

## Exergy Analysis Study a Gander Combined (gas-steam) Power Plant

Dr. Mohamad Ali\*

Wasem Mazloun\*\*

(Received 11 / 3 / 2023. Accepted 11 / 12 / 2023)

### □ ABSTRACT □

In this research an analysis of exergy was carried out in a combined (gas-steam) Gander thermal power plant to generate electrical energy at several variable loads ,modeling was done on the EES program (Engineering Equation Solver) ,where the actual data of the power plant's work was entered ,and the rest of the parameters were calculated based on EES ,and the mathematical equations necessary for the exergy analysis of the parts of the thermal cycle were programmed by adopting on exergy equilibrium equations in each component of the power plant , Determining the exergy losses and exergy efficiency in each component ,the exergy was analyzed at variable loads (75%,100%) for each of the air compressor ,combustion chamber ,gas turbine ,(HRSG) heat recovery steam generator ,steam turbine and air cooled condenser ,the results of exergy analysis at 75%load showed that the heat recovery steam generator is the main source of exergy loss in the combined cycle ,with a loss rate of 21%in each heat recovery steam generator ,with an exergy efficiency of 60.21%,at 100% load ,the main source of exergy loss in the combined cycle was combustion chamber ,with a loss rate of 29%in each combustion chamber, with an exergy efficiency of 78.89%.

The effect of several investment factors on the exergy efficiencies at the station was also studied: ambient temperature ,condenser pressure ,it has been shown that an increase in the temperature of the surrounding environment has a negative impact on the performance of the power plant ,as it increases the exergy losses in most of the plants components ,and thus the exergy efficiencies in these components , and in the power plant as a whole decrease.

**Keywords:** combined cycle power plant ,gas-steam ,exergy analysis at variable loads, exergy efficiency ,heat recovery steam generator.

**Copyright**



under a CC BY-NC-SA 04

:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the

\* Ph.D., Faculty of Electrical and Mechanical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

\*\* Postgraduate Student (Master), Faculty of Electrical and Mechanical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. wasemmazloun@gmail.com

## دراسة تحليل الإكسرجي لمحطة جندر المركبة (غازية \_ بخارية ) لتوليد الطاقة

د. محمد علي\*

وسيم مظلوم\*\*

(تاريخ الإيداع 11 / 3 / 2023. قُبِلَ للنشر في 11 / 12 / 2023)

### □ ملخص □

في هذا البحث تم إجراء تحليل للإكسرجي في محطة جندر الحرارية المركبة (غازية-بخارية) لتوليد الطاقة الكهربائية عند عدة حمولات متغيرة، تمت الاستعانة ببرنامج EES لحل المعادلات الهندسية، حيث تم إدخال البيانات الفعلية لعمل المحطة، وحساب باقي البارامترات، تم إدخال المعادلات الرياضية اللازمة لتحليل الإكسرجي لأجزاء الدارة الحرارية بالاعتماد على معادلات توازن الإكسرجي لكل مكون من المحطة، وتحديد ضياع الإكسرجي وكفاءة الإكسرجي لكل مكون، تم تحليل الإكسرجي عند حمولات متغيرة (75% و 100%) لكل من ضاغط الهواء، حجرة الاحتراق، العنفة الغازية، المبادل الحراري الاسترجاعي، العنفة البخارية، المكثف المبرد بالهواء، بينت نتائج تحليل الإكسرجي عند الحمولة 75% أن مولد البخار الاسترجاعي هو المصدر الرئيسي لضياع الإكسرجي في الدورة المركبة بنسبة 21% في كل مولد بخار استرجاعي وكفاءة إكسرجي له بلغت 60,21%، وعند الحمولة 100% كان المصدر الرئيسي لضياع الإكسرجي في الدورة المركبة هو حجرة الاحتراق بنسبة 29% لكل حجرة احتراق و بكفاءة إكسرجي لها بلغت 78,89%. تم دراسة تأثير عوامل استثمارية كتغير درجة حرارة الوسط المحيط، ضغط المكثف الهوائي على الإكسرجي والضائع و كفاءة الإكسرجي في المحطة، وتبين أن ارتفاع درجة حرارة الوسط المحيط له تأثير سلبي على أداء المحطة حيث يزيد من ضياعات الإكسرجي في معظم مكونات المحطة وبالتالي تتخفض كفاءات الإكسرجي في هذه المكونات وبالتالي في المحطة ككل.

**الكلمات المفتاحية:** محطة طاقة بدورة مركبة، غازية-بخارية، تحليل الإكسرجي عند حمولات متغيرة، مردود الإكسرجي، مولد بخار استرجاعي.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

\* دكتور - كلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

\*\* طالب ماجستير، كلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية. [wasemmazloum@gmail.com](mailto:wasemmazloum@gmail.com)

**مقدمة:**

تحظى محطات توليد الطاقة بالدورة المركبة CCPP باهتمام كبير على مستوى العالم تلبية للطلب المتزايد على الطاقة، بسبب قدرتها على تحسين الكفاءة الحرارية وخرج الطاقة العالي لها وانبعاث أقل من الملوثات، مقارنة مع الدورة الغازية (Brayton) والدورة البخارية (Rankine) وتعتبر تكنولوجيا متقدمة حيث يتم استخدامها بشكل واسع في محطات الطاقة التي تعمل بوقود الغاز الطبيعي [1].

يصل المردود الإجمالي لأفضل المحطات المشتركة إلى حوالي 55%. يكون مردود المحطة المشتركة أعلى بالمقارنة مع المحطات الغازية الخالصة التي لا يتم فيها الاستفادة من درجة حرارة غازات الاحتراق المرتفعة الخارجة من العنفة الغازية، وأيضاً أعلى بالمقارنة مع مردود المحطات البخارية التي تكون فيها درجة حرارة البخار الأولي منخفضة نسبياً، وبالتالي فالشرط الأساس لفعالية المحطة المشتركة هو استخدام غازات الاحتراق كجسم عامل في مجال درجات الحرارة المرتفعة، وبخار الماء في مجال درجات الحرارة المنخفضة [2].

تقدر الكفاءة بنسبة الطاقة المفيدة إلى الطاقة المصروفة في النظام ولكن مفهوم الكفاءة لا يستطيع الإجابة على التساؤل التالي: هل يمكن أن نستفيد أكثر من الطاقة المصروفة في هذه الأنظمة؟ [3].

تحليل الإكسرجي هو أسلوب يستخدم مبدأ حفظ الكتلة والطاقة، مع القانون الثاني في الترموديناميك بهدف تصميم وتحليل أداء الأنظمة الحرارية أو تحليل الاستفادة القصوى (availability analysis)، يمكن استخدام هذه المعلومات في تصميم الأنظمة الحرارية ووضع الإرشادات والجهود لخفض مصادر ضياعات الأنظمة الحرارية وتقييم اقتصاديتها [4].

**أهمية البحث وأهدافه:**

تكمن أهمية البحث في إجراء تحليل للإكسرجي لمحطة مركبة (غازية \_ بخارية) عن طريق التحليل الترموديناميكي للإكسرجي بالاستعانة ببرنامج EES وخصائصه بهدف تحديد المواقع والمكونات التي تحدث فيها ضياعات الإكسرجي وتصنيفها وترتيبها بحسب الأهمية والكمية مما يسمح بتركيز الجهود عليها حيث تقدم أفضل فرص لتحسين الأداء .

**طرائق البحث ومواده:**

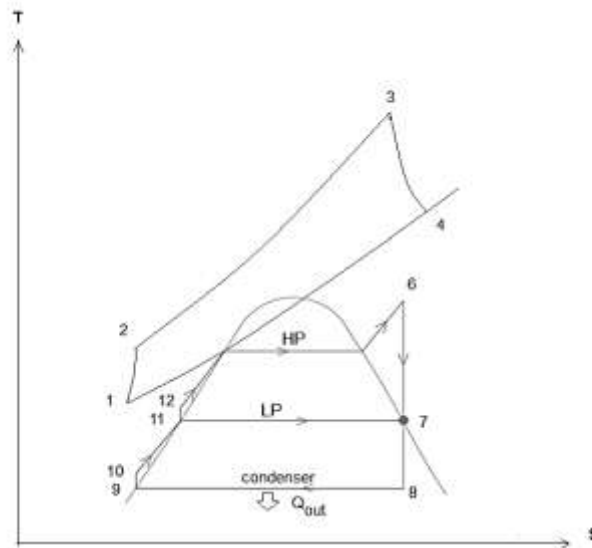
اعتمدنا في بحثنا الطريقة التحليلية في دراسة الإكسرجي لمكونات المحطة بالاستعانة ببرنامج EES وبهدف تحقيق البحث تم اتباع الخطوات التالية:

- 1- وضع خوارزمية لإجراء تحليل ترموديناميكي للإكسرجي .
- 2- تحديد معادلات حساب الإكسرجي عند كل نقطة من نقاط الدارة.
- 3- إدخال المعادلات الرياضية لتحليل الإكسرجي في كل مكون من المحطة .
- 4- أخذ البيانات الفعلية لعمل محطة جندر المركبة عند عدة حمولات .
- 5- استخدام برنامج EES لحساب دورات عمل المحطة المركبة (غازية -بخارية) عند الحمولات المدروسة.
- 6- دراسة تأثير تغير درجة حرارة الوسط المحيط و ضغط مكثف العنفة البخارية على تحليل الإكسرجي.

## لمحة عن محطة جندر المركبة:

أنشأت المحطة من قبل شركة MITSUBISHI اليابانية عام 1993 ووضعت بالخدمة عام 1994 و تعد من الشركات الرائدة في مجال توليد الطاقة الكهربائية بسبب كونها تجمع بين العنفات الغازية و البخارية في دارة ترموديناميكية مشتركة بهدف الاستفادة من الحرارة الضائعة من العنفة الغازية في توليد الطاقة الكهربائية عن طريق عنفة بخارية، تحتوي المحطة على أربع مجموعات توليد غازية استطاعة كل واحدة 118.5MW تعمل على الغاز الطبيعي و مجموعتين بخاريتين استطاعة الواحدة 114MW فتصبح الطاقة الإجمالية للمحطة 700MW وهو يشكل % (20÷25) من حاجة القطر العربي السوري إلى الطاقة الكهربائية سنة التشغيل، تعمل هذه المجموعات معاً على مبدأ الدارة المركبة، حيث يستفاد من الحرارة المحمولة مع غازات العادم المنطلقة من العنفات الغازية والتي تصل درجة حرارتها إلى 550°C في تسخين الماء و تبخيره وتحميص البخار في مولد بخار استرجاعي بهدف تشغيل عنفة بخارية، لكل عنفة غازية مبادل حراري استرجاعي مستقل يتم وصل كل عنفتين غازيتين مع عنفة بخارية لتشكل block، وبهذا نحصل على بلوكين في المحطة، ويعمل كل بلوك بشكل مستقل عن الآخر من ناحية التحميل و التحكم [5].

يظهر الشكل (1) مخطط (T-S) توضيحي للدورة المركبة (غازية-بخارية) العاملة في محطة جندر الحرارية مع النقاط الأساسية المميزة للدارة، نقاط القسم الغازي 1,2,3,4 و نقاط القسم البخاري 6,7,8,9,10,11,12



الشكل (1) مخطط (T-S) توضيحي للدورة العاملة في محطة جندر الحراري

يبين الجدول (1) بارامترات المحطة الفعلية  $m, T, P$  للنقاط المميزة في المجموعة الغازية عند كلتا الحملتين 75%، 100% مع توصيف النقاط و وحدات كل بارمتر:

100%			75%			الحمولة البارمتر الوحدات	وصف النقاط
M	T	P	M	T	P		
kg/s	K	Bar	kg/s	K	Bar		
410.8	288	1.013	418.5	288	1.013	1	مدخل الضاغط
410.8	565.8	10	418.5	547.1	8	2	مخرج الضاغط
418.8	1278	10	425	1233	8	3	مخرج حجرة الاحتراق

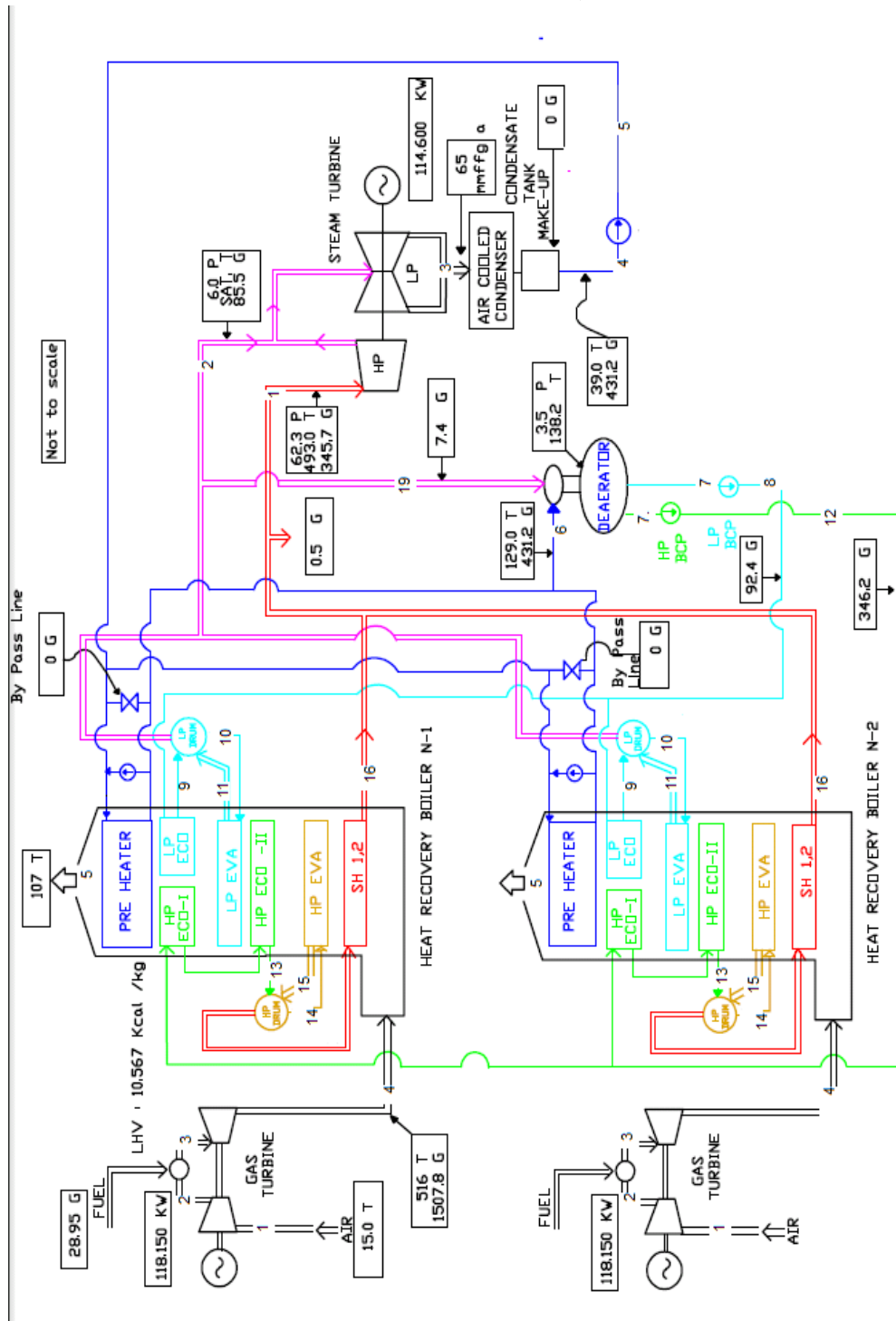
418.8	789	1.013	425	824	1.013	4	مخرج العنفة الغازية
418.8	380	1.013	425	374	1.013	5	مخرج HRSG
8	298	5.6	6.5	298	5.6	Gas	دخول الوقود

جدول (1) بارامترات المحطة الفعلية للمجموعة الغازية عند الحملتين 100%،75%

يبين الجدول (2) بارامترات المحطة الفعلية P, T, m لجميع نقاط الدارة العاملة في المجموعة البخارية عند كلتا الحملتين 100%،75% مع توصيف النقاط و وحدات كل بارامتر: جدول (2) بارامترات المحطة الفعلية للمجموعة البخارية عند الحملتين 100%،75%

100%			75%			الحمولة	وصف النقاط
M	T	P	m	T	P	البارامتر	
kg/s	K	Bar	kg/s	K	Bar	الوحدات	
—	288	1.013	—	288	1.013	0	الوسط المحيط
96	766	63.11	85.45	766	56.22	1	مدخل عنفة الضغط المرتفع
23.75	—	6.1	15.15	—	6.1	2	مدخل عنفة الضغط المنخفض
119.8	—	0.0863 9	100.6	—	0.08639	3	مدخل المكثف الهوائي
—	—	—	—	—	—	4	مخرج المكثف الهوائي
—	313.6	13.59	—	333	13.59	5	مخرج مضخة ماء التغذية CEP
—	402	—	—	398	—	6	مخرج pre heater
25.7	411.2	3.55	17.61	411.2	3.55	7	مخرج deaerator على خط LP
96.2	411.2	3.55	85.55	411.2	3,55	7.	مخرج deaerator خط HP
25.7	—	14.6	17.61	—	14.59	8	مخرج مضخة BFP,LP
25.7	437.2	—	—	436	—	9	مخرج eco_LP
25.7	417.1	6.1	—	417.1	6.1	10	مدخل eva_LP
25.7	—	—	—	$T_2$	—	11	مخرج eva_LP
96.2	—	89.24	85.55	—	89.24	12	مخرج مضخة BFP_HP
96.2	542	—	—	542	—	13	مخرج eco_HP
96.2	—	63.11	—	—	56.22	14	مدخل eva_HP
96.2	—	—	—	—	—	15	مخرج eva_HP
96.2	$T_1$	63.11	—	$T_1$	—	16	مخرج super heater
9772	288	1.013	8900	$T_0$	1.013	17	دخول الهواء إلى مراوح المكثف الهوائي
9772	312	1.013	8900	314	1.013	18	خروج الهواء من مراوح المكثف الهوائي
2.055	$T_2$	6.1	2.555	$T_2$	6.1	19	مستنزف من خط LP

يبين الشكل (2) مخطط رمزي حراري ل block في محطة جندر الحرارية مع تعيين أجزاء الدارة كاملة مع توصيلاتها وكافة النقاط المميزة على الرسم و بعض البارمترات الأساسية لعمل المحطة عند الحمولة 100%.



الشكل(2)مخطط رمزي حراري لمحطة جندر الحرارية عند حمولة 100%

**خطوات البحث :****الإكسرجي الكلي و تحليله :**

يعرف الإكسرجي بالطاقة المتوفرة (availability) أو العمل النظري الأعظمي ( $\dot{W}_{rev}$ ) الذي يمكن الحصول عليه عندما يصل النظام المدروس إلى التوازن الحراري والميكانيكي مع الوسط المحيط، تعرف الحالة التي يصل النظام فيها إلى التوازن مع الوسط المحيط بالحالة الميتة Dead State للنظام، بحيث تستنفذ كل طاقة النظام [3].  
تعطى معادلة الإكسرجي الكلي بالشكل:

$$\dot{E}X_{total} = \dot{E}X_{ph} + \dot{E}X_{ch} \quad (1)$$

حيث:  $\dot{E}X_{total}, \dot{E}X_{ph}, \dot{E}X_{ch}$  واحدتها kW

- الإكسرجي الفيزيائي  $\dot{E}X_{ph}$  :

$$\dot{E}X_{ph} = \dot{m}.ex_{ph} \quad (2)$$

يمثل الحد الأقصى من العمل الذي يمكن الحصول عليه من نظام حيث يتم تغيير ضغطه ودرجة حرارته إلى ضغط ودرجة حرارة البيئة المرجعية، الإكسرجي الفيزيائي النوعي يحدد من قيم الأنتالبي والأنتروبي المحددة للتيار عند درجة حرارة وضغط معينين ودرجة حرارة البيئة المرجعية  $T_0$  وضغط  $P_0$  على النحو التالي [6]:

$$ex_{ph} = [h(T, P) - h(T_0, P_0)] - T_0[s(T, P) - s(T_0, P_0)] \quad (3)$$

حيث  $s(T, P)$  و  $h(T, P)$  هما الأنتالبي والأنتروبي النوعي عند درجة حرارة وضغط معينين ويمكن الحصول عليهما إما من جداول الترموديناميك أو من EES.

- الإكسرجي الكيميائي  $\dot{E}X_{ch}$  :

$$\dot{E}X_{ch} = \dot{m}.\bar{e}x_{ch} \quad (4)$$

يمثل الإكسرجي الكيميائي الحد الأقصى من العمل الذي يمكن الحصول عليه عند تحول المادة من حالة البيئة المرجعية إلى الحالة الميتة من خلال عملية تشمل نقل الحرارة وتبادل المواد فقط مع البيئة المرجعية ويمثل بالمعادلة [6]:

$$\bar{e}x_{ch} = \sum x_k \cdot \bar{e}x_{ch}^k + R \cdot T_0 \sum x_k \cdot \ln(x_k) \quad (5)$$

**1- المجموعات الغازية:**

تتألف كل مجموعة غازية من ضاغط هواء AC يليه حجرة احتراق CC ثم عنفة غازية GT ويتم اجراء التحليل في كل مكون كالاتي:

**1-1 ضاغط الهواء (AC):**

عند تشغيل الضاغط في الحالة المستقرة تكون معادلة توازن الإكسرجي وفقاً للمعادلة [7]:

$$\dot{E}X_1 + \dot{W}_c = \dot{E}X_2 + \dot{E}X_{d.c} \quad (6)$$

يعطى العمل المقدم للضاغط بالعلاقة :

$$\dot{W}_c = \dot{m}_a c p_a (T_2 - T_1) \quad (7)$$

وبالتالي كفاءة الإكسرجي للضاغط تعطى بالمعادلة التالية :

$$\varepsilon_{ex.c} = \frac{\dot{W}_c - \dot{E}X_{d.c}}{\dot{W}_c} = \frac{\dot{E}X_2 - \dot{E}X_1}{\dot{W}_c} \quad (8)$$

**2-1 حجرة الاحتراق (CC) :**

تعطى معادلة توازن الإكسرجي في حجرة الاحتراق [8]:

$$\dot{E}X_2 + \dot{E}X_f = \dot{E}X_3 + \dot{E}X_{d,CC} \quad (9)$$

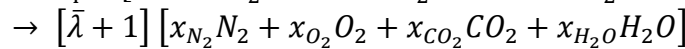
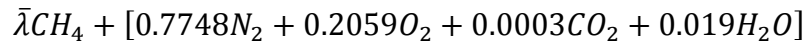
الإكسرجي الكيميائي النوعي للوقود يحدد من العلاقة التالية:

$$ex_f = \varphi \cdot \overline{LHV} \quad (10)$$

يتم حساب  $\varphi$  للهيدروكربون  $C_XH_Y$  وفق العلاقة:

$$\varphi = 1.033 + 0.0169 \frac{Y}{X} - \frac{0.0698}{X} \quad (11)$$

معادلة تفاعل احتراق غاز الميثان مع الهواء [6]:



يعطى إكسرجي غازات الاحتراق عند مخرج حجرة الاحتراق من المعادلة:

$$\dot{E}X_3 = \dot{m}_g \cdot ex_3 \quad (12)$$

$$ex_3 = ex_{ph,3} + ex_{ch,3} \quad (13)$$

**3-1 العنفة الغازية (GT):**

تعطى معادلة توازن الإكسرجي في العنفة الغازية كالتالي [9]:

$$\dot{E}X_3 = \dot{E}X_4 + \dot{W}_{GT} + \dot{E}X_{d,GT} \quad (14)$$

$$\dot{W}_{GT} = \dot{m}_g(h_3 - h_4) \quad (15)$$

يتم حساب كفاءة إكسرجي العنفة الغازية بالعلاقة:

$$\varepsilon_{ex,GT} = \frac{\dot{W}_{GT}}{\dot{m}_g(ex_3 - ex_4)} = 1 - \frac{\dot{E}X_{d,GT}}{\dot{m}_g(ex_3 - ex_4)} \quad (16)$$

**2- المجموعة البخارية:**

تتألف المجموعة البخارية بشكل أساسي من العنفات البخارية ST والمبادل الحراري الاسترجاعي HRSG والمكثف الهوائي ACC .

**1-2 مولد البخار الاسترجاعي (HRSG):**

تعطى معادلة توازن الإكسرجي وفق المعادلة التالية [10]:

$$\sum \dot{E}X_{in} + \dot{W}_{pump} = \sum \dot{E}X_{out} + \dot{E}X_{d,HRSG} \quad (17)$$

و كفاءة الإكسرجي:

$$\varepsilon_{ex,HRSG} = \frac{(\dot{E}X_{out} - \dot{E}X_{in})_{steam}}{(\dot{E}X_{in})_{gas} + \dot{W}_{pump}} \quad (18)$$

**2-2 مجموعة العنفات البخارية (ST):**

تعطى معادلة توازن الإكسرجي وفق التالي [11]:

$$\dot{E}X_{in} = \dot{E}X_{out} + \dot{W}_{ST} + \dot{E}X_{d,ST} \quad (19)$$

$$\dot{E}X_1 + \dot{E}X_2 = \dot{E}X_3 + \dot{W}_{ST} + \dot{E}X_{d,ST} \quad (20)$$

و كفاءة الإكسرجي:

$$\varepsilon_{ex,ST} = \frac{\dot{W}_{ST}}{\dot{E}X_1 + \dot{E}X_2 - \dot{E}X_3} = 1 - \frac{\dot{E}X_{d,ST}}{\dot{E}X_1 + \dot{E}X_2 - \dot{E}X_3} \quad (21)$$

**3-2 المكثف الهوائي (ACC):**

تعطى معادلة توازن الإكسرجي كالتالي [12]:



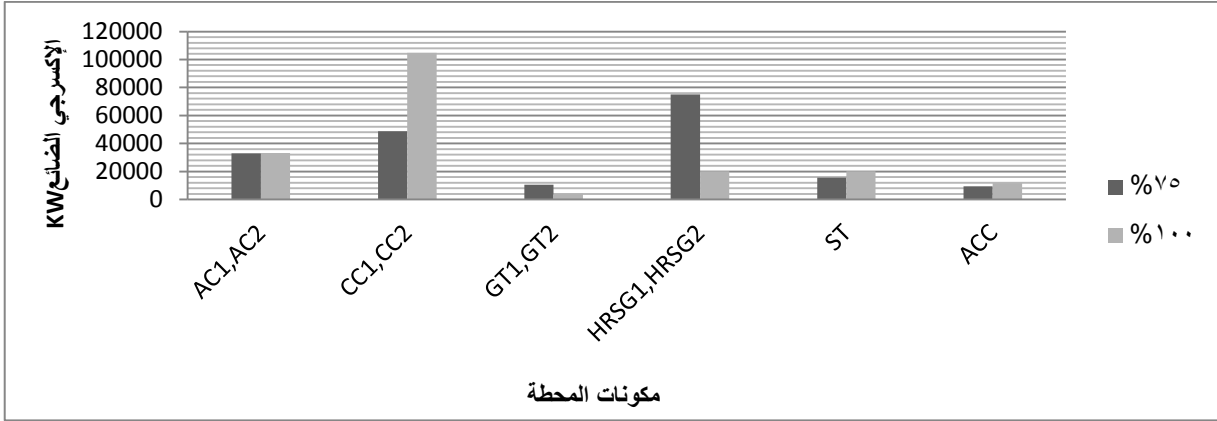
$$\dot{E}X_{in} + W_{Fan} = \dot{E}X_{out} + \dot{E}X_{dest,ACC} \quad (22)$$

$$\dot{E}X_3 + \dot{E}X_{17} + W_{Fan} = \dot{E}X_4 + \dot{E}X_{18} + \dot{E}X_{dest,ACC} \quad (23)$$

$$\varepsilon_{ex,ACC} = \frac{\sum \dot{E}X_{out}}{\sum \dot{E}X_{in} + W_{Fan}} \quad (24) \quad \text{مردود الإكسرجي للمكثف :}$$

### النتائج والمناقشة:

1- تحليل ضياع الإكسرجي وكفاءة الإكسرجي في محطة جندر المركبة عند درجة حرارة الوسط المحيط 288K والحمولتين 75% و100%:

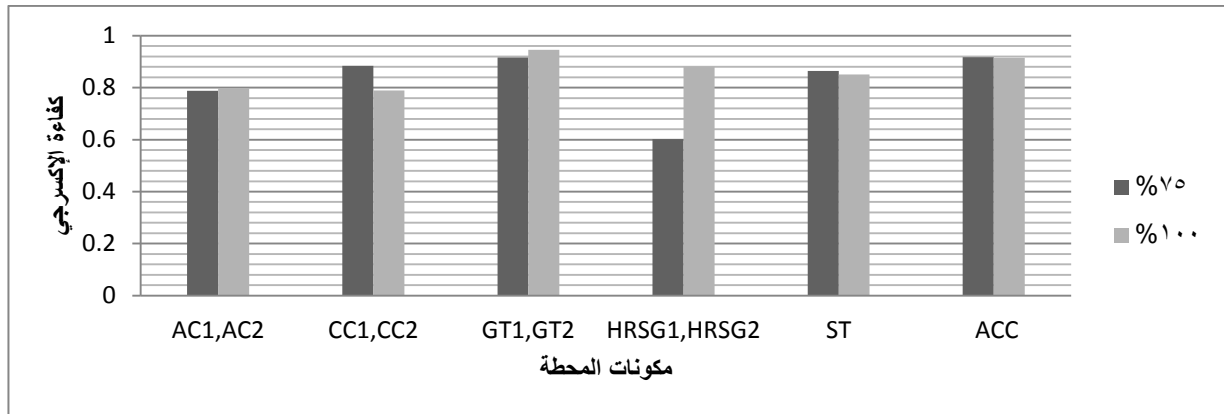


الشكل ( 3 ) ضياع الإكسرجي في كل مكون من المحطة

يبين الشكل(3) أن أكبر ضياع في الإكسرجي عند الحمولة 75% يحصل في المعدات التالية على التوالي : مولدات البخار الاسترجاعية HRSG1,HRSG2، حجر الاحتراق CC، ضواغط الهواء AC1,AC2، العنفة البخارية ST، المكثف ACC .

وأن أكبر ضياع في الإكسرجي عند الحمولة 100% يحصل على التوالي في : حجر الاحتراق CC1,CC2، ضواغط الهواء AC1,AC2 مولدات البخار الاسترجاعية HRSG1,HRSG2، العنفة البخارية ST، العنفة الغازية GT، المكثف ACC .

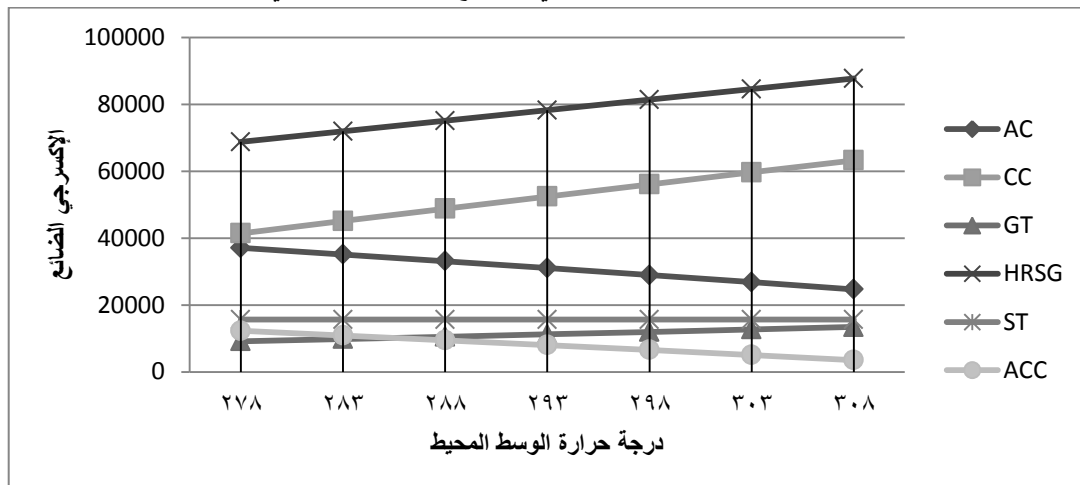
بالمقارنة بين الإكسرجي الضائع الكلي بين كلا حمولتي التشغيل، نجد أن الإكسرجي الضائع عند الحمولة 75% بلغ 360039 Kw و عند الحمولة 100% بلغ 356987 Kw، أي أن تشغيل المحطة عند حمولة 100% يوفر ما قيمته 3052 kW من الإكسرجي الضائع.



الشكل ( 4 ) كفاءات الأكسجيني لكل مكون من المحطة

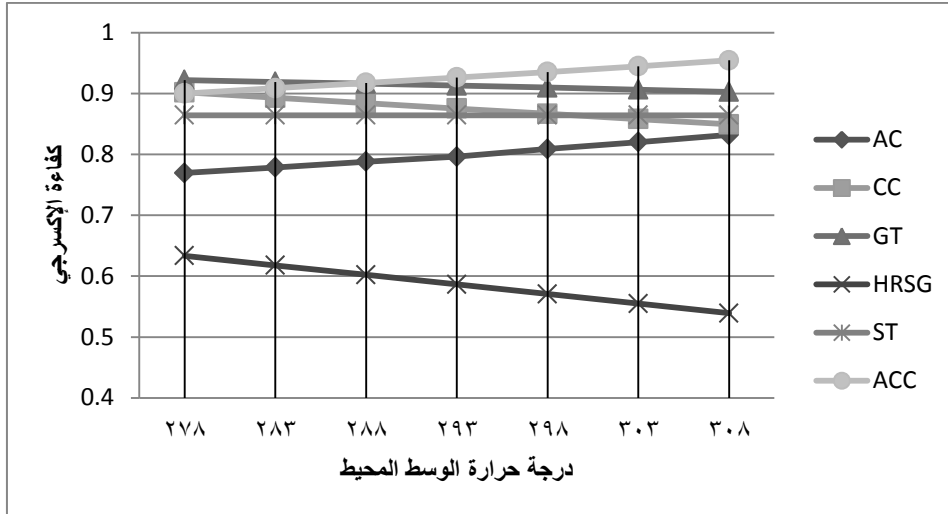
يظهر الشكل (4) أن المكونات الأقل كفاءة عند الحمولة 75% هي على التوالي مولدات البخار الاسترجاعية HRS1,HRS2 (60.21%) ،تليه ضواغط الهواء AC1,AC2 (78.81%) ،مجموعة العنفات البخارية ST (86.43%) ،حجر الاحتراق CC1,CC2 (88.4%) ،العنفات الغازية GT1,GT2 (91.6%) ،المكثف الهوائي ACC (91.74%) ،و عند الحمولة 100% هي حجر الاحتراق CC1,CC2 (78.89%) ،الضواغط C1,C2 (79.76%) ،مجموعة العنفات البخارية ST (85.02%) ،المبادلات الحرارية الاسترجاعية HRS1,HRS2 (88.02%) ،المكثف الهوائي ACC (91.49%) ،العنفات الغازية GT1,GT2 (94.5%) .

### 2-3 دراسة تأثير درجة حرارة الوسط المحيط على الأكسجيني الضائع وكفاءة الأكسجيني:



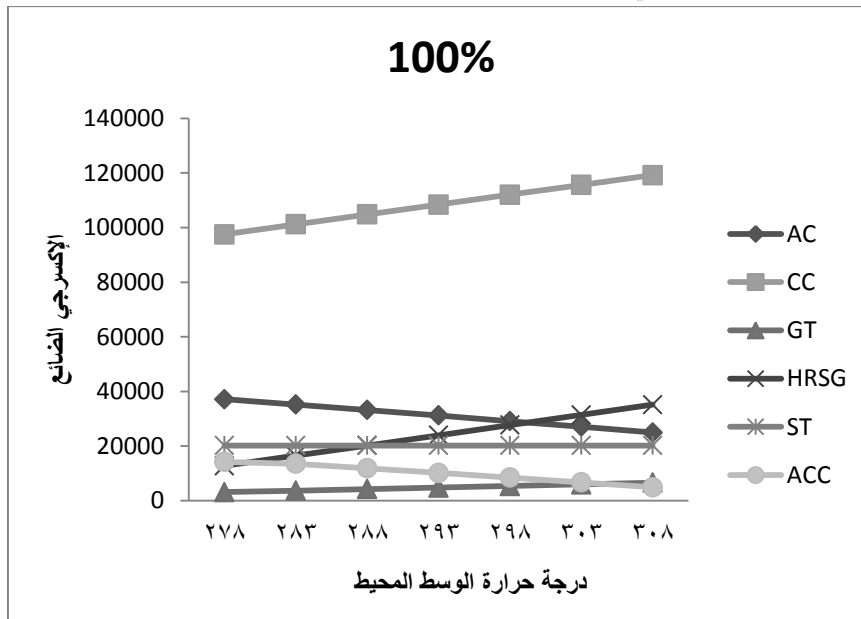
الشكل (5) تغير الأكسجيني الضائع بتغير درجة حرارة الوسط المحيط عند الحمولة 75%

يوضح الشكل (5) التغيرات التي تطرأ على قيم الأكسجيني الضائع في كل مكون من محطة جندر الحرارية بتغير درجة حرارة الوسط المحيط عند الحمولة 75% نلاحظ بارتفاع درجة حرارة الوسط زيادة في الأكسجيني الضائع في كل من: مولد البخار الاسترجاعي ،حجر الاحتراق ،العنفة الغازية و انخفاض قيم الأكسجيني الضائع في :ضواغط الهواء ،المكثف الهوائي .



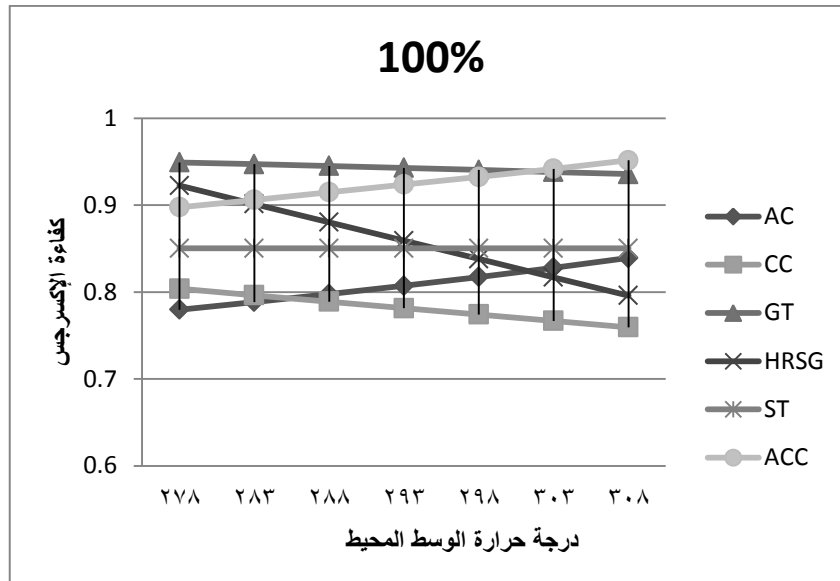
الشكل (6) تغير كفاءات الإكسرجي بتغير درجة حرارة الوسط المحيط عند الحمولة 75%

يظهر الشكل (6) بشكل أساسي أنه بارتفاع درجة حرارة الوسط المحيط يحدث انخفاض حاد في كفاءة إكسرجي مولد البخار الاسترجاعي HRSG، انخفاض تدريجي في حجر الاحتراق، العنفة الغازية، ارتفاع في كفاءة الإكسرجي لكل من ضواغط الهواء، المكثف الهوائي.



الشكل (7) تغير الإكسرجي الضائع بتغير درجة حرارة الوسط المحيط عند الحمولة 100%

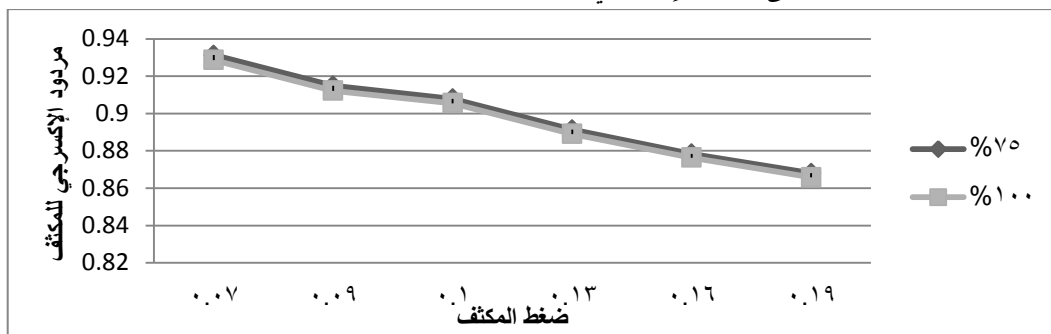
نلاحظ من الشكل (7) أنه بارتفاع درجة حرارة الوسط المحيط يحصل زيادة في قيمة الإكسرجي الضائع بشكل أساسي في حجر الاحتراق، مولد البخار الاسترجاعي، و بمقدار بسيط في العنفة الغازية، و انخفاض قيم الإكسرجي الضائع في ضواغط الهواء و المكثف الهوائي.



الشكل (8) تغير كفاءات الإكسرجي بتغير درجة حرارة الوسط المحيط عند الحمولة 100%

نلاحظ من الشكل(8) عند ارتفاع درجة حرارة الوسط المحيط حدوث انخفاض في كفاءة الإكسرجي لمولد البخار الاسترجاعي، حجر الاحتراق، العنفة الغازية و ارتفاع كفاءة الإكسرجي لضواغط الهواء و المكثف الهوائي.

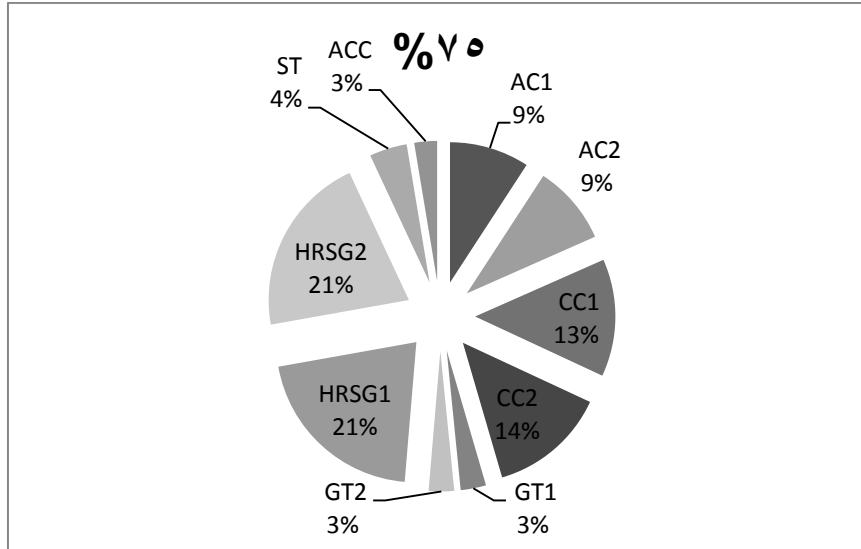
### 3-3 تأثير تغير ضغط المكثف على مردود الإكسرجي للمكثف عند الحملتين 75% و 100%:



الشكل(9) تغير كفاءة إكسرجي المكثف بتغير ضغطه

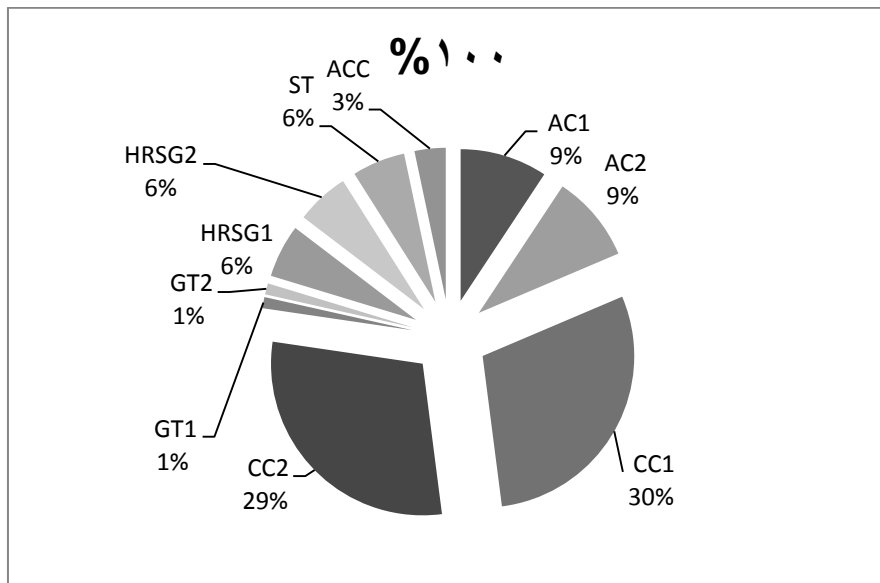
نلاحظ من الشكل(9) أن كفاءة الإكسرجي للمكثف تتخفض بزيادة ضغط المكثف و ترتفع بانخفاض ضغطه عند مختلف الحملات.

### 3-4 النسب المئوية لضياع الإكسرجي في مكونات محطة جندر المركبة:



الشكل (10) النسب المئوية لضياع الإكسرجي في مكونات محطة جندر عند الحمل 75%

تظهر النتائج المبينة في الشكل (10) أن أعظم نسبة ضياع في الإكسرجي في محطة جندر المركبة عند الحمل (75%) كان في المبادلات الحرارية الاسترجاعية HRS1, HRS2 بنسبة (21%, 21%) من ضياع الإكسرجي الكلي في المحطة، ثم حجر الاحتراق CC1, CC2 بنسبة (13.5%, 13.5%)، ثم ضواغط الهواء AC1, AC2 بنسبة (9%, 9%).



الشكل (11) النسب المئوية لضياع الإكسرجي في مكونات محطة جندر عند الحمل 100%

تظهر النتائج المبينة في الشكل (11) أن أعظم نسبة ضياع في الإكسرجي في محطة جندر المركبة عند الحمل 100% هو في حجر الاحتراق CC1, CC2 بنسبة (29.35%, 29.35%)، ثم ضواغط الهواء AC1, AC2 بنسبة (9.3%, 9.3%)، ثم المبادلات الحرارية الاسترجاعية HRS1, HRS2 بنسبة (5.66%, 5.66%).

### الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- الإكسرجي الضائع في مولد البخار الاسترجاعي هو الأكبر عن الحمولة 75%، كفاءة الإكسرجي فيه هي الأقل بنسبة 60,21%.
- 2- الإكسرجي الضائع في حجر الاحتراق هو الأكبر عند الحمولة 100% و كفاءة الإكسرجي فيه هي الأقل بنسبة 78,89%.
- 3- تشغيل المحطة عند الحمولة 100% أفضل، كون قيمة الإكسرجي الضائع عند الحمولة 100% أقل بمقدار 3052 Kw من قيمته عند الحمولة 75%، بالإضافة للاستطاعة الإضافية المولدة .
- 4- ارتفاع درجة حرارة الوسط المحيط (الجو) يؤثر سلباً على كفاءة إكسرجي المحطة المركبة حيث يزيد من ضياعات الإكسرجي في الدورة ككل و يقلل من كفاءة إكسرجي معظم مكونات المحطة.
- 5- تحليل الإكسرجي طريقة مجدية و فعالة في تقييم أداء المحطات الحرارية المركبة حيث تحدد بشكل دقيق نسب هدر الطاقة في كل مكون بشكل مستقل.
- 6- يمكن استخدام تحليل الإكسرجي المبرمج في توقع حدوث أي أعطال في المحطة والمساعدة في تحديد أسباب حدوثه.
- 7- يمكن باستخدام تحليل الإكسرجي تحديد بارامترات العمل الأنسب، يراعى فيها كفاءة المعدات وعمرها التشغيلي.

### المصطلحات والرموز المستخدمة مع واحداتها :

CCPP:	محطة الطاقة بدورة مركبة.
EES:	برنامج حل المعادلات الهندسية .
T:	درجة الحرارة ، واحدتها: K .
m:	التدفق الكتلي ، واحدته: kg/s
h:	الأنثالبي النوعي ، واحدته kJ/kg .
s:	الأنثروبي النوعي ، واحدته kJ/kg .
$\dot{W}_C$ :	الاستطاعة المقدمة لتشغيل الضاغط ، واحدتها: kW
$\dot{W}_{GT}$ :	الاستطاعة المنتجة من العنف الغازية ، واحدتها: kW
$\dot{W}_{ST}$ :	الاستطاعة المنتجة من العنف البخارية ، واحدتها: kW
$W_{Fan}$ :	الاستطاعة المقدمة لتشغيل مراوح المكثف الهوائي ، واحدتها: kW
AC:	ضاغط الهواء.
R:	ثابت الغازات العام واحدته: J/kmol .
CC:	حجرة الاحتراق.
GT:	العنف الغازية.
HRSG:	مولد البخار الاسترجاعي.
ST:	العنف البخارية .
ACC:	المكثف الهوائي .
$ex_{ph}$ :	الإكسرجي الفيزيائي النوعي ، واحدتها: kJ/kg.

$EX_{ch}$ : الإكسرجي الفيزيائي الكلي، واحدته: Kw .
$\dot{EX}_{d.AC}$ : الإكسرجي الضائع في ضاغط الهواء، واحدتها: kW
$\dot{EX}_{d.cc}$ : الإكسرجي الضائع في حجرة الاحتراق، واحدتها: kW
$ex_{ch}^k$ : الإكسرجي الكيميائي القياسي .
$LHV$ : القيمة الحرارية الدنيا لاحتراق الوقود، واحدته: $kJ/kmol$ .
$\bar{ex}_{ch}$ : الإكسرجي الكيميائي النوعي، واحدته: $kJ/kmol$ .
$EX_{ch}$ : الإكسرجي الكيميائي الكلي، واحدته: Kw .
$x_k$ : الكسر المولي لكل مكون من مكونات غازات الاحتراق .
$\dot{EX}_{d.GT}$ : الإكسرجي الضائع في العنفة الغازية، واحدتها: kW
$\dot{EX}_{d.HRSG}$ : الإكسرجي الضائع في مولد البخار الاسترجاعي، واحدتها: kW
$\dot{EX}_{d.ST}$ : الإكسرجي الضائع في العنفة البخارية، واحدتها: kW
$\dot{EX}_{d.ACC}$ : الإكسرجي الضائع في المكثف الهوائي، واحدتها: kW
$\varepsilon_{ex.c}$ : كفاءة الإكسرجي للضاغط .
$\varepsilon_{ex.cc}$ : كفاءة الإكسرجي لحجرة الاحتراق.
$\varepsilon_{ex.GT}$ : كفاءة الإكسرجي للعنفة الغازية .
$\varepsilon_{ex.HRSG}$ : كفاءة الإكسرجي لمولد البخار الاسترجاعي .
$\varepsilon_{ex.ST}$ : كفاءة الإكسرجي للعنفة البخارية .
$\varepsilon_{ex.ACC}$ : كفاءة الإكسرجي للمكثف الهوائي .

## References:

- [1] Aliyu ,M. ,AlQudaihi ,A. B. ,Said ,S. A. ,& Habib ,M. A. (2020). Energy ,exergy and parametric analysis of a combined cycle power plant. *Thermal Science and Engineering Progress* ,15 ,100450.
- [2] Horlock ,J. (1992). *Combined power plants: including combined cycle gas turbined CCGT plants*. Elsevier.
- [3] Dincer ,I. ,& Rosen ,M. A. (2012). *Exergy: energy ,environment and sustainable development*. Newnes.
- [4] Hasan, A. *Thermodynamics* (2), Syria. Tishreen University Articles, (2013).
- [6]. Jandar Thermal Station.
- [6] Dincer ,I. ,Rosen ,M. A. ,& Ahmadi ,P. (2017). *Optimization of energy systems*. John Wiley & Sons.
- [7] Gu ,H. ,Cui ,X. ,Zhu ,H. ,Si ,F. ,& Kong ,Y. (2021). Multi-objective optimization analysis on gas-steam combined cycle system with exergy theory. *Journal of Cleaner Production* ,278 ,123939.

- [8] Babaei Jamnani ,M. ,& Kardgar ,A. (2020). Energy-exergy performance assessment with optimization guidance for the components of the 396-MW combined-cycle power plant. *Energy Science & Engineering* ,8(10) ,3561-3574.
- [9] Kilicarslan ,A. ,& Kiris ,M. (2018). Exergy Destruction Analysis of a Gas Turbine Power Plant. *Hittite Journal of Science and Engineering* ,5(4) ,339-346.
- [10] Param ,H. K. ,& Jianu ,O. A. (2020). Exergy Analysis of Heat Recovery Steam Generator: Effects of Supplementary Firing and Desuperheater. *ASME J. Energy Resour. Technol.* ,142(5) ,050908.
- [11] Altarawneh ,O. R. ,Alsarayreh ,A. A. ,Ala'a ,M. ,Al-Kheetan ,M. J. ,& Alrwashdeh ,S. S. (2022). Energy and exergy analyses for a combined cycle power plant in Jordan. *Case Studies in Thermal Engineering* ,31 ,101852.
- [12] Colpan ,C. O. ,Ezan ,M. A. ,& Kizilkan ,O. (Eds.). (2021). *Thermodynamic Analysis and Optimization of Geothermal Power Plants*. Elsevier.