مجلة النهضة العلمية – الجامعة المفتوحة سبها
Al-Nahda Scientific Journal - The Open University of Sebha
Received 19 / 08 /2024 Revised 07/09 /2024 Published online 31 /12 /2024

تأثير نسبة الانضغاط ودرجتي حرارة الدخول للضاغط والتربين وكفاءتهما الأيزونتروبية على أداء الدورة الغازية المفتوحة.

*فاطمة محمد حمد الغول[1] و هناء عبدالسلام اسويسي سالم [2] وعبير الزروق على ابراهيم[3]
[1]قسم العام– كلية الهندسة – جامعة سبها– ليبيا.
[2]قسم الفيزياء– كلية العلوم – جامعة سبها– ليبيا.
[3]قسم الفيزياء– كلية العلوم – جامعة سبها– ليبيا.
*البريد الالكتروني: FA.ALGHOUL@Sebhau.edu.ly

الملخص

تم في هذه الورقة دراسة نظرية لتأثير نسبة الانضغاط ودرجة حرارة الدخول للضاغط ودرجة حرارة الدخول للتربين بإضافة إلى كفاءتهما الأيزونتروبية، على أداء الدورة الغازية المفتوحة باستخدام البرنامج الحاسوبي (EES: Engineering Equation solver)، لمعرفة تأثير هذه العوامل على أداء الدورة الغازية المفتوحة. وخلصت الدراسة إلى أن الكفاءة الحرارية للدورة الغازية تتأثر بشكل كبير بنسبة الانضغاط حيث تزداد الكفاءة إلى أن تصل اقصى قيمة عند مقدار معين من نسبة الانضغاط ثم تتناقص وفق ظروف التشغيل للدورة، و أوضحت النتائج أن ارتفاع درجة حرارة الدخول للضاغط يؤدي إلى انخفاض في كفاءة الدورة الغازية المفتوحة ، بينما رفع درجة حرارة الدخول للتربين تعمل على زيادة الكفاءة، كما أظهرت النتائج أن استخدام الكفاءة الأيزونتروبية العالية لكلا من الضاغط والتربين تساهم بشكل كبير في رفع الكفاءة حرارية للدورة الغازية المفتوحة، حيث وصلت الكفاءة الحرارية للدورة إلى أعلى قيمة وهي (η = 0.3916) عند نسبة انضغاط مقدرها (Pr =13) ودرجة حرارة الدخول للضاغط (T_1=280 K) ودرجة حرارة الدخول للتربين (T_3=1350 K), بكفاءة أيزونتروبية (η_C =0.88 , η_t= 0.9).

الكلمات المفتاحية: الدورة الغازية, درجة حرارة الدخول للضاغط , شغل التربين , كمية الحرارة, نسبة الانضغاط.

The effect of compression ratio& compressor & turbine inlet temperature & their isentropic efficiency on the performance of the open gas cycle.

Abstract

This paper presents a theoretical study of the effect of compression ratio, compressor inlet temperature, and turbine inlet temperature, in addition to their isentropic efficiency, on the performance of the open gas cycle was studied using the computer program (EES: Engineering Equation solver), to know the effect of these factors on the performance of the open gas cycle. The study concluded that the thermal efficiency of the gas cycle is significantly affected by the compression ratio, as the efficiency increases until it reaches the maximum value at a certain amount of compression ratio, then decreases according to the operating conditions of the cycle. The results showed that increasing the inlet temperature of the compressor leads to a decrease in the efficiency of the open gas cycle, while raising the inlet temperature of the turbine increases the efficiency. The results also showed that using high isentropic a efficiency for both the compressor and the turbine contributes significantly to raising the thermal efficiency of the open gas cycle, as the thermal efficiency of the cycle reached the highest value, which is (η = 0.3916) at a compression ratio estimated at (Pr = 13) and the inlet temperature of the compressor (T_1 = 280 K) and the inlet temperature of the turbine (T_3 = 1350 K), with an isentropic efficiency of (η_C = 0.88, ηt = 0.9).

المقدمة

تتكون التربينات الغازية بشكل أساسي من ضاغط للهواء, ثم غرفة احتراق , ثم تربين موصل بمحور دوران مع الضاغط , تعمل التربينة الغازية بدورة برايتون المفتوحة التي يدخل فيها الهواء تحت الظروف الجوية للضاغط ليضغط اديباتيا ثم يدخل غرفة الاحتراق حيث تضاف الطاقة الحرارية ومنها إلى التوربين لتتمدد الغازات أديباتيا الى الضغط الجوي فتنتج طاقة حركية ناقلا الحركة إلى محور متصل بالضاغط ومولد الكهرباء. (1,,2 ,3, 4,5,6) بما أن دورة الغازية تستقبل الهواء من الغلاف الجوي؛ لهذا أداءها يتأثر بشدة بكل العوامل الخارجية (درجة الحرارة المحيطة والرطوبة النسبية), كما يتأثر بالعوامل الداخلية (كفاءة المكونات , درجة حرارة مدخل التربين, نسبة الانضغاط).(7,8,9,10,11) الأمر الذي جعل الباحثين يقوموا بدراسة تأثير هذه العوامل على أداء الدورة الغازية المفتوحة . حيث تعاني الدورة الغازية المفتوحة التي تعمل في ظروف المناخ الحار من الانخفاض في انتاج الطاقة, وهذا يؤثر سلباً على كفاءة الدورة .

حيث اظهرت نتائج دراسة أن زيادة درجة حرارة الدخول للتربين ونسبة الانضغاط يمكن ان يحسن أداء التربينات الغازية المبردة بينياً(7), كما بينت دراسة أجريت على محطة تربينة غازية إن خفض درجة حرارة الهواء الداخل للضاغط يعمل على زيادة الكفاءة الحرارية للدورة.(12)

و هناك دراسة اخرى على الدورة الغازية المفتوحة بينت أن الارتفاع في درجات حرارة الدخول للضاغط في الدورة الغازية يؤدي إلى انخفاض الطاقة المنتجة من الدورة فمثلا أذا ارتفعت درجة حرارة الدخول للضاغط درجة واحدة فأن الطاقة المنتجة من التربين تنخفض بمقدار(0.5% - 0.9 %) (10) كما أوضحت دراسة أخرى أجريت على الدورة الغازية المركبة تأثير نسبة الانضغاط على أداء الدورة . وخلصت إلى أن اقصى كفاءة للدورة تكون عند نسبة الانضغاط الاعلى مع انخفاض في درجة حرارة الدخول للضاغط و ارتفاع درجة حرارة الدخول للتربين (12,,14) وفي دراسة أخرى اظهرت النتائج إن نسبة الانضغاط ودرجة حرارة المحيط بالإضافة إلى الكفاءات الأيزنتروبية يمكن أن تؤثر بقوة على الكفاءة الحرارية للدورة الغازية.(15)

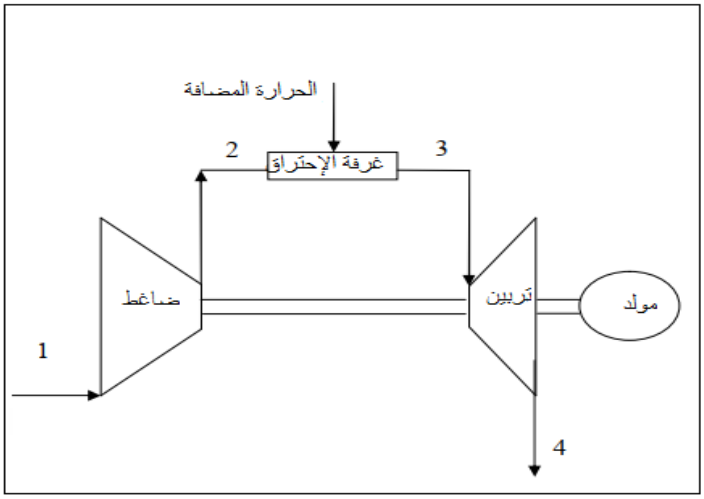
في هذه الورقة سنقوم بدراسة تأثير كلا من نسبة الانضغاط , درجة حرارة المحيط , درجة حرارة مدخل التربين, كفاءة الضاغط أيزونتروبية, كفاءة التربين أيزونتروبية ,على أداء الدورة الغازية المفتوحة لمعرفة الظروف التشغيلية المثلى وتحديد أفضل أداء للدورة.

المواد وطرق العمل

الدورة الغازية المفتوحة، الكفاءة الحرارية، البرنامج الحاسوبي (EES).

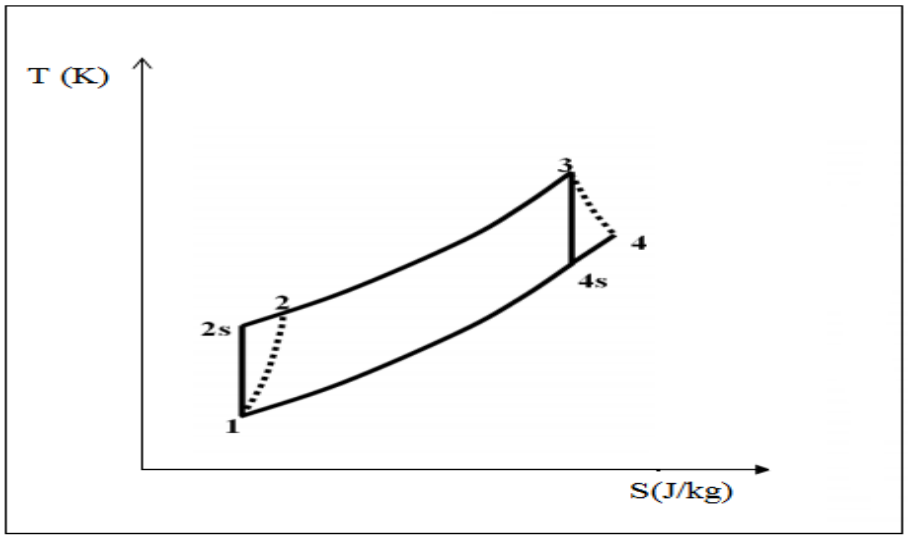
وصف الدورة الغازية المفتوحة والتحليل الحراري:

تتكون الدورة الغازية المفتوحة كما في الشكل (1) من ضاغط، غرفة الاحتراق , تربين, وفيها يتدفق الهواء الجوي إلى الضاغط ويتم ضغطه لضغط أعلى , ومنه يصل الهواء المضغوط إلى غرفة الاحتراق التي يتم فيها إضافة الحرارة ومنها يخرج الغاز بمحتوى حراري عال ويدخل إلى التربين , يتمدد الغاز عبر التربين لينتج الشغل الذي يستغل جزءً منه في تشغيل الضاغط وبعد عملية التمدد يُطرد الغاز إلى الغلاف الجوي. هذا هو الوصف المثالي للدورة الغازية المفتوحة , حيث تكون العمليات في الضاغط والتربين أيزوانتروبية , وفي غرفة الاحتراق تكون العملية بثابت ضغط ولكن في الواقع يوجد زيادة في الانتروبي في



الشكل (1): الدورة الغازية المفتوحة

الضاغط و التربين كما في الشكل (2) وانخفاض في الضغط في غرفة الاحتراق؛ نتيجة الاحتكاك الذي يحدث بمرور الغاز عبرة هذه المكونات .



الشكل (2): درجة الحرارة والأنتروبي

التحليل الحراري:

تتكون الدورة الغازية المفتوحة كما في الشكل (1) وتعمل وفق دورة برايتون ومائع التشغيل بها الهواء (غاز مثالي) ويمكن وصف عملياتها كما يلي:

الضاغط :

ويتم فيه عملية الانضغاط للهواء أديباتيا, ويحسب الشغل اللازم لهذه العملية كما يلي:

$$\dot{W}_C = \dot{m}C_P(T_2 - T_1) \quad (1)$$

$$\mathrm{P_r} = \frac{\mathrm{P_2}}{\mathrm{P_1}} \quad (2)$$

غرفة الاحتراق:

يتم فيها إضافة الحرارة بثابت ضغط كآتي:

$$\mathrm{P_2} = P_3 \quad (3)$$

$$q_{add} = \dot{m}C_P(T_3 - T_2) \quad (4)$$

التربين:

يتم فيه عملية التمدد للهواء الساخن أديباتيا ويحسب الشغل الناتج كآتي :

$$\dot{\mathrm{W}}_\mathrm{t} = \dot{\mathrm{m}}\mathrm{C_P}(\mathrm{T_3} - \mathrm{T_4}) \quad (5)$$

صافي الشغل المنجز :

الشغل المنجز من الدورة تم حسابه بالعلاقة الاتية:

$$\dot{W_{net}} = \dot{W}_t - \dot{W}_C \quad (6)$$

الكفاءة الأيزونتروبية للضاغط :

$$T_{2s} = T_1(\frac{P_2}{P_1})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (7)$$

$$\eta_c = \frac{T_{2s}-T_1}{T_2-T_1} \quad (9)$$

الكفاءة الأيزونتروبية للتربين:

$$T_{4s} = T_3(\frac{P_4}{P_3})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (10)$$

$$\mathrm{P_1} = P_4 \quad (11)$$

$$\eta_t = \frac{T_3-T_4}{T_3-T_{4s}} \quad (12)$$

الكفاءة الحرارية :

وتعطى الكفاءة الحرارية للدورة بالعلاقة الأتية :

$$\eta = \frac{W_{net}}{q_{add}} \quad (13)$$

النتائج والمناقشة

أجريت الدراسة باستخدام البرنامج الحاسوبي (EES: Engineering Equation solver) حيث تم ادخال المعادلات سابقة الذكر في نافذة المعادلات و التي يتعين على برنامج EES حلها . وفق المتغيرات المبينة بالجدول (1)

الجدول (1): متغيرات التشغيل المستخدمة في كل حالة.

الحالات	P_r	$T_1(K)$	$T_3(K)$	η_c	η_t
تأثير نسبة الانضغاط	20 - 2	288	1300	0.8	0.85
تأثير درجة حرارة الدخول للضاغط	13 2	318 - 288	1300	0.8	0.85
تأثير درجة حرارة الدخول للتربين	13	288	1300 - 900	0.8	0.85
تأثير الكفاءة الايزونتروبية	13	288	1350 1350-900	0.8 0.83 0.88	0.85 0.88 0.9

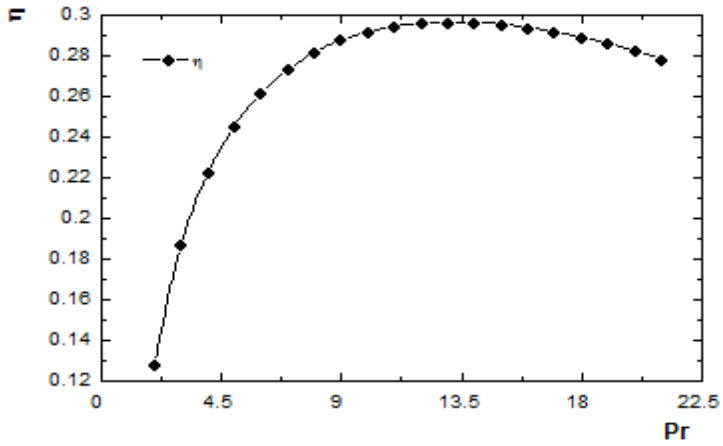
تم تمثيل النتائج المتحصل عليها بيانيا ونوقشت كما يلي :

اولاً : تأثير نسبة الانضغاط:

نلاحظ من الشكل(3) ارتفاع الكفاءة الحرارية مع زيادة نسبة الانضغاط , و تصل إلى اقصى قيمة ($\eta = 0.2968$) عند

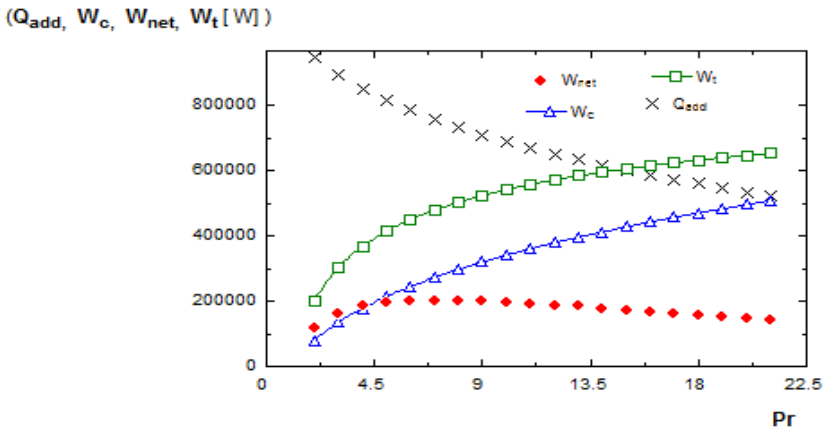
مقدار معين من نسبة الانضغاط وهو (Pr =13) وبعد هذا المقدار تصبح الكفاءة الحرارية في تناقص مستمر مع زيادة نسبة الانضغاط؛ بسبب ثبوت درجة حرارة الدخول للتربين.

نلاحظ من الشكل(3) ارتفاع الكفاءة الحرارية مع زيادة نسبة الانضغاط , و تصل إلى اقصى قيمة ($\eta = 0.2968$) عند مقدار معين من نسبة الانضغاط وهو (Pr =13) وبعد هذا المقدار تصبح الكفاءة الحرارية في تناقص مستمر مع زيادة نسبة الانضغاط؛ بسبب ثبوت درجة حرارة الدخول للتربين



الشكل (3) : نسبة الانضغاط مع الكفاءة الحرارية للدورة الغازية.

الشكل(4) يبين ارتفاع شغل كلا من التربين والضاغط , مع زيادة نسبة الانضغاط ويوضح أيضا زيادة مقدار الشغل المنجز من الدورة مع رفع نسبة الانضغاط إلى أن تصل للمقدار (pr=13) وبعدها يتناقص صافي الشغل المنجز من الدورة ؛ نتيجة تقارب شغل التربين مع شغل الضاغط أي أن معظم شغل التربين يستخدم في عمل الضاغط الأمر الذي يؤدى إلى خفض الكفاءة الحرارية للدورة رغم تناقص كمية الحرارة المضافة إليها ؛ بزيادة نسبة الانضغاط .

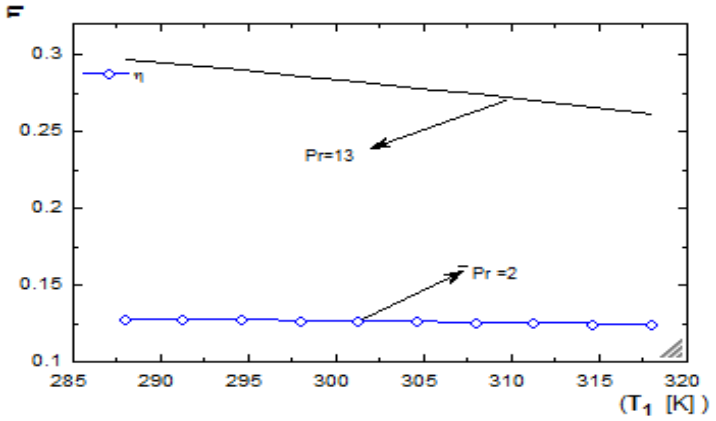


الشكل (4) : نسبة الانضغاط مع كمية الحرارة المضافة وصافي الشغل المنجز وشغل كلا من الضاغط والتربين.

ثانيا : تأثير درجة حرارة الدخول للضاغط.

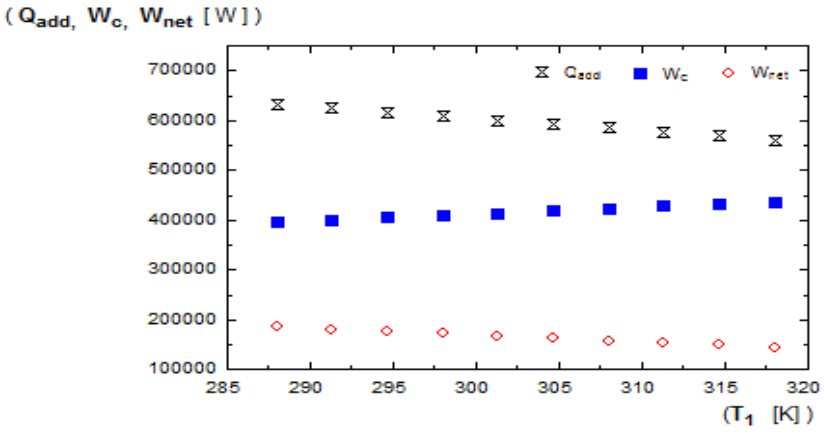
أظهرت النتائج الموضحة بالشكل (5) تدني الكفاءة الحرارية للدورة الغازية المفتوحة؛ بارتفاع درجة حرارة الدخول للضاغط، عند ثبوت نسبة الانضغاط؛ بسبب زيادة كمية الحرارة المضافة

أظهرت النتائج الموضحة بالشكل (5) تدني الكفاءة الحرارية للدورة الغازية المفتوحة؛ بارتفاع درجة حرارة الدخول للضاغط، عند ثبوت نسبة الانضغاط؛ بسبب زيادة كمية الحرارة المضافة.



الشكل (5) : درجة حرارة الدخول للضاغط مع الكفاءة الحرارية للدورة

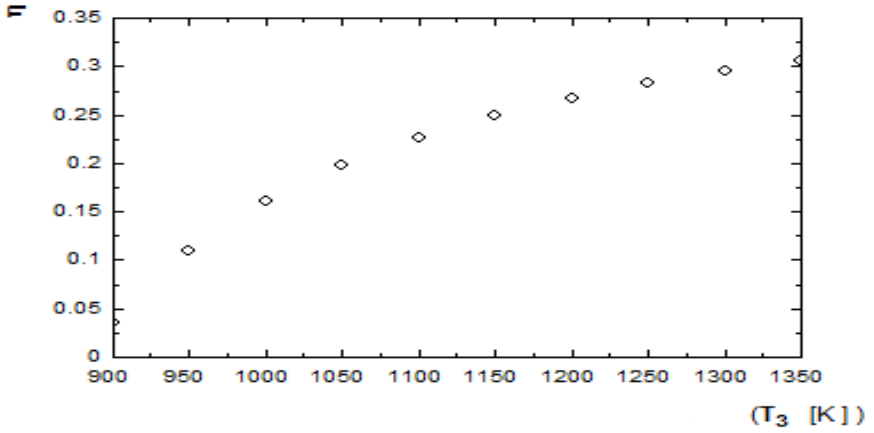
الشكل (6) يوضح تأثير درجة حرارة الدخول للضاغط، على صافي الشغل المنجز من الدورة الغازية وكمية الحرارة المضافة للدورة , بإضافة إلى شغل الضاغط و بين أن صافي الشغل المنجز من الدورة يتنافص بارتفاع درجة حرارة الدخول للضاغط ؛ نتيجة زيادة شغل الضاغط وثبوت شغل التربين بإضافة إلى تناقص كمية الحرارة المضافة للدورة , كنتيجة لارتفاع درجة حرارة الدخول للضاغط .



الشكل (6) : درجة حرارة الدخول للضاغط مع كمية الحرارة المضافة وصافي الشغل المنجز وشغل الضاغط.

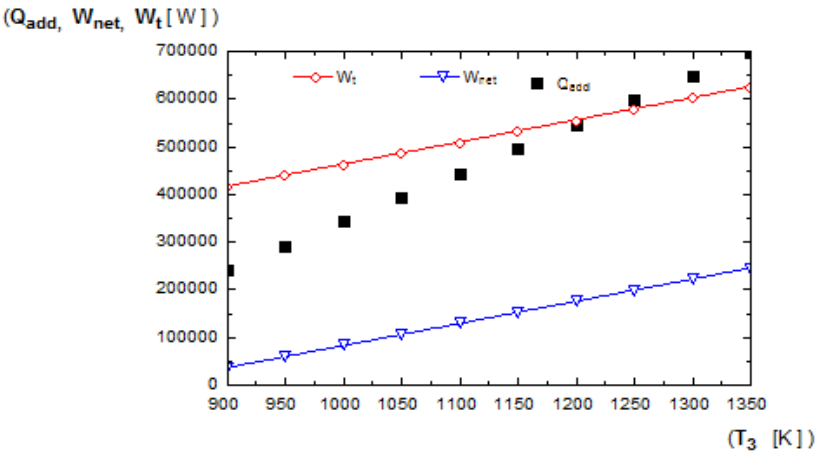
ثالثا : تأثير درجة حرارة الدخول للتربين.

أن النتائج المتحصل عليها من الشكل (7) أوضحت زيادة الكفاءة الحرارية للدورة برفع درجة حرارة الدخول للتربين حيث تصل الدورة الى أعلى كفاءة حرارية ($\eta = 0.3523$) عند درجة حرارة T_3=1350 (K) ؛ بسبب ارتفاع المحتوى الحراري للغاز الداخل للتربين



الشكل (7): درجة حرارة الدخول للتربين مع الكفاءة الحرارية للدورة.

الشكل (8) يوضح تأثير درجة حرارة الدخول للتربين على صافي الشغل المنجز, و كمية الحرارة المضافة للدورة , بإضافة إلى شغل التربين حيث بين أن صافي الشغل المنجر يزداد بارتفاع درجة حرارة الدخول

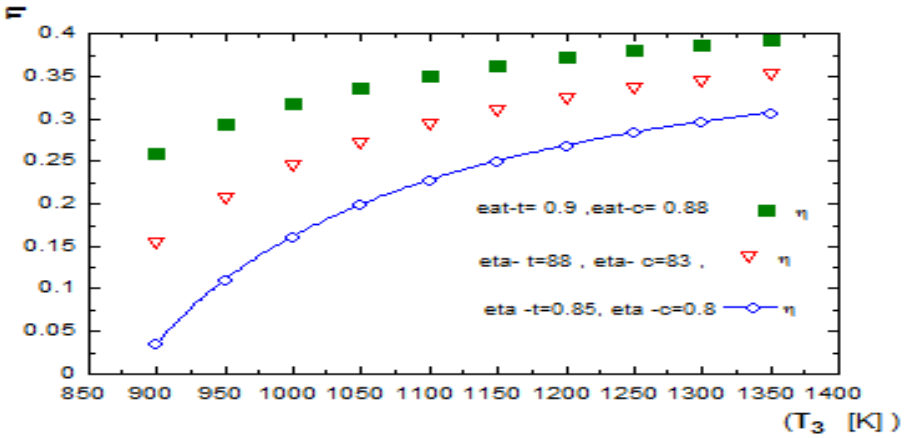


الشكل (8): درجة حرارة الدخول للتربين مع كمية الحرارة المضافة وصافي الشغل المنجز وشغل التربين.

رابعا : تأثير الكفاءة الأيزونتروبية

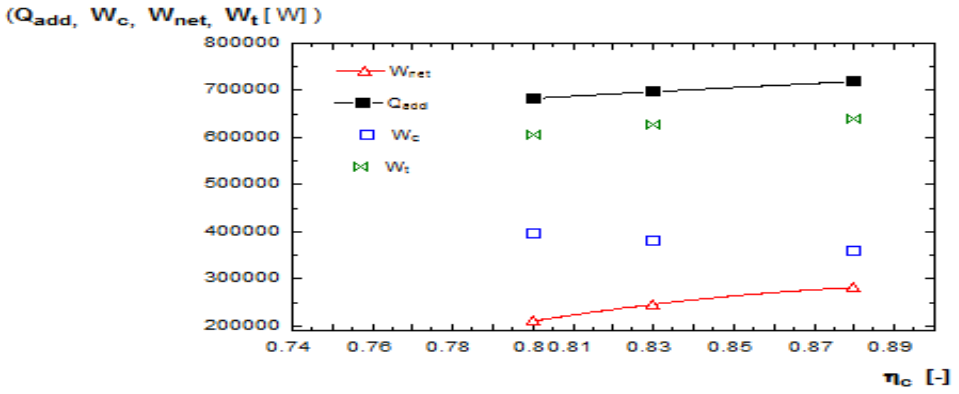
للتربين نتيجة زيادة شغل تربين وثبوت شغل الضاغط و لرفع درجة حرارة الدخول للتربين يجب زيادة كمية الحرارة المضافة للدورة.

النتائج الموضحة في الشكل (9) بينت زيادة الكفاءة الحرارية للدورة, برفع الكفاءة الأيزونتروبية لكلا من التربين والضاغط لتصل لأقصى كفاءة حرارية مقدراها(η=0.3916) في هذه الحالة



الشكل (9): تأثير الكفاءة الأيزونتروبية لكلا من التربين و الضاغط مع الكفاءة الحرارية للدورة الغازية.

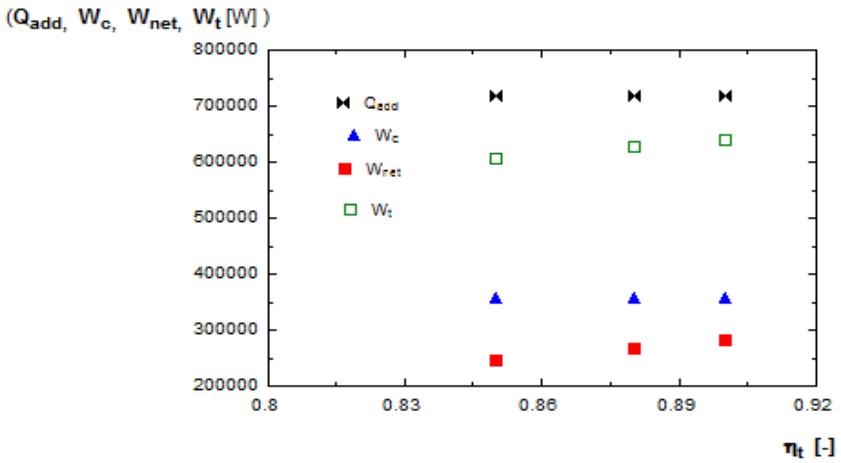
في الشكل (10) نلاحظ ارتفاع كلا من كمية الحرارة المضافة, وشغل التربين, وانخفاض شغل الضاغط ؛ نتيجة اتساع الفرق بين شغل التربين وشغل الضاغط أدى هذا في ارتفاع الشغل المنجز من الدورة , و بلوغها أعلى كفاءة حرارية برفع الكفاءة الأيزونتروبية لكلا من الضاغط والتربين.



الشكل (10): الكفاءة الأيزونتروبية للضاغط مع كمية الحرارة المضافة وصافي الشغل المنجز وشغل كلا من التربين والضاغط

الشكل (11) يبين العلاقة بين الكفاءة الايزونتروبية للتربين مع كمية الحرارة المضافة، وشغل كلا من التربين و الضاغط، وصافي الشغل المنجز حيث اوضح الشكل أن استخدام الكفاءة الايزونتروبية العالية للتربين تؤدى إلى ارتفاع الشغل الناتج منه رغم ثبوت درجة حرارة الدخول للتربين أي انه هناك استفادة مثلى من الحرارة المضافة كما انه كل ما كانت الكفاءة الايزونتروبية مرتفعة للضاغط فأن مقدار الشغل اللازم لتشغيله

يقل الامر الذي يساهم في رفع الشغل المنجز من الدورة و زيادة كمية الحرارة المضافة.



الشكل (11): الكفاءة الأيزونتروبية للتربين مع كمية الحرارة المضافة وصافي الشغل المنجز وشغل كلا من التربين والضاغط .

الاستنتاج:

بناء على النتائج المتحصل عليها في هذه الدراسة نستنتج أن نسبة الانضغاط والكفاءة الأيزونتروبية لكلا من التربين والضاغط تؤثر بشكل كبير على الكفاءة الحرارية للدورة الغازية المفتوحة. وأن اقصى كفاءة حرارية للدورة تكون عند نسبة انضغاط (Pr=13) و درجة حرارة الدخول للضاغط (T_1=288K) وهي أقل درجة حرارة. و درجة حرارة الدخول للتربين (T_3=1350K) وهي أعلى درجة حرارة استخدمت في هذه الدراسة . وعليه للحصول على أفضل أداء للدورة الغازية المفتوحة يجب أن تكون درجة حرارة الدخول

للتربين مرتفع وهذا يتطلب معادن تتحمل درجات الحرارية العالية وخفض درجات حرارة الدخول للضاغط باستخدام تقنيات تبريد ذات معامل اداء عال.

الجدول (2): الرموز

الرمز	المعنى	وحدة القياس
T_1	درجة حرارة الدخول للضاغط	K
P_r	نسبة الانضغاط	(-)
P_1	ضغط الهواء الجوي	Pa
P_2	الضغط ناتج من الضاغط	Pa
T_3	درجة حرارة الدخول للتربين	k
$\dot{m}$	كتلة الهواء المتدفقة	Kg/s
$\dot{W}_C$	معدل شغل الضاغط	W
$\dot{W}_t$	شغل التربين	W
$\dot{W_{net}}$	معدل صافي الشغل المنجز	W
c_P	السعة الحرارية النوعية بثابت ضغط	J/Kg.K
η	الكفاءة الحرارية	(-)
η_c	الكفاءة الأيزونتروبية للضاغط	(-)
η_t	الكفاءة الأيزونتروبية للتربين	(-)
γ	النسبة بين السعات	(-)

قائمة المراجع

1- A. Rajan, K. Maheshkumar, Shreedharan M.D, G. Rajaa , Jeganathan M ," Thermal Analysis Of Open-Cycle Regenerator Gas- Turbine Power-Plants" ,(IJEET), Vol 11, pp. 414 - 428, 2020.

2- M. Hashmi, M.Majid, T. Lemma " Combined effect of inlet air cooling and fouling on performance of variable geometry industrial gas turbines" , (.elsevier), Vol .59 pp, 1811–1821,2020.

3- F. Onoroh, M. Ogbonnaya , U. P. Onochie ," Modeling And Simulation Of The Effect Of Moisture Content And Ambient Temperature On Gas Turbine Power Plant Performance In Ughelli, Nigeria " , (Nijotech) , Vol. 39, pp. 182 – 188, 2020.

4- A. Rajan, K. Maheshkumar, Shreedharan M.D, G. Rajaa4 , Jeganathan M, " Thermal Analysis Of Open-Cycle Regenerator Gas- Turbine Power-Plants",(IJEET), Vol 11, pp. 414 - 428, 2020.

5- M.N. Khan ,'' Combined Effect Of Variable Parameters On The Performance Of Gas Turbine Cycles'',(J Ther Eng), Vol. 7, pp. 1768–1783, , 2021.

6- R. Laskowski , J.Lewandowski_"Stage performance and optimal compression ratio of a simple–cycle gas turbine",(open access), pp. 1-7 , 2016.

7- K. Bharath, M.Naik "Performance Investigation of Combined Cycle Gas Turbine under Varying Operating Conditions", (ijirset) , Vol. 6, 2017.

8- Alnaimi, F, Singh, MSJ, Al Bazi, A, Al-Muhsen, NFO, Mohammed, TS & Al-Hadeethi, RHF 'Parametric investigation of combustion process optimization for Gas Turbines at SJ Putrajaya', (elsevier), vol. 7, pp. 5722-5732 , 2021.

9- I. Nelson , A . Duze" Influence Of Turbine Inlet Temperature Of The Performance Of A Gas Turbine Power Plant Utilized For Electricity ", (Ire) , Vol 5, 2022.

10-A. Kumar Shukla , o. Singh" Effect of Compressor Inlet Temperature & Relative Humidity on Gas Turbine Cycle Performance",(IJSER), Vol 5 , PP. 664-671 , 2014.

11-A. Kumar , A. Singhania , A. Sharma," Thermodynamic Analysis of Gas Turbine Power Plant", (IJIREM), Vol 4,2017.

12-O. Oyedepo , O . Kilanko , " Thermodynamic Analysis of a Gas Turbine Power Plant Modeled with an Evaporative Cooler" , (IJoT) , Vol. 17, pp. 14-20, 2014.

13-T. Ibrahim, M. M. Rahman," Effect of Compression Ratio on Performance of Combined Cycle Gas Turbine ",(j.ijee), vol. 7, pp. 9 – 14,2012.

14-T. Ibrahim, M. Rahman, A. Abdalla ,"Optimum Gas Turbine Configuration for Improving the performance of Combined Cycle Power Plant " , (.elsevier), Vol .15 pp, 4216 – 4223,2011.

15-A. Kumar , A. Singhania , A. Sharma," Thermodynamic Analysis of Gas Turbine Power Plant", (IJIREM), Vol 4,2017.