Journal of Alasmarya University: Applied Sciences
Vol. 10, No. 3, Sep 2025, 215-228

مجلة الجامعة الأسمرية: العلوم التطبيقية
المجلد 10، العدد 3، سبتمبر 2025، 215- 228

https://doi.org/10.59743/jau.v10i3.2195

مقارنة معامل أداء دورة التثليج الانضغاطة بدون مبادل حراري ومع مبادل حراري داخلي

إبراهيم مسعود أحمد*، علاء الدين محمد الضاوي، فوزي الهدار، أنور محمد حمدان، عمار محمد علي

قسم الهندسة الميكانيكية، المعهد العالي للعلوم والتقنية ترهونة، ليبيا

الملخص

الهدف من الدراسة تحليل ومقارنة تأثير استخدام المبادل الحراري لتحسين معامل أداء دورة التثليج الانضغاطية في الثلاجة المنزلية أولا تم إجراء التجربة بدون مبادل حراري وسجلت قراءات كلا من الضغط المنخفض والضغط العالي ودرجات الحرارة لكل من المكثف والمبخر والحصول على نتائج معامل أداء دورة التثليج وبعد ذلك تم تركيب المبادل الحراري بسريان معاكس بوضع الأنبوبة الشعرية في خط السحب الراجع من المبخر وتشغيل الثلاجة فترة زمنية حتى تم الحصول علي التثليج المطلوب في الحيز المجمد حيث سجلت قراءات كلا من الضغط المنخفض في المبخر والضغط العالي في المكثف ودرجات الحرارة في خط السائل المبرد تبريدا فائقا بعد خروجه من المبادل الحراري وقبل دخول المبخر وأيضا قراءة درجة حرارة البخار المحمص بعد خروجه من المبادل الحراري وقبل دخوله الضاغط حيث بينت النتائج انخفاض نسبة غاز التذرير إلى 8.8% إثناء عملية التمدد مما يؤكد ضمان دخول مائع التثليج بشكل سائل إلى المبخر وانخفاض شغل الضاغط وزيادة حمل التبريد و معامل أداء الدورة ولقد حققت هذه التجربة النتائج المطلوبة التي اثبت أهمية تأثير استخدام المبادل الحراري في تحسين معامل أداء دورة التثليج الانضغاطية وتقليل صرف الطاقة بنسبة 30%.

الكلمات المفتاحية: معامل الأداء، المبادل الحراري، الثلاجة المنزلية، مائع التثليج، المحتوى الحراري.

المقدمة (Introduction)

تعتبر دورة تثليج كارنو المعكوسة أكفا ثلاجة ممكنة بين أي درجتين للحرارة لأنها تتألف من سلسلة عمليات معكوسة تماما ولأيمكن في حقيقة الأمر أجراء جميع العمليات بصورة معكوسة في الدورات الحقيقية ولذلك تكون دورة كارنو مرجعا لمقارنة معامل أداء دورات التثليج الحقيقية. أي إن معامل أداء ثلاجة كارنو يعتمد على درجات الحرارة فقط إذا فرضت درجة الحرارة المطلوبة في المكان المثلج وفرضت درجة حرارة الهواء المحيط الذي تطرد إليه الحرارة وبهذا تم تحديد هاتين الدرجتين. وفي الواقع العملي إن

Corresponding author.* Email: ia33912019@gmail.com

ISSN: 2706-9524 (Print) ISSN: 2706-9532 (Online)

Received : 23 July 2025; Accepted :30 August 2025; Available online :07 October 2025

درجة حرارة مائع التثليج دائما تكون اقل من درجة حرارة الحيز المراد تبريده لكي تنتقل الحرارة من المكان المثلج إلى مائع التبريد وكذلك دائما تكون درجة حرارة المكثف أعلى من درجة حرارة الهواء المحيط لكي تنتقل الحرارة من مائع التبريد الساخن إلى الهواء المحيط وهذا يساعد الدورة على امتصاص وطرح الحرارة. بما إن دورة كارنو أكفا دورة ممكنة ولذلك يجب إن نحاول قدر الإمكان الحفاظ عليها في الدورات الحقيقية ولنفرض انه يمكن إجراء عمليتين الانضغاط والتمدد بانتروبي ثابت أما امتصاص الحرارة وطرحها بدرجة حرارة ثابتة فلا يتم إلا عند تغير حالة المائع داخل غلاف الحالة حيث يحصل فعل التثليج أو عملية امتصاص الحرارة بتغير حالة المائع من سائل مع قليل من البخار إلى حالة معظمها بخار مع قليل من السائل أي إن العملية عملية تبخير أو غليان بضغط ودرجة حرارة ثابتين إما طرح الحرارة فيتم بتكثيف البخار المشبع وتحوله إلى سائل مشبع بدرجة حرارة وضغط ثابتين معامل أداء الثلاجات يكون اعتياديا أكبر من واحد وكلما كان معامل الأداء أكبر كان أفضل وهناك بعض دورات التثليج التي تعمل بمعامل أداء اقل من واحد مثل الدورات الكهروحرارية ودورات أخرى إذ إنها بطبيعتها ليس لها كفاءة عالية مثل دورة التثليج الانضغاطية [1]. وكذلك تعرف الحرارة الكامنة بأنها الحرارة التي إذا أضيفت أو طرحت من المادة تحدث تغير في حالتها ولا يحدث تغير في درجة حرارتها[2]. يمكن تحسين معامل أداء دورة التثليج الانضغاطية بزيادة الحرارة الممتصة في المبخر لوحدة الكتلة مع ثبوت قدرة الضاغط وتقليل شغل الانضغاط مع ثبوت كمية الحرارة الممتصة, وتبريد سائل التثليج تبريدا فائقا وتحميص بخاره يحسن من أداء دورة التثليج الانضغاطية توجد عدة طرق تستخدم في تحسين أداء دورة التثليج الانضغاطية منها استخدام مبادل حراري وأيضا استخدام التمدد متعدد المراحل الذي بدوره يزيد من عملية التثليج وكذلك استخدام دورة انضغاطية مع غرفة فصل بخار وميضوتعمل هذه الدورة بطريقتين إزالة غاز الوميض والتثليج البيني ألوميضي وأخيرا تستخدم دورة مشبعة بسيطة مع مجمع أو مبرد متقدم [5-3].القانون الثاني للديناميكة الحرارية يصف الثلاجة هي عبارة عن محرك حراري يعمل بشكل انعكاسي لسحب الحرارة من المكان ذو درجة الحرارة المنخفضة وطرحها إلى المكان ذو درجة الحرارة المرتفعة[6]. يستخدم مائع التثليج R134aكبديل لمائع التثليج R12 للحفاظ على البيئة حسب اتفاقية مونتريال لعام 1987[7]. ويعتبر معامل الأداء مقياس لتقييم ومقارنة دورات التبريد الانضغاطية وإجراء عمليات تحسينها[8]. تهدف هذه الدراسة إلى تحسين أداء دورة التبريد الانضغاطية في الثلاجات المنزلية من خلال استخدام مبادل حراري داخلي من نوع "أنبوب داخل أنبوب". تم اختيار ثلاجة منزلية كنموذج تطبيقي للدراسة، حيث يُضاف المبادل الحراري بين خط الطرد الخارج من المكثف وخط السحب العائد من المبخر. يعمل المبادل الحراري على تحقيق هدفين رئيسيي :زيادة تبريد سائل التبريد الخارج من المكثف، مما يُحسن كفاءة التكثيف وزيادة تحميص بخار سائل التبريد العائد من المبخر، ما يُحسن

كفاءة عملية الانضغاط في الضاغط .تم تصميم المبادل الحراري بحيث يتدفق سائل التبريد وبخاره في اتجاهين متعاكسين داخل المبادل لتحقيق أقصى كفاءة لنقل الحرارة. بالإضافة إلى ذلك، تم تركيب الأنبوبة الشعرية داخل خط السحب العائد من المبخر لتحسين توزيع الضغط ورفع كفاءة الأداء. الهدف من هذه التجربة هو تعزيز كفاءة النظام الحراري، مما يؤدي إلى تحسين معامل الأداء (COP) للثلاجة وتقليل استهلاك الطاقة. تسلط الدراسة الضوء على كيفية تحسين الأداء الحراري باستخدام تقنيات بسيطة لكنها فعالة يمكن تطبيقها على الأجهزة المنزلية.

الدراسات السابقة (Literature Review)

اجر الباحثون دراسة تأثير استخدام المبادل الحراري الداخلي على معامل أداء دورة التبريد فوق الحرجة تعمل بمائع تثليج ثاني أكسيد الكربون مع استخدام جهاز تمدد تمت الدراسة بالتحليل النظري باستخدام القانون الأول والثاني للديناميكا الحرارية بدراسة العوامل المحتملة التي تؤثر على كفاءة النظام مثل ضغط الطرد ودرجة حرارة مخرج المكثف ودرجة حرارة المبخر والكفاءة الايزنتروبية لجهاز التمدد وفعالية المبادل الحراري الداخلي حيث أظهرت النتائج إن إضافة المبادل الحراري الداخلي في دورة التبريد التي تعمل بثاني أكسيد الكربون مائع تثليج مع جهاز تمدد تزيد من القدرة التبريدية وشغل الانضغاط وتقلل من ضغط الطرد وهدر الطاقة في جهاز التمدد وأيضا تزيد من قيمة معامل الأداء للدورة بنسبة 5.6% إلى 17% مع مائع تثليج ثاني أكسيد الكربون مقارنة بالدورة الأساسية [9], أيضا قام الباحث Jaroslaw Muller في عام 2016 بإجراء دراسة لتحسينكفاءة الطاقة لدورة التثليج تهدف الدراسة إلى تقييم تأثير استخدام المبادل الحراري الداخلي على الدورة من إجراء التجارب والتحليل النظري اعتمدت الدراسة على استخدام ومائع التثليج التالية R22 و R407سعة دورة التثليج كانت 10kw حيث أظهرت النتائج تحسين معامل كفاءة الطاقة بشكل جيد مع استخدام مائع تثليج R407 ولكن يظهر التحسين محدود مع استخدام R22 مع درجات حرارة تبخير منخفضة, أيضا أظهرت النتائج تقليل تحميص بخار مائع التثليج في مدخل الضاغط وزيادة التبريد الفائق لسائل مائع التثليج في صمام التمدد يعمل على زيادة تحسين كفاءة الدورة وأداء المبخر, لقد أظهرت الدراسة أهمية المبادل الحراري الداخلي في تحسين معامل أداء دورة التثليج مع استخدام موائع التثليج المناسبة[10], وفي عام 2023 قام الباحثون Maytham and (Yasser) بدراسة استخدام المبادل الحراري الداخلي لضمان دخول مائع التثليج إلى جهاز التمدد في الحالة السائلة اعتمدت الدراسة على منهجية البحث باستخدام برنامج ANSYS بالحاسوب لدراسة تأثير وفاعلية المبادل الحراري الداخلي على عملية انتقال الحرارة بين السائل القادم من المكثف والبخار الراجع من المبخر تم استخدام عدة أطوال للمبادل الحراري الداخلي (150 مليمتر و225 مليمتر و300 مليمتر)

وأيضا تم تغيير قطر الأنابيب إلى (6 مليمتر و4 مليمتر) تمت مقارنة تأثير الإبعاد المختلفة أطوال وأقطار الأنابيب على الأداء الحراري وأظهرت النتائج إن أفضل معامل أداء تحقق عند قطر 4 مليمتر وطول 300 ميليمتر للمبادل الحراري الداخلي[11].

حالة الدراسة (Case Study)

دورة التثليج الانضغاطية (الثلاجة المنزلية)بدون مبادل حراري ومع مبادل حراري داخلي

أولا إجراء التجربة على الثلاجة بدون مبادل حراري

تتكون دورة التثليج الانضغاطية من أربع أجزاء رئيسية وهي الضاغط والمكثف وصمام التمدد والمبخر كما مبينة في الشكل رقم (1) الصورة الفوتوغرافية للثلاجة المنزلية التي تم تصميمها لأجراء التجارب العملية المستخدمة في الدراسات والبحوث العلمية ويركب المبادل الحراري في اغلب دورات التثليج الانضغاطية الصغيرة بين سائل التثليج المشبع القادم من المكثف والبخار البارد المشبع الخارج من المبخر وبذلك يتم تبريد سائل التثليج الساخن تبريدا فائقا بينما يتحمص البخار المشبع البارد قبل دخوله للضاغط وتتم عملية انتقال الحرارة بضغط المبخر بالنسبة إلي بخار مائع التثليج البارد وبينما تتم بضغط المكثف بالنسبة إلي سائل مائع التثليج.

الشكل رقم (1) يبين صورة الثلاجة المنزلية التي اجرية عليها التجارب العملية

المكونات الأساسية لدورة التثليج الانضغاطية (الثلاجة المنزلية)

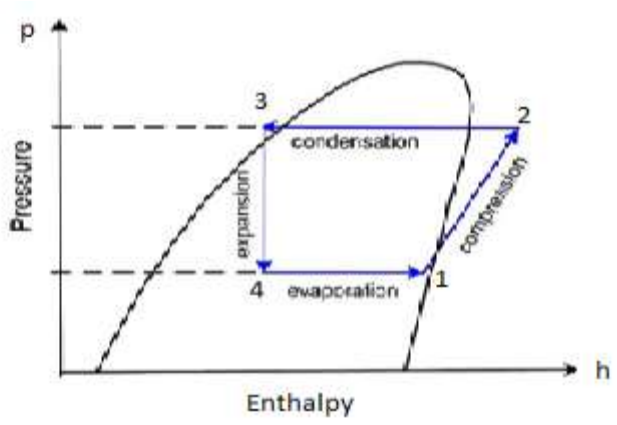
الضاغط المستخدم في الثلاجة هو نوع مغلق حيث يوضع الضاغط والمحرك الكهربائي على نفس العمود وفي غطاء واحد وهذه الطريقة تحد من استخدام مانع التسرب للعمود المرفق والذي يستخدم للضواغط المفتوحة لمنع تسرب غاز مائع التثليج ويعمل الضاغط بحركة ترددية أي انه ضاغط ترددي ويتميز عدم الضوضاء وصغر حجمه بسبب دمج أجزاءه ويتحرك المكبس داخل الاسطوانة وبه ذراع توصيل ليربط المكبس بالعمود المرفق لكي تتحول الحركة الدورانية المتحصل عليها من المحرك الكهربائي إلى حركة ترددية من اليمين إلى اليسار أو من أسفل إلى أعلى ويتحرك المكبس مشوارين الطرد والسحب عندما يدور عمود المرفق بدورة كاملة[3 ,1].

المكثف من النوع المبرد بالهواء ذو الحمل الطبيعي ويعتبر من ابسط أنواع المكثفات من الناحية التصميمية بحيث تكون الأنابيب على زعانف لكي تزيد من المساحة السطحية التي تساهم في زيادة انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي والإشعاع معا ويحتوي ملف الأنابيب على ممرات وفراغات تساعد على حركة الهواء حولها وتنظيف الأنابيب في عملية الصيانة ويدخل غاز مائع التثليج إلى المكثف في اغلب دورات التثليج من الأعلى إلى الأسفل للاستفادة من الجاذبية الأرضية ويعمل المكثف على طرح حرارة التحميص ثم طرح الحرارة الكامنة لكي يتكثف غاز مائع التثليج ويتحول إلى سائل والحرارة الكلية المطروحة من المكثف هي الحرارة التي قام بسحبها المبخر من وسط الثلاجة والحرارة الناتجة من الانضغاط.

صمام التمدد (الأنبوبة الشعرية) وهي عبارة عن أنبوب صغير القطر ويسمى بجهاز التمدد أو الخنق ويعمل على الفصل بين الضغط العالي في المكثف والضغط المنخفض في المبخر وتقوم بخفض ضغط سائل مائع التثليج الداخل إلى المبخر والتحكم في عملية تدفقه وغالبا ما تستخدم في دورات التثليج الصغيرة في كونه يؤمن كمية سائل مائع التثليج آليا بشكل صحيح على سبيل المثال إذا تم سريان سائل مائع التثليج بالكامل من المكثف بحيث يحل محله الغاز الساخن مما يزيد هبوط الضغط في الأنبوب ويقلل معدل سريان السائل إلى المبخر حتى تنتقل شحنة من الغاز إلى المكثف ثانية.المبخر وهو جهاز مهم في دورة التثليج في منطقة الضغط الواطئ حيث يصنف من النوع ألصفيحي الذي يصنع من رقائق الألمنيوم ويطبع على صفائح الألمنيوم بشكل أنابيب لسريان سائل مائع التثليج ويعتاد استخدامه في الوحدات الصغيرة كالثلاجات والمجمدات المنزلية ويعمل بالحمل الطبيعي في سحب الحرارة من الحيز المثلج وينقلها إلى سائل مائع التثليج الذي يتبخر داخل المبخر ويمتص الحرارة الكامنة للتبخر من المادة المراد تثليجها.

حسابات دورة التثليج الانضغاطية بدون مبادل حراري

نبدأ بتحليل وحسابات معالم أداء دورة التثليج الانضغاطية المثالية من المحتوى الحراري وحاصل التثليج وكمية الحرارة المطروحة والشغل المصروف ومعامل الأداء ومعدل التدفق الكتلي لمائع التثليج والكفاءة الحجمية مبينة على مخطط الضغط والمحتوى الحراري وباستخدام معادلة الطاقة للتدفق المستقر على العمليات الأربعة للدورة حيث يتم إهمال كلا من التغير في الطاقة الكامنة والتغير في طاقة الحركة باستخدام معادلة الطاقة لان التغير في كلاهما ضئيل جدا أو يكون صفرا, وتبقى المتغيرات المذكورة أعلاه في معادلة الطاقة للتدفق المستقر وكما مبين في الشكل رقم (2) على مخطط $p-h$ دورة التثليج الانضغاطية المثالية تجري عملية الانضغاط اديابانيا وعكوسيا أي إن الانتروبي يكون ثابتا والعملية معزولة حراريا ويتم حساب الشغل المصروف على الدورة بوحدات الكيلو جول لكل كيلوجرام من مائع التثليج ويحسب من المعادلة التالية[1,3,12].



الشكل رقم (2) يمثل دورة التثليج الانضغاطية البسيطة على مخطط p–h

$$w = h_2 - h_1 \qquad (1)$$

حيث: يمثل شغل الضاغط w , h_1 يمثل الانتالبي عند مدخل الضاغط, h_2 يمثل الانتالبي عند مخرج الضاغط

أما عملية التكثيف تتم بضغط ثابت وهو ضغط المكثف ولا يوجد بها شغل ويتحول فيها بخار مائع التثليج المحمص إلى بخار مشبع ثم يتكثف إلى سائل مشبع حيث تحسب كمية الحرارة المطروحة في المكثف بوحدات الكيلو جول لكل كيلوجرام من مائع التثليج وتحسب من المعادلة التالية[1,3,12]

$$q_c = h_2 - h_3 \qquad (2)$$

حيث: q_c تمثل الحرارة المطروحة من المكثف, h_3 تمثل الانتالبي عند مخرج المكثف عملية التمدد تكون اديباتيا أي انتقال الحرارة يساوي صفر ولا وجود لشغل وتتم في الأنبوبة الشعرية حيث تحدث هبوط في ضغط سائل مائع التثليج من ضغط المكثف إلى ضغط المبخر وتتم بمحتوى حراري ثابت[1,3,12].

$$h_3 = h_4 \tag{3}$$

حيث: h_4 تمثل الانتالبي عند مخرج صمام التمدد

وبعد ذلك تكون عملية التثليج في الدورة حيث يتبخر سائل مائع التثليج داخل المبخر ويسحب الحرارة من وسط الثلاجة ويكون ضغط المبخر ثابت إثناء العملية ودرجة حرارة المبخر ثابتة والشغل في هذه العملية يساوي صفرا بينما يكون حاصل التثليج بوحدات الكيلو جول لكل كيلوجرام وتحسب من المعادلة التالية[1,3,12].

$$q_e = h_1 - h_4 \tag{4}$$

حيث: q_e تمثل الحرارة الممتصة في المبخر

ومن خلال معرفة معالم وكميات الطاقة يسهل إيجاد معامل أداء دورة التثليج المثالية وهو عبارة عن حاصل التثليج مقسوم على الشغل المصروف ويحسب من المعادلة التالية[1-5,12].

$$c.o.p = \frac{q_e}{w} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \tag{5}$$

حيث: $c.o.p$ يمثل معامل أداء دورة التثليج

ولحساب نسبة غاز التذرير والتي تعرف بكسر الجفاف لبخار الماء في دورات القدرة البخارية لدراسة خواص الماء وبخاره, حيث يتم وضع اتزان حراري لسائل مائع التثليج عند الحالة أربعة الواقعة بين السائل المشبع والبخار المشبع ويكون المحتوى الحراري مساوي لمجموع المحتوى الحراري لجزء السائل المشبع والمحتوى الحراري لغاز التذرير من المعادلة التالية[1].

$$F = \frac{h_3 - h_{fg}}{h_1 - h_{fg}} \tag{6}$$

حيث: F نسبة غاز التذرير, h_{fg} يمثل الانتالبي للسائل المشبع والغاز

ومن أهم حسابات معالم دورة التثليج إيجاد معدل التدفق الكتلي لمائع التثليج في الدورة وذلك بتقسيم كمية حاصل التثليج الكلية المطلوبة من دورة التثليج بوحدات الكيلو وات على حاصل التثليج المتحصل عليه في دورة التبريد بوحدات الكيلو جول لكل كيلوجرام ويحسب من المعادلة التالية [1,12].

$$m=\frac{X}{h_1-h_4} \tag{7}$$

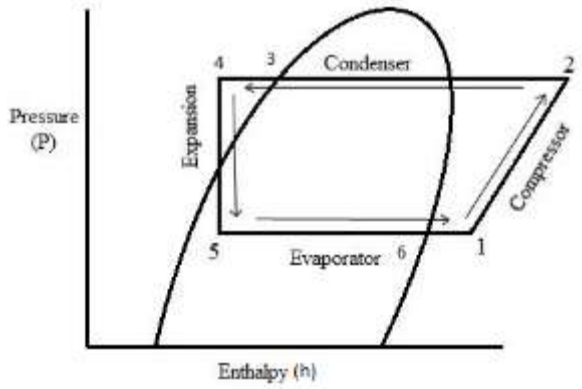
حيث: m تمثل معدل التدفق الكتلي, X يمثل كسر الجفاف

كذلك يمكن حساب كمية التدفق الكتلي بوحدات الكيلوجرام لكل ثانية في دورة التثليج بفرض إن كمية حاصل التثليج الكلية المطلوبة تساوي واحد كيلووات ويحسب من المعادلة التالية[1,12].

$$m=\frac{1}{h_1-h_4} \tag{8}$$

دورة التثليج الانضغاطية بإضافة مبادل حراري

الشكل التالي رقم (3) يوضح تمثيل دورة التثليج باستخدام مبادل حراري داخلي على مخطط الضغط والانثالبي ومن المتعارف عليه في بعض دورات التثليج الانضغاطية الصغيرة كثلاجة المنزلية والمجمدة يستخدم المبادل الحراري فيها بين خط السائل القادم من المكثف وخط البخار الراجع من المبخر ويعمل هذا المبادل الحراري على تبريد السائل المشبع تبريدا فائقا وتحميص البخار المشبع قبل دخوله الضاغط لضمان عدم احتواه على إي قطرات من السائل ويحدث اتزان حراري للمبادل الحراري بين منطقة تحميص البخار المشبع والتبريد الفائق للسائل كما بالمعادلة التالية[1,12].



الشكل رقم (3) يمثل دورة التثليج باستخدام مبادل حراري داخلي على مخطط p–h

$$h_3 - h_4 = h_1 - h_6 \quad (9)$$

وكذلك تحميص البخار لا يدخل في حساب حاصل التثليج عند استخدام المبادل الحراري كما بالمعادلة التالية[1,12].

$$q_e = h_6 - h_5 \quad (10)$$

وأيضا تبريد السائل لا يدخل في حساب الحرارة المطروحة في المكثف عند استخدام المبادل الحراري كما في المعادلة التالية [1,12].

$$q_c = h_2 - h_3 \quad (11)$$

حساب النسبة المئوية للطاقة المصروفة

اخذ النسبة المئوية بين الشغل المصروف في الثلاجة بدون مبادل حراري والشغل المصروف في الثلاجة مع المبادل الحراري

النتائج والمناقشة (Results and Discussion)

من خلال أجراء التجربة العملية لمقارنة معامل أداء دورة التثليج باستخدام المبادل الحراري الداخلي وبدون استخدامه تم أجراء القياسات لكل من متغيرات درجة الحرارة والضغط في كل من المكثف والمبخر والتي تم الاعتماد عليها في إيجاد الخواص الحرارية لمائع التثليج R134a مما سهل عملية تحليل كل من حمل

التبريد والشغل المصروف ومن خلال مقارنة النتائج لقد أظهرت فارق واضح في معامل أداء دورة التثليج بين استخدام المبادل الحراري الداخلي وبدون استخدامه نتيجة انخفاض شغل الضاغط وزيادة حمل التبريد وانخفاض نسبة غاز التذرير من 28.13% إلى 8.8% ولقد تبين زيادة معامل أداء الدورة وتقليل صرف الطاقة مما يحسن كفاءة الدورة مع استخدام المبادل الحراري الداخلي.

1- دورة التثليج بدون مبادل حراري

بأجراء التجربة العملية الأولى بدون استخدام مبادل حراري تم أخذ القياسات العملية لدرجات الحرارة والضغوط للنقاط على المبخر والمكثف والجدول رقم (1) يبين درجات الحرارة في كل نقطة هناك فرق في درجات حرارة المكثف في المدخل والمخرج نتيجة لطرح حرارة غاز الفريون المحمص القادم من الضاغط وتكثيفه إلى سائل مشبع ولكن ضغطه يبقى ثابت في المكثف إما في المبخر تبقى درجات الحرارة ثابتة بين مدخل المبخر والمخرج على خط البخار المشبع ومن خلال درجات الحرارة والضغوط تم التوجه إلى جداول ومخطط فريون R134a لكي تم الحصول على الخاصية الأكثر أهمية وهي الانثالبي والانتروبي.

الجدول رقم (1) يحتوي على الخواص الحرارية لمائع التثليج R134a

الحالة	درجة الحرارة T	الضغط p bar	الانثالبي h	الانتروبي s
	C°		kj/kg	kj/kgk
1	-18	1.5	387.89	1.73
2	55	7	425	1.73
3	26	7	235.9	
4	-18	1.5	235.9	

الجدول رقم (2) يبين النتائج المتحصل عليها من التجربة الأولى بدون استخدام مبادل حراري تم حساب معدل حمل التبريد بوحدات الكيلو وات ومعدل الحرارة المطرودة في المكثف بوحدات الكيلو وات ومعدل الشغل المصروف في الضاغط بوحدات الكيلو وات ومعامل أداء الدورة ومعدل التدفق الكتلي بوحدات الكيلو جرام لكل ثانية ارتفاع ملحوظ في نسبة غاز التدرير إثناء عملية التمدد.

الجدول رقم (2) يحتوي على النتائج المتحصل عليها من الدورة بدون مبادل حراري

حمل التبريد Q_e kw	الحرارة المطرودة من المكثف $kw\ Q_c$	شغل الضاغط W kw	معامل أداء الدورة COP	معدل التدفق الكتلي $\dot{m}\ kg/s$	نسبة غاز التذرير F
1	0.245	0.244	4	0.00658	28.13

1- دورة التثليج باستخدام المبادل الحراري الداخلي

إجراء التجربة العملية الثانية بإضافة المبادل الحراري الداخلي لدورة التثليج تم اخذ القياسات المطلوبة لدرجات الحرارة والضغوط وتغيرت الدورة إلى ستة نقاط بالنسبة للضغط له قيمتين فقط واحدة في المكثف والأخرى في المبخر إما درجات الحرارة مختلفة من نقطة إلى أخرى فقط ثبوت درجة الحرارة في مدخل ومخرج المبخر ما إن هناك اتزان حراري في المبادل الحراري مما حسن في تبريد درجة حرارة السائل المشبع في نهاية المكثف مما جعله سائل مبرد قبل دخول المبخر وأيضا تحميص البخار المشبع في نهاية المبخر تحول إلى بخار محمص خالي من إي قطرات من السائل قبل دخوله إلى الضاغط والجدول رقم (3) يبين درجات الحرارة والضغوط في كل نقطة على الدورة المقاسة عمليا وكما يبين الخواص الحرارية الأخرى منها خاصية الانثالبي والانتروبي المتحصل عليها من جداول ومخطط مائع تثليج R134a.

الجدول رقم (3) يحتوي على الخواص الحرارية لمائع التثليج R134a

الحالة	درجة الحرارة T C°	الضغط $p\ bar$	الانثالبي $kj/kg\ h$	الانتروبي $s\ kj/kgk$
1	5	1.5	405	1.78
2	55	7	440	1.78
3	26	7	235.9	
4	5	7	195	
5	−18	1.5	195	
6	−18	1.5	387.89	

النتائج المتحصل عليها بإضافة المبادل الحراري الداخلي كما مبينة في الجدول رقم (4) وهي معدل حمل التبريد ومعدل الحرارة المطرودة في المكثف ومعدل الشغل المصروف في الضاغط وتقاس بوحدات

الكيلو وات تظهر النتائج زيادة في حمل التبريد وانخفاض في شغل الضاغط وانخفاض في نسبة غاز التذرير إثناء عملية التمدد وهذا ساهم بشكل ملحوظ في زيادة معامل أداء الدورة مقارنتا بنتائج الدورة بدون استخدام المبادل الحراري.

الجدول رقم (4) يحتوي على النتائج المتحصل عليها باستخدام المبادل الحراري الداخلي

حمل التبريد Q_e kw	الحرارة المطروحة في المكثف $kw\ Q_c$	الشغل W kw	معامل أداء الدورة COP	معدل التدفق الكتلي $\dot{m}$ kg/s	نسبة غاز التذرير F
1.003	1.061	0.182	5.5	0.0052	8.8

الخلاصة (Conclusion)

تهدف هذه الدراسة إلى أهمية استخدام المبادل الحراري الداخلي في تحسين معامل أداء دورة التثليج ودمج هذه التقنية في أنظمة التبريد لتحقيق أداء أفضل وتقليل استهلاك الطاقة. تشير النتائج إلى أن استخدام المبادل الحراري الداخلي له تأثير كبير على كفاءة دورة التثليج. حيث أن المبادل الحراري يعمل على تحسين نقل الحرارة بين سائل مائع التثليج الخارج من المكثف وبخار مائع التثليج المشبع الخارج من المبخر، مما يؤدي إلى تقليل درجة حرارة سائل مائع التثليج قبل دخول المبخر وزيادة درجة حرارة وتحميص البخار قبل دخول الضاغط, وكذلك أظهرت النتائج انخفاض نسبة غاز التذرير إلى 8.8% والتي تؤكد ضمان دخول مائع التثليج للمبخر بشكل سائل مما يزيد من كمية الحرارة المسحوبة من الحيز المراد تثليجه بينما كانت بدون استخدام المبادل الحراري الداخلي تصل إلى 28.13% وأيضا استخدام المبادل الحراري الداخلي يقلل من استهلاك الطاقة بنسبة تصل إلى 30%، مما يجعله خيارًا مثاليًا في التطبيقات التي تتطلب كفاءة عالية. كما أن معامل الأداء المرتفع للنظام المزود بمبادل حراري يعكس فعالية التصميم في تحسين أداء دورة التثليج. من المهم أيضًا ملاحظة أن استخدام المبادل الحراري يمكن أن يؤثر على تكاليف التشغيل والصيانة. على الرغم من أن تكاليف التركيب الأولية قد تكون أعلى، إلا أن التوفير في استهلاك الطاقة على المدى الطويل يمكن أن يعوض هذه التكاليف.

المراجع

[1]الدكتور خالد احمد الجودي,(1986). مبادي هندسة تكييف الهواء والتثليج, وزارة التعليم العالي والبحث العلمي, جامعة البصرة, كلية الهندسة, الجمهورية العراقية, الطبعة الثانية.

[2] المهندس محمد عبد الرضا ألشمري,(2008) مبادئ هندسة تكييف الهواء, دار الإنس للنشر والتوزيع الحجاز–شارع مسلم البارودي, دمشق– سورية, الطبعة الأولى.

[3]المهندس محمد عبد الرضا ألشمري, (2008) مبادي هندسة التبريد,دار الأنس للنشر والتوزيع الحجاز–شارع مسلم البارودي, دمشق–سورية, الطبعة الأولى.

[4]تأليف الدكتور رويجدستات,(1961), ترجمة دكتور محمد يوسف عفيفي,(1971) مبادي التبريد, عالم الكتب للنشر والتوزيع, مصر.

[5]الدكتور موسى محمد موسى,(1997), دوائر التبريد, قسم هندسة القوى الميكانيكية. كلية الهندسة. جامعة المنوفية. شبين الكوم– مصر.

[6]عبد المنصف عبد الله بوزيد, فتح الله حمد بكار, عبد القادر عبد الدائم ألكريمي, (2024), تحليل مقاييس لدورة تبريد ضغط البخار باستخدام وبدون استخدام المبادل الحراري بواسطة موائع التبريد البديلة, المجلة الدولية للعلوم والتقنية, كلية العلوم والتقنية, درنة, ليبيا, العدد34, المجلد 1.

[7] الدكتور أيوب عيسى حسن, علاء احمد حمود, (2016), دراسة تجريبية وحسابية لتحسين عامل أداء دارة تبريد انضغاطية باستخدام مزائج من وسائط التبريد, مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية, كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية, سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (4).

[8] المهندس منير محمد الرقوبي, (2018) دراسة تأثير ارتفاع درجة الحرارة على معامل الأداء لدورة تبريد انضغاطية تبخيرية, مجلة ليبيا للعلوم التطبيقية والتقنية, كلية التقنية الهندسية جنزور– قسم الهندسة الميكانيكية والصناعية.

[9] Zhang, Z., Tian, L., Chen, Y., & Tong, L. (2014). Effect of an internal heat exchanger on performance of the transcritical carbon dioxide refrigeration cycle with an expander. Entropy, 16(11), 5919-5934.

[10] Muller, J. (2016). Energy efficiency improvement of the refrigeration cycle using an internal heat exchanger. *CzasopismoTechniczne*, *2016*(Środowisko 1-Ś (11) 2016), 105-115.

[11] Jasim, M. N., & Alaiwi, Y. (2023). Effect of Adding Heat Exchanger on the Refrigeration System Performance. Diyala Journal of Engineering Sciences, 1-15

[12] P. L. BALLANEY, (2002), Refrigeration and Air-conditioning, Khanna publishers

Comparison of the Coefficient of Performance of the Vapor Compression Refrigeration Cycle With and Without an Internal Heat Exchanger

Ibrahim Masoud Ahmed, Alaa Eldin Mohamed Aldaoui, Fawzi Alhaddar, Anwar Mohamed Hamdan, Ammar Mohamed Ali

Department of Mechanical Engineering, Higher Institute of Science and Technology Tarhuna, Libya

Abstract

This study aims to analyze and evaluate the impact of using a counter-flow heat exchanger on improving the coefficient of performance (COP) of the vapor-compression refrigeration cycle in household refrigerators. The experiment was conducted in two phases: the first without the use of a heat exchanger, during which the low and high pressure readings as well as the temperatures at both the condenser and evaporator were recorded, and the cycle's COP was calculated. In the second phase, a heat exchanger was installed by placing the capillary tube inside the suction line returning from the evaporator, and the system was operated until the desired freezing temperature in the freezer compartment was reached. Measurements were then taken of the pressures and temperatures after installing the heat exchanger, including the temperature of the sub cooled refrigerant liquid after exiting the heat exchanger and before entering the evaporator, and the temperature of the superheated vapor before entering the compressor. The results showed a reduction in the flash gas ratio to 8.8% during the expansion process, ensuring full liquid refrigerant entry into the evaporator, leading to reduced compressor work, increased cooling capacity, and improved cycle COP. The use of the heat exchanger also contributed to a 30% reduction in energy consumption, demonstrating the effectiveness of this approach in enhancing the efficiency of household refrigeration systems.

Keywords: Coefficient of Performance (COP), Heat Exchanger, Household Refrigerator, Refrigerant, Enthalpy.