حرارة الهواء عند مخرج الضاغط قلت كمية الحرارة المستهلكة او المضافة داخل غرفة الاحتراق وينتج عن ذلك انخفاض في كمية الوقود المستهلك او المضاف داخل غرفة الاحتراق مما ينعكس بشكل إيجابي علي صافي القدرة المنتجة بالمحطة ولكن هذا التحسن يعتبر بسيط في حالة ما تم مقارنته عند انخفاض درجة حرارة الهواء عند مدخل الضاغط المبينة في الشكل(3) و الشكل (2)

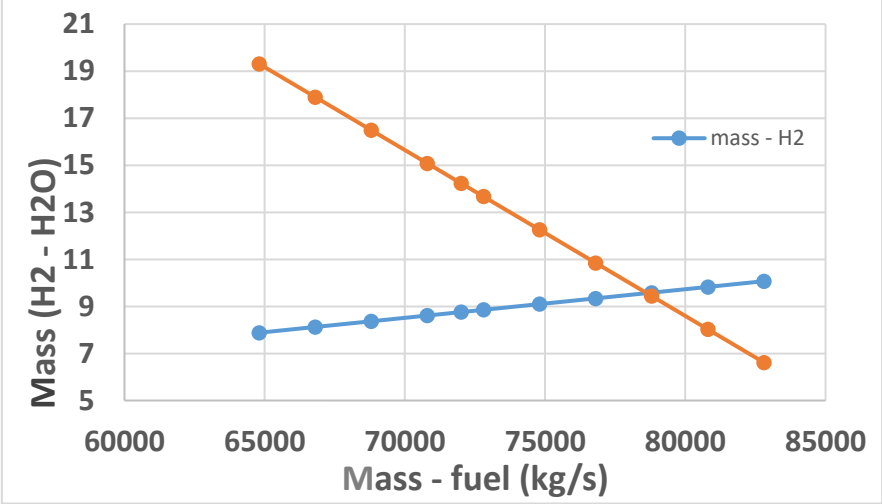


شكل 5 : تأثير درجة حرارة الهواء بالمحيط الخارجي على درجة حرارة الهواء عند مخرج الضاغط وغازات العادم عند مخرج التوربين الغازي

يوضح الشكل (5) تأثير درجة حرارة الهواء بالمحيط الخارجي على درجة حرارة الهواء عند مخرج الضاغط بعد عملية الانضغاط وغازات العادم عند مخرج التوربين الغازي، حيث يتبين انه كلما ارتفعت درجة حرارة الهواء بالمحيط الخارجي تتناسب طرديا مع عملية الانضغاط لضاغط الهواء مما ينتج عنها زيادة بدرجة حرارة الهواء عند تصريف الضاغط، ويلاحظ أيضا ثبوت درجة حرارة غازات العادم عند مخرج التوربين الغازي (504°C) وتعتبر درجة حرارة العادم مرتفعة جداً وغير مستفاد منها في مثل هذه المحطات الغازية.

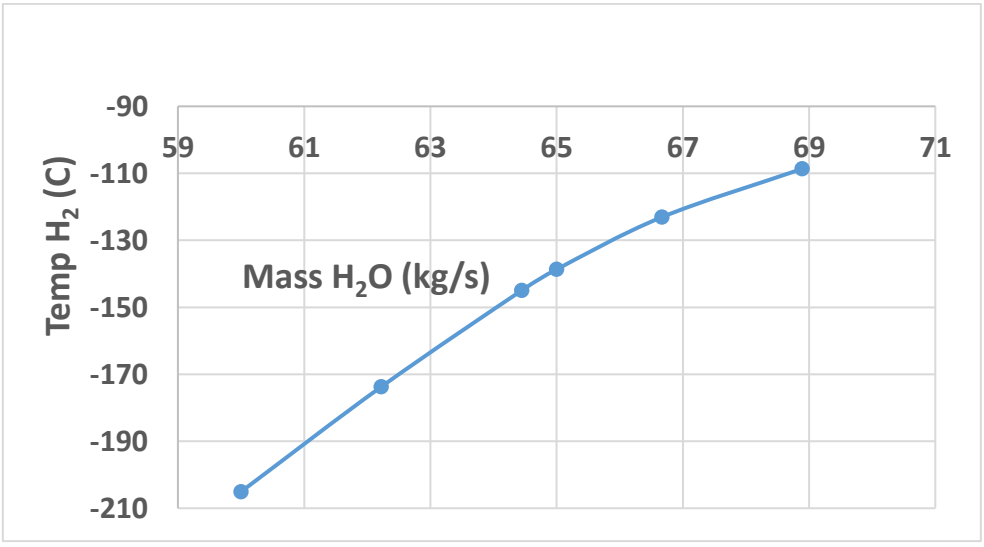
"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial4.0International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly
DOI: http://doi.org/10.65568/gujes.2025.010207



شكل 6: دراسة العلاقة بين معدل تدفق كتلة الوقود ومعدل الهيدروجين المنتج في عملية الأصلاح بالبخار.

يبين الشكل (6) يتين الإنحدار في المنحنى الذي يمثل معدل تدفق الماء يكون أكبر بكثير منه في منحنى معدل الهيدروجين المنتج ويتقاطعان في نقطة والتي تمثل أفضل نقطة تشغيل لمنظومة الإصلاح لإنتاج الهيدروجين.



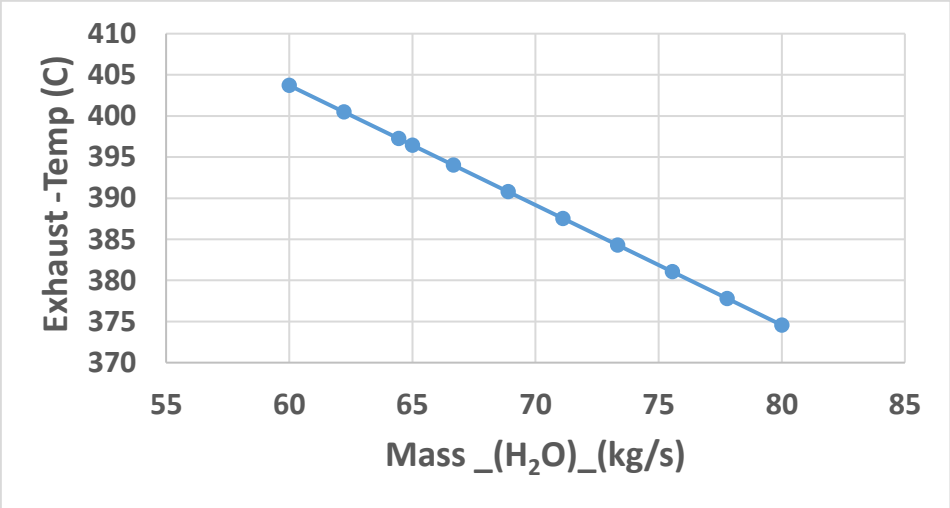
شكل 7: تحليل المعدل الزمني لتدفق كتلة الوقود ($C_{12}H_{26}$) بعملية الإصلاح بالبخار علي درجة حرارة الهيدروجين المنتج.

يبين الشكل (7) تأثير المعدل الزمني لتدفق كتلة الوقود ($C_{12}H_{26}$) بعملية الإصلاح بالبخار ,علي درجة حرارة الهيدروجين المنتج للتفاعل الكيميائي, حيث يتضح ان كلما زاد معدل سيران الوقود مع الكمية الكافية من بخار الماء ارتفعت درجة حرارة

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial4.0International License"

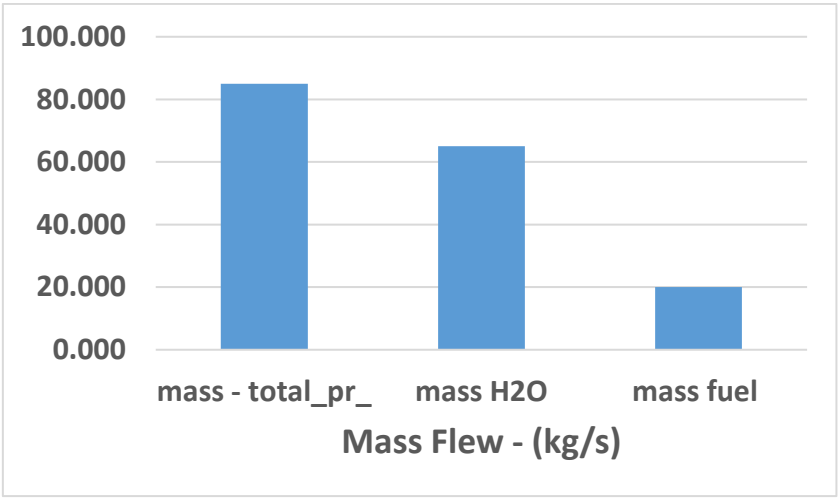
Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly
DOI: http://doi.org/10.65568/gujes.2025.010207

الهيدروجين المنتج باتجاه الصفر المئوي, بينما كلما انخفض معدل سريان الوقود انخفضت درجة حرارة الهيدروجين انخفاض كبير تحت الصفر المئوي ,وهذا مؤشر جيد لاستخدام الهيدروجين المنتج بعملية تبريد الهواء عند مدخل الضاغط بالمحطة الغازية للوحدات الخمسة, والذي تم الإشارة إليه بالشكل (2) والشكل (3).



شكل 8: تأثير كمية الماء، المتدفقة في عملية الإصلاح بالبخار على درجة حرارة العادم النهائي للتوربين الغازي.

يبين الشكل (8) تأثير كمية الماء المتدفقة على درجة حرارة العادم أي أنه كلما زادت كمية الماء كلما قلت درجة حرارة العادم ، حيث نلاحظ من المنحنى عندما تكون كمية الماء المتدفق (60 kg/s) تصل درجة الحرارة إلى مايقرب من (403°C). وأيضاً عندما تصل كمية الماء المتدفق إلى (80 kg/s) تصل درجة الحرارة إلى حوالي (374°C).

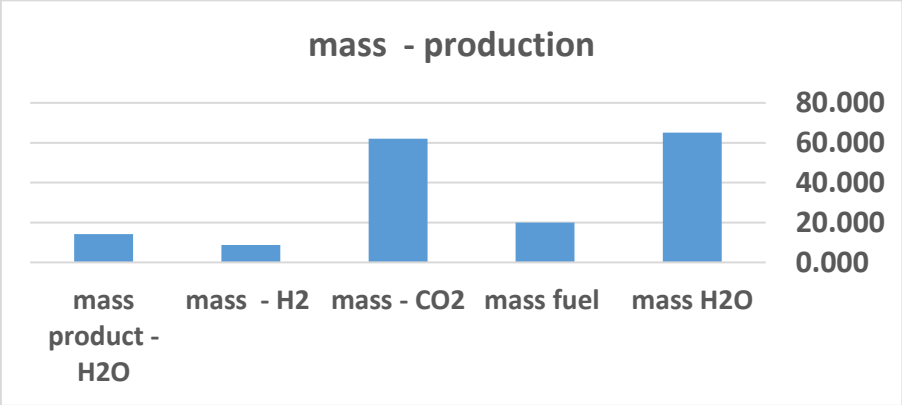


شكل 9: المدرج التكراري لكميات الوقود والماء المستخدمة بالتفاعل الكيميائي وكمية الهيدروجين المنتج من التفاعل.

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial4.0International License"

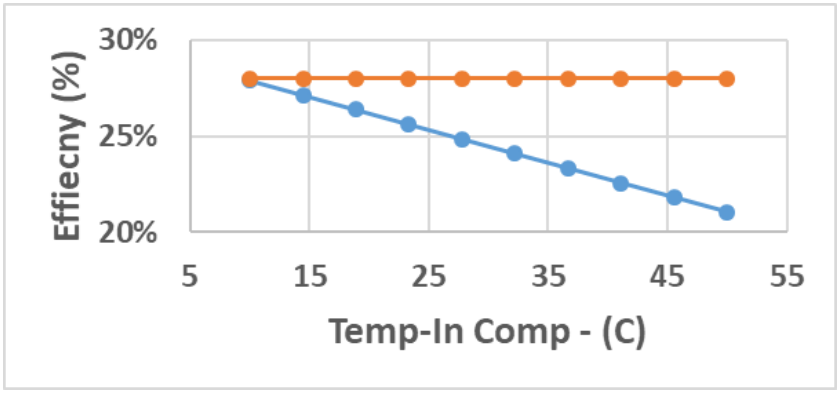
Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly
DOI: http://doi.org/10.65568/gujes.2025.010207

يبين الشكل (9) المدرج التكراري لكميات الوقود والماء المستخدم بعملية الإصلاح بالبخار، حيث كان المعدل الزمني لتدفق كتلة الماء (60 Kg/S)، والمعدل الزمني لتدفق كتلة الوقود (20 Kg/S)، لغرض التفاعل الكيميائي وإنتاج الهيدروجين مع مركبات أخرى للتفاعل وقد بلغ (80 Kg/S).



شكل 10: المدرج التكراري للمركبات الكيميائية المتفاعلة والمنتجة من التفاعل الكيميائي لعملية الإصلاح بالبخار.

يوضح الشكل (10) المدرج التكراري للمركبات الكيميائية الداخلة والمنتجة من التفاعل الكيميائي لعملية الإصلاح البخاري، حيث يتضح أن كمية بخار الماء الداخلة بالتفاعل (60 Kg/S)، المستخدمة للتفاعل مع الوقود (20 Kg/S) لإنتاج الهيدروجين بمعدل زمني (8 Kg/S) وثاني أكسيد الكربون (62 Kg/S) بالإضافة إلى مركب الماء الزائد وقد بلغ (10 Kg/S) لإجمالي ناتج التفاعل (80 Kg/S)، ونلاحظ أيضا كمية ثاني أكسيد الكربون (CO_2) عالية جدا بنواتج التفاعل ولكن يمكن التخلص منه فيما بعد بطرق فنية للمحافظة على البيئة.

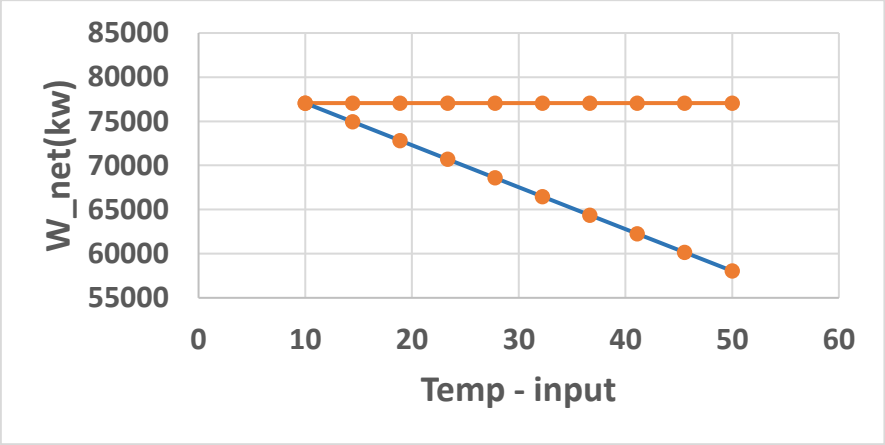


شكل 11: تأثير درجة حرارة المحيط الخارجي على الكفاءة الحرارية لمحطة جنوب طرابلس قبل وبعد عملية التبريد بالهيدروجين (H_2).

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial4.0International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly
DOI: http://doi.org/10.65568/gujes.2025.010207

يبين الشكل (11) تأثير درجة حرارة المحيط الخارجي على الكفاءة الحرارية لمحطة جنوب طرابلس قبل وبعد عملية التبريد بالهيدروجين, حيث يتضح لنا كلما ارتفعت درجة حرارة الهواء بالمحيط الخارجي انخفضت الكفاءة الحرارية للمحطة الغازية مما ينعكس بشكل سلبي على القدرة المنتجة للمحطة, وبفضل درجة حرارة الهيدروجين المنخفضة والمنتجة من الإصلاح البخاري ($-139^{o}C$) تم حل مشكلة درجة حرارة الهواء عند مدخل الضاغط بالوحدات الخمسة وذلك عن طريق التبادل الحراري فيما بين الهواء الداخل للوحدات الخمسة والهيدروجين المنخفض حراريا على مدار السنة عند درجة حرارة ($10\ ^{o}C$) كما هو موضح بالشكل السابق حيث تم تثبيت تشغيل المحطة بكفاءة تشغيلية عند (28%) وهذا تحسن ملحوظ لأداء محطة جنوب طرابلس مقارنة بظروف التشغيل التي كانت تعمل عندها المحطة بفصل الصيف وباقي الفصول التي تتذبذب فيها درجات الحرارة للمحيط الخارجي ، حيث تم المحافظة علي استقرار المحطة عند درجة حرارة وكفاءة حرارية كما هو مذكور سابقا .



شكل 12: تأثير درجة حرارة المحيط الخارجي على صافي القدرة المنتجة لمحطة جنوب طرابلس قبل وبعد عملية التبريد بالهيدروجين (H_2).

يوضح الشكل (12) تأثير درجة حرارة المحيط الخارجي على صافي القدرة المنتجة لمحطة جنوب طرابلس قبل وبعد عملية التبريد بالهيدروجين، حيث يتضح لنا كلما ارتفعت درجة حرارة الهواء بالمحيط الخارجي انخفض صافي القدرة المنتجة بالمحطة الغازية مما ينعكس بشكل سلبي على أداء المحطة، وبفضل عملية التبريد بالهيدروجين تم حل مشكلة درجة حرارة الهواء عند مداخل الضواغط بالوحدات الخمسة عند درجة حرارة ($10^{o}C$) مما يحافظ على القدرة الإنتاجية للمحطة الغازية بالوحدات الخمسة كما هو موضح بالشكل السابق.

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial4.0International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly
DOI: http://doi.org/10.65568/gujes.2025.010207

6. الخاتمة

في هذه الورقة تم تصميم نموذج لمنظومة محطة جنوب طرابلس الغازية والتي اضيف اليها منظومة الإصلاح الخارجي ليشكلا منظومة واحدة. ومن خلال عمليات المحاكاة ودراسة تأثير درجة حرارة المحيط على أداء المحطة أوضحت النتائج إمكانية استقرار أداء المحطة بكفاءة قدرها (28%) وبقدرة إنتاجية لكل وحدة غازية وهي (77.06 MW) من خلال استغلال درجة حرارة الهيدروجين المنخفضة ($-139^{o}C$) في عملية التحكم وتبريد الهواء الداخل إلى كل الوحدات بدرجة حرارة وقدرها ($10^{o}C$) وفي حالة انخفاض درجة حرارة المحيط إلى أقل من هذه الدرجة يتم انتاج الهيدروجين فقط والذي لا يتطلب الاستمرار بعملية التبريد. ولكون أن عمليات انتاج الهيدروجين بأنواعه المختلفة يعتبر حاليا من الاهتمامات العالمية وباعتبار أن ليبيا تمتاز بموقع جغرافي والذي يؤهلها لتكون مصدر لصناعة الهيدروجين وتصديره إلى مناطق الاستهلاك وخلال النتائج يتضح أن بالإمكان انتاج الهيدروجين بمقدار (691.2 ton/day) بالإضافة إلى ذلك إمكانية إجراء معالجات وقائية لتخزين كمية من ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وقدرها (5356.8 ton/day) وهذا يعنى إجراءات مقترحة للمحافظة على البيئة. من خلال تفحص المنظومة المتكاملة المقترحة يتبين أن منظومة التوربين الغازي لا يحدث أي تغير في التصميم الجوهري للمنظومة ويكفئ زيادة جهاز الإصلاح الخارجي في مخرج العادم بالإضافة إلى وضع مبادلات حرارية في مداخل الهواء المتدفق إلى الضواغط بالوحدات الخمسة بمفهوم أخر ينصح الجهات ذات العلاقة في تبنى هذه الفكرة وإجراء المزيد من الدراسات لتكون إحدى الحلول المقترحة في استقرار الشبكة الكهربائية في ليبيا وتطويرها.

قائمة المراجع:

[1] أثر المناخ على استهلاك الطاقة الكهربائية السكنية ، صميلي . خديجة . فايدة .، 2024م
[2] التباين في درجة الحرارة و أثره في انتاج و استهلاك الطاقة الكهربائية ببلدية الزاوية الغربية ، الشارف ، عبدالمجيد ، 2024م .
[3] محاكاة لمقترح تطوير المحطة الغازية بجنوب طرابلس وتحسين أدائها في حالة الدورة المزدوجة ، د . بن موسي ، عبداللطيف .، م . غميض ، نضال . ، م . عابدين ، إسماعيل .، 2023م.
[4] محاكاة نموذج منظومة التوربين الغازي وخلية الوقود ذات الغشاء البروتوني .، د . بن موسي ، عبداللطيف .، م . القلال ، قدري .، 2025م
[5] رفع كفاءة نموذج منظومة التوربين الغازي بدمجه مع خلية الوقود ذات الغشاء البروتوني.، د . بن موسي ، عبداللطيف .، م . القلال ، قدري .، 2025م .
[6] Najjar, Y. S. H. (1990). Hydrogen fueled and cooled gas turbine engine. International journal of hydrogen energy, 15(11), 827-832.
[7] Alnasur, F. S., & Al-Furaiji, M. A. (2021, August). Estimation the performance of gas turbine power station with air cooling fog system. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1973, No. 1, p. 012040). IOP Publishing.

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial4.0International License"