

دراسة تجريبية وحسابية لتحسين عامل أداء دارة تبريد انضغاطية باستخدام مزائج من وسائط التبريد

الدكتور أيوب عيسى حسن *

علاء أحمد حمود **

(تاريخ الإيداع 28 / 3 / 2016. قُبِلَ للنشر في 31 / 8 / 2016)

□ ملخص □

تهدف هذه الدراسة إلى البحث بإمكانية استخدام مزائج من وسائط التبريد كبديل لوسيط التبريد R134a في دارة تبريد انضغاطية اختبارية مصممة للعمل على شحنة مقدارها 100 g من وسيط التبريد R134a دون إجراء تغيير أو تعديل في الدارة. المزيج الجديد الذي تم تشكيله لا يسبب أي ضرر لطبقة الأوزون وآمن للاستخدام ويتكون من (R134a)، البروبان (R290)، البوتان (R600)، تم استخدام ثلاث نماذج مختلفة من المزيج وتم مقارنة معامل الأداء (COP) وخواص أخرى مع وسيط التبريد R134a عند نفس الشروط وعند درجات حرارة تبخير مختلفة. أظهرت النتائج بأن المزيج M40 يظهر زيادة في معامل الأداء (COP) بمقدار 7.77% وزيادة في التأثير التبريدي بمقدار 30% وانخفاض في درجة حرارة التصريف من الضاغط بمقدار 3.2% وذلك مقارنة مع R134a. تدعم الدراسة إمكانية استخدام المزائج في دارات وسائط التبريد المصممة للعمل مع وسائط تبريد أحادية بدون الحاجة إلى إجراء أي تغيير في الدارة كما أنها تدعم إمكانية استخدام وسائط تبريد ذات مميزات ترموديناميكية ممتازة وصديقة للبيئة مثل البروبان والبوتان ولكن هناك تحذيرات من استخدامها بسبب قابليتها للاشتعال.

الكلمات المفتاحية: دارة تبريد انضغاطية، مزائج وسائط التبريد، R134a، البروبان، البوتان، التأثير التبريدي، درجة حرارة التصريف، معامل أداء الدارة (COP).

*أستاذ- قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
**طالب دراسات عليا (ماجستير)-قسم هندسة القوى الميكانيكية- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

Experimental and computational study for improving refrigeration vapor compression cycle performance by using refrigerant mixtures

Dr. Ayoub Issa Hassan*
Alaa Ahmad Hamoud **

(Received 28 / 3 / 2016. Accepted 31 / 8 / 2016)

□ ABSTRACT □

The aim of this study is investigate in using refrigerants mixtures as substitute to R134a in a testing compression refrigeration cycle designed to work with a mass of 100g of R134a without make changing or modification in the cycle. The new mixture that made it is ozone-friendly, safe for using and consists of R134a, propane R290, butane R600, we use three various types of this mixture and the coefficient of performance (COP) and other properties was compared with R134a on the same conditions and on different evaporation temperature. The results shows the refrigerant mixture (M40) has higher coefficient of performance (COP) than that of R134a by about 7.77% and increasing the refrigeration effect about 30% and decreasing the discharge temperature from compressor 3.2% compared with R134a.

This study support possibility of using refrigerant mixtures in refrigeration cycle that designed to work with pure refrigerant (single component) without making any change in the cycle also it support the possibility of using refrigerant that have an excellent thermodynamic properties and environmentally friendly like Propane and butane but there are some warning from using it because their flaming.

Keywords: Compression refrigeration cycle, Refrigerant mixtures, R134a, Propane, Butane, refrigeration effect, discharge temperature, coefficient of performance (COP)

*Professor, Department Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**Master Student, Department of mechanical power engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

يعتبر وسيط التبريد R134a البديل الأكثر استخداماً لوسيط التبريد R12 والذي مُنع إنتاجه واستخدامه في الصناعة وفقاً لبروتوكول مونتريال عام 1987 كونه ينتمي إلى وسائط التبريد الكلورفلوروكربونية (CFCs) الضارة بطبقة الأوزون، أظهرت الدراسات التجريبية على وسيط التبريد R134a بأن معامل أدائه ينخفض بنحو 15-2% بالمقارنة مع وسيط التبريد R12، كذلك فإن استخدام R134a يظهر زيادة في استهلاك الطاقة بنحو 10 إلى 15% بالمقارنة مع R12، بالإضافة إلى أنه يظهر نسبة ضغوط عالية وانخفاض في انتقال الحرارة عند درجات الحرارة المنخفضة وإن عملية استبدال وسيط التبريد R12 بـ R134a تحتاج إلى تعديل في نظام التبريد كزيادة في طول الأنبوبة الشعرية (صمام التمدد)، وزيادة في حجم الكنس في الضاغط swept volume بالإضافة إلى تغيير الزيت المعدني واستبداله بزيوت عضوية. [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7].

إنّ البحث عن وسائط التبريد بديله لوسيط التبريد R12 وتحقيق أداء عالي يقود إلى التفكير في استخدام مزيج من أكثر من وسيط تبريد، حيث أن هذه المزايج يتم تركيبها بحيث تتناسب خواص أو مميزات معينة، إن وسائط التبريد المفردة الداخلة في تركيب وسيط التبريد المزيج لا تملك ميزات فيزيائية متجانسة فهي لديها كثافات مختلفة، لزوجات مختلفة، بالإضافة إلى درجات حرارة تبخير وتكثيف مختلفة عند ضغط ما معين وهذا يزيد من صعوبة استخدامها، حيث درس العديد من الباحثين إمكانية تشكيل وسائط تبريد مزيجية من R134a مع وسائط تبريد هيدروفلوروكربونية أخرى HFC أو هيدروكربونية HC حيث أجرى كل من الباحثين [8] Tashtoush B.; Tahat M.; Shudeifat A في عام 2002 دراسة تجريبية على استبدال وسيط التبريد R12 في الثلاجات المنزلية وذلك باستخدام مزيج من وسائط التبريد الهيدروكربونية HC مع وسائط التبريد الهيدروفلوروكربونية HFC ودون تغيير في الزيت المعدني المستخدم في الضاغط حيث أظهرت الدراسة بأن مزيج R134a/R290/R600 حقق أفضل مميزات من ناحية COP، استهلاك الضاغط من الطاقة، الكفاءة الحجمية، ضغط التصريف للضاغط، كذلك أظهرت الدراسة بأن إضافة البوتان و البروبان إلى وسيط التبريد R134a تسمح باستخدام الزيت المعدني في الضاغط.

وفي عام 2004 درس الباحثون Renganarayanan S.; Sekhar J.; Lal M. [5] تجريبياً تحسين أداء براد منزلي يعمل بوسيط التبريد R23 وذلك باستخدام عدة مزايج مكونة من وسائط التبريد HC، R134a وأظهرت الدراسة بأن مزيج مكون من 91% R134a مع 9% HC هو بديل ممكن لوسيط التبريد R12، حيث أنه يخفض من استهلاك الطاقة بحدود 4.8 إلى 6.4% بالمقارنة مع R12 ويحسن عامل الأداء COP بنحو 3÷12%. أيضاً في عام 2004 درس الباحثون Lal M.; Kumar K.; Sekhar J. [6] تجريبياً مزيج صديق للبيئة مكون من HFC/HC في ثلاجة تعمل بوسيط التبريد R12 مع ضاغط من النوع المفتوح يستخدم الزيت المعدني للتبريد، حيث أظهرت الدراسة أن الثلاجة عملت بشكل جيد مع المزيج الجديد، وتحسن أداء الدارة بمقدار 9.5% بالمقارنة مع R12.

وفي عام 2010 درس الباحثون Almeida I.; Barbosa C; Fontes F [9] إمكانية استخدام مزايج وسائط التبريد الهيدروكربونية في أنظمة التبريد المنزلية التي تستخدم وسيط التبريد R134a، التحليل الحسابي- النظري تم حسابه من أجل وسيط التبريد R134a و R290 ومزيج من R290/R600a ومزيج من R290/R600a/R134a، وتم استخدام برنامج REFPROP من أجل حساب معاملات الاداء والخواص الترموديناميكية والحرارية، وتوصل الباحثون إلى أن استخدام الهيدروكربونات هو أمر جذاب للغاية حيث أنها تقلل من الشحنة التي تحتاجها الثلاجة

بمقدار 50% كذلك فإن الهيدروكربونات تخفض من درجات حرارة الطرد في الضاغط وبالتالي فهي تزيد من عمر التجهيزات وتزيد من معامل الأداء بمقدار 5% مقارنة مع R134a.

أخيراً في عام 2011 [10] درس الباحثون Lal M.; Ravikumr S. استخدام مزيج من HC، HFC في دارة تكييف سيارة وذلك باستخدام زيت معدني كزيت تزييت للضاغط كالمستعمل مع وسيط التبريد R12، حيث تم اختبار مزيج R134a/R290/R600a ووسيط التبريد R12 وذلك عند شروط متشابهة، حيث أظهرت الدراسة زيادة في عمل الضاغط في حالة استخدام المزيج وكذلك انخفاض في درجة حرارة التصريف للضاغط مع زيادة في استطاعة التبريد.

يقدم البحث الحالي طريقة جديدة لإنتاج مزيج جديد صديق للبيئة وآمن للاستخدام عبر تغيير النسب الوزنية لمكونات المزيج وكذلك تغيير الكتلة الوزنية الكلية لشحنة المزيج المستخدم وذلك بالاعتماد على وسائط تبريد هيدروفلوروكربونية ووسائط تبريد هيدروكربونية.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى دراسة إمكانية تحسين عامل أداء دارة تبريد تعمل بانضغاط البخار، وذلك باستخدام مزيج من وسائط التبريد الصديقة للبيئة، حيث يتم حساب عامل الأداء COP ومميزات أداء أخرى لنظام تبريد انضغاطي يتم تزويده بمزيج من وسائط التبريد التي يتم تغيير نسبها الوزنية بحيث نحصل على المزيج الذي يحقق الخواص الترموديناميكية المطلوبة وينتجة استخدامه نحصل على فعالية تبريد أكبر، تمت الدراسة التجريبية على دارة تبريد انضغاطية تعمل بوسيط التبريد R134a.

طرائق البحث ومواده:

تعتمد الكفاءة الترموديناميكية لدارات وسيط التبريد التي تعمل بانضغاط البخار بشكل رئيسي على درجات حرارة التشغيل، بالإضافة إلى أن أموراً أخرى عملية هامة مثل تصميم نظام التبريد، حجم تجهيزات النظام، تكلفة التشغيل والكلفة التأسيسية، سلامة التشغيل وموثوقيته، وإمكانية الاستخدام بسهولة وغير ذلك فإنها تعتمد بشكل رئيسي على نوع وسيط التبريد لذلك فإن إنتاج مزيج من وسائط التبريد تعتمد أولاً على اختيار وسائط التبريد الداخلة في تركيب المزيج.

1- اختيار وسائط التبريد الداخلة في تركيب المزيج:

بسبب العديد من الشروط البيئية مثل تآكل طبقة الأوزون والاحتباس الحراري العالمي وصلتهم بالعديد من وسائط التبريد المستخدمة حالياً مثل مركبات CFCs و HCFCs كذلك بسبب الأثر الاقتصادي المتعظم لتطبيقات التبريد (حوالي 300 مليون طن من البضائع المبردة بشكل دائم مع استهلاك كهربائي هائل و 100 بليون دولار في استثمار تجهيزات التبريد) فإن اختيار وسيط التبريد هو من أهم المسائل في وقتنا الراهن، حيث أن عملية استبدال وسائط التبريد الموجودة حالياً بوسيط تبريد جديد بالكامل قد يكون عملية مكلفة لأنها قد تسبب تغييرات عديدة في تصميم وصناعة أنظمة التبريد وبالتالي إن عملية اختيار وسيط التبريد من أجل أي نظام تبريد يتطلب مراعاة الأمور التالية:

- الخواص الفيزيائية والحرارية للوسيط مثل ضغط السحب suction pressure، درجة حرارة التصريف من الضاغط discharge temperature، ونسبة الانضغاط والحرارة الكامنة للتبخر.
- خواص الوسيط الترموديناميكية وخواص انتقال الحرارة.

- الخواص البيئية مثل تمتع وسيط التبريد المختار بقيم منخفضة من الضرر بطبقة الأوزون وقيم منخفضة من التسبب بالاحتباس الحراري بالإضافة إلى خواص الأمان كالتسمية وقابلية الاشتعال.

- المسألة الاقتصادية، حيث أن وسيط التبريد المستخدم يفضل أن يكون معقول الثمن ومتوفر.

بعد الأخذ بالحسبان الخواص السابقة تم اختيار وسائط التبريد التالية R134a، البروبان R290، البوتان R600، حيث أن وسيط التبريد R134a هو من وسائط التبريد الهيدروفلوروكربونية وهو صديق للبيئة على الرغم من أنه يساهم بشكل بسيط في الاحتباس الحراري وخواصه الفيزيائية والترموديناميكية جيدة وخواص إشباعه saturation temperature مطابقة بشكل كبير لوسيط التبريد R12 لذلك فهو يعتبر البديل الرئيسي له في أنظمة التبريد الحديثة كذلك فإنه متوفر ومعقول الثمن كما أن الدارة التجريبية المختارة لإنجاز البحث تعمل به.

أما وسائط التبريد الهيدروكربونية البروبان R290 والبوتان R600 فهي على الرغم من قابليتها للاشتعال فإنها تتمتع بخواص ترموديناميكية وحرارية جذابة للاستخدام حيث أن لديها حرارة كامنة للتبخر كبيرة وهي سوف ستؤدي إلى كفاءة عالية في حالة تساوي كافة الأمور الأخرى، بالإضافة إلى أنها مركبات طبيعية تتوافر بكثرة ورخيصة للغاية كذلك فهي لا تسبب أي ضرر لطبقة الأوزون ولا تساهم في ظاهرة الاحتباس الحراري وهي تخفض الشحنة المطلوبة لدارة التبريد بنحو $40 \div 50\%$. لقد استخدمت الهيدروكربونات بشكل واسع في تطبيقات التبريد قديماً إلا أن ظهور مركبات CFC الخاملة وغير قابلة للاشتعال قد أزاح النظر عنها، يعتمد الاستخدام الأوسع للهيدروكربونات على البوتان (R600،C4H10)، الإيزوبوتان (R600a،C4H12)، البروبان (R290،C3H8) والبروبيلين (R1270،C3H6)، ومزائج منها، يوجد بشكل عام الكثير من الاهتمام بهذه الموائع الطبيعية ليس من أجل الحفاظ على البيئة فقط ولكن هناك أهمية عظيمة بالنظر إلى الحاجة الكامنة لزيادة الكفاءة في استهلاك الطاقة ويظهر الجدول (1) خواص وسائط التبريد المستخدمة في البحث. [11] [12] [13] [14].

الجدول (1) خواص وسائط التبريد المستخدمة في التجربة

Butane	Propane	Tetrafluoroethane	وسيط التبريد
R600	R290	R134a	رمزه
C ₄ H ₁₀	C ₃ H ₈	CH ₂ FCF ₃	الصيغة الكيميائية
58.122	44.096	102.03	الكتلة المولية (g/mol)
272.66	231.04	247.08	نقطة الغليان @ 1atm (K)
134.9	85.53	169.8	نقطة التجمد (K)
425.1	369.9	374.2	درجة الحرارة الحرجة (K)
37.96	42.512	40.593	الضغط الحرج (bar)
0	0	0	ODP
8	3	1430	GWP
A3	A3	A1	خواص الأمان

ODP: القدرة على التأثير على طبقة الأوزون Ozone Depletion Potential (ODP) وتقاس درجة الضرر بالأوزون بالمقارنة بدرجة الضرر التي يحدثها وسيط التبريد R11 الذي يعطى درجة (1).

GWP: قابلية التأثير على المناخ البيئي (Global – Warming Potential (GWP) وتقاس درجة تسخين المناخ بالمقارنة بدرجة التسخين التي يحدثها ثاني أكسيد الكربون في مدة 100 عام. خواص الأمان: A1: غير قابل للاشتعال مع سمية قليلة. A3: قابلية اشتعال عالية مع سمية قليلة.

2-3 الدارة التجريبية:

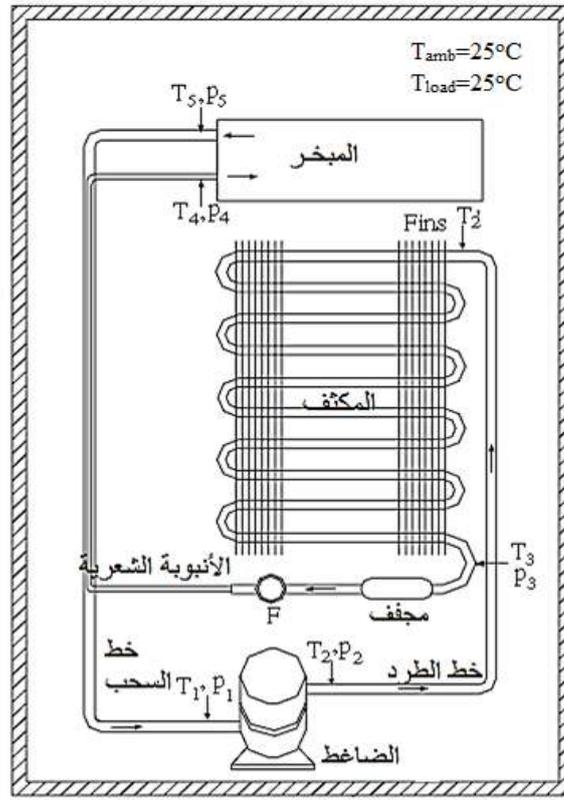
تم التجريب على دارة براد منزلي بمبخر واحد (باب واحد) تم تجميعها لإجراء تجارب مخبرية وقياسات ضمن مخابر التبريد والتكييف الموجودة في مدرسة منير ديب الصناعية في مدينة طرطوس الشكل (1)، وتتكون من مبخر وضغط ومكثف مع أنبوية شعيرية (صمام تمدد) وتم تثبيت مجفف (filter drier) قبل الأنبوية الشعيرية. عند تكثيف وسيط التبريد في المكثف يتم تمريره عبر المجفف إلى الأنبوية الشعيرية والتي هي ملتصقة مع خط الامتصاص للضاغط حيث تجري عملية تبادل حراري، ولدى هذه الدارة المواصفات التالية:

1. وسيط التبريد: R134a
2. شحنة وسيط التبريد: 100 g
3. الضاغط: من النوع الترددي محكم الإغلاق (Hermetic reciprocating) باستطاعة 1/8 hp = 93.21 W
4. زيت تزييت الضاغط: VG 22 (Polyol Ester) POE.
5. المكثف: مصنوع من أنابيب الفولاذ (steel) بقطر داخلي مقداره 4.76mm و قطر خارجي مقداره 6.18mm ومساحة تبادل حراري مع الوسط الخارجي مقدارها 0.724m² وضغط تشغيل اعظمي مقداره 40 bar.
6. المبخر: مصنوع من الألمنيوم بضغط تشغيل أعظمي مقداره 20 bar.
7. الأنبوية الشعيرية: مصنوعة من النحاس بطول 4 متر و قطر داخلي مقداره 0.78 مم و قطر خارجي 2 مم.
8. الجهد والتردد: 50 HZ / 220 V.
9. ترموستات حراري: ويتم التحكم من خلاله بدرجة الحرارة داخل حيز الثلجة (درجة التبريد) حيث يقوم بفصل التغذية الكهربائية عن الضاغط عندما تنخفض درجة الحرارة داخل حيز الثلجة إلى درجة الحرارة المطلوبة وهو مرقم بحسب درجة التبريد من 1 حتى 9 حيث الرقم 1 يشير إلى درجة تبريد عالية (أصغر درجة حرارة تبخير) في حين أن الرقم 9 يشير إلى درجة تبريد منخفضة (أعلى درجة حرارة تبخير).
10. المجفف Filter drier: ويقوم بتخليص الدارة من الرطوبة.



الشكل (1) دائرة التبريد المستخدمة في التجريب

يظهر في الشكل (2) الرسم التخطيطي لدائرة التبريد الاختبارية، حيث تم تثبيت مجموعة من حساسات درجة الحرارة الرقمية لقياس درجة الحرارة في النقاط التالية: درجة حرارة وسيط التبريد على مدخل ومخرج الضاغط T_1 ; T_2 ، درجة حرارة وسيط التبريد على مدخل ومخرج المكثف T_2 ; T_3 ، درجة حرارة وسيط التبريد على مدخل ومخرج المبخر T_4 ; T_5 ، بالإضافة إلى درجة حرارة الهواء ضمن حيز الثلجة T_{int} ، وتم استخدام مقاييس ضغط لقياس ضغط وسيط التبريد عند مدخل ومخرج الضاغط P_1 ; P_2 ، والضغط على مخرج المكثف P_3 وكذلك قياس الضغط عن مدخل ومخرج المبخر P_4 ; P_5 وتم استخدام مقياس تدفق لقياس تدفق وسيط التبريد المار في الدارة بمعدل جريان بين $(0.03-0.3)L/min$ تم تثبيته بين المكثف والأنبوبة الشعرية على خط السائل المشبع بالإضافة إلى مؤقت زمني لقياس الزمن اللازم لتغير درجة الحرارة ضمن حيز الثلجة الداخلي مع مقياس القدرة الكهربائية.



الشكل (2) رسم تخطيطي لدائرة التبريد

تم استخدام جهاز تكييف من أجل المحافظة على درجة حرارة ثابتة ضمن المخبر حيث أن التجارب أجريت خلال ربيع عام 2014 وتم ضبط درجة الحرارة ضمن المختبر (درجة حرارة المحيط ambient temperature) على T_{amb} على درجات حرارة مختلفة، أما الحمل الحراري الداخلي (حمل التبريد cooling load) فهو عبارة عن 8 ليتر ماء بدرجة حرارة T_{load} موضوعة في وعاء داخل حيز الثلاجة الداخلي.

مراحل إجراء التجارب:

- 1 شحن وسيط التبريد المراد اختباره في الدارة.
- 2 فتح باب الثلاجة لجعل درجة حرارة ضمن الثلاجة مطابقة لدرجة حرارة المخبر T_{amb} .
- 3 وضع وعاء الماء والذي يمثل الحمل الحراري الداخلي ودرجة حرارته T_{load} داخل الثلاجة وإغلاق بابها.
- 4 تشغيل الدارة وضبط مفتاح الترموستات الحراري على الرقم 9 (أصغر درجة تبريد) ثم ترك الدارة حتى يقوم الترموستات بفصل التغذية الكهربائية فيتم أخذ القياسات للضغط ودرجة الحرارة في كل نقطة من نقاط الدارة.
- 5 ضبط مفتاح الترموستات على درجة تبريد أكبر وهكذا حتى الرقم 1 (أكبر درجة تبريد) والذي يعني أخفض درجة حرارة لوسيط التبريد على مدخل المبخر ويتم تكرار أخذ القياسات للضغط ودرجة الحرارة وزمن التشغيل والتوقف للضاغط.
- 6 تسجيل النتائج ورسم المخططات البيانية.

7 تقياس تغير درجة حرارة الهواء ضمن حيز الثلجة مع الزمن انطلاقاً من درجة حرارة الوسيط المحيط، يتم إعادة إجراء التجربة عبر ضبط الترموستات على أخفض درجة تبريد (الدرجة 1) ومن ثم تشغيل الدارة بشكل متواصل وقياس تغير درجة الحرارة كل 15 دقيقة وتسجيل النتائج.

3-3 تحضير مزائج وسائط التبريد:

يمكن استخدام البروبان والبوتان كبديل لوسيط التبريد R134a بشكل مباشر في الثلجات المنزلية حيث ان خواص الإشباع لمزيج مكون من 50% بروبان و 50% بوتان تطابق بشكل كبير خواص الإشباع لوسيط التبريد R134a، لذلك فإن خواص أي مزيج من R134a مع البروبان والبوتان عند أي نسبة مزج ستكون مشابهة لوسيط التبريد R134a [8]، لقد حاولنا في هذا البحث تشكيل مزيج من R134a مع البروبان والبوتان بحيث يكون مشابهاً لخواص وسيط التبريد R134a وفي نفس الوقت يحسن معامل الأداء ولديه قابلية اشتعال منخفضة (آمن للاستخدام) وبالتالي فإن حدوث أي تسرب من هذا الوسيط لا يشكل أي خطر انفجار.

إن حدود الإشتعال تتراوح للبروبان بين حد أصغري مقداره 38g/m^3 وأعظمي مقداره 171g/m^3 في حين أنها للبروبان تتراوح بين 43g/m^3 وأعظمي مقداره 202g/m^3 وذلك عن درجة حرارة 25°C وضغط 1 bar، وبالتالي بشكل تقريبي فإن حد الإشتعال الأصغري لمزيج من 50% بروبان و 50% بوتان هي حوالي 40g/m^3 وهي الكمية القصوى التي استخدمت في تجاربنا (40g)، حيث أنه في حال حصول تسرب فإن الشحنة لن تسبب انفجار مع العلم أن حدوث الانفجار يتطلب عوامل أخرى كدرجة حرارة منبع الاشتعال تصل إلى 500°C وكذلك تبخر كامل للشحنة إلى الهواء وهي عوامل من الصعب داخل براد منزلي ومفتوح للوسط الخارجي، وفي حال أي تسرب خارج الدارة فإن حجم الغرفة الموجود فيها البراد حكماً ستكون أكبر من 1m^3 ولن يكون هناك أي خطر للإشتعال حتى في حال وجود منبع اشتعال مباشر وسنضيف للمزيج وسيط التبريد R134a بكميات وزنية مختلفة بحيث نحصل على الشحنة المطلوبة.

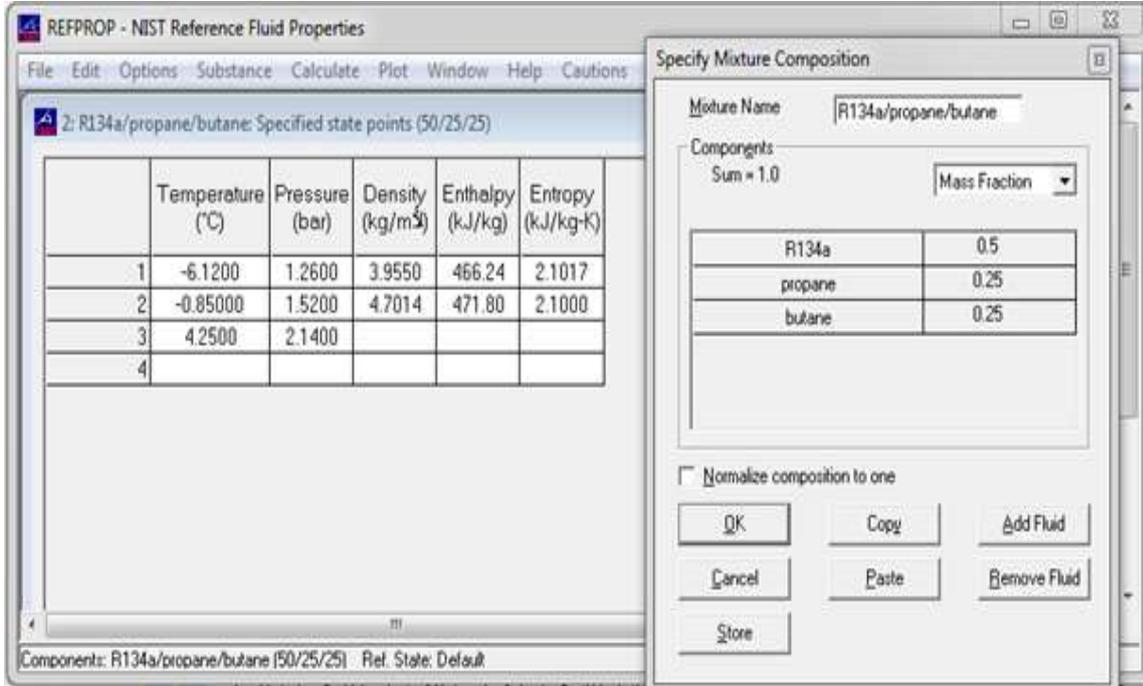
سنرمز للمزيج الجديد (Mixture) في هذه التجربة المكون من R134a/propane/butane بـ (M) حيث أن M تشير إلى المزيج ويوضع على يسارها رقم يشير إلى الكمية الوزنية لـ R134a المستخدمة في التجربة، على اعتبار ان كمية وسائط التبريد الهيدروكربونية هي ثابتة كما يظهر في الجدول (2).

الجدول (2) التركيب الكتلي والمولي لمكونات المزائج المستخدمة في الاختبار مع R134a

رمز المزيج	التركيب المولي بالنسبة المئوية (%) R134a/R290/R600	التركيب الكتلي بالنسبة المئوية (%) R134a/R290/R600	الكتلة الكلية بالغم (g) R134a/R290/R600	
M30	26.94/41.54/31.52	42.858/28.571/28.571	(70g) 30/20/20	1
M40	32.96/38.12/28.92	50/25/25	(80g) 40/20/20	2
M50	38.06/35.22/26.72	56.22/ 22.22 / 22.22	(90g) 50/20/20	3
R134a	100 / 0 / 0	100/ 0 /0	(100g) 100/ 0 / 0	4

4-3 الحسابات:

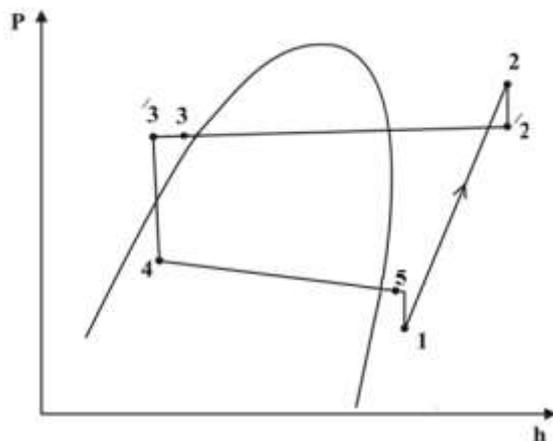
إن عملية حساب مزائج وسائط التبريد تحتاج إلى كم كبير من معادلات الحالة بالإضافة إلى معرفة التغير الطوري لـ السائل - البخار للمزيج عند مختلف درجات الحرارة والضغط حيث أن مزائج R134a مع HC لا تسلك سلوك مكون مفرد خلال عملية الغليان والتبخير ويحدث تغيير في نسبة السائل والبخار لكل مكون بحسب درجات الحرارة والضغط حيث أن كل مكون لديه درجات حرارة تبخير وتكثيف مختلفة، لذلك سوف نستعين في البحث ببرنامج حسابي REFPROP مصمم من قبل المعهد الوطني للمعايير والتكنولوجيا في الولايات المتحدة الأمريكية، يعتمد هذا البرنامج على عدة معادلات للحالة وعلى قواعد مزج تختلف بحسب اختلاف طبيعة المكونات الداخلة في تركيب المزيج وعلى درجات الحرارة والضغط، حيث ان حساب المزائج في برنامج REFPROP يحتاج فقط إلى تزويده بتركيب المزيج الكتلي أو المولي وإلى درجات الحرارة والضغط الناتجة عن التجارب وسنحصل على قيم الانتالبي h وعلى قيم الإنتروبي S الموافق لكل نقطة بالإضافة إلى إمكانية حساب الكثافة الموافقة كما يظهر في الشكل (3).



الشكل (3) استخدام برنامج REFPROP لحساب المزائج

5-3 التحليل الترموديناميكي:

إن عملية قياس درجة الحرارة، الضغط، التدفق الحجمي لوسيط التبريد R134a والمزائج بالإضافة إلى تغير درجة حرارة حيز المبخر الداخلي مع الزمن تستخدم من أجل تحديد مميزات الأداء لدارة التبريد، حيث تم حساب كل من نسبة الانضغاط، التأثير التبريدي (q_{eva})، عمل الضاغط لكل (كغ) من وسيط التبريد (w_{oom})، معامل الأداء (COP) وذلك بالاستعانة بمخطط P-h كما في الشكل (4).



الشكل (4) مخطط P-h لدارة تبريد

تعطى نسبة الانضغاط بالعلاقة التالية:

$$PR = \frac{P_2}{P_1} \quad (1)$$

حيث أن P_2 : هي الضغط على مخرج الضاغط ; P_1 : الضغط على مدخل الضاغط.

$$q_{eva} = (h_4 - h_5) \quad (2) \text{ : (} q_{eva} \text{) التأثير التبريدي}$$

$$w_{com} = h_2 - h_1 \quad (3) \text{ : (KJ/kg) عمل الضاغط}$$

وعامل أداء الدارة (COP) يمكن حسابه من العلاقة (4):

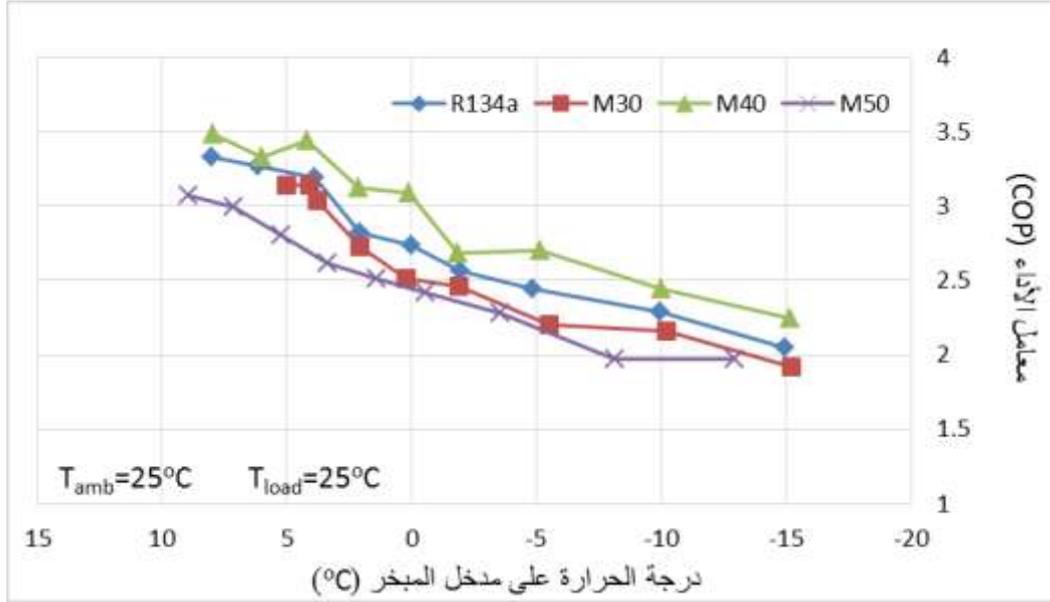
$$COP = \frac{q_{eva} \text{ التأثير التبريدي}}{w_{com} \text{ عمل الضاغط}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

النتائج والمناقشة:

تم تصميم الدارة للعمل على شحنة مقدارها 100 غرام من وسيط التبريد R134a، حيث تم إجراء اختبار على هذا الوسيط وتسجيل القياسات، ومن ثم شحن الدارة بعينات مختلفة من مزيج من R134a مع البروبان والبوتان وتسجيل القياسات، ولاحقاً يجري حساب عمل الضاغط w_{com} ، وكذلك التأثير التبريدي q_{eva} ومعامل الأداء COP وذلك عند ظروف متشابهة ومقارنة النتائج.

1- معامل الأداء

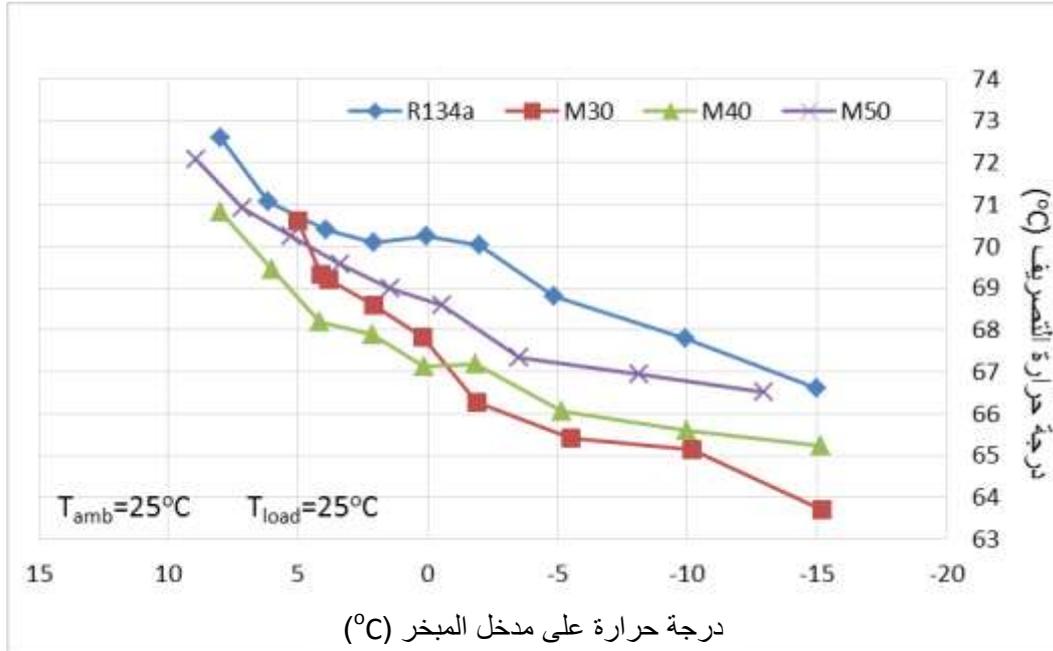
يظهر الشكل (5) تغير معامل الأداء COP كتابع لدرجة الحرارة على مدخل المبخر، حيث يظهر المخطط بأن مزيج M40 يظهر زيادة في معامل ال COP بمعدل 7.77 % بالمقارنة مع وسيط التبريد R134a في حين أن مزيج M30، M50 يظهر انخفاضاً في معامل ال COP بالمقارنة مع وسيط التبريد R134a، ويظهر المخطط أيضاً انخفاضاً في معامل ال COP مع انخفاض درجة الحرارة على مدخل المبخر.



الشكل (5) تغير معامل الأداء COP تبعاً لدرجة الحرارة على مدخل المبخر لوسيط التبريد R134a والمزائج.

2- درجة حرارة التصريف (التفريغ)

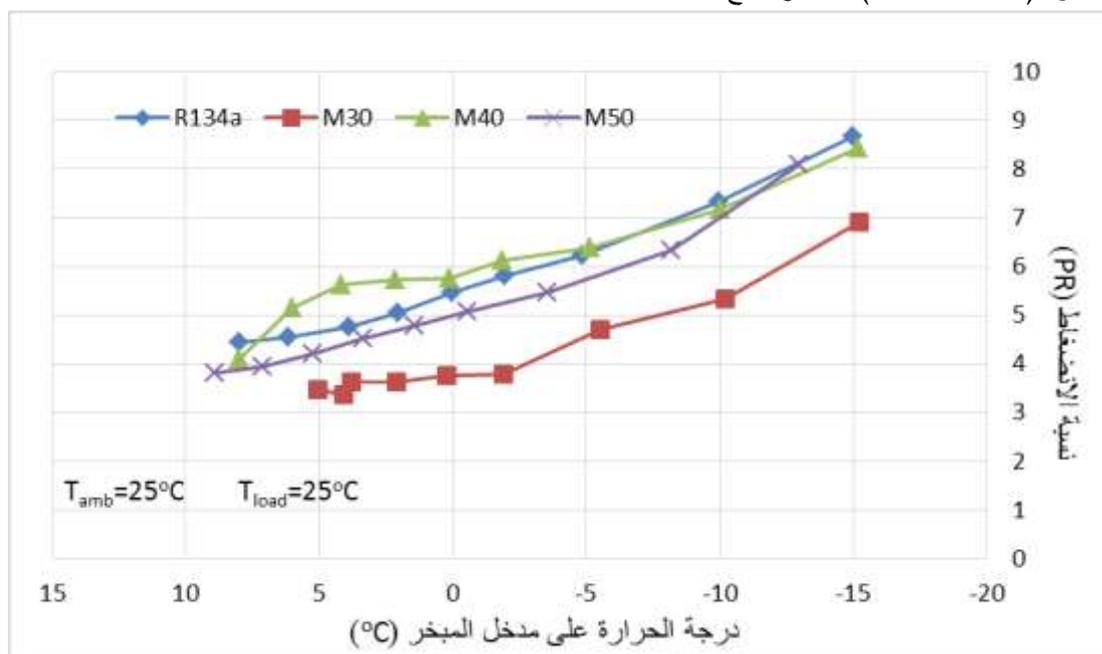
يظهر الشكل (6) تغير درجة حرارة وسيط التبريد عند مخرج الضاغط (درجة حرارة التصريف) كتابع لدرجة حرارة المبخر لوسائط التبريد السابقة، يتبين من الشكل إن وسيط التبريد R134a لديه أعلى درجة حرارة تصريف في حين أن وسيط التبريد المزيجة M30 يملك أصغر درجة حرارة تصريف عند درجات حرارة أقل من الصفر على مدخل المبخر حيث يظهر انخفاضاً بمقدار 3.5% مقارنة مع R134a، في حين أن وسيط التبريد المزيج M40 يظهر انخفاضاً في درجة حرارة التصريف بمقدار يقارب 3.2% بالمقارنة مع وسيط التبريد R134a.



الشكل (6) تغير درجة حرارة التصريف تبعاً لدرجة الحرارة على مدخل المبخر لوسيط التبريد R134a والمزائج.

3- نسبة الانضغاط

يظهر الشكل (7) تغير نسبة الانضغاط في الضاغط كتابع لدرجة حرارة المبخر لوسيط التبريد R134a والمزائج M30، M40، M50 حيث يظهر هنا المخطط بأن نسبة رفع الضغط تزداد مع انخفاض درجة حرارة المبخر، ويظهر المخطط أيضاً التقارب في هذه النسبة لوسيط التبريد R134a والمزائج M40، M50 عند درجات حرارة مبخر أقل من -5°C في حين أن المزيج M30 يظهر انخفاض في نسبة رفع الضغط بالمقارنة مع باقي الوسائط حيث إنه ينخفض بحدود $(20.5 \div 31.54)\%$ مقارنة مع R134a.



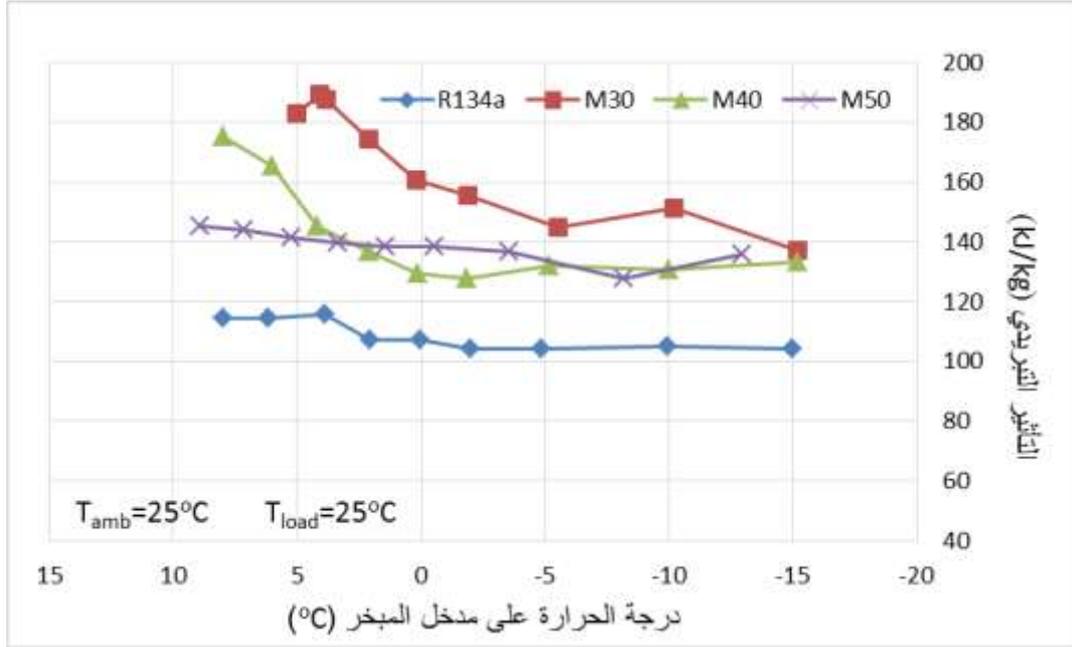
الشكل (7) تغير نسبة الانضغاط تبعاً لدرجة الحرارة على مدخل المبخر لوسيط التبريد R134a والمزائج.

4- التأثير التبريدي

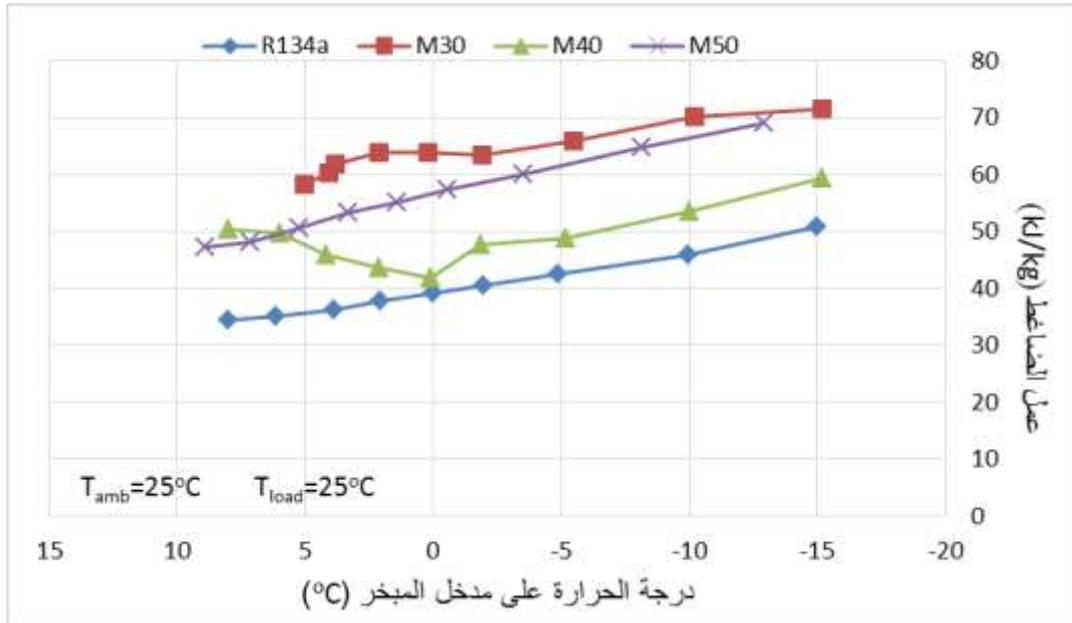
يظهر الشكل (8) تغير التأثير التبريدي للمبخر كتابع لدرجة حرارة المبخر، ويظهر المخطط بأن التأثير التبريدي للمزائج هو أعلى منه لوسيط التبريد R134a حيث أن المزيج M30 يظهر الزيادة الأكبر في التأثير التبريدي في حين أن مزائج M40، M50 تظهران زيادة أقل في التأثير التبريدي مقارنة مع وسيط التبريد R134a وتظهر المزائج زيادة في التأثير التبريدي بحدود 28-30% مقارنة مع R134a.

5- عمل الضاغط

يظهر الشكل (9) العمل النوعي للضاغط كتابع لدرجة حرارة المبخر ويتبين من المخطط أن مزائج وسائط التبريد M30، M40، M50 تسبب زيادة في العمل النوعي للضاغط مقارنة مع وسيط التبريد R134a ويظهر المزيج M40 زيادة في العمل النوعي للضاغط بحدود 22.2%، ويظهر المخطط أيضاً زيادة في العمل النوعي للضاغط مع انخفاض درجة حرارة المبخر.



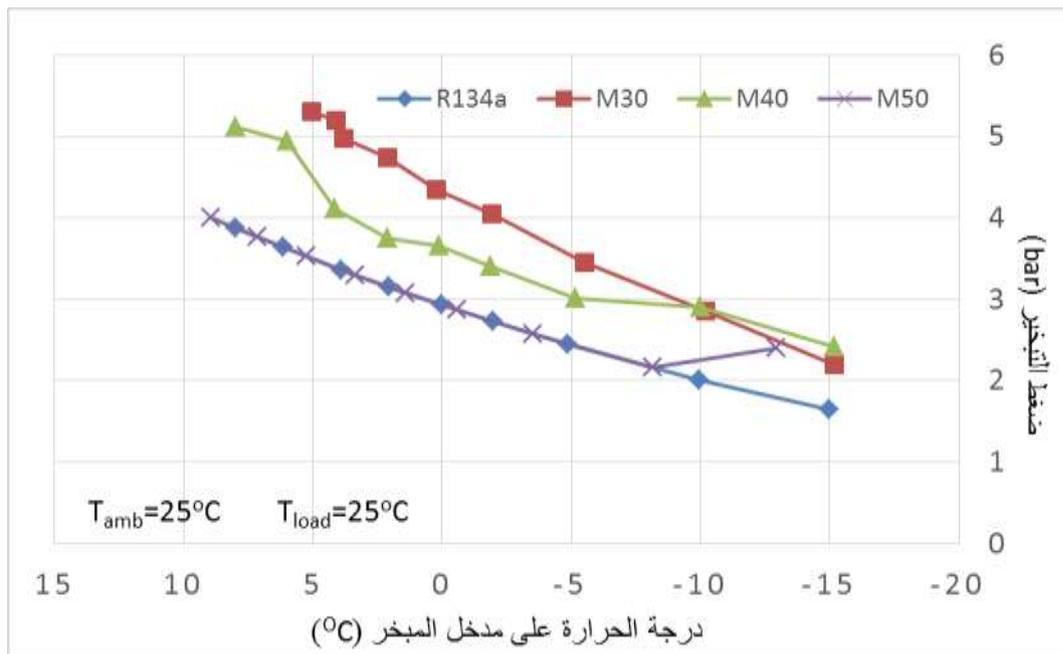
الشكل (8) تغير التأثير التبريدي تبعاً لدرجة الحرارة على مدخل المبخر لوسيط التبريد R134a والمزائج.



الشكل (9) تغير عمل الضاغط تبعاً لدرجة الحرارة على مدخل المبخر لوسيط التبريد R134a والمزائج.

6- ضغط التبخير

يظهر الشكل (10) تغير ضغط التبخير مقارنة مع درجة حرارة المبخر، ويبين المخطط انخفاض ضغط التبخير مع انخفاض درجة حرارة وسيط التبريد على مدخل المبخر كذلك يظهر المخطط بأن مزائج وسيط التبخير تتمتع بضغط تبخير أعلى من ضغط التبخير لوسيط التبريد R134a وتكون بحدود 9.42% للمزيج M50 و30% للمزيج M40، ويوجد تطابق تقريباً بين المزيج M50 و R134a.

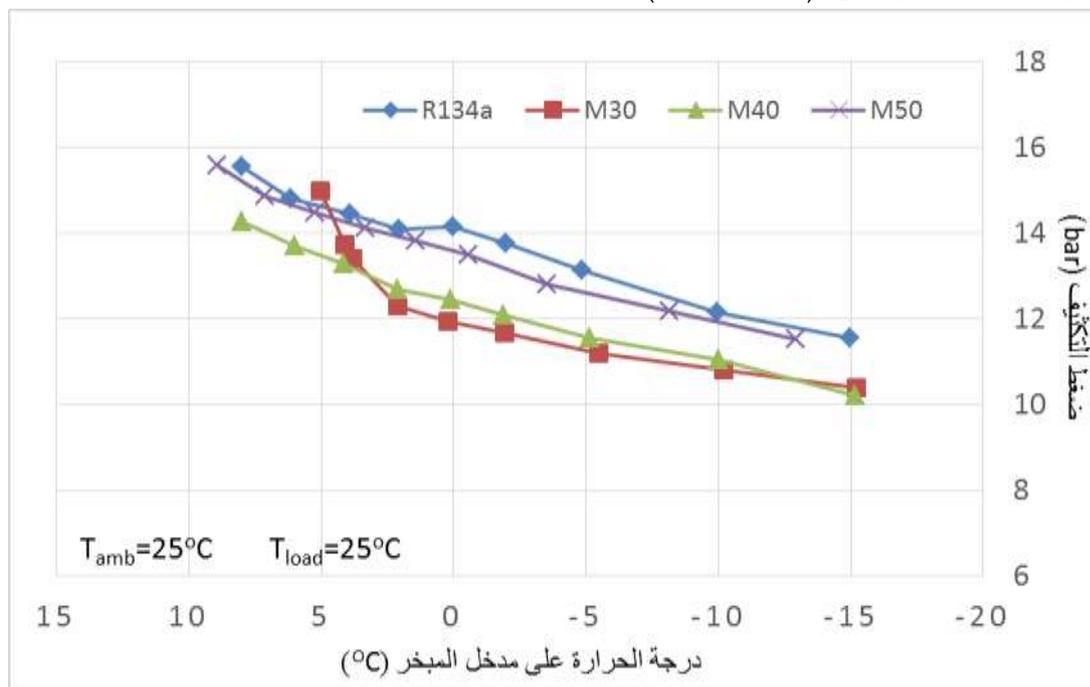


الشكل (10) تغير ضغط التبخر تبعاً لدرجة الحرارة على مدخل المبخر لوسيط التبريد R134a والمزائج.

7- ضغط التكثيف

يظهر الشكل (11) تغير ضغط التكثيف تبعاً لدرجة حرارة المبخر، ويبين المخطط انخفاضاً في ضغط التكثيف

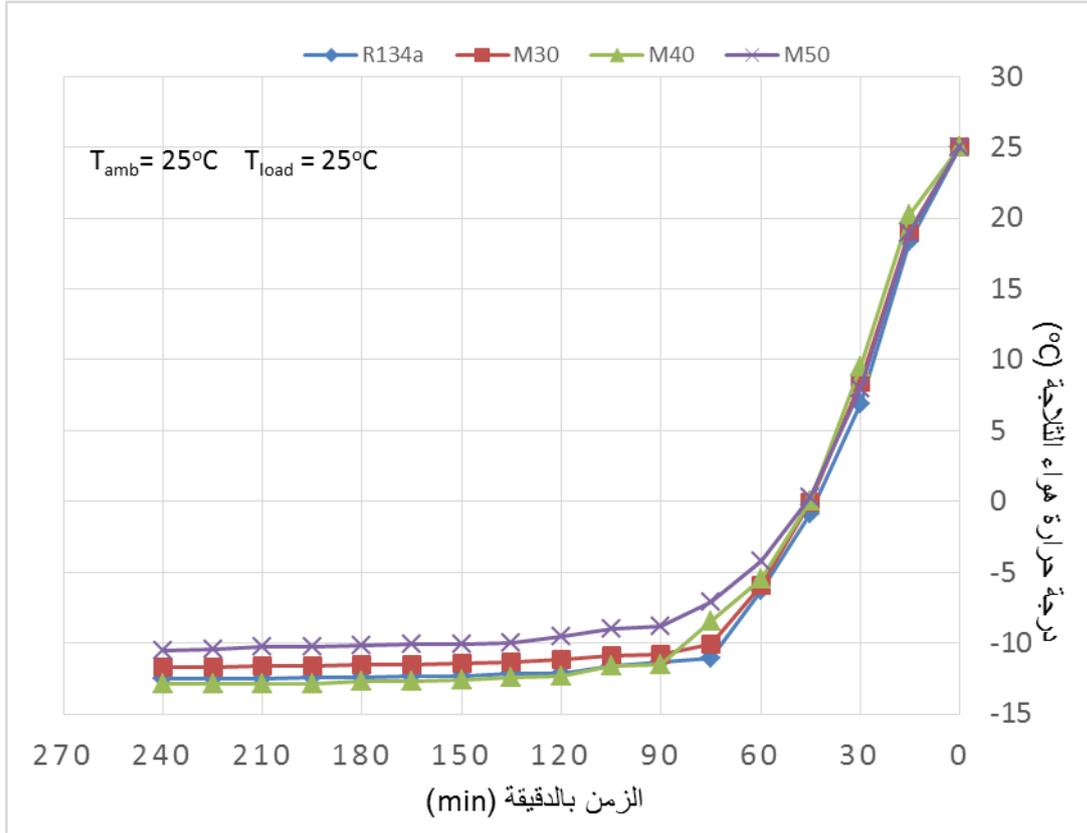
مع انخفاض درجة حرارة المبخر، ويظهر المخطط أيضاً انخفاض ضغط التكثيف لمزائج وسيط التبريد عن وسيط التبريد R134a، حيث يظهر المزيج M30 انخفاضاً في ضغط التكثيف بحدود ($3.74 \div 15.5\%$) في حين أن M40 يظهر انخفاضاً بمقدار بحدود ($7.5 \div 12\%$).



الشكل (11) تغير ضغط التكثيف تبعاً لدرجة حرارة على مدخل المبخر لوسيط التبريد R134a والمزائج.

8- درجة حرارة هواء الثلاجة

يظهر الشكل (12) تغير درجة الحرارة داخل حيز الثلاجة كتابع للزمن، حيث تم قياس درجة الحرارة داخل حيز الثلاجة كل 15 دقيقة وتسجيل النتائج وذلك بعد تعيين مفتاح الترموستات على درجة تبريد عالية (مؤشر الترموستات على الرقم 1)، ويظهر المخطط بأن سرعة انخفاض درجة حرارة الهواء هي أكبر لوسيط التبريد R134a بالمقارنة مع المزائج في حين يظهر مزيج M40 أخفض درجة حرارة هواء داخل حيز الثلاجة.



الشكل (12) تغير درجة حرارة حيز الثلاجة تبعاً للزمن لوسيط التبريد R134a والمزائج.

الاستنتاجات والتوصيات

تم في هذا البحث دراسة إمكانية زيادة معامل أداء دارة تبريد انضغاطية تعمل بشحنة مقدارها 100 g من وسيط التبريد R134a وذلك باستخدام مزائج من وسائط التبريد الهيدروفلوروكربونية والهيدروكربونية بدون إجراء أي تعديل أو تغيير في الدارة وقد أظهرت الدراسة النتائج التالية وذلك من أجل درجة حرارة محيط $T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$ ومن أجل درجة حرارة ماء حمل التبريد $T_{load} = 25^{\circ}\text{C}$:

إمكانية استخدام مزيج M40 (50%R134a ; 25%R290 ; 25% R600) كبديل لوسيط التبريد R134a في البرادات المنزلية حيث يظهر زيادة في معامل الأداء COP. تظهر المزائج المدروسة HC/HFC زيادة في التأثير التبريدي وزيادة في العمل النوعي للضاغط مقارنة بـ R134a.

لا تسبب المزائج المدروسة HC/HFC أي ضرر لطبقة الأوزون وتساهم بشكل بسيط في الاحتباس الحراري لوجود R134a في تركيبها.

تتمتع المزائج الجديدة المدروسة بضغط تبخير أعلى بالمقارنة مع وسيط التبريد R134a في حين أنها تظهر انخفاضاً في ضغط التكثيف بالمقارنة مع وسيط التبريد R134a.

تظهر المزائج الجديدة المدروسة انخفاضاً في درجة الحرارة على مخرج الضاغط (درجة حرارة التصريف وهذا يساعد على تخفيف الإجهاد الحراري على الضاغط ويزيد من عمره بالإضافة إلى إطالة عمر زيت تزييت الضاغط.

يقترح البحث توسيع دراسة مزائج HC/HFC لتشمل وسيط التبريد الهيدروكربوني (R600a) في حال توفره محلياً، كذلك يقترح البحث مساعدة الباحثين من خلال توفير المنصات الاختبارية الملائمة مع المساعدة في توفير المواد لإجراء البحوث.

المراجع:

- [1] JUNG, D. S.; RADERMACHER, R. *Performance simulation of single evaporator domestic refrigeration charged with pure and mixed refrigerants*. International Journal of Refrigeration, Vol.14, 1991, 223-232.
- [2] CAMPORESE, R.; BIGOLARO, G.; BOBBO, S. *Experimental evaluation of refrigerant mixtures as substitutes for CFC12 and R502*. International Journal of Refrigeration, Vol.20, 1997, 22-31.
- [3] MUIR, E. B. *Commercial refrigerants and CFCs*. International Journal of Refrigeration, Vol.13, 1990, 106-112.
- [4] RACHIDI, T.; BERNATCHOU, A.; CHARIA, M.; LOUTFI, H. *New fluids as substitute refrigerants of R12*. Solar Energy Mater Solar Cells, Vol.46, N.4, 1997, 333-347.
- [5] SEKHAR, S. J.; LAL, D. M.; RENGANARAYANAN, S. *Improved energy efficiency for CFC domestic refrigerators retrofitted with ozone-friendly HFC134a/HC refrigerant mixture*. International Journal of Thermal Sciences, Vol.43, 2004, 307-314.
- [6] SEKHAR, S. J.; KUMAR, K. S.; LAL, D. M. *Ozone friendly HFC134a/HC mixture compatible with mineral oil in refrigeration systems improves energy efficiency of a walk in cooler*. Energy Conversion and Management, Vol.45, 2004, 1175-1186.
- [7] KIM, M.; MULROY, W.; DIDION, D. *Performance Evaluation of Two Azeotropic Refrigerant Mixtures of HFC-134a with R-290 (Propane) and R-600a (Isobutane)*. Journal of Energy Resources Technology, Vol.116, 1994, 148-154.
- [8] TASHTOUSH, B.; TAHAT, M.; SHUDEIFAT, M. *Experimental study of new refrigerant mixtures to replace R12 in domestic refrigerators*. Applied Thermal Engineering, Vol.22, 2002, 495-506.
- [9] ALMEIDA, I.; BARBOSA, C.; FONTES, F. *Thermodynamic and Thermophysical Assessment of Hydrocarbons Application in Household Refrigerator*. Journal of Thermal Engineering, Vol.9, N.01, 2010, 19-27.
- [10] RAVIKUMAR, T.; LAL, D. *HFC/HC blend for car climate control with mineral oil as lubricant*. Journal of Thermal Science, Vol.15, 2011, 391-398.
- [11] PEIXOTO, R. A. *Manual of refrigeration servicing technicians*. 1st. ed., UNEP DTIE, New York, 2010, 153.

[12] CHEN, S.; JUDGE, J.F.; GROLL, E. A.; RADERMACHER, R. *Theoretical Analysis of Hydrocarbon Refrigerant Mixtures as a Replacement for HCFC-22 for Residential Uses*. International Refrigeration and Air Conditioning Conference, 1994, 252-259.

[13] AKASH, B. A.; SAID, S.A. *Assessment of LPG as a possible alternative to R-12 in domestic refrigerator*. Energy Conversion and Management, Vol.44, 2003, 381-388.

[14] SATTAR, M.; SAIDUR, R.; MASJUKI, H. *Performance Investigation of Domestic Refrigerator Using Pure Hydrocarbons and Blends of Hydrocarbons as Refrigerants*. World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol.5, 2007, 223-228.