

**TJES**

ISSN: 1813-162X

مجلة تكريت للعلوم الهندسية

متاحة على الموقع الإلكتروني: <http://www.tj-es.com>

## زيادة المردود الحراري والداخلي للمحطة البخارية باستخدام أفضل الطرق الاقتصادية

هشام احمد حسين

قسم الهندسة الالكتروميكانيكية، الجامعة التكنولوجية، بغداد ، العراق

[doctorhashim2004@yahoo.com](mailto:doctorhashim2004@yahoo.com)

### الخلاصة

يختص هذا البحث بدراسة عملية لواحد من أهم المتغيرات التي يمكن استثمارها لزيادة المردود الحراري لمحطات توليد البخار من خلال الاستثمار الأمثل لوجود المكثف في المحطة بواسطة التحكم بضغطه وتخفيضه. ان معالجة أهم مشكلة عملية ترافق تخفيض ضغط المكثف هي زيادة تراكم الهواء المتسرب داخل المكثف وتكوين الحاجز الهوائي الذي يقلل من تكاثف البخار وبالتالي انخفاض إنتاجية عمل المكثف. تم إجراء القياسات العملية على المحطة البخارية المخصصة لإجراء التجارب والبحوث العملية لمحطات الطاقة ومشاكلها الموجودة في جامعة دمشق/ الجمهورية العربية السورية . تهدف هذه الدراسة لتحقيق هدفين هما أولاً" - إمكانية تخفيض ضغط المكثف عملياً للاستثمار الأمثل للطاقة الحرارية التي يحملها البخار من خلال وحدة استثماره لزيادة المردود الحراري والداخلي للمحطة , ثانياً"- المحافظة على قدرة إنتاجية ثابتة للمكثف بعد تخفيض ضغطه من خلال استعمال رقبة توصل إلى مخلية تسحب الهواء المتراكم فيه لضمان بقاء ضغط وكفاءة المكثف ثابتين مع الزمن. تم دراسة خمسة قيم لتخفيض ضغط المكثف (0.45, 0.40, 0.35, 0.30, 0.25bar) , وتم بناء برنامج حسابي بلغة (Fortran 90) لحساب المتغيرات لكل حالة تخفيض تم تجربتها وتطبيقها عملياً على المحطة واستعراض نتائجها لغرض المقارنة بينهما. تحقق عملياً في حالة تخفيض ضغط المكثف إلى قيمة 0.25bar نحصل على زيادة في المردود الحراري للمحطة بنسبة % 4.3 والمردود الداخلي بنسبة % 2.1 مع استهلاك اقتصادي امثل للماء المعالج كيميائياً والمنزوع الشوائب. وكذلك تحققت أعلى كفاءة للمكثف % 80.09 وبإنتاجية ثابتة بواسطة الاستمرار بسحب الهواء المتراكم فيه. تم تمثيل النتائج بيانياً ومناقشتها وتم التوصل إلى استنتاجات اعتمدت نتائج هذه الدراسة أساساً لها .

الكلمات الدالة : محطات بخارية، المكثف، التوربين.

## **An Increasing of the Thermal and Internal Efficiency for Steam Power Plant by Using the Best Economic Method**

### Abstract

The present work is devoted by an experimental study for an important parameters to increasing the thermal and internal efficiency for a steam power plant by reducing the condenser pressure, but there is a problem in condenser performance which is, air inter to inside condenser prevents it to continue with the same production. The experimental work was conducted using the steam power plant (Didacta- Italia) made in the university of Damascus/ syria .This study aim to (1) Reducing the condenser pressure to increase the thermal efficiency, (2)The condenser efficiency must be constant with time by suction of air collection inside the condenser to make the quantities of air (inside and outside) is equal. By Reducing the condenser operating pressure to (0.45 bar, 0.40 bar, 0.35 bar, 0.30 bar, 0.25bar) with all the other parameters are constant. A computer program (Fortran 90) was used . After the measurements and calculations for each state of reduced condenser pressure were given , the thermal efficiency increased by ratio 4.3% and the internal efficiency increased by ratio 2.1 % when the condenser pressure reduced to 0.25bar. Also, the max. efficiency of condenser was 80.09 % with constant production by the continuo of air suction .The results are represented graphical and discussed. The inclusions dependent on the results of this study.

**Keywords:** Steam power plants, Condenser, Turbine

إن طاقة البخار الكلية لا تتحول كلها إلى شغل ميكانيكي بسبب الخسائر التي تعود إلى عوامل عدة منها ( الاحتكاك واللزوجة ---- الخ ) . اغلب الطاقة الحرارية تطرح إلى الخارج بواسطة مكثف البخار وتقوم المضخة بضخ الماء الناتج من تكثيف البخار إلى مولد البخار مرة ثانية[4].

تحتوي المحطة البخارية على مكونات إضافية أخرى مثل المحمص ومخفض التحميص بالإضافة إلى المكونات الأساسية الأربعة المرجل، التوربين، المكثف والمضخة.

وبالإمكان حساب الشغل الناتج من التوربين والشغل الداخل إلى المضخة من المعادلات الرياضية التالية[4.3]-:

$$W_T = G_v(i_{11} - i_{12}) \dots\dots\dots(1)$$

$$W_p = m_w(i_2 - i_1) \dots\dots\dots(2)$$

حيث إن  $(m_w)$  هي كتلة تدفق الماء عبر المضخة و  $(i_{11}, i_{12}, i_2, i_1)$  هي قيم المحتوى الحراري للنقاط الحاكمة حسب مخطط ترقيم وحدات المحطة البخارية Didacta-Italia. أما قيمة الحرارة الناتجة  $Q_1$  خلال مولد البخار وقيمة الحرارة المطروحة  $Q_2$  خلال المكثف، فيمكن حسابها من المعادلات التالية :-

$$Q_1 = m_w(i_5 - i_4) \dots\dots\dots(3)$$

$$Q_2 = G_v(i_{13} - i_{12}) \dots\dots\dots(4)$$

أما الشغل المنتج خلال الدورة الحرارية يحسب من المعادلة التالية :-

$$W = W_T - W_p \dots\dots\dots(5)$$

إن الكفاءة الحرارية لدورة رانكن ليست عالية مثل دورة كارنوت ولكنها عملية لقلّة صعوبات تطبيقها وهي دورة أكثر اقتصادية يمكن حسابها كفاءتها من المعادلة التالية :

$$\eta = \frac{W}{Q_1} \dots\dots\dots(6)$$

#### أهمية وجود المكثف في المحطة البخارية

يدخل البخار الخارج من التوربين إلى المكثف ويتلامس مع جدران الأنابيب المبردة بمياه التبريد الجارية فيها فيتكاثف على السطوح الخارجية لهذه الأنابيب مشكلا طبقة رقيقة من المتكاثف تنمو تدريجيا إلى أن تصبح قوى

#### الرموز والمصطلحات

$A_{k2} [cm^2]$	مساحة المقطع الداخلي للخران
$C_{pw} [J/kg k]$	الحرارة النوعية للماء
$D_{k2} [cm]$	القطر الداخلي
$G_{dryst} [kg]$	وزن البخار المشبع الجاف
$G_{sat.} [kg]$	وزن البخار المشبع الرطب
$G_v [kg]$	معدل جريان البخار إلى التوربين
$G_v'' [kg/h]$	معدل جريان المتكاثف
$h_c [cm]$	قراءة زجاجة بيان منسوب المياه
$H_v[kJ/kg]$	انتالبي البخار
$Q_1 [kJ/kg]$	كمية الحرارة المنتجة
$Q_2 [kJ/kg]$	كمية الحرارة المطروحة
$V_{con} [cm^3]$	حجم المتكاثف
$\dot{V}_{con} [cm^3 / sec]$	التدفق الحجمي
$W [kJ/kg]$	الشغل المنتج في المحط
$W_{iT} [kJ/kg]$	الشغل الداخلي
$W_{oT} [kJ/kg]$	الشغل الخارجي
$W_{op} [kJ/kg]$	الشغل الحقيقي للمضخات

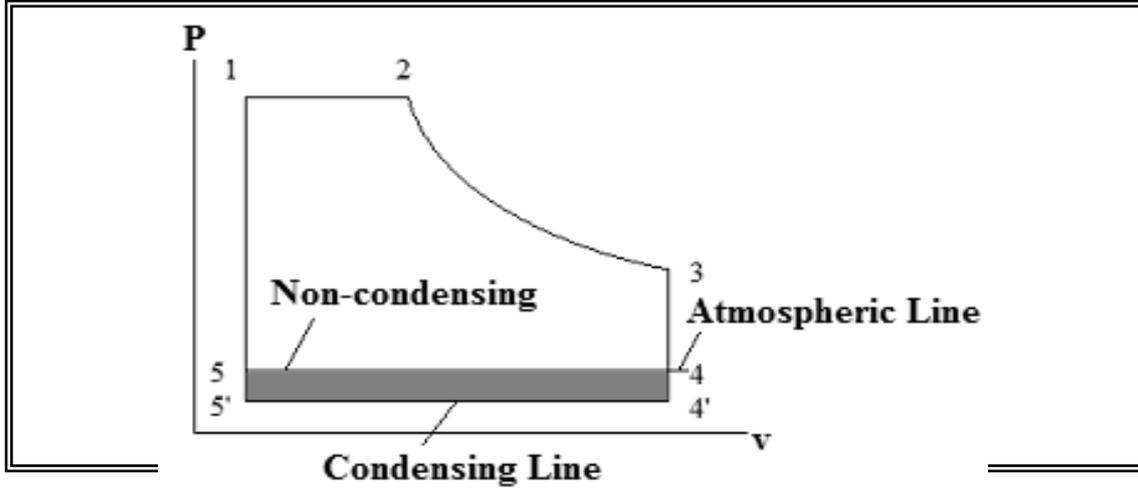
#### المقدمة

تكمّن الأهمية الاقتصادية لوحدة استرجاع البخار بالتكثيف في المحطات البخارية بالاقتصاد في استهلاك المياه بسبب قلة الموارد المائية الضخمة في العديد من مواقع بناء المحطات بالإضافة إلى التكلفة في معالجة المياه وتغذية جديدة منزوعة الشوائب وباهظة الثمن ولذلك لا بد من أن يتكاثف البخار في هذه الوحدة للحصول على ماء يضاهاى وجودته المياه المنزوعة الشوائب وان الوظيفة الأساسية للمكثف هي العمل على تحويل البخار الخارج من التوربين إلى ماء بعد أن يأخذ منه الحرارة وي طرحها من خلال ماء التبريد ويقوم المكثف بوظيفة أخرى ذات أهمية كبيرة جدا فهو يزيد من كفاءة التوربين بواسطة تثبيت ضغط البخار الخارج من التوربين[1]. إن وجود المكثف في المحطة البخارية يعطي إمكانية التحكم بقيمة الضغط الخارج من التوربين وتقليله إلى أقصى قيمة ممكنة[2]. إن دورة رانكن هي الدورة القياسية والعملية في كل المحطات البخارية الحديثة , تستخدم طاقة البخار الحرارية المنتجة في المرجل وتحويلها إلى شغل ميكانيكي أثناء مروره بالتوربين لإنتاج الطاقة الكهربائية[3].

البخار الخارج من التوربين إلى أقل ما يمكن وهذا يوفر زيادة في الطاقة الحرارية الناتجة زيادة في الشغل الخارج من التوربين [7]. شكل رقم (1) مخطط (الضغط - الحجم) للمحطة الحرارية يوضح أهمية وجود المكثف في المحطة البخارية والمساحة المظللة تبين الزيادة في مساحة الشغل الكلية في حالة وجود المكثف [8].

الثقالة قادرة على تحريك الماء فتزداد ثخانة المتكاثف في أسفل الأنبوب الأفقي على حساب الطبقة العليا ولا تلبث أن تتشكل القطرات التي تتساقط من أماكن مختلفة أسفل الأنابيب الأفقية فتلقاها أنابيب أخرى فتتناسب على محيطها لتسقط من جديد على أنابيب مستوى ادني غالي أن تصل إلى مجمع الماء الساخن حيث تتجمع هناك للخروج من المكثف [5, 6].

وجود المكثف في المحطة البخارية في غاية الأهمية الاقتصادية حيث يقوم بوظائف أساسية منها تقليل ضغط



شكل (1) أهمية وجود المكثف في زيادة مساحة الشغل الكلية في التوربين [8]

#### الجانب العملي

يتضمن الجانب العملي:

- 1- وصف وحدات المحطة :- استثمار البخار (التوربين) ووحدة تكثيف البخار ووحدة برج التبريد.
- 2- المشكلة الناتجة من عملية التخفيض والحل العملي لها.
- 3- القياسات العملية والحسابات الخاصة بتخفيض ضغط المكثف وكالاتي :-

#### وصف وحدات استثمار البخار وتكثيفه

تكمن وظيفة وحدة التوربين في الاستفادة من البخار لتوليد الطاقة الكهربائية أما وظيفة وحدة استرجاع البخار بالتكثيف فهي تحويل البخار إلى ماء عوضاً عن إفلات البخار المغادر للتوربين وتغذية مولد البخار بمياه جديدة. ان وظيفة برج التبريد هي التعويض عن غياب المصادر المائية الكبيرة (أنهار وبحيرات) جانب المحطة البخارية. اذا وجد مصدر مائي كبير قرب محطة التوليد فان مياه التبريد للمكثف تسحب من هذا المصدر وتعاد اليه بعد خروجها من المكثف وفي حال غياب المصدر المائي الكبير يقوم برج التبريد بتبريد مياه التبريد المغادرة للمكثف عوضاً عن هدر مياه التبريد المغادرة للمكثف حيث ترسل هذه المياه إلى برج التبريد فتبرد هناك وتستقر في حوض تجميع مياه البرج ليصار إلى إرسالها إلى مدخل المكثف في مهمة تبريدية جديدة. هنا يضيع جزء من مياه التبريد المغادرة للمكثف ويتوجب تعويضه ولكن تكلفة مياه التعويض أقل بكثير من تكلفة المياه التي ستهدر

التكاثف يحدث عندما تكون درجة حرارة ماء التبريد الداخلة إلى المكثف والخارجة من برج التبريد هي أقل من درجة حرارة البخار المشبع ذات الضغط المنخفض الخارج من التوربين والداخل إلى المكثف. عملياً تكون قيمة الاختلاف بين درجة حرارة ماء تبريد المكثف ودرجة حرارة البخار الداخل إليه تتراوح ما بين (10-18) درجة مئوية [9]. كلما كان ضغط المكثف أقل سوف يعطي نسبة أعلى في تمدد الضغط خلال التوربين مما يعكس ذلك على زيادة الشغل الخارج منه، وبالتالي فان درجة حرارة ماء تبريد المكثف هي المسيطرة على تحديد كفاءة المكثف، وهذا يلاحظ إذا كان ماء البحر أو النهر يستخدم مباشرة في تبريد المكثف، لذلك سوف تكون القيمة لضغط المكثف في فصل الشتاء أقل من فصل الصيف. كفاءة المكثف هي النسبة بين الفرق في درجات الحرارة لماء التبريد الداخل والخارج للمكثف وبين الفرق في درجات الحرارة المشبعة عند ضغط المكثف والداخلة إلى المكثف [10, 11, 12].

يهدف هذا البحث إلى:-

- 1- دراسة زيادة المردود الحراري للمحطة البخارية (Didacta- Italia) بطريقة اقتصادية عملية ممكنة التطبيق بواسطة تقليل ضغط المكثف.
- 2- معالجة تزايد تراكم الهواء في المكثف نتيجة تخفيض ضغط المكثف بطريقة عملية تحافظ على مستوى إنتاجية ثابتة للمكثف عن طريق التخلص من الهواء المتراكم فيه.

فالسكر المفتوح العلوي (5k) (السكر 6k مغلق) فمقياس التدفق k2 فالسكر المفتوح السفلي 5k الى مضخة التخلخل k4 ومنها إلى حوض التغذية. أما مبدأ عمل برج التبريد يعتمد على تلامس الهواء مع الماء يحصل بينهما تبادل حراري وكتلي. لتتنشيط التبادل الحراري والكتلي بين الهواء والماء يجب زيادة مساحة سطح التماس بين الجسمين وتأمين حركة نسبية بينهما بسرعة مقبولة. لزيادة مساحة سطح التماس بين الهواء والماء يتم تشتيت (ترذيذ) الماء الى قطرات صغيرة او جعله ينساب بطبقات رقيقة على عدد من السطوح المائلة. لتأمين الحركة النسبية بين الهواء والماء يرذذ الماء بواسطة Nozzles خاصة فيتابع حركته بفعل الثقالة نحو الاسفل وبالمقابل يوجه تيار هوائي من الاسفل الى الاعلى. الهواء المناسب على سطوح قطرات الماء والسطوح الاخرى للماء يصطحب معه ابخرة الماء المتحررة من القطرات ويغادر الى الجو وتكون نتيجة هذه العملية تبخر جزء من الماء وتبرد ما تبقى منه.

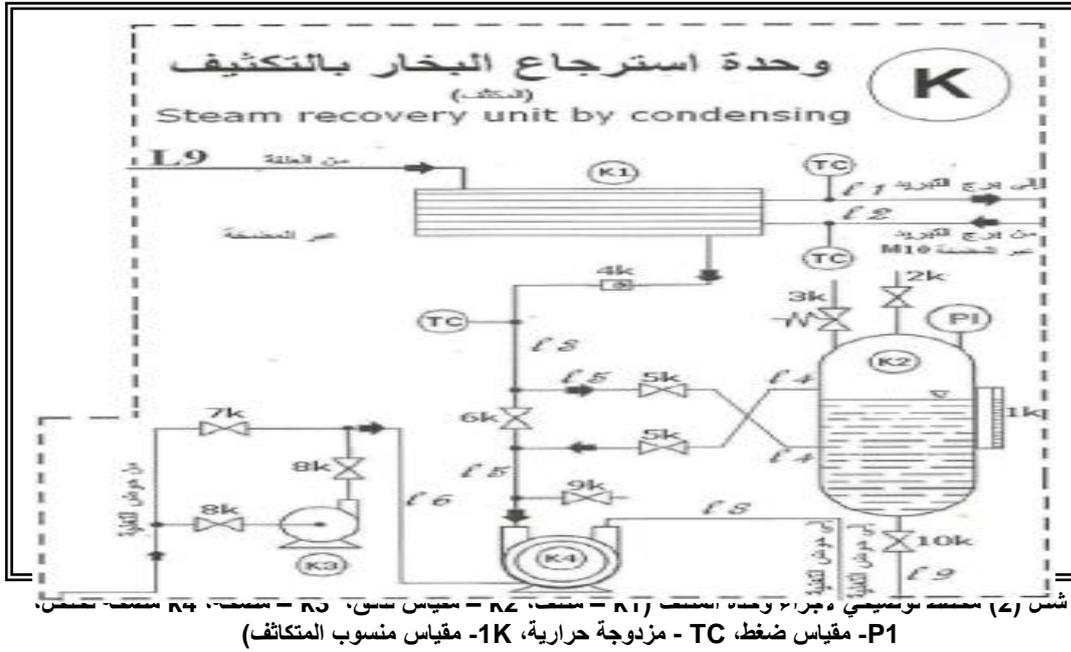
في حال غياب كل من برج التبريد والموارد المائية الضخمة.

### طريقة عمل وحدة استرجاع البخار وبرج التبريد

كما هو موضح بالشكل التخطيطي رقم (2)، تأتي مياه التبريد من برج التبريد الى المكثف عبر المضخة (M10) فتمتص الحرارة من البخار وتعود الى البرج وفي نفس الوقت يأتي البخار من التوربين الى المكثف فيطرح الحرارة الى مياه التبريد ويتكاثف كله او بعضه ويخرج المزيج المائي- البخاري- الهوائي الى حوض التغذية عبر احد الطريقتين:-

ا. الطريق الاول عندما لانريد قياس تدفق المتكاثف وهو كالتالي: من المكثف عبر صمام عديم الرجوع (4k) فالسكر (6k) (السكران 5k مغلقان) الى مضخة التخلخل (k4) ومنها الى حوض التغذية.

ب. الطريق الثاني عندما نريد قياس تدفق المتكاثف وهو كالتالي: من المكثف عبر صمام عديم الرجوع (4k)



إن جزيء الهواء لا يتكاثف بل يرتد عن الأنبوب ليصطدم بجزيئات أخرى متجهة نحو الأنبوب فيعيق وصولها إليه. وبسبب الصدمات الكثيرة التي يتعرض لها جزيء الهواء يبقى لفترات طويلة عائقا أمام تكاثف البخار في منطقة وجوده ومع دخول بخار جديد إلى المكثف يدخل أيضا هواء جديد إليه فيتراكم الهواء الجديد مع ما سبقه من هواء حول أنابيب التكاثف ليشكل حاجزا هوائيا أكثر قدرة على منع جزيئات البخار من التكاثف. وهكذا إذا شاب البخار ولو نسبة ضئيلة من الهواء فان هذا الهواء سيؤدي تدريجيا إلى قدرة المكثف على تكثيف البخار وتساء مع الزمن استطاعته التكوينية وإذا استمر عمل المكثف على

### مشكلة المكثف (التشخيص والحل العملي)

#### تشخيص المشكلة

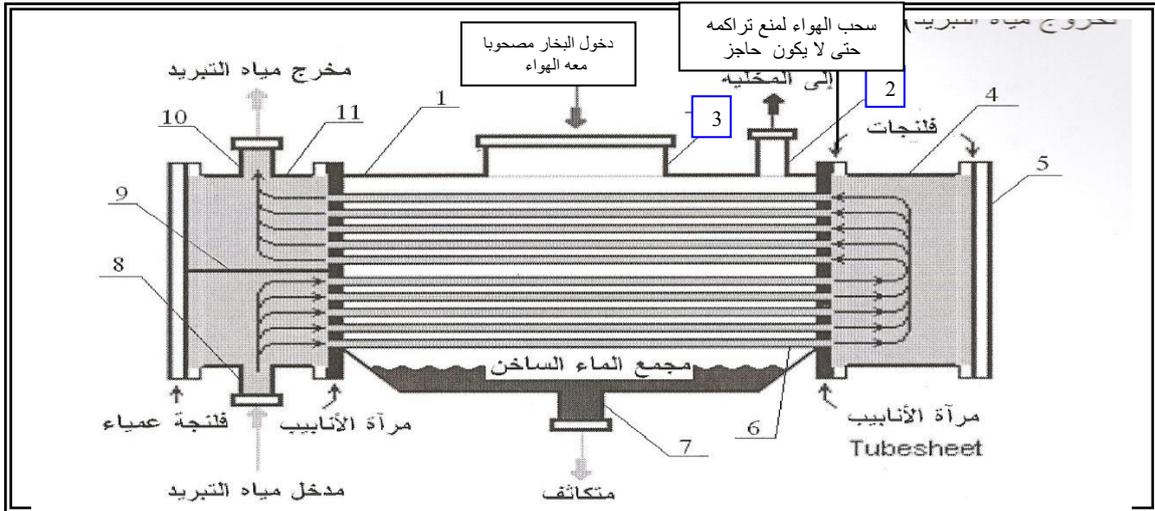
المشكلة التي تم تشخيصها أثناء عمل المكثف وخاصة عند تخفيض ضغطه هي انخفاض كفاءته مع مرور الزمن والسبب في ذلك هو زيادة كمية الهواء المصاحبة للبخار الداخل إلى المكثف عند تخفيض ضغطه وهذه الظاهرة تتطابق تماما مع التفسير العلمي لعدد كبير من الباحثين [4,5,9] لهذه الظاهرة حول سلوك جزيئات الهواء بأنها ستخالف سلوك جزيئات البخار مما يجعل جزيء البخار المصطدم بالأنبوب يتكاثف فوراً وينضم إلى طبقة المتكاثف الملتصقة بسطح الأنبوب وبهذا يفسح المجال أمام الجزيئات الأخرى لتصطدم مع الأنبوب حيث

الرقبة 2 والموصلة إلى مخليّة مساوي لتدفق الهواء الداخل عبر الرقبة 3 مع البخار بسبب تخفيض ضغط المكثف وهذا تطور جديد في عمل المكثفات الصناعية في المحافظة على استمرارية عمل ثابتة في تكثيف البخار. وسوف نغير عملياً ضغط المكثف من خلال مقياسه وملاحظته مع مرور الزمن بدون استخدام الرقبة 2 ومع استخدامها لبيان أهميتها ومدى فعاليتها في المحافظة على ثبات ضغط المكثف وبالتالي بيان فائدة تخفيض ضغط المكثف وانعكاسه على المردود الحراري للمحطة.

هذا النحو لفترة طويلة فقد المكثف القدرة على القيام بوظيفته.

### حل مشكلة الحاجز الهوائي

لحل هذه المشكلة عملياً ومعالجة ظاهرة زيادة تراكم الهواء وتشكيل حاجز هوائي على أنابيب التكاثف تم تجهيز المكثف بالرقبة 2 شكل رقم (3) التي توصل إلى مخليّة تسحب باستمرار بعض المزيغ البخاري الهوائي من المكثف ليعالج عملية دخول الهواء مع البخار من خلال الرقبة 3 بحيث يصبح تدفق الهواء المغادر عبر



شكل (3) المخطط التوضيحي للمكثف موضحة فيه عمل الرقبة 2 الساحبة للهواء إلى مخليّة لتحافظ على إنتاجية ثابتة لمكثف المحطة البخارية (Didacta Italia)

(المكثف). ولحساب هذه المتغيرات نبدأ من الموازنة الحرارية للمكثف رقم (7) حيث إن البخار الخارج من التوربين هو بخار مشبع ضغطه مساوي إلى ضغط المكثف  $P_{con} = P_{12}$  وسنجد درجة حرارته التي هي درجة حرارة التكاثف من جدول البخار المشبع:  $t_{con}^{\circ}C$  للنقطة 12 وان متغيراتها هي  $P_{12}$  و  $t_{12}$  وهذان المتغيران هما للبخار المشبع أي أنهما غير مستقلين وبالتالي لا يحددان حالة البخار. لتحديد حالة البخار نلجأ إلى الموازنة الحرارية للمكثف، الشكل (4) :-

$$Q_{con} = G''_v (i_{12} - i_{13}) = G_w C_{pw} (t_{23} - t_{22}) \quad \dots \dots \dots (7)$$

حيث :  $i_{22}, i_{23}$  - يمثلان المحتوى الحراري لمياه تبريد المكثف عند مدخلة ومخرجة ونجدهما عند درجات الحرارة  $t_{22}, t_{23}$  المسجلة من وحدة السيطرة لمياه التبريد الداخلة إلى المكثف والخارجة منه،  $i_{13}$  - المحتوى الحراري للمتكاثف الخارج من المكثف

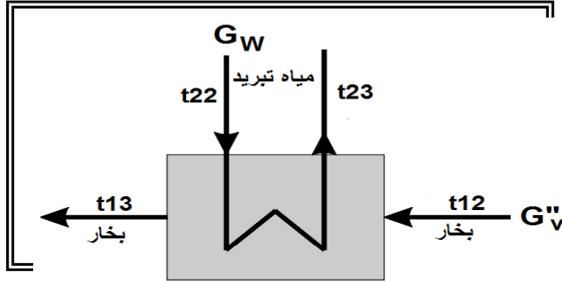
### القياسات العملية

بعد أن تم تشغيل المحطة وتثبيت ضغط المكثف على القيمة ( $p_{con} = 0.45 \text{ bar}$ ) من خلال مقياس ضغط المكثف والانتظار حتى استقرار قيم درجات الحرارة والضغط في كل النقاط الحاكمة لوحدات المحطة تم بواسطة مقياسي درجة الحرارة والضغط المانومتري بعد المرجل تسجيل قيمهما وتسجيل قراءة مقياسي درجة الحرارة والضغط قبل وبعد التوربين وأيضاً قبل وبعد المكثف. وبواسطة المانومتر التفاضلي المتصل برقاقة قياس الضغط المعاييرة (Diaphragm) الموجودة قبل التوربين تم قياس هبوط الضغط على طرفي الرقاقة وبواسطة مخطط معايرة الرقاقة المثبت بجانب المانومتر التفاضلي نسجل قيمة معدل التدفق الكتلي للبخار  $G_v$ . الجدول رقم (1) يبين ملخص القياسات المطلوبة بعد استقرار المحطة.

### الحسابات

أهم المتغيرات الحاكمة التي يجب حسابها هي متغيرات النقطة 12 كما تم ترقيمها على مخطط المحطة شكل (1) لأنها تمثل نقطة محورية بين مخرج وحدة استثمار البخار (التوربين) ومدخل وحدة تكثيف البخار

وهما المحتوى الحراري والضغط ( $2=0.462 \text{ bar}$ ) وبواسطتهما نجد المتغيرات المتبقية من الجداول وكما هو مبين في الجدول رقم (3). هذا القياس والحساب عند تثبيت ضغط المكثف على القيمة ( $P_{con}=0.45\text{bar}$ ) ويعاد هذا القياس والحساب لحالات التخفيض الأخرى لضغط المكثف ( $0.40, 0.35, 0.30, 0.25$ )bar لغرض دراستها والمقارنة بينهما.



شكل (4) الموازنة الحرارية للمكثف

في نهاية العملية 12-13 الإيزوبارية والتي تتم عند الضغط  $p_{13} = p_{12} = \text{bar}$ . وعليه فإن متغيرات النقطة 13 هي:  $p_{13} = p_{12}$  و  $t_{13} = ^\circ\text{C}$  بواسطة هذين المتغيرين نجد من الجداول  $i_{13}$ .

$$-G_w = \frac{Q_w}{v_w}$$

المكثف  $Q_w = m^3/h$  ، الحجم النوعي لمياه التبريد الداخلة إلى المكثف عند درجة الحرارة  $t_{22} = ^\circ\text{C}$  حسب جدول الماء  $v_w = 0.001008$  أما  $G_v$  فهي تمثل معدل تدفق البخار عبر مقياس التدفق. أصبح لدينا الآن متغيرين مستقلين للنقطة 12 وهما  $i_{12}$  و  $p_{12}$  وبواسطة هذين المتغيرين نجد المتغيرات المتبقية من الجداول. من جدول القياسات رقم (1) نجد إن متغيرات البخار المقاسة بعد التوربين وقبل المكثف أصبح لدينا الآن متغيرين مستقلين للنقطة (12)

جدول (1) القياسات المسجلة للنقاط الحاكمة بعد وصول المحطة إلى حالة الاستقرار

1. Steam circuit measurements		
position of the point	Pressure (bar)	Temperature $^{\circ}\text{C}$
(5) boiler outlet	10	183
(6) super heated outlet	10	210
(8) de –superheated intake	9.45	208
(9) de-superheated outlet	9.1	198
(11) turbine intake	9.0	197
(12) turbine outlet	0.45	79
(13) condenser outlet	0.45	75
$V_{f.w.} = 0.076 \text{ m}^3$ , $\tau_{b.p.} = 30 \text{ min}$ $G_v = 7 \text{ kg/h}$ $G_v = 127 \text{ Kg/h}$ $T = 4.1 \text{ Nm.}$ , $n = 3170 \text{ rpm}$		
2. Cooling water circuit measurements		
$t_{22} = 41^{\circ}\text{C}$		Temperature at condenser intake
$t_{23} = 59^{\circ}\text{C}$		Temperature at condenser outlet
$Q_w = 3.8 \text{ m}^3/h$ Water flow rate to meter of water going to condenser		
3. Air and fuel circuit (Diesel fuel) measurements		
$t_{25} = 35^{\circ}\text{C}$		burnt gas temperature at boiler intake
$t_{26} = 214^{\circ}\text{C}$		burnt gas temperature at boiler outlet
$G_F = 10.672 \text{ Kg/h}$ fuel flow rate		
4. Psychometric measurements		
$B = 0.92 \text{ bar}$		Barometric pressure
temperature	$t_{db} = 34^{\circ}\text{C}$	Air dry
temperature	$t_{wb} = 30^{\circ}\text{C}$	Air wet

جدول (2) قيم المحتوى الحراري لنقاط الدخول والخروج للمكثف عند ضغط ( P12=P13=0.462 )

رقم النقطة	درجة الحرارة °C	الانثالبي ( kJ/kg )
22	41	171.8
23	59	247
13	75	313.9

جدول (3) قيم متغيرات النقاط ( 13 , 12 , 11 ) المستخرجة من الجداول اعتمادا على القيم المقاسة

Position point	Entropy s kJ / kg.K	Enthalpy i kJ / kg	Internal energy u kJ / kg	Specific volume v m <sup>3</sup> / kg
11	6.683	2821	2617	0.206
12	7.364	2552	2397	3.352
13	1.015	313.9	313.9	0.001026

$$w_{oT} = (i_{11} - i_{12}) \dots\dots\dots(16)$$

$$wi_T = i_{11} - i_{12} \dots\dots\dots(17)$$

$$Q_{2t} = (i_8 - i_9) + (i_{12t} - i_3) \dots\dots\dots(18)$$

$$Q_{2t} = (i_8 - i_9) + (i_{12t} - i_3) \dots\dots\dots(19)$$

$$Q_{2t} = (i_8 - i_9) + (i_{12t} - i_3) \dots\dots\dots(20)$$

$$\eta_t = \frac{Q_{1t} - Q_{2t}}{Q_{1t}} \dots\dots\dots(21)$$

$$w_{oT} = \Delta i_{adT} = i_{11} - i_{12T} \dots\dots\dots(22)$$

$$wi_T = \Delta i_{effT} = i_{11} - i_{12} \dots\dots\dots(23)$$

$$w_i = w_{iT} - w_{ip} \dots\dots\dots(24)$$

$$\eta_t = \frac{w_o}{Q_{1t}} \dots\dots\dots(25)$$

باستخدام طرق الحساب التي تم ذكرها في الفقرات سابقا وباستخدام المعادلات الخاصة بحساب المردود الحراري والداخلي للمحطة البخارية في أعلاه وتنفيذ البرنامج الحسابي تم حساب المردود الداخلي والحراري للمحطة وحسب جدول رقم (4) الذي يلخص نتائج حسابات المردود الحراري والداخلي للمحطة عند تغيير قيمة ضغط المكثف.

جدول (4) نتائج حسابات المردود الحراري والداخلي للمحطة عند تغيير قيمة ضغط المكثف

المردود الداخلي (%)	المردود الحراري (%)	ضغط المكثف (bar)
9.99	18.95	0.45
10.57	20.03	0.40
11.23	21.18	0.35
11.70	22.14	0.30
11.96	22.89	0.25

طريقة حساب كسر جفاف البخار المشبع المغادر للمكثف

معدل جريان البخار عبر المكثف هي نسبة الماء المائع إلى المزيج البخاري المائي (البخار المشبع) والتي يسميها البعض نسبة الماء/بخار و بمعرفه  $G_v'''$  و

$G_v''$  يمكن حساب كسر الجفاف X Quality ratio من المعادلات العملية التالية:

$$X = \frac{M_{drysteam}}{M_{saturatedsteam}} = \frac{G_{drysteam}}{G_{saturatedsteam}} \dots\dots\dots(8)$$

$$s = X \times s'' + (1 - X) \times s' \dots\dots\dots(9)$$

$$X = \frac{G_{drysteam}}{G_{saturatedsteam}} = \frac{G_v'' - G_v'''}{G_v'' - G_v'''} = 1 - \frac{G_v'''}{G_v''} \dots\dots\dots(10)$$

$$i = X \times i'' + (1 - X) \times i' \dots\dots\dots(11)$$

$$\dot{V}_{con} = \frac{V_{con}}{\tau_c} = \frac{A_{K2} \times h_c}{\tau_c} \dots\dots\dots(12)$$

$$A_{K2} = \frac{\pi \times D_{iK2}^2}{4} \dots\dots\dots(13)$$

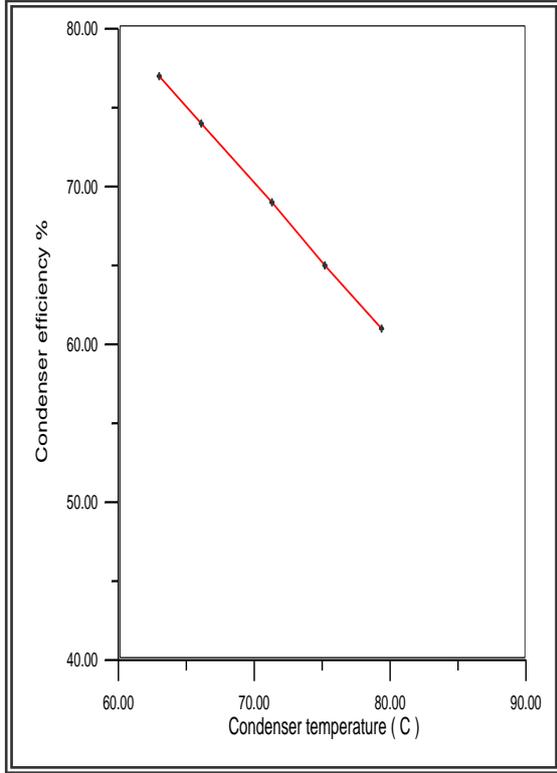
$$G_v''' = \frac{\dot{V}_{con}}{10^6 \cdot v_{con}} \dots\dots\dots(14)$$

$$\eta_{oiT} = \frac{wi_T}{wo_T} = \frac{i_{11} - i_{12}}{i_{11} - i_{12t}} \dots\dots\dots(15)$$

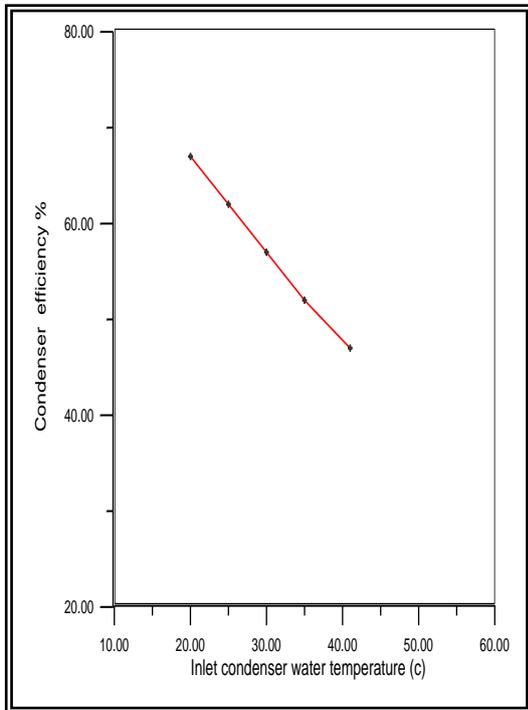
طريقة حساب المردود الحراري والداخلي للتوربين

من قيم المتغيرات الأساسية للنقطة 11 التي تم قياسها بعد استقرار عمل المحطة والقيم المستخرجة من الجداول وكذلك من قيم المتغيرات في النقطة 12 يمكن أن نحسب المردود الحراري والداخلي للتوربين عمليا من المعادلات التالية:

القيمة حصلنا على اعلى كفاءة عمل للمكثف مما عكس ذلك ايجابا عاى عمل المحطة البخارية.



شكل (5) تأثير تغير درجة حرارة التكثيف على كفاءة المكثف



شكل (6) تأثير درجة حرارة الماء الداخل الى المكثف على كفاءة المكثف

### البرنامج الحسابي

تم بناء برنامج حسابي بلغة Fortran 90 لحل المعادلات الرياضية العملية الحاكمة وحساب كافة المتغيرات المطلوبة لاستخراج النتائج لكل حالة تخفيض لضغط المكثف.

### النتائج والمناقشة

#### تأثيرات تخفيض ضغط المكثف في المحطة البخارية

شكل رقم (5) يوضح تأثير درجة حرارة التكثف على عمل وأداء المكثف حيث انه عند ثبوت درجات الحرارة للماء الداخل والخارج للمكثف فان كفاءة المكثف تعتمد فقط على درجة حرارة تكثف البخار المرتبطة بقيمة ضغط المكثف حيث أنها تزداد بزيادته وتنخفض بانخفاضه وبالتالي فان كفاءة المكثف هي أعلى عندما كانت درجة حرارة التكثف اقل قيمة ( ضغط التكثف اقل قيمة ) وهذا يتطابق تماما مع معادلة حساب الكفاءة للمكثف

$$\eta_{con.} = \frac{T_{out} - T_{in}}{T_{sat.} - T_{in}}$$

عندما كانت قيمة درجة حرارة التكثف هي الأقل أي عندما كان المكثف يعمل بضغط 0.25bar.

شكل رقم (6) يوضح تأثير درجة حرارة الماء البارد الخارج من برج التبريد والداخل الى المكثف على كفاءة عمل المكثف حيث تعتمد كفاءة المكثف على هذه الدرجة عند ثبوت درجة حرارة التكثف، اي ثبوت ضغط المكثف وطبقا للمعادلة الرياضية في حساب الكفاءة فانه كلما انخفضت درجة حرارة الماء الداخل الى المكثف فان الكفاءة تزداد والعكس صحيح انخفاض درجة حرارة الماء الداخل الى المكثف تعتمد على سرعة وكمية جريان الماء بين برج التبريد وبين المكثف وكذلك على مواصفات ونوعية برج التبريد. تم الحصول على اعلى كفاءة لعمل المكثف بواسطة تغيير درجة حرارة الماء الداخل الى المكثف الى اقل مايمكن عن طريق فتح صمام الجريان للماء كاملا حيث زادت كمية تدفق الماء بينهما الى اعلى حد وعند انقاص هذه الكمية التحكم بصمام التدفق ) فان ذلك يؤدي الى زيادة درجة حرارة الماء الداخل الى المكثف وبالتالي تنخفض كفاءته.

شكل رقم (7) يوضح تأثير ضغط المكثف على درجة حرارة التكثف حيث انه كلما خفضنا ضغط المكثف زادت كفاءة عمل المكثف والسبب في ذلك لان درجة حرارة التكثيف تتناسب طرديا مع ضغط المكثف اي انه عندما ينخفض الضغط تنخفض معه درجة حرارة التكثيف ونلاحظ من خلال الشكل فان اعلى درجة حرارة للتكثيف كانت  $79.37^{\circ}C$  عندما كان ضغط المكثف مثبت على قيمة

462bar. بينما انخفضت الى  $63.24^{\circ}C$  عندما تم تخفيض ضغط المكثف الى قيمة 0.25bar وعند هذه

العمل يساوي تغير الإنتالبي في عملية التمدد الأدياباتي الحقيقي داخل العنفة ( $\Delta i_{effT}$ ) المساوي للفرق بين إنتالبي بداية العملية الأدياباتي الحقيقية وإنتالبي نهايتها.

(2) - الشغل الخارجي وهو العمل المثالي للبخار في العنفة أي العمل الذي ينجزه البخار في العنفة عند تمدده الأدياباتي العكوس (الإيزوانتروبي) دون الأخذ بالحساب أية مفاقيد. هذا العمل يساوي تغير الإنتالبي في عملية التمدد الأدياباتي العكوس (الإيزوانتروبي) داخل العنفة ( $\Delta i_{adT}$ ) المساوي للفرق بين إنتالبي بداية العملية الأدياباتي العكوسة وإنتالبي نهايتها.

تبين من خلال الحسابات للشغلين الداخلي والخارجي ان تخفيض ضغط المكثف يوفر زيادة في استثمار الحرارة في التورباين وعدم خروجها مع البخار الى المكثف حيث كلما انخفضت قيمة ضغط المكثف انخفضت معه قيمة إنتالبي البخار تنخفض قيمة الإنتالبي في النقطة 12 وبما ان الإنتالبي في النقطة 11 ثابتة فان قيمة الفرق بينهما تزداد وبالتالي تزداد قيمة الشغل المنتج في التورباين حيث كانت قيمة الشغل الداخلي تساوي ( $269kj/kg$ ) عندما كان ضغط المكثف يساوي  $0.462bar$  بينما كانت قيمة الشغل الخارجي تساوي  $509kj/kg$  وحصلت زيادة عندما خفضنا قيمة ضغط المكثف وهذه الزيادة تم توضيحها على الرسم.

الشكل رقم (10) يبين تأثير ضغط المكثف على المردود ( الكفاءة) الداخلي والخارجي للتورباين حيث ان المردود النسبي الداخلي للتورباين يحسب من

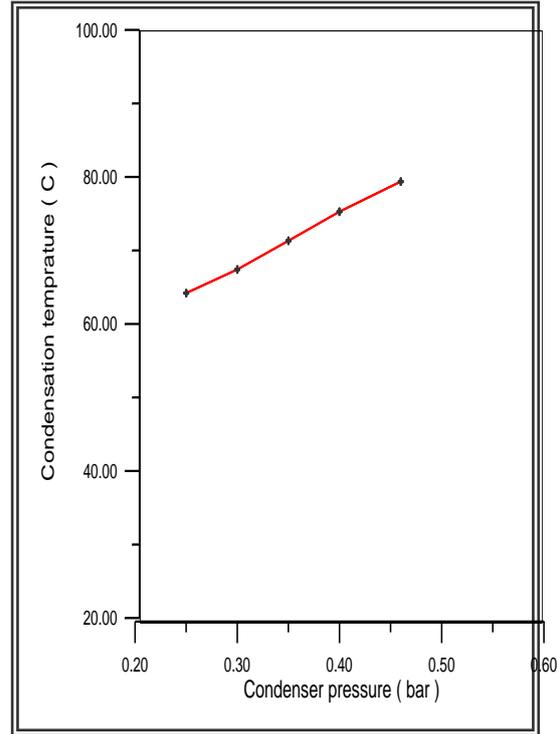
$$\eta_{oiT} = \frac{wi_T}{wo_T} = \frac{i_{11} - i_{12}}{i_{11} - i_{12T}}$$

والسبب لان المردود الداخلي للتورباين هو صفة تصميمية لاتتأثر بقيمة ضغط المكثف سواء زاد او

نقص وكانت هذه النسبة هي  $\eta_{oiT} = 52.82\%$

حيث بقيت هذه النسبة ثابتة لكل قيم ضغط المكثف التي تم دراستها بينما زاد المردود الحراري للتورباين عندما خفضنا ضغط المكثف حيث كانت قيمة المردود الحراري عندما كان ضغط المكثف يساوي ( $0.462bar$ ) تساوي  $10.03\%$  بينما زادت هذه القيمة الى  $11.31\%$  عند تخفيض ضغط المكثف الى  $0.25bar$ .

الشكل رقم (11) يوضح تأثير تخفيض ضغط المكثف على المردود الحراري للمحطة البخارية حيث تم حساب



شكل (7) تأثير تخفيض ضغط المكثف على درجة حرارة التكثيف في المكثف

شكل رقم (8) يوضح تأثير انخفاض ضغط المكثف على كسر الجفاف (كمية البخار المشبع الجاف الموجود في 1 كغم من البخار المشبع اي  $x = \frac{M_w}{M_v + M_w}$ ) وكانت قيمة كسر الجفاف

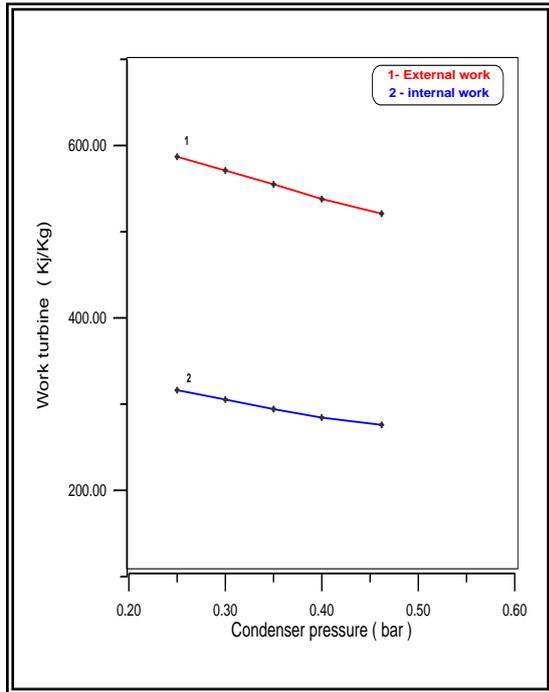
تساوي ( $x = 0.9608$ ) عندما كانت قيمة ضغط المكثف تساوي ( $0.462bar$ ) وبما ان ( $X + g = 1$ ) وبالتالي تمكنا ان نحسب كمية الماء في البخار عند مدخل المكثف

حيث  $g_{12} - X_{12} = 1 - 0.9608 = 0.0392$  زادت هذه الكمية كلما خفضنا ضغط المكثف. اي ان كسر الجفاف قل بانخفاض ضغط المكثف كما هو مبين من خلال رسم قيم كسر الجفاف التي تم حسابها عند كل قيمة لضغط المكثف.

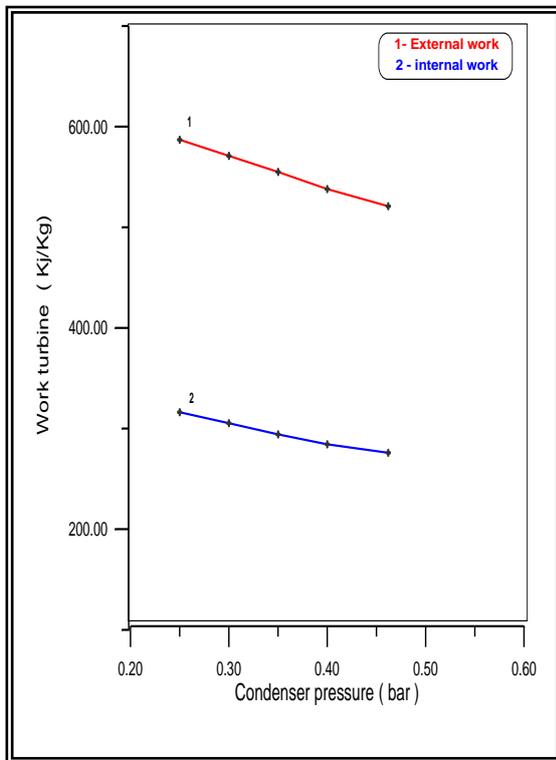
شكل رقم (9) يبين تأثير تخفيض ضغط المكثف على استثمار الطاقة الحرارية التي يحملها البخار وتحويلها الى شغل ميكانيكي في التورباين 0 حيث يوجد نوعان من الشغل :-

$$(1) - \text{ الشغل الداخلي } wi_T = \Delta i_{effT} = i_{11} - i_{12}$$

وهو العمل الداخلي للبخار في العنفة أي العمل الذي ينجزه البخار في العنفة عند الأخذ بالحسبان المفاقيد الداخلية فقط (مفاقيد الاحتكاك الداخلي) أي المفاقيد الناتجة عن احتكاكات تيارات البخار فيما بينها هذا



شكل (9) تأثير تخفيض ضغط المكثف على الشغل الداخلي والخارجي للتوربين



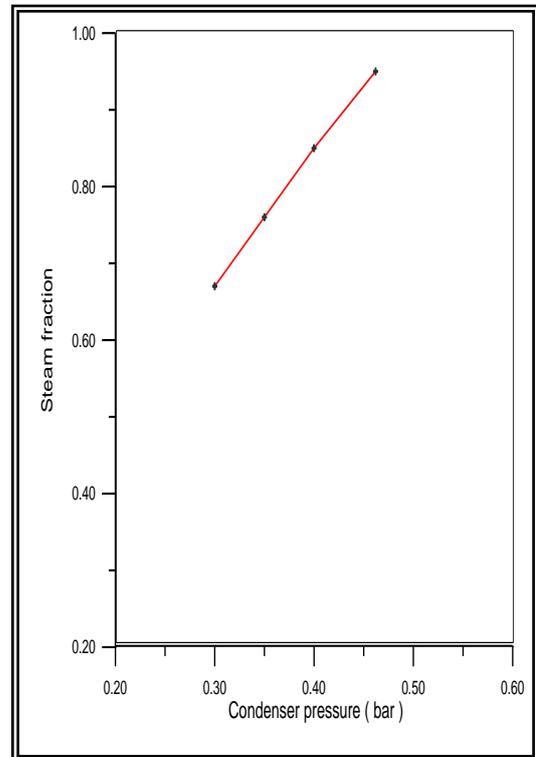
شكل (10) تأثير تخفيض ضغط المكثف على الكفاءة الداخلية والحرارية للتوربين

$$\left( \eta_t = \frac{w_o}{Q_{1r}} \right)$$

وهي نسبة الشغل الناتج من تحول الحرارة الى شغل في التوربين الى الطاقة الحرارية التي يحملها البخار اثناء دخوله التوربين وبما ان العمل الحقيقي المحسوب للمضخات هو  $(w_{ip} = w_{op} = 1)$  وهذه القيمة تطرح من الشغل الخارجي للتوربين لحساب المردود الحراري للمحطة وكان حساب هذا المردود يساوي  $\eta_t = 18.95\%$  عندما كان ضغط المكثف مثبت على قيمة  $0.462\text{bar}$  وزاد هذا المردود كلما قمنا بتخفيض ضغط المكثف وكذلك يوضح تأثير تخفيض ضغط المكثف على المردود (الكفاءة) الداخلية للمحطة البخارية حيث ان هذا المردود هو نسبة الشغل الداخلي المنتج في التوربين مطروحا منه الشغل الحقيقي للمضخات  $(w_{ip} = w_{op} = 1)$  الى قيمة الطاقة

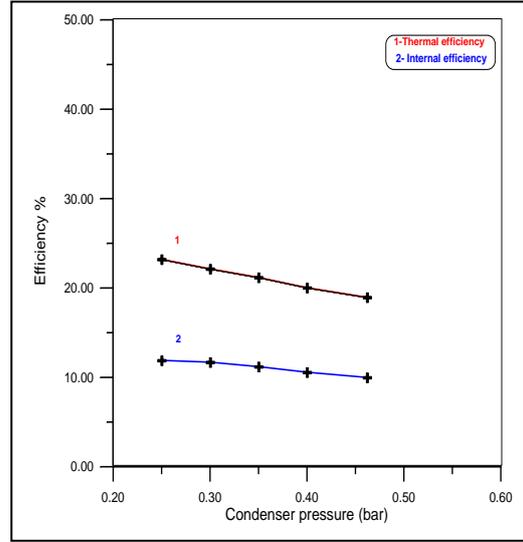
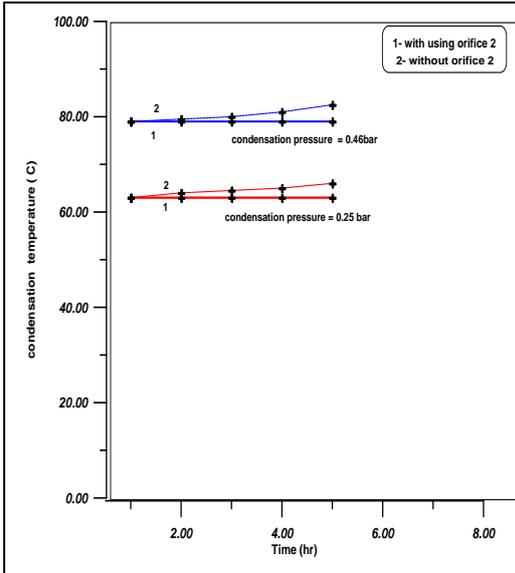
$$\left( \eta_i = \frac{w_i}{Q_{1r}} \right)$$

الحرارية للبخار حيث كانت الكفاءة الداخلية للمحطة تساوي  $\eta_i = 9.99\%$  عندما كان ضغط المكثف يساوي  $0.462\text{bar}$  وزادت هذه النسبة كلما تم تخفيض ضغط المكثف حيث حصلنا على أعلى قيمة عندما خفضنا الضغط الى  $0.25\text{bar}$ .



شكل (8) تأثير تخفيض ضغط المكثف على كسر الجفاف عند مدخل المكثف

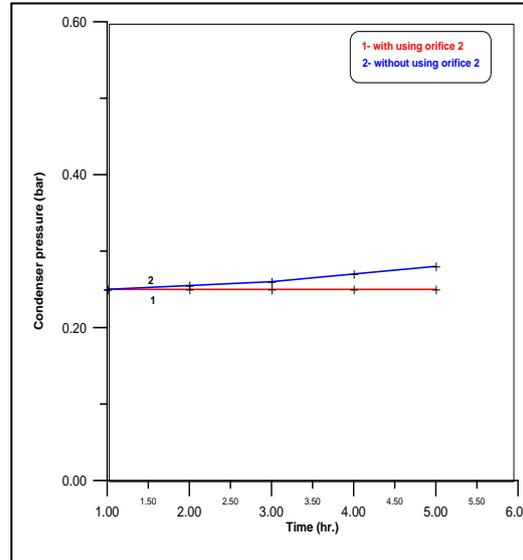
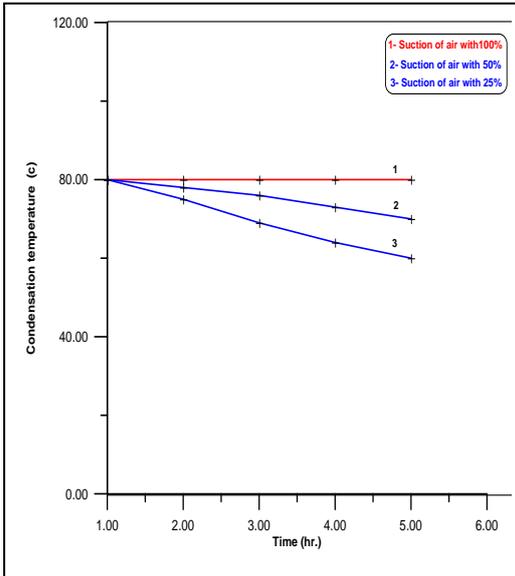
(الهواء الداخل مع البخار يساوي الخارج من الرقبة 2)  
وتقل كلما قلت عن هذه النسبة والسبب هو بقاء جزيئات  
الهواء وتراكمها في المكثف يقلل من كفاءة المكثف .  
وبناء على ذلك يجب أن تعمل هذه الرقبة بنسبة  
100% في سحب الهواء الداخل مع البخار للمحافظة  
على عدم ارتفاع ضغط المكثف مما يؤدي سلبي على  
أداء المحطة.



شكل (11) تأثير تخفيض ضغط المكثف على المردود الحراري والداخلي للمحطة البخارية

تأثيرات تزايد تراكم الهواء في المكثف  
الشكل رقم (12) يوضح تأثير فائدة الرقبة 2 على ثبات  
درجة حرارة التكتف عندما تعمل هذه الرقبة بكامل  
طاقتها بحيث تتحقق موازنة بين الهواء الداخل والهواء  
الخارج وإذا لم تتحقق فإن درجة حرارة التكتف تزداد  
مع الوقت وتزيد من ضغط المكثف مما يعكس ذلك  
سلبي على أداء المكثف.

شكل (13) تأثير استخدام الرقبة 2 في سحب الهواء على  
ضغط المكثف في المحطة البخارية ( Didacta-Italia )



شكل (12) تأثير استخدام الرقبة 2 على درجة حرارة التكتف  
عند تغير ضغط المكثف للمحطة البخارية

شكل (14) تأثير عملية التحكم في نسبة سحب الهواء  
باستخدام الرقبة 2 على كفاءة المكثف في المحطة البخارية  
( Didacta-Italia )

الاشكال رقم (13) و(14) يوضحان أثير فائدة الرقبة  
2 التي تم من خلالها التخلص من تراكم الهواء في  
المكثف نتيجة تخفيض ضغطه ونلاحظ إن كفاءة المكثف  
تبقى ثابتة عندما تعمل هذه الرقبة بنسبة 100%

## المصادر

- 1- Moran, M.J. and Shapiro H.N., "Fundamentals of Engineering Thermodynamics", John Wiley & Sons (Asia), 2000.
- 2- A.Kostyuk and V. Frolov, "Steam and Gas Turbines", 1988.
- 3- Skrotzi, B. G. A. and Vopat, W. A., "Power Station Engineering and Economy", New York: McGraw-Hill, 1960.
- 4- Drbal, L.F., "Power Plant Engineering", Black & Veatch (COR), 1996.
- 5- M. A. Habib and S. M. Zubair, "Second-Law-Based Thermodynamic Analysis of Regenerative-Reheat Rankine Cycle Power Plants", Energy, Vol. 17, No. 3, pp. 295-301, 1992.
- 6- A. Bejan, "Theory of Heat Transfer – Irreversible Power Plants", Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol. 31, No. 6, pp. 1211-1219, 1988.
- 7- Babcock & Wilcox, "Steam - Its Generations and Use", Babcock & Wilcox, London, 2005.
- 8- T.J. Kotas, "The Exergy Method of Thermal Plant Analysis", Butterworths, London, U.K, 1985.
- 9- El-Dessouky, H., T., A., Al-Haddad, A., Al-Juwayhel F., "A Analysis of Counter Flow Wet Cooling Towers", Journal of Heat Transfer, Vol.119
- 10- M.A. Habib, S.A.M. Said and Al-bagawi, "Thermodynamic Analysis the Ghazian Power Plan ", Energy, 20 (11), 1121 – 1130, 1995.
- 11- Wakil, M.M. "Power Plant Technology", McGraw-Hill, Singapore, 1984.
- 12- A. Smith, P.C. Few, "Second Law Analysis of an Experimental Domestic Scale Co-generation Plant Incorporating a Heat Pump", Applied Thermal Engineering, 21, 93-110, 2001.

## الاستنتاجات

- بعد النتائج التي تم الحصول عليها من خلال هذه الدراسة تم التوصل إلى الاستنتاجات التالية :-
1. تخفيض ضغط المكثف تنخفض معه قيمة المحتوى الحراري للبخار عند مخرج التوربين وبما إنه عند مدخل التوربين ثابتة ( يدخل البخار إلى التوربين بدرجة حرارة وضغط ثابتين) وهذا يعطي زيادة في الفرق بين المحتوى الحراري للبخار عند مدخل التوربين ومخرج التوربين مما ينتج زيادة في الشغل المنتج في التوربين .
  2. كفاءة المكثف تعتمد على درجة حرارة ماء التبريد حيث كلما قلت هذه الحرارة زادت كفاءة المكثف وعلى هذا الأساس فان كفاءة برج التبريد في الشتاء أعلى من كفاءته في الصيف مما يعني إن درجة حرارة ماء التبريد الخارجة منه إلى المكثف اقل وبالتالي تزداد كفاءة المكثف .
  3. تخفيض ضغط المكثف لا تغير من قيمة المردود الداخلي للتوربين لأنها صفة تصميمية .
  4. تخفيض ضغط المكثف يزيد من المردود الحراري والداخلي للمحطة البخارية بنسبة تعتمد على قيمة تخفيض ضغط المكثف .
  5. تخفيض ضغط المكثف يقلل من كسر الجفاف كمية البخار المشبع الجاف الموجود في 1 كغم من البخار المشبع وهذا يعني زيادة في كمية الماء الموجودة في البخار الخارج من التوربين إلى المكثف
  6. تخفيض ضغط المكثف يقلل من درجة حرارة التكتيف وهذا يزيد من كفاءة المكثف على تكتيف البخار وتحويله إلى ماء يعاد استعماله مرة ثانية .
  7. نسبة الغازات المتراكمة في مكثف هذه المحطة أثناء عملية التكاثف ضئيلة جدا والسبب هو عملية سحب بعض المزيج البخاري الهوائي عن طريق الرقبة 2 المجهز بها المكثف مما يساعد على بقاء المكثف يعمل بإنتاجية عمل عالية لفترات طويلة لأنه اذا شاب البخار نسبة من الهواء فان الهواء سييء تدريجيا إلى قدرة المكثف على تكتيف البخار وتسوء مع الزمن استطاعته التكتيفية ومن هذا نستنتج ضرورة التخلص من وجود الهواء في المكثف الذي يتراكم أثناء عملية التكاثف مما يشكل حاجز هوائي حول أنابيب التكاثف تمنع جزيئات البخار من التكاثف .
  8. وجود الغازات في المكثف يؤدي إلى زيادة ضغط المكثف مما يقلل من كفاءة التوربين والشغل المنتج بالإضافة إلى نمو ظاهرة التآكل في الأنابيب نتيجة وجود الأوكسجين في هذه الغازات المسببة للتآكل .