

مخططات دورات الوحدات الغازية بدون انبعاث لثاني أكسيد الكربون

د. محمد صالح الأنصاري

مركز البحرين للدراسات والبحوث

drmohammedsalehalansari@hotmail.com

مستخلص

شمل هذا البحث دراسة ثرموديناميكية لدوارة الوحدات الغازية بدون انبعاث لثاني أكسيد الكربون التي تستعمل خليط من ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء كمائع تشغيل، المخططات الحرارية. تمت دراسة تأثير الضغط ودرجة الحرارة قبل التوربينه الهبوط في الضغط في عناصر المخطط التمديد الثنائي المراحل والتبريد البيئي خلال عملية انضغاط ثاني أكسيد الكربون المسترجع على كفاءة هذه المخططات. كانت أفضل قيمة لكفاءة هذا المخطط 60% عند درجة حرارة قبل التوربينه 1500 وضغط 35MPa وهي في مستوى كفاءة الوحدات الحديثة.

مقدمة

إن القياسات تؤكد من أنه يوجد الآن نحو 850 مليار طن من ثاني أكسيد الكربون في الجو ، وإن تلك الكمية العائلة جداً في تزايد مستمر كل شهر وكل عام ، هذا التزايد السنوي يقاس من 350 الى 400 جزءاً من المليون الى حد ما بين سنة 1980 الى 1985 أما الآن فتلك القياسات أصبحت مضاعفة تقريباً وذلك بسبب تزايد التلوثات الجوية من قبل الإنسان ، ومنها مثلاً حرب العراق وأيران و حرق ما يُعادل 400 بئر نפט بالكويت في التسعينات والتي أستمرة أشتعالها الى حوالي 8 أشهر وحرب الناتوا على اليوغسلاف وتجارب الهند والباكستان النووية ، وتزايد العربات وشاحنات المواصلات وغيرها الكثير الكثير ، وبالمقابل نقصان الغابات والأشجار والواحات والأهوار فتجفيف الأهوار وتحول أرض العراق الخضراء من 80 % خضراء الى 40 % خضراء وهي في تنازل مستمر حيث بدئت حالة التصحر تزداد وتظهر بشكل ملحوظ مع ارتفاع شديد لدرجة الحرارة والنقصان الشديد بتساقط الأمطار. إن عملية تزايد غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو بدء بشكل ملحوظ قبل حوالي 150 سنة ولكن في العشرين سنة الماضية إزداد هذا المعدل بشكل مخيف حيث أن العشرون سنة والتي مرت علينا تُعادل في الواقع حوالي 100 سنة من العصر القديم . هناك غازات أخرى في الغلاف الجوي والتي تشكل خطراً على البيئة البشرية إذا ما وجدت لها الحلول السريعة ، وتلك الغازات

هي مثلاً غاز أكسيد النتروز وغاز الأوزون وغاز الميثان ، تلك الغازات تعمل على حبس الأشعة تحت الحمراء.

ومن المعروف ان الحد من انبعاث ثاني اكسيد الكربون في الجو هو من المسائل الهامة الان بسبب دور هذا الغاز في ظاهرة الاحتباس الحراري .بالطبع الخفض من انبعاث هذا الغاز ممكن بالانتقال غالى الطاقة النووية ومصادر الطاقة المتجددة .لكن الانتقال إلى الطاقة النووية يستلزم مبالغ استثمارية ضخمة ويواجه برفض من قبل المنظمات المختلفة .مصادر الطاقة المتجددة ليست على المستوى المطلوب حالياً ولا في المستقبل القريب . الحد من انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون في مجال الطاقة ممكن طرق ولكن حتى الفاضل منها يؤدي إلى زيادة في معدل استهلاك الوقود بالنسبة لوحد الطاقة المنتجة ، لذلك الطريقة الأكثر واقعية من غيرها لجمع احتراق الفحم أو الغاز الطبيعي في وسط من الأوكسجين النقي المنتج في محطات فصل الهواء .هذه الطريقة وردت لأول مرة في ابحثا البروفسور يانتوفسكى في السنوات 1991-1993 م .

يجب الإشارة هنا إلى إن تصميم وتحديث أجهزة إزالة من نواتج الاحتراق زيادة كفاءة وحدة إنتاج الطاقة والإجراءات الأخرى هي عالية التكلفة ولا تؤدي إلى إزالة بالكامل من نواتج الاحتراق في وحدة إنتاج الطاقة الكهربائية .من الطبيعي يجب تصميم محطات من نوع جديد تتميز بكفاء عالية وإمكانية التجميع الكامل لثاني أكسيد الكربون وإدخالها في الخدمة في الوحدات التي قدمها يستعمل كمائع تشغيل كخليط مع الماء الوحدات الترموديناميكية التي تستعمل كمائع مقارنه بالتي تستعمل بخار الماء وهي مبينه ادناه :

- تمدد مائع التشغيل يتم بالكامل في الطور الغازي مما يمكن بالتي من التخلص من الرطوبة في المراحل الأخيرة من التوربينه وبذلك زيادة كفاءة مرحلة الضغط المنخفض من التوربينه .

- التسخين أالاسترجاعي لمائع التشغيل عالي الضغط يتم بكامل التيار المنخفض الضغط وبذلك يمكن رفع درجة حرارة انسياب الطاقة الحرارية الى الدورة وزيادة كفاءة الدورة.

- انضغاط مائع التشغيل يحدث في الطور السائل (كما في دورة زنكن البخارية) لذلك شغل الانضغاط ليس كبير (لكنه اكبر مما هو في دورة رنكين).

لذلك الدورات التي تستعمل ثاني اوكسيد الكربون كمائع تشغيل يمكن ان يكون لها كفاءة اكبر من الدورات الغازية أو البخارية .ولكن هذه الميزة ممكنة عند درجات حرارة ابتدائية عالية.

الدورة المقدمة من D.P. Hochstien هي دورات احتراق خارجي . الدورة المقدمة من قبل Yantovskii and K. Zvagevsky وكذلك Mathieu وآخرون هي دورات احتراق داخلي .

في مثل هذه الدورات درجة الحرارة الابتدائية لمائع التشغيل يمكن رفعها لمستوى درجات حرارة الوحدات الغازية وبذلك كفاءتها يجب أن تكون أكبر بكثير . مائع التشغيل في الدورة يعتبر خليط من ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء (نواتج احتراق الوقود العضوي) . خلال عملية التمدد والتبريد الأحق يتكاثف بخار الماء ويزال من الوحدة وبعد ذلك تتم عملية تكثيف ثاني أكسيد الكربون الذي يمكن أن يزال من الوحدة.

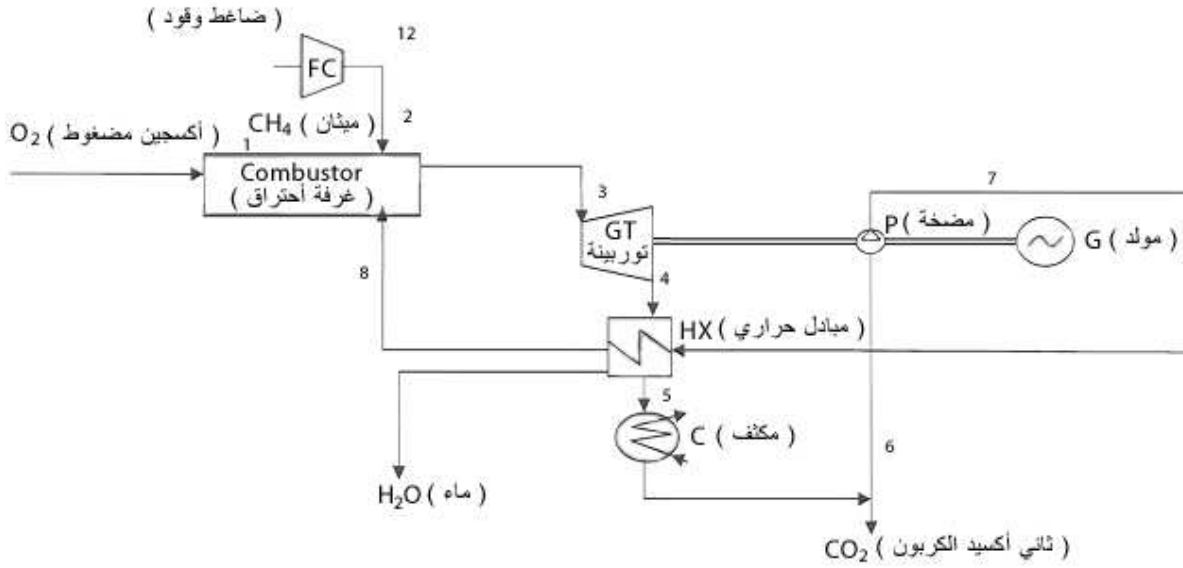
بما ان شغل الانضغاط في دورة ثاني أكسيد الكربون بالاحتراق الداخلي للوقود اقل بكثير مما هو في الدورات الغازية فان الدورة يجب ان تكون أكبر من كفاءة الدورة الغازية . فالفكرة المبنية عليها هذه الدورات تركز على احتراق الوقود الاحفوري كالغاز الطبيعي في وسط من الأوكسجين النقي الذي تنتجه محطات فصل الهواء . اقل شغل لازم للهواء من حوالي القيمة الحقيقية لفصل الهواء تتراوح بين نواتج الاحتراق تحتوي على خليط من عند التبريد والتكثيف CO_2 الذي يعاد جزء كبير منه إلى غرفه الاحتراق من اجل الحفاظ على درجة الحرارة قبل التزيين في المستوى المطلوب . بما إن عملية تكثيف تتم تحت ضغط عالي فانه بالإمكان ضخه في طوره السائل إلى حقول النفط المستنفدة ضاعا الاحتياطي المتبقي الغير قابل للاستخراج من النفط وكذلك استغلاله كمنتج مصاحب في الأغراض الأخرى. وفي مثل هذه الوحدات عدم وجود ضاعت للهواء يعوض الطاقة الأزمة لإنتاج الأوكسجين اللازم لعملية الاحتراق وكذلك عدم وجود ضاغط للهواء يعوض الطاقة الأزمة لإنتاج الأوكسجين في غازات العادم يؤدي إلى اقل طاقة حرارية مبددة .

الهدف من هذا هو الدراسة الترموديناميكية لدورات الوحدات التي تعمل بخليط من ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء الناتج من احتراق الغاز الطبيعي الممكن في الأساس من في وسط من الأوكسجين النقي وتحديد مستوى الكفاءة عند درجات حرارة وضغوط مختلفة قبل التوربينه ، دراسة تأثير كفاءة التوربينه البيئي ن التمدد المراحل والهبوط في الضغط على الكفاءة تحديد أفضل بارامترات لكل دورة على حده واختيار الدورة الأفضل.

مخططات الوحدات الغازية بدون انبعاث لثاني أكسيد الكربون

المخطط البسيط للوحدة الغازية بدون انبعاث لثاني اوكسيد الكربون موضح في شكل(1). وفي وحدة فصل الهواء Air_Separated_Unit (ASU) يتم فصل الهواء إلى أوكسجين سائل Liquefied_Oxygen وغازات النيتروجين Nitrogen (N_2) والارغون Argon (Ar) التي يمكن استغلالها كمنتج مصاحب . وفي هذه الوحدة يتم فيها ضغط الأوكسجين إلى المستوى المطلوب ويوجه إلى غرفة احتراق التوربينه الغازيه .وبما ان الأوكسجين الموجود يكاد يكون عالي النقاوه فان نواتج الاحتراق عادة ما تحمل غاز ثاني اوكسيد الكربون وبخار ماء $CO_2 + H_2O$ و بما إن عملية الاحتراق تتم في وسط من الأوكسجين النقي فان درجة حرارة نواتج الاحتراق تكون

عالية جدا لذلك تخط نواتج الاحتراق بثاني أكسيد الكربون المار عبر المبادل الحراري Heat_Exchanger_(HX) في المستوى المطلوب وتبرد في المبادل الحراري حيث يتم تكتفي ثم إزالة الكمية الأساسية من في المكثف يتم تحت الضغط المناسب بعد ذلك ينقسم تيار النقي السائل إلى فرعين الأول إلى غرفة الاحتراق حيث يضغط قبل ذلك في المضخة إلى المستوى المطلوب والثاني إلى خارج الوحدة.



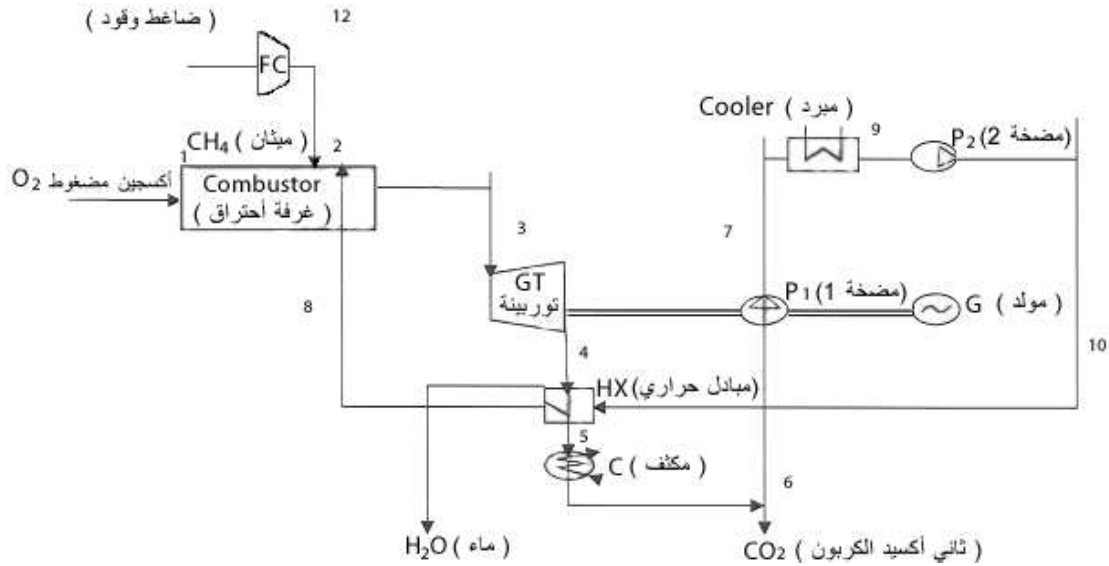
شكل (1): مخطط الدورة الغازية بدون انبعاث لثاني أكسيد الكربون بتمدد ثنائي المراحل

جدول يبين بيانات وتعريف عامه

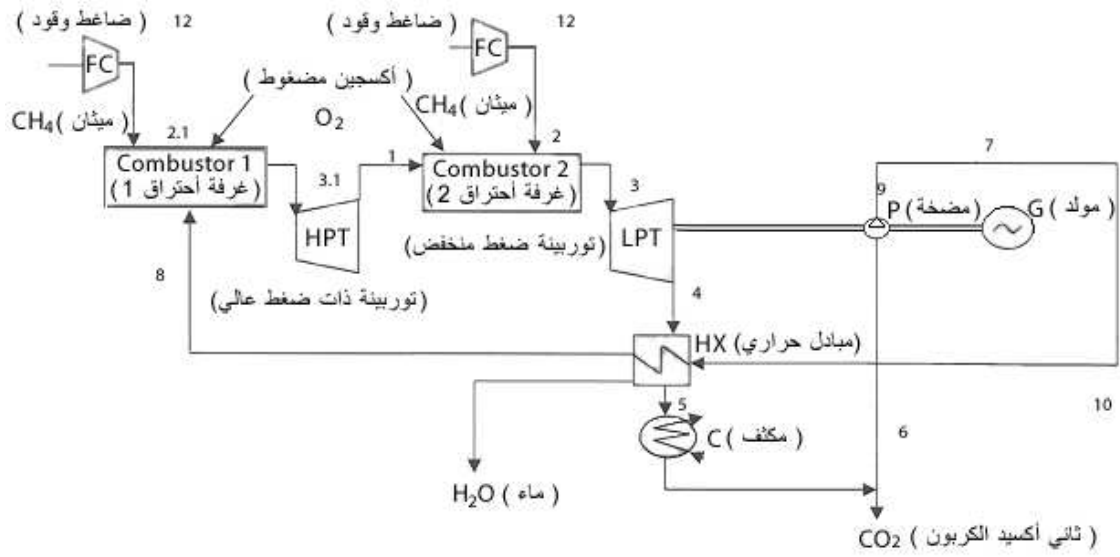
كفاءة التوربينه	η_t	وحدة فصل الهواء	ASU
الكفاءة الميكانيكيه	η_m	ضاغط	C
كفاءة مولد الكهرباء	η_{mot}	توربينه ذات ضغط عالي	HPT
كفاءة المخطط	η	معدل تدفق الوقود	Gf
كفاءة المولد	η_g	غاز طبيعي	NG
ضاغط وقود	FC	درجة حرارة الجو	T _o
مبادل حراري	HX	توربينه ضغط منخفض	LPT

TIT	درجة الحرارة قبل التوربينه	P	مضخه
TIP	الضغط قبل التوربينه	G	مولد
dP	الهبوط في الضغط	G_{O_2}	معدل تدفق الأوكسجين

مخططات الغازات الأكثر تعقيدا موضحة في الأشكال (2) – (4) . المخطط في الشكل (2) يتميز عن الشكل (1) بوجود تبريد بيني خلال عملية انضغاط (السائل) . في المخطط (3) استعمل التمدد الثنائي المراحل ويختلف عن الشكل (1) بوجود تربينين غاز بين (عالي الضغط و منخفض الضغط) وغرفتي احتراف وضاعطين للوقود . عند حساب هذا المخطط اعتبرت درجة الحرارة قبل التوربينين متساوية . في هذه الحالة تقسم كمية الوقود إلى جزأين، (x) لغرفة الاحتراق الأولى ولغرفة الاحتراق الثانية هو 1- x . وفي الشكل (4) تمدد ثنائي المراحل مع التبريد البيني لثاني أكسيد الكربون خلال عملية الانضغاط.



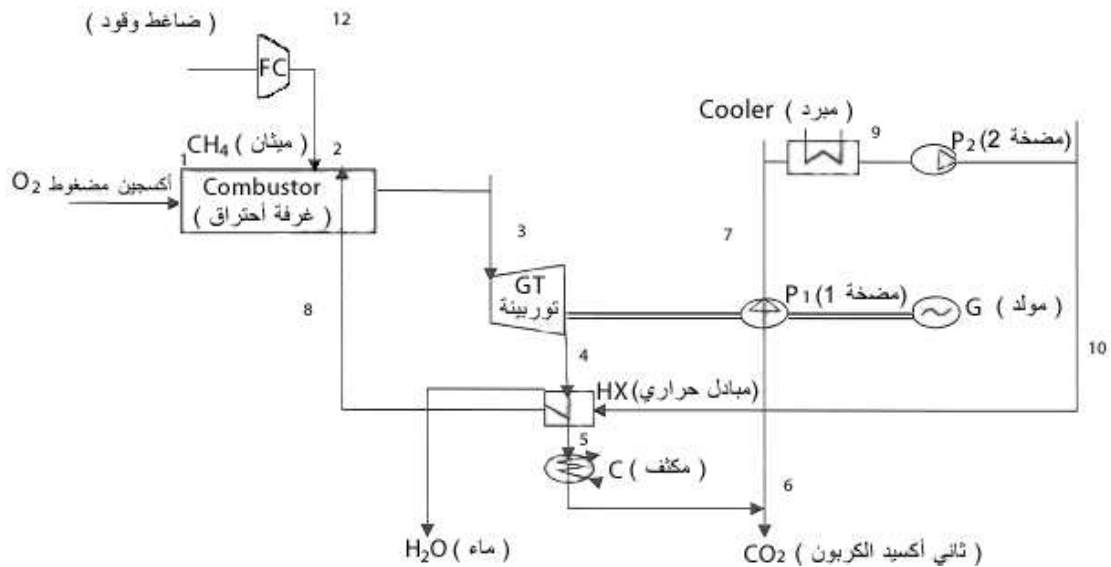
شكل (2): مخطط الدورة الغازية بدون انبعاث لثاني أكسيد الكربون البسيط



شكل (3): مخطط الدورة الغازية بدون انبعاث لثاني أكسيد الكربون بتمدد ثنائي المراحل

المعطيات :

أجريت الحسابات للمخططات المختلفة لمعدل تدفق للوقود (الغاز الطبيعي) المكون من 98% غاز طبيعي و 2% نيتروجين بالإضافة إلى المعطيات والافتراضات الموضحة في الجدول (2).



شكل (4): مخطط الدورة الغازية بدون انبعاث لثاني أكسيد الكربون بتمدد ثنائي المراحل وتبريد بيني.

عند حساب الانضغاط في ضاغطة الوقود

الشغل المبذول في ضاغطة الوقود معادله رقم (1)

$$W_{fc} = G_f (h_2 - h_1) / \eta_m$$

الشغل المبذول للتمدد في التوربينه معادله رقم (2)

$$W_{gt} = G_3 (h_3 - h_4) \eta_m \eta_g$$

iii. شغل انضغاط ثاني أكسيد الكربون السائل في المضخة

$$W_{p1} = G_8 \cdot (h_7 - h_6) / \eta_m \eta_{mot} \quad (3)$$

$$W_{p2} = G_8 \cdot (h_9 - h_7) / \eta_m \eta_{mot} \quad (4)$$

الشغل اللازم لإنتاج الأوكسجين

iv. الشغل اللازم لإنتاج الأوكسجين

$$W_{O_2} = G_{O_2} \cdot 0.3 \cdot 3600 \cdot 22,4 \quad (5)$$

الشغل الكلي الكهربائي

$$W_{et} = W_{gt} + W_{fc} + W_{p1} + W_{p2} + W_{O_2}$$

عند حساب كفاءة المخططات استعملي العلاقات الآتية :

1- شغل الانضغاط في ضاغط الوقود

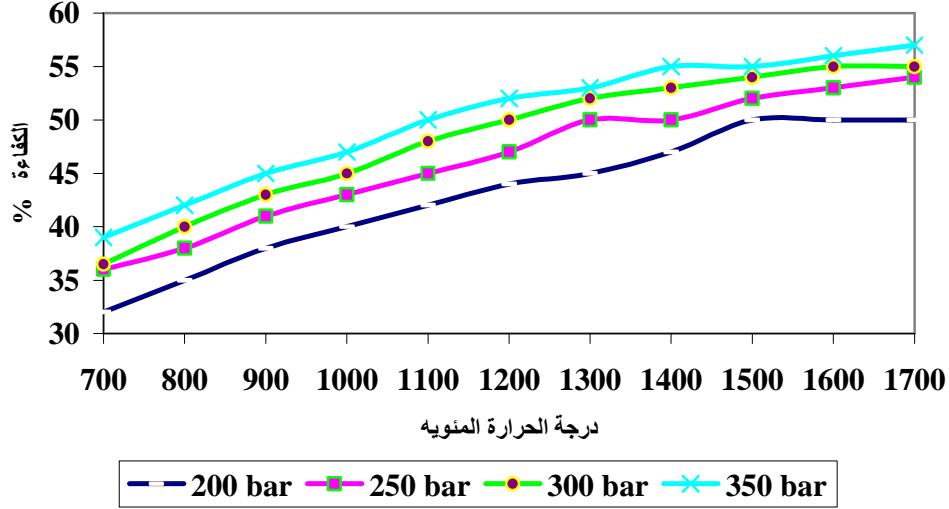
2- شغل التمدد في التوربينه

3- شغل انضغاط ثاني أكسيد الكربون السائل في المضخة

جدول (2) : المعطيات والافتراضات.

700 - 1700	درجة الحرارة قبل التوربينه (TIT)
20 -35	الضغط قبل التوربينه (TIP)
25	Saturated Temperature of CO ₂ درجة حرارة تكثف
20	درجة حرارة الوقود (CH ₄ delivery pressure)
70 Bar	ضغط الوقود (LHV)
802.802 KJ/ mole	ΔT_{min} للمبادلات الحرارية
5 ⁰ C	الفقد في الضغط (pressure deep)
2% - 10%	الطاقة اللازمة لفصل الهواء specific power for air separation
0.3Kwh/ m ³ O ₂	هبوط الضغط في غرفة الاحتراق Combustor pressure deep
2%	الكفاءة الادياباتية للضاغط (adiabatic efficiency of compressor)
85%	الكفاءة الادياباتية للمضخة (adiabatic efficiency of pump)
85%	الكفاءة الميكانيكية (Mechanical efficiency)
98%	الكفاءة الميكانيكية (Mechanical efficiency)
99%	كفاءة المولد (Generator efficiency)
20 ⁰ C	درجة حرارة الجو (Atmosphere temperature)

كفاءة المخطط رقم 1 عند كفاءة التوربينه 90%



كفاءة المخطط

.vi كفاءة المخطط

$$\eta = We / (G_f \cdot LHV)$$

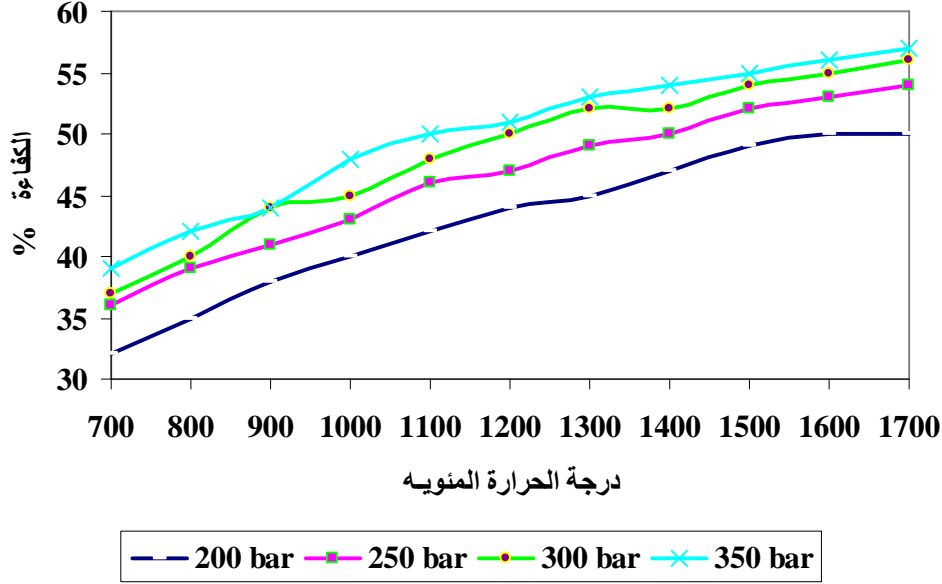
(7)

النتائج والمناقشة :

نتائج المخطط الموضح الشكل (1):

التمثيل البياني هذا المخطط موضح في الشكل (5) لدرجات حرارة وضغوط مختلفة قبل التوربينه . تحليل نتائج الحسابات توضح إن ارتفاع بارامترات الغازات قبل التوربينه يزيد من الكفاءه فى التوربينه الزيادة من الكفاءة كما ارتفاع كفاءة التوربينه حيث عند أي قيمة لكفاءة ودرجة الحرارة قبل التوربينه الزيادة في الضغط من 200 إلى 350 bar تزيد من الكفاءة بمقدار يكاد يكون بمقدار 6.1 – 6.8 %، زيادة كفاءة التوربينه من 80 الي 90 % ويزيد من كفاءة المخطط 3.5 – 6.6 %.

كفاءة المخطط رقم 2 عند كفاءة التوربينه 90%



نتائج المخطط الموضح الشكل (2):

بشكل عام كفاءة المخطط الموضحة بيانيا في الشكل (6) تبين ان استعمال التبريد البيني يؤدي إلى انخفاض في الكفاءة عند كل قيم بارومتراوات الغاز قبل التوربينه وكذلك زيادة الفقد في الضغط في عناصر المخطط وانخفاض كفاءة التوربينه.

سبب ذلك هو ان التبريد البيني يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة تيار ثاني أكسيد الكربون المسترجع لغرفة الاحتراق وبذلك درجة الحرارة الترموديناميكية المتوسطة لانسياب الطاقة الحرارية في الدورة .

من المعلوم ان التبريد البيني يؤدي إلى انخفاض شغل الانضغاط ولكن تأثيره السلبي مرتبط بزيادة الانعكاسية عند إنسياب الطاقة الحرارية في الدورة اكبر من التأثير الايجابي لانخفاض شغل الانضغاط.

نتائج المخطط الموضح الشكل (3):

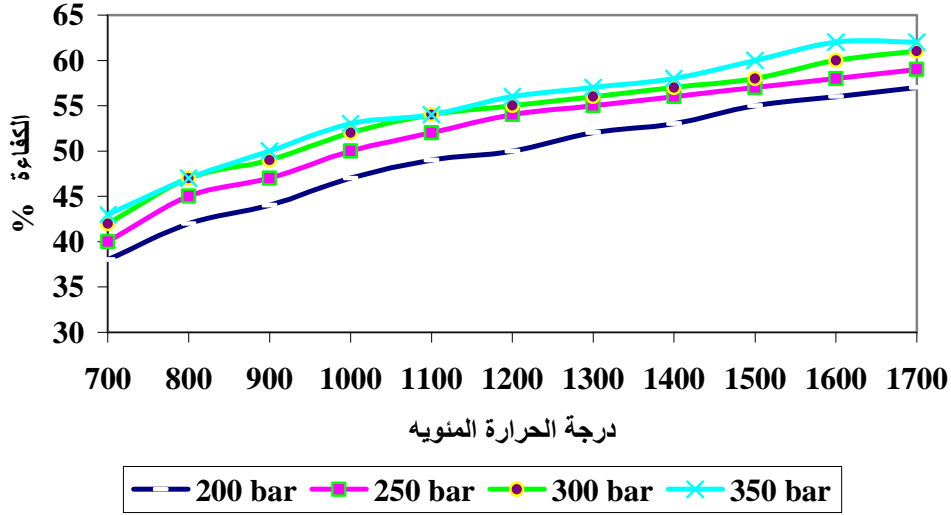
نتائج حسابات هذا المخطط موضحة بيانيا في الشكل (7). من نتائج الحسابات يتضح ان سلوك التغيرات لا يتغير بالمقارنة مع نتائج حساب المخططات (1) و (2)، ولكن التمدد الثنائي المراحل يرفع من كفاءة المخطط بمقدار 8-10% وذلك بسبب الزيادة الكبيرة في درجة الحرارة الترموديناميكية المتوسطة لانسياب الطاقة الحرارية في الدورة مما

يعطى كفاءة مرتفعة للوحدة الغازية .حتى في أسوء الظروف كفاءة الوحدة عند كفاءة 80% كفاءة التوربينه وفقد في الضغط 10% ودرجة حرارة الغازات (T_3) 900 درجة مئوية يبلغ 41.5 – 49.5% حسب قيمة TIP. عند درجة حرارة تبلغ (T_3) 59- 53.5% . عند افضل الظروف (كفاءة التوربينه 90% وفقد في الضغط يعادل 2%) كفاءة المخطط (1) تبلغ 39.5 – 44% عند درجة حرارة 900 درجة مئوية و49.5- 54.5% عند درجة الحرارة $T_3=1500$ درجة مئوية وللمخطط (3) تبلغ 42-49% عند درجة الحرارة $T_3=900$ و 55-60% عند درجة الحرارة $T_3=1500$ درجة مئوية اي انها في مستوى كفاءة الواحدة المزوجة الحديثة.

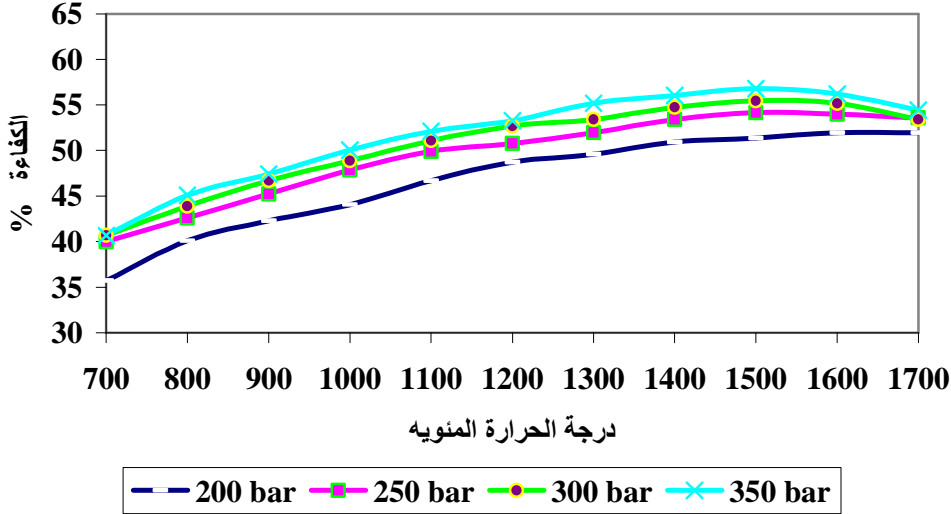
نتائج (4):

كما للمخططات الأحادية التمدد، التبريد البيئي لتيار أكسيد الكربون خلال عملية الانضغاط لهذا المخطط يؤدي الي انخفاض في الكفاءة كما هو واضح من الشكل (8) هذا الإنخفاض للمخطط بتمدد ثنائي ثنائي المراحل اكبر مما هو في المخطط بتمدد أحادي المرحلة . على سبيل المثال عند درجهه حرارة تعادل 900 درجة مئوية (T_3) فان كفاءة المخطط (4) في افضل الظروف تبلغ 42-47% وعند درجة الحرارة 1500 درجة مئوية (T_3) هي 50-55%، ولسوأ الظروف عند درجة حرارة تعادل 900 درجة مئوية تبلغ 34-40% و 43-50% لدرجة حرارة 1500 درجة مئوية (T_3) للمخطط (2) لأفضل الظروف الكفاءة عند 900 درجة مئوية (T_3) هي 38.5-44% وعند 1500 درجة مئوية تبلغ 49-55% ولسود الظروف 30-37% عند 900 درجة مئوية (T_3) 39.5 – 49.5% عند 1500 درجة مئوية (T_3)

كفاءة المخطط رقم 3 عند كفاءة التوربينه 90%



كفاءة المخطط رقم 4 عند كفاءة التوربينه 90%



شكل (8): كفاءة المخطط (4) عند : كفاءة التربين 90% زهبوط في الضغط في عناصر المخطط 2%.

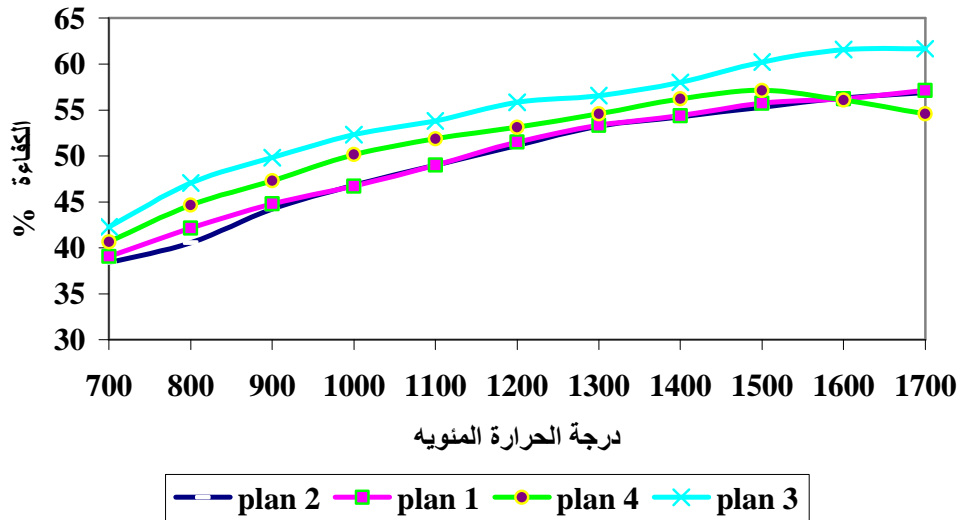
الجدول (3): مقارنة نتائج المخططات.

الجدول (3) : مقارنة نتائج المخططات .

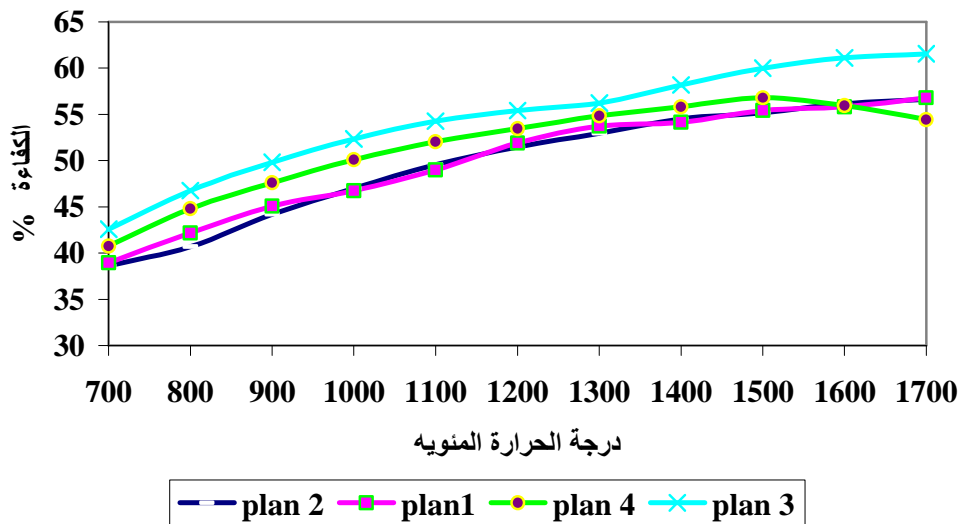
المخطط (4)	المخطط (3)	المخطط (2)	المخطط (1)	
$T_3= 900 \text{ }^\circ\text{C}$ $\eta = 34 - 40\%$	$T_3= 900 \text{ }^\circ\text{C}$ $\eta=41-47\%$	$T_3 = 900 \text{ }^\circ\text{C}$ $\eta =30 - 37.5 \%$	$T_3= 900 \text{ }^\circ\text{C}$ $\eta = 32 - 38 \%$	$\eta=80\%$ $dP=10\%$
$T_3=1500 \text{ }^\circ\text{C}$ $\eta = 43 - 50\%$	$T_3=1500 \text{ }^\circ\text{C}$ $\eta = 53 - 59\%$	$T_3 = 1500 \text{ }^\circ\text{C}$ $\eta =39.5-49.5\%$	$T_3 = 1500 \text{ }^\circ\text{C}$ $\eta=41.5- 49.5\%$	
$T_3= 900 \text{ }^\circ\text{C}$ $\eta = 42-47\%$	$T_3= 900 \text{ }^\circ\text{C}$ $\eta = 42- 49\%$	$T_3 = 900 \text{ }^\circ\text{C}$ $\eta = 38.5 - 44\%$	$T_3 = 900 \text{ }^\circ\text{C}$ $\eta = 39.5 - 44\%$	$90\% \eta_t = \eta$ $dP = 2 \%$
$T_3=1500 \text{ }^\circ\text{C}$ $\eta = 50 - 56\%$	$T_3=1500 \text{ }^\circ\text{C}$ $\eta = 55 - 60\%$	$T_3=1500 \text{ }^\circ\text{C}$ $\eta = 49-55\%$	$T_3 = 1500 \text{ }^\circ\text{C}$ $\eta =49.5- 55.5\%$	

وبهذا ، التبريد خلال عملية الانضغاط دائما يؤدي الى انخفاض في معامل الكفاءة للمخططات المدروسة سواء في حالة التمدد الاحادي المراحل او الثنائي المراحل ، حيث انه في حالة التمدد الاحادي المراحل تأثير التبريد البيني خلال عملية الانضغاط اكثر ضررا منه في حالة التمدد الاحادي المراحل ولكن مقدار الانخفاض في الكفاءة تؤثر فيه كذلك كل من بارامترات الغاز قبل التوربينه ، الانخفاض في الضغط وكفاءة التوربينه . الانخفاض في الضغط وكفاءة التوربينه . كما على الطاقة الحرارية المنتجة في غرفة الاحتراق ، معدل تدفق مائع التشغيل و كفاءة التوربينه . كما هو واضح من الجدول (3) والاشكال (9) و(10)، افضل قيم في جميع الحالات هي في المخطط (3).

كفاءة المخططات عند كفاءة التوربينه 90%



كفاءة المخططات عند كفاءة التوربينه 90%



المراجع

- [1] E. I. Yantovskii and K. Zvagevsky, the Cooperate Demo Power Cycle. II, Inter. Conf. on Carbon Dioxide Removal, Kyoto, Oct.25-27, (1994).
- [2] Yantovskii E.I.. The Thermodynamics of Fuel-Fired Power Plants without Exhaust Gases. World Clean Energy Conference (WCEC), Geneva, Nov. 4-7, (1991) 571.
- [3] E. I Yantovskii, G. Wall, L. Lindquist, et al., Oil Enhancement Carbon Dioxide Oxygen Power Universal Supply (Ocdopus project) I.E.A. Carbon Dioxide Disposal Symposium, University of Oxford, Church College, 29- 31, March., (1993).
- [4] D.P. Hochstien A.C.162542 (USSR).Bullet of inventions 7 10, (1964).
- [5] Olav Bolland and Philippe Mathieu. Comparison of two CO2 Removal option in Combined Cycle Power Plants. Energy Convers. Mgmt Vol.39, 7.16-18, (1998) 1653.
- [6] Ph. Mathieu. Presentation of an Innovative Zero-Emission Cycle for Mitigating the Global climate change. Int. J. Applied Thermodynamics ,V.1., 7 1-4, (1998) 21.
- [7] Hanne M. Kvamsdal, Kristin Jordal, Olav Bolland. A Quantitative Comparison of Gas Turbine Cycle with CO2 Capture, Energy 32 (2007)10.
- [8] Göran Wall, Eugene I. Yantovskii and Lars Lindquist, Joakim Tryggstad, A Zero Emission Combustion Power Plant For Enhanced Oil Recovery. Energy, Vol. 20, 7 8, (1995) 823.
- [9] Yulin Shao, Dan Golomb and Gilbert Brown, Natural Gas Fired Combined Cycle Power Plant With CO2 Capture. Energy Convers. Mgmt, Vol. 36, 7 12, (1995) 1115.