مجلة الهندسة والتنمية المستدامة
المجلد 23، العدد 5، أيلول 2019
ISSN 2520-0917
https://doi.org/10.31272/jeasd.23.5.14

مقارنة أداء منظومة تثليج امتصاصية تعمل بالطاقة المتبددة من ماء تبريد محرك سيارة باستخدام محاليل تثليج مختلفة

د. عدنان محمد عبد الله الصفاوي [1] ، *سيف سهيل يوسف الداؤد [2]

1) أستاذ مساعد، قسم الهندسة الميكانيكية، جامعة الموصل، الموصل، العراق.
2) ماجستير، قسم الهندسة الميكانيكية، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

تاريخ التقديم 2018/1/28 تاريخ القبول 2018/9/12 تاريخ النشر 2019/9/1

الخلاصة: يتضمن البحث التحقق من امكانية عمل منظومة تثليج امتصاصية تعمل بالطاقة المتبددة من ماء تبريد محرك السيارة باستخدام أربعة محاليل تثليج مختلفة (ماء- بروميد الليثيوم/ أمونيا- ماء/أمونيا– ثيوسينات الصوديوم/ أسيتون- بروميد الزنك)، إذ بنيت أربعة نماذج رياضية (أنموذج لكل محلول) لمحاكاة عمل المنظومة والمقارنة بين أداء المحاليل باستخدام برنامج حل المعادلات الهندسية (EES). بيّنت النتائج أنَّ باستخدام محلول (ماء – بروميد الليثيوم) وعند ظروف عدم التحميل للمحرك يمكن الحصول على سعة التثليج بمقدار (14kW) وبدرجة حرارة للمبخر (14C°). أما بظروف التحميل للمحرك فيمكن الحصول على سعة التثليج بمقدار (32kW) وبدرجة حرارة للمبخر (17C°). وباستخدام محلول (الأمونيا– ماء) وعند ظروف عدم التحميل للمحرك يمكن الحصول على سعة التثليج بمقدار (12kW) وبدرجة حرارة للمبخر (15C°). أما بظروف التحميل للمحرك فيمكن الحصول على سعة التثليج بمقدار (27kW) وبدرجة حرارة للمبخر (17C°). وباستخدام محلول (الأمونيا– ثيوسينات الصوديوم) وعند ظروف عدم التحميل للمحرك يمكن الحصول على سعة التثليج بمقدار (11kW) وبدرجة حرارة للمبخر (15C°). أما بظروف التحميل للمحرك فيمكن الحصول على سعة التثليج بمقدار (23kW) وبدرجة حرارة للمبخر (17C°). وباستخدام محلول (الأسيتون- بروميد الزنك) وعند ظروف عدم التحميل للمحرك يمكن الحصول على سعة التثليج بمقدار (13kW) وبدرجة حرارة للمبخر (16C°). أما بظروف التحميل للمحرك فيمكن الحصول على سعة التثليج بمقدار (32kW) وبدرجة حرارة للمبخر (18C°).

الكلمات الدالة: *منظومة تثليج امتصاصية، محلول ماء- بروميد الليثيوم، محلول أمونيا- ماء، محلول أمونيا– ثيوسينات الصوديوم، محلول أسيتون- بروميد الزنك.*

A Performance Comparison of an Absorption Refrigeration System Driven by Wasted Energy from the Car Engine Cooling Water Using Different Refrigerant Solutions

Abstract: This study investigates the possibility of using waste heat from the car engine cooling system to drive absorption refrigeration system by using four different refrigerant solutions (water - lithium bromide / ammonia - water / ammonia - sodium thiocyanate / acetone - Zinc bromide). Four mathematical models had been built (model for each solution) to simulate the performance of the system and to compare the performance of different solutions. Engineering Equations Solution (EES) program had been used to perform this simulation. The results were as follow : Using refrigerant solution (water - lithium bromide) at the conditions of no load on the engine can produce (14kW) cooling capacity at evaporator temperature (14C°).While for the conditions of loaded engine it produced (32kW) cooling capacity at evaporator temperature (17C°). Using refrigerant solution (ammonia - water) at the conditions of no load on the engine can produce (12kW) cooling capacity at evaporator temperature (15C°). While for the

* الباحث المتابع saif8fcb@gmail.com

conditions of loaded engine it produced (27kW) cooling capacity at evaporator temperature (17C°). Using refrigerant solution (ammonia- sodium thiocyanate) at the conditions of no load on the engine can produce (11kW) cooling capacity at evaporator temperature (15C°). While for the conditions of loaded engine it produced (23kW) cooling capacity at evaporator temperature (17C°). Using refrigerant solution (acetone - zinc bromide) at the conditions of no load on the engine can produce (13kW) cooling capacity at evaporator temperature (16C°).While for the conditions of loaded engine it produced (32kW) cooling capacity at evaporator temperature (17C°).

1. المقدمة:

إنَّ البحث عن بدائل لمنظومات التثليج الانضغاطية المستخدمة في المركبات مستمر بسبب زيادة أسعار الوقود وشحة مصادره، فضلاً عن المخاوف البيئية الناتجة عن استخدام مركبات الكلوروفلوروكاربون في تشغيل هذه المنظومات، وتركزت في استخدام الطاقة الشمسية والطاقة المتبددة من مكائن الاحتراق الداخلي، و تعد منظومة التثليج الامتصاصية جيدة من ناحية الاستفادة من الطاقة و وكونها ملائمة للبيئة ، ومن الممكن تطوير أدائها و زيادة كفاءتها، ولها القدرة أيضاً على العمل بمصادر حرارية مختلفة، و بالمقارنة مع المنظومة الانضغاطية فإنَّ الشغل الميكانيكي الذي تحتاجه قليل، و تمتاز بأنَّها هادئة وعديمة الاهتزاز، فضلاً عن أنَّ المنظومة الامتصاصية ليس لها أية انبعاثات ضارة للبيئة و كذلك موائع التثليج المستخدمة لا تؤثر في طبقة الأوزون، فضلاً عن أنَّها موائع متوافرة تجارياً.

إنَّ محركات السيارات وهي من نوع مكائن الاحتراق الداخلي تطرح نسبة كبيرة من الطاقة الحرارية إلى المحيط الخارجي من خلال غازات العادم و ماء تبريد المحرك ، إذ تبلغ نسبة الطاقة المستفاد منها (30% - 40%) من إجمالي الطاقة الناتجة من حرق الوقود في أسطوانات المحرك ، وهذا يعني أنَّ (60% – 70%) من الحرارة تذهب سدى إلى البيئة الخارجية، إذ يمكن الاستفادة من هذه الطاقة المطروحة عند مستويات مختلفة لدرجات الحرارة، ولذلك بات من الضروري التحقق من إمكانية استخدام هذه الطاقة الضائعة في تشغيل منظومة التثليج التي تستخدم لتكييف هواء كابينة السيارة بديلاً للمنظومة الانضغاطية التقليدية [1].

وقام الباحث P.Boatto واخرون [2] بإجراء اختبارات عملية مكثفة على محرك احتراق داخلي يعمل بنظام القدحة ذي اربع اسطوانات سعة (2 لتر) لتحديد كمية الحرارة الضائعة من المحرك عند التشغيل تحت ظروف مختلفة (من ضمنها التحميل المنخفض) التي يمكن الاستفادة منها لتشغيل منظومة التثليج الامتصاصية في السيارة كمنظومة بديلة لمنظومة التبريد الانضغاطية، إذ أشارت النتائج العملية إلى أنَّ الطاقة الكلية للوقود تراوحت بين (169kW - 30kW) عند السرعة الدورانية للمحرك بين (4500 RPM – 1500 RPM) في حين كانت الطاقة الضائعة من خلال غازات العادم للمحرك تتراوح بين (53KW – 5KW) للمدى نفسه من السرعة الدورانية للمحرك واستناداً إلى التحليل النظري والنتائج العملية [3] التي حصلوا عليها تبيّن للباحثين انه يمكن تشغيل منظومة التثليج الامتصاصية في السيارة باستخدام الطاقة الضائعة من غازات العادم ولاسيما أنَّ الباحثين قد أضافوا خزاناً لتجميع فائض الطاقة الحرارية لاستخدامها في مولد البخار لتشغيل المنظومة عند حدوث عجز مؤقت في طاقة غازات العادم نتيجة السرع البطيئة أو توقف السيارة عن الحركة.

درس الباحث I.Horuz [4] كمية الحرارة الضائعة في غازات العادم لمحرك شاحنة نوع Ford ذي ستة أسطوانات سعة (6 litter) لتكون مصدر طاقة لعمل منظومة التثليج الامتصاصية إذ بيّن الباحث أنَّ منظومة التثليج الامتصاصية يمكنها العمل مع محركات الديزل على نحو جيد إذ إنَّ ان كمية الحرارة المحملة بها غازات العادم تكفي لتشغيل منظومة التثليج الامتصاصية في ظل ظروف السرع العادية أو العالية (سرعة دوران للمحرك حوالي 2000 RPM) لكنها قد لا تكفي لتشغيل المنظومة في ظروف السرع البطيئة أو عند توقف الحركة إذ كانت سعة التثليج (0.5kW) تقريباً عند سرعة دوران للمحرك (1000 RPM) في حين كانت سعة التثليج تساوي (8kW) عند سرعة دوران للمحرك (2000 RPM) ، و أشار الباحث إلى أنَّ هناك قيوداً محددة لعمل النظام متمثلة بتأثير الضغط الخلفي لغازات العادم في أداء المحرك و آثار غازات العادم المسببة لتآكل المبادل الحراري .

أجرت الباحثة Shannon [5] دراسة نظرية لمنظومة تثليج امتصاصية تستخدم (ماء – بروميد الليثيوم) محلولاً للتثليج و تعمل بالطاقة الحرارية الضائعة من ماء تبريد محرك بنزين سعة 3 لتر ذو أربع أسطوانات وقامت

باحتساب كمية الحرارة الناتجة من احتراق الوقود وكمية الحرارة الموجودة في ماء تبريد المحرك فكانت كمية الحرارة الكلية للوقود (36kW) و كمية الحرارة الضائعة من ماء تبريد المحرك (10.8kW) في ظروف تشغيل المحرك بدون تحميل (1000 RPM) في حين كانت كمية الحرارة الكلية للوقود (90.4 kW) و كمية الحرارة الضائعة من ماء تبريد المحرك (27.1 kW) في ظروف تشغيل المحرك مع التحميل (2000 RPM) واعتماداً على هذه النتائج لكمية الحرارة المتوافرة في ماء تبريد المحرك أجريت دراسة نظرية لمعرفة أداء منظومة التثليج الامتصاصية إذ أشارت النتائج إلى أنه لتشغيل المنظومة يجب أن تتوافر الشروط التالية : أن تكون درجة حرارة الهواء الخارجي أقل من (38°C) (التي يمكن أن تكون مشكلة في الأماكن التي ترتفع فيها درجات الحرارة عن هذا المستوى) و الحد الأدنى لدرجة حرارة المولد هي (93°C) (وأنَّ النظام يعمل بأفضل ما يمكن في درجة حرارة (115.5°C) للمولد) و يجب ان تكون درجة حرارة المكثف أقل من (55.5°C). في حين أنَّ النظام يعمل خارج هذه الظروف لكن سينخفض معامل الأداء للمنظومة على نحو كبير، أما سعة التثليج للمنظومة فكانت (4.8kW) عند سرعة دوران للمحرك (1000 RPM) في حين كانت سعة التثليج تساوي (13.1kW)عند سرعة دوران للمحرك (2000 RPM) ودرجة حرارة للمكثف (7.2°C) في كلتا الحالتين.

وفي دراسة قام بها الباحث A.Shihab [6] للتحقق من إمكانية استخدام الطاقة الحرارية المفقودة من محركات المركبات لاستخدامها مصدراً لتشغيل منظومة تثليج امتصاصية لأغراض التكييف كنظام بديل عن المنظومة الانضغاطية التي احتوت على اختبار عملي لقياس الطاقة الحرارية الفعلية المتاحة والمطروحة من منظومة تبريد محرك بنزين ذي ستة أسطوانات لسيارة نوع تويوتا لاندكروز وجد الباحث أنَّ الطاقة المطروحة من منظومة تبريد محرك السيارة تتراوح بين (10kW) عندما يعمل المحرك بدون تحميل إلى(68kW) مع التحميل . وتراوحت درجة حرارة ماء تبريد محرك السيارة بين (71°C) إلى (84°C) وانجز تحليل نظري للمنظومة التي تستخدم (ماء –بروميد الليثيوم) محلولاً للتثليج للحصول على أفضل أداء؛ إذ تم حساب الطاقة الحرارية المفقودة من مشع منظومة تبريد المحرك وظهرت أنها تكفي لإنتاج سعة التثليج بما يعادل (34kW)، ولكن المستوى المنخفض لدرجة حرارة الماء قيدت عملية إنتاج التبريد بصورة مستمرة بدرجات حرارة (5° C) إلى (8°C) للمكثف وخاصة في الأجواء الحارة.

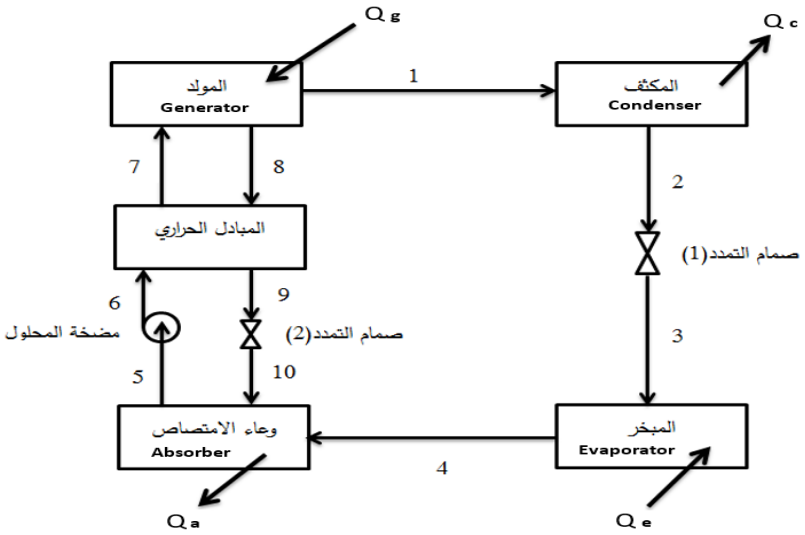
وفي بحثنا هذا سيتم إعداد برنامج حاسوبي لتخمين أداء منظومة تثليج امتصاصية تعمل باستخدام حرارة ما تبريد محرك السيارة إذ ستمثل المنظومة بعلاقات رياضية من خلال برمجتها باستخدام برنامج حل المعادلات الهندسية (EES) للاستفادة من البرامج الفرعية المتضمنة خواص المحاليل المتوافرة في هذا البرنامج ومن ثم مقارنة الأداء لعدد من محاليل التثليج الملائمة للاستخدام في هذه المنظومة.

2. التحليل النظري

1.2. منظومة التثليج الامتصاصية

تتكون منظومة التثليج الامتصاصية أحادية الطور من عدة أجزاء رئيسة كما موضح في الشكل (1) وهذه الأجزاء هي: مولد البخار و وعاء الامتصاص و المكثف و المبخر و صمام تمدد لوسيط التثليج وصمام تمدد للمحلول و مضخة صغيرة لتدوير المحلول ومبادل حراري بين مولد البخار و وعاء الامتصاص. تعمل منظومة التثليج الامتصاصية عند ضغطين مختلفين: ضغط عالٍ و هو ضغط المكثف الذي يساوي ضغط مولد البخار و ضغط منخفض هو ضغط المبخر الذي يساوي ضغط وعاء الامتصاص، يبدأ عمل المنظومة بتسخين محلول التثليج داخل مولد البخار بواسطة الماء الساخن الخارج من محرك السيارة من أجل توليد بخار مائع التثليج بدرجة حرارة و ضغط عاليين تحديداً عند النقطة (1) وهو يعتبر بخاراً مشبعاً و يدخل بعدها المكثف فيتحول إلى حالة السائل المشبع عند النقطة (2)، إذ تطرح حرارة التكثيف إلى المحيط عن طريق التبادل الحراري بين بخار مائع التثليج والهواء الخارجي، و بعد ذلك يدخل سائل التثليج المتكثف في صمام التمدد ليتمدد و ينخفض ضغطه عند النقطة (3) و من ثم يدخل إلى المبخر ممتصاً الحرارة الكامنة لتبخره من المحيط المراد تبريده (كابينة السيارة) ليخرج من المبخر بشكل بخار عند النقطة (4) ثم يمتص داخل وعاء الامتصاص بواسطة المحلول المركز(غني بالمادة الماصة) الخارج من صمام التمدد عند النقطة (10) من أجل تكوين محلول مخفف عند النقطة (5) ونتيجة لعملية الامتصاص هذه تتولد كمية من الحرارة مسببة ارتفاع درجة حرارة المحلول داخل وعاء الامتصاص لذلك يتم تبريده بواسطة ماء التبريد من أجل إزالة هذه الحرارة و طرحها للمحيط وبعدها يضخ المحلول المخفف من النقطة

(5) إلى النقطة (6) بواسطة مضخة المحلول و من ثم يدخل المحلول المخفف إلى المبادل الحراري لرفع درجة حرارته من أجل زيادة كفاءة عمل المنظومة ليخرج من المبادل الحراري بدرجة حرارة أعلى تحديداً عند النقطة (7) ثم يدخل إلى مولد البخار . أما المحلول المركز (المتكون نتيجة تبخر وسيط التثليج من المحلول المخفف في مولد البخار) فيخرج من مولد البخار عند النقطة (8) ثم يدخل إلى المبادل الحراري و يخرج منه عند النقطة (9) محلولاً مركزاً بدرجة حرارة أقل ، ثم يمر بصمام التمدد لخفض ضغطه ويخرج منه عند النقطة (10).



الشكل (1) أجزاء منظومة التثليج الامتصاصية

في بحثنا هذا سيتم استخدام أربعة محاليل لها خصائص حرارية و فيزيائية جيدة و هي:

1. محلول (أمونيا – ماء)؛ إذ يستخدم الماء بوصفه مادة ماصة و الأمونيا بوصفه مائع تثليج .
2. محلول (أمونيا – ثيوسينات الصوديوم)؛ إذ يستخدم ثيوسينات الصوديوم بوصفه مادة ماصة والأمونيا بوصفه مائع تثليج.
3. محلول (ماء – بروميد الليثيوم)؛ إذ يستخدم بروميد الليثيوم بوصفه مادة ماصة و الماء بوصفه مائع تثليج .
4. محلول (أسيتون – بروميد الزنك) ؛ إذ يستخدم بروميد الزنك بوصفه مادة ماصة و الأسيتون بوصفه مائع تثليج .

3.2. محاكاة منظومة التثليج الامتصاصية

تعتمد أجزاء منظومة التثليج الامتصاصية الموضحة بالشكل (1) في تصميمها على معادلات اتزان الطاقة والكتلة ومعادلات انتقال الحرارة كذلك ومن اجل تبسيط التحليل الرياضي للمنظومة يجب الاستناد إلى عدد من الفرضيات وعلى النحو الآتي [7]:

1. المنظومة تكون في حالة الاستقرار.
2. الضغط في المبخر هو ضغط بخار مائع التثليج في حالة التشبع عند درجة حرارة المبخر ويساوي ضغط وعاء الامتصاص.
3. الضغط في المكثف هو ضغط بخار مائع التثليج في حالة التشبع عند درجة حرارة المكثف ويساوي ضغط مولد البخار.
4. مائع التثليج عند خروجه من المبخر يكون بخاراً مشبعاً.
5. مائع التثليج عند خروجه من المكثف يكون سائلاً مشبعاً.
6. نسبة تدفق كتلة بخار مائع التثليج التي تحرر في مولد البخار تكون مساوية لنسبة تدفق كتلة بخار مائع التثليج التي تمتص في وعاء الامتصاص.

7. إهمال انخفاض الضغط في الأنابيب
8. إهمال التبادل الحراري بين المنظومة مع البيئة المحيطة بها.
9. الهواء الجوي هو المستخدم في عملية التبادل الحراري في كل من المكثف و وعاء الامتصاص.
10. عملية التمدد في صمام التمدد عملية اديباتية (Adiabatic).
11. كفاءة مولد البخار50% أي أنَّ الحرارة المكتسبة من المحلول تساوي نصف كمية الحرارة المفقودة من ماء تبريد محرك السيارة [8].

$$Q_g = 0.5\, Q_{rad} \qquad (1)$$

12. درجة حرارة مولد البخار تساوي درجة حرارة كل من بخار مائع التثليج و المحلول المركز الخارجين من مولد البخار ($T_g = T_1 = T_8$) وهي أقل بمقدار (5°C) عن درجة حرارة الماء الداخل لمنظومة تبريد المحرك (أقل فرق بدرجة الحرارة على طرفي المبادل الحراري بين منحي البارد و الحار" Pinch Point"[6]).

$$T_g = T_{w،in} - 5 \qquad (2)$$

13. كفاءة المبادل الحراري بين مولد البخار و وعاء الامتصاص تساوي (60%) (تصمم معظم المبادلات الحرارية بكفاءة تساوي أو أقل من (60%) عند الأخذ بنظر الاعتبار كلفة المبادلات الحرارية [6]) .

تتألف منظومة التثليج الامتصاصية من عدة أجزاء رئيسة ولكل واحد من هذه المكونات خصائص تصميمية و خصائص أداء معينة. وفيما يلي المعادلات الخاصة لكل جزة من أجزاء المنظومة:

اتزان الكتلة والطاقة للمكثف

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \qquad (3)$$

$$\dot{m}_1 h_1 = Q_c + \dot{m}_2 h_2 \qquad (4)$$

اتزان الكتلة والطاقة في صمام التمدد (1) و (2)

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 \quad ، \quad \dot{m}_9 = \dot{m}_{10} \qquad (5)$$

$$h_2 = h_3 \quad ، \quad h_9 = h_{10} \qquad (6)$$

اتزان الكتلة والطاقة للمبخر

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_3 \qquad (7)$$

$$\dot{m}_3 h_3 + Q_e = \dot{m}_4 h_4 \qquad (8)$$

اتزان الكتلة والطاقة لوعاء الامتصاص

$$\dot{m}_4 + \dot{m}_{10} = \dot{m}_5 \qquad (9)$$

$$\dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_{10} h_{10} = Q_a + \dot{m}_5 h_5 \qquad (10)$$

اتزان الكتلة لمضخة المحلول

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 \quad (11)$$

الشغل الذي تنجزه مضخة المحلول [9]

$$W_{pump} = \dot{m}_5 (h_6 - h_5) \quad (12)$$

$$W_{pump} = \frac{\dot{m}_5 (P_c - P_e)}{\rho_{sol}\, \eta_{pump}} \quad (13)$$

اتزان الكتلة والطاقة للمبادل الحراري

$$\dot{m}_6 = \dot{m}_7 \quad ، \quad \dot{m}_8 = \dot{m}_9 \quad (14)$$

$$\dot{m}_6(h_7 - h_6) = \dot{m}_8(h_8 - h_9) \quad (15)$$

فعالية المبادل الحراري

$$\varepsilon_{ex} = \frac{T_8 - T_9}{T_8 - T_6} \quad (16)$$

اتزان الكتلة والطاقة لمولد البخار

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_1 + \dot{m}_8 \quad (17)$$

$$\dot{m}_7 X_7 = \dot{m}_8 X_8 \quad (18)$$

$$Q_g + \dot{m}_7 h_7 = \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_8 h_8 \quad (19)$$

إن معامل الأداء للمنظومة الامتصاصية يحسب بالعلاقة الآتية:

$$COP = \frac{Q_e}{Q_g + W_{pump}} \quad (20)$$

كما أن معادلة اتزان الطاقة الكلية للمنظومة:

$$Q_g + Q_C + Q_e + Q_a = 0 \quad (21)$$

4.2. محاكاة الخصائص الحرارية لمحاليل التثليج

ان الخصائص الحرارية لمحاليل التثليج المستخدمة من درجة حرارة وضغط وتركيز وانثالبي وكثافة تعتمد بعضها على بعض، ويمكن تمثيلها بعلاقات رياضية من أجل إجراء المحاكاة للمنظومة إذ تستخدم الخصائص الحرارية لمائع التثليج من مخرج مولد البخار إلى مدخل وعاء الامتصاص في حين تستخدم الخصائص الحرارية للمحلول من مدخل وعاء الامتصاص إلى مخرج مولد البخار، وفيما يلي المعادلات الحاكمة لموائع ومحاليل التثليج:

1.4.2. مائع التثليج الماء (H_2O)

في مجال درجات الحرارة والضغط المعتادة في تطبيقات التثليج؛ فإنَّ الضغط ودرجة الحرارة للماء يرتبطان بالعلاقة الآتية [10]:

$$P_{H2O} = 10^{\left(10.05 - \frac{1603.541}{T} - \frac{104095.51}{T^2}\right) - 3} \quad (22)$$

والعلاقة بين الانثالبي النوعي للماء في الحالة السائلة مع درجة الحرارة هي [10]:

$$h_{l_{(H2O)}} = 4.19\,(T - 273) \quad (23)$$

أما العلاقة بين الانثالبي النوعي للماء في حالة البخار المشبع مع درجة الحرارة هي [10]:

$$h_{v_{(H2O)}} = 2.326\left[(0.004932\,T - 2.2493008)\frac{P}{6893.76} + (0.80895\,T + 854.2151086)\right] \quad (24)$$

2.4.2. محلول (ماء – بروميد الليثيوم) (H2O – LiBr)

إن العلاقة بين درجة حرارة المائع ودرجة حرارة المحلول والتركيز لخليط (ماء – بروميد الليثيوم) هي [11] :

$$X = \frac{49.04 + 1.125T_{sol} - T_r}{134.65 + 0.47\,T_{sol}} \quad (25)$$

أما العلاقة بين التركيز ودرجة الحرارة و الانثالبي النوعي لخليط (ماء – بروميد الليثيوم) هي[11] :

$$h_{(H2O-LiBr)} = 2.326\left[\sum_{i=0}^{4} A_i\,X^i + (1.8\,T - 459.67)\sum_{i=0}^{4} B_i\,X^i + (1.8\,T - 459.67)^2\sum_{i=0}^{4} C_i\,X^i\right] \quad (26)$$

كذلك العلاقة بين التركيز ودرجة الحرارة والكثافة لخليط (ماء – بروميد الليثيوم) هي[12] :

$$\rho_{(H2O-LiBr)} = 1145.36 + 470.84\,X + 1374.79\,X^2 - T\,(0.333393 + 0.571749\,X) \quad (27)$$

والجدول (1) يبيّن قيم الثوابت للمعادلة (26) [15].

الجدول (1) قيم الثوابت للمعادلة (29)

i	A_i	B_i	C_i
0	–1015.7	4.68108	–4.9107E-3
1	79.5387	–0.3037766	3.83184E-4
2	–2.358016	8.44845E-3	-1.078963E-3
3	0.03031583	–1.047721E-4	1.3152E-7
4	–1.400261E-4	4.80097E-7	-5.897E-10

3.4.2. مائع التثليج الأمونيا (NH3)

في مجال درجات الحرارة والضغط المعتادة في تطبيقات التثليج، فإنَّ الضغط ودرجة الحرارة لمائع التثليج الأمونيا يرتبطان بالعلاقة الآتية [13]:

$$P_{NH3} = 10^3\,\sum_{i=0}^{6} A_i\,(T - 273)^i \quad (28)$$

أما العلاقة بين الانثالبي النوعي للأمونيا في الحالة السائلة مع درجة الحرارة هي [13]:

$$h_{l_{(NH3)}} = \sum_{i=0}^{6} B_i\,(T - 273)^i \quad (29)$$

أما العلاقة بين الانثالبي النوعي للأمونيا في حالة البخار المشبع مع درجة الحرارة هي [13]:

$$h_{v(NH3)} = \sum_{i=0}^{6} C_i \, (T - 273)^i \qquad (30)$$

إذ يبّين الجدول (2) قيم الثوابت للمعادلات (28) و (29) و (30) [13].

الجدول (2) قيم الثوابت للمعادلات (28) و (29) و (30)

i	A_i	B_i	C_i
0	4.2871 E-1	1.9879 E2	1.4633 E3
1	1.6001 E-2	4.4644	1.2839
2	2.3652 E-4	6.2790 E-3	–1.1501 E-**2**
3	1.6132 E-6	1.4591 E-4	–2.1523 E-**4**
4	2.4303 E-9	–1.5262 E-6	1.9055 E-**6**
5	–1.2494 E-11	–1.8069 E-8	2.5608 E-**8**
6	1.2741 E-13	1.9054 E-10	–2.5964 E-**10**

4.4.2. محلول (الأمونيا– ماء) (NH3–H2O)

إن العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة والتركيز لخليط (الأمونيا – الماء) هي [13] :

$$\log P_{(NH3-H2O)} = A - \frac{B}{T} \qquad (31)$$

أما العلاقة بين التركيز و درجة الحرارة و الانثالبي النوعي للمحلول هي [18] :

$$h_{(NH3-H2O)} = 100 \sum_{i=1}^{16} a_i \, \left(\frac{T}{273} - 1\right)^{m_i} C^{n_i} \qquad (32)$$

وكذلك العلاقة بين الكثافة و درجة الحرارة و التركيز لخليط (الأمونيا – الماء) هي [13]:

$$\rho_{(NH3-H2O)} = \frac{1}{\sum_{j=0}^{3} \sum_{i=0}^{3} a_{ij} \, (T-273)^i \, X^j} \qquad (33)$$

إذ إنَّ A، B، C ثوابت تعتمد قيمتها على تركيز المحلول و تحسب من المعادلات الآتية [13] :

$$A = 7.44 - 1.767\,X + 0.9823\,X^2 + 0.3627\,X^3 \qquad (34)$$

$$B = 2013.8 - 2155.7\,X + 1540.9\,X^2 - 194.7\,X^3 \qquad (35)$$

$$C = \frac{17.08\,X}{17.08\,X + 18.015\,(1-X)} \qquad (36)$$

في حين يبيّن الجدول (3) و (4) يبين قيم الثوابت للمعادلة (32) (33) [13].

الجدول (3) قيم الثوابت للمعادلة (32)

i	a_i	m_i	n_i	i	a_i	m_i	n_i
1	7.6108–	0	1	9	2.84179	2	1
2	2.56905 E1	0	4	10	7.41609	3	3
3	–2.47092 E2	0	8	11	8.91844 E2	5	3
4	3.25852 E2	0	9	12	–1.61309 E3	5	4
5	–1.58854E2	0	12	13	6.22106 E2	5	5
6	6.19084 E1	0	14	14	–2.07588 E2	6	2
7	1.14314 E1	1	0	15	–6.87393	6	4
8	1.18157	1	1	16	3.50716	8	0

الجدول (4) قيم الثوابت للمعادلة (33)

a_{ij}		a_{ij}		a_{ij}		a_{ij}	
a_{00}	9.9842E-6	a_{01}	3.5489E-4	a_{02}	-1.2006E-4	a_{03}	3.2426E-4
a_{10}	-7.8161E-8	a_{11}	5.2261E-6	a_{12}	-1.0567E-5	a_{13}	9.889E-6
a_{20}	8.7601E-9	a_{21}	-8.4137E-8	a_{22}	2.4056E-7	a_{23}	-1.8715E-7
a_{30}	-3.9076E-11	a_{31}	6.4816E-10	a_{32}	-1.9851E-9	a_{33}	1.7727E-9

5.4.2. محلول (الأمونيا– ثيوسينات الصوديوم) (NH3–NaSCN)

إن العلاقة بين الضغط و درجة الحرارة و التركيز لخليط (الأمونيا– ثيوسينات الصوديوم) هي [13] :

$$\ln P_{(NH3-NaSCN)} = A + \frac{B}{T} \quad (34)$$

أما العلاقة بين الانثالبي النوعي و درجة الحرارة و التركيز لخليط (الأمونيا– ثيوسينات الصوديوم) هي [13] :

$$h_{(NH3-NaSCN)} = C + D\,(T-273) + E\,(T-273)^2 + F\,(T-273)^3 \quad (35)$$

وكذلك العلاقة بين الكثافة ودرجة الحرارة والتركيز لخليط (الأمونيا– ثيوسينات الصوديوم) هي [13]:

$$\rho_{(NH3-NaSCN)} = K + M\,(T-273) + N\,(T-273)^2 \quad (36)$$

إذ إنَّ A ، B ، C ، D ، E ، F ، K ، M، N ثوابت تعتمد قيمتها على تركيز المحلول و تحسب من المعادلات الأتية [13] :

$$A = 15.7266 - 0.298629\,X \quad (37)$$

$$B = -2548.65 - 2621.92\,(1 - X)^3 \quad (38)$$

$$C = 79.72 - 1072\,X + 1287.9\,X^2 - 295.67\,X^3 \quad (39)$$

$$D = 2.4081 - 2.2814\,X + 7.9291\,X^2 - 3.5137\,X^3 \quad (40)$$

$$E = 10^{-2}(\,1.255\,X - 4\,X^2 + 3.06\,X^3\,) \quad (41)$$

$$F = 10^{-5}(-3.33X + 10\,X^2 - 3.33\,X^3) \quad (42)$$

$$K = 1707.519 - 2400.435\,X + 2256.5083\,X^2 - 930.0637\,X^3 \quad (43)$$

$$M = -3.6341\,X + 5.4552\,X^2 - 3.1674\,X^3 \quad (44)$$

$$N = 10^{-3}(5.1X + 3.6\,X^2 - 5.4\,X^3) \quad (45)$$

6.4.2. مائع التثليج الأسيتون (Acetone)

إن العلاقة بين الضغط و درجة الحرارة لمائع التثليج الأسيتون هي [14] :

$$P_{(Acetone)} = \frac{10^{\left(7.12926 - \frac{1214.616}{T-273+229.745}\right)}}{7.5} \quad (46)$$

أما العلاقة بين الانثالبي النوعي للأسيتون في الحالة السائلة مع درجة الحرارة هي [15]:

$$h_{l_{(Acetone)}} = 177.185 + 2.154(T-273) + (1.06E-5)(T-273)^3 \quad (47)$$

أما العلاقة بين الانثالبي النوعي للأسيتون في حالة البخار المشبع مع درجة الحرارة هي [15]:

$$h_{v_{(Acetone)}} = \frac{1}{(0.001336 - (2.172E-6)\,(T-273) + (2E-11)\,(T-273)^3)} \quad (48)$$

7.4.2. محلول (الأسيتون- بروميد الزنك) (Acetone – ZnBr2).

العلاقة بين الضغط و درجة الحرارة و التركيز لخليط (الأسيتون- بروميد الزنك) هي [15] :

$$P_{(Acetone - ZnBr\,2)} = 100\,(\,e^{\sum_{i=0}^{2}\sum_{j=0}^{2} a_{ij}(T-273)^i X^j}\,) \quad (49)$$

أما العلاقة بين التركيز و درجة الحرارة و الانثالبي النوعي للمحلول هي [15] :

$$h_{(Acetone - ZnBr\,2)} = \sum_{i=0}^{1}\sum_{j=0}^{4} b_{ij}\,X^i(T-273)^j \quad (50)$$

وكذلك العلاقة بين الكثافة و درجة الحرارة و التركيز لخليط (الأسيتون- بروميد الزنك) هي [15] :

$$\rho_{(Acetone - ZnBr\,2)} = 1000(\,1.051385 - 0.002577258\,(T-273) + (4.75227E\text{-}6)\,X^3) \quad (51)$$

إذ إنَّ الجداول (5) و (6) يبيّن قيم الثوابت للمعادلة (49) و (50) [15] .

الجدول (5) قيم الثوابت للمعادلة (49) .

a_{ij}		a_{ij}		a_{ij}	
a_{00}	-2.41	a_{10}	5.35 E-2	a_{20}	-2.13 E-4
a_{01}	1.72 E-2	a_{11}	-1.16 E-4	a_{21}	3.66 E-6
a_{02}	-5.58 E-4	a_{12}	2.38 E-6	a_{22}	-4.61 E-8

الجدول (6) قيم الثوابت للمعادلة (50)

b_{ij}		b_{ij}	
b_{01}	1.892	b_{11}	-1.31 E-2
b_{02}	-1.616 E-4	b_{12}	2.8735 E-5
b_{03}	1.486 E-5	b_{13}	-5.02 E-7
b_{04}	-2.439 E-8	b_{14}	1.755 E-9

5.2. محاكاة منظومة تبريد محرك السيارة.

إنَّ الطاقة الحرارية المجهزة لمنظومة التثليج الامتصاصية في هذا البحث هي الطاقة المتبددة من ماء تبريد محرك السيارة (الماء الساخن الخارج من المحرك) ؛ إذ اعتمدت بيانات قيست لمحرك بنزين ذي ستة أسطوانات لسيارة من نوع تويوتا لاندكروز من قبل الباحث A.Shihab [6] . لعدم توافر ماكنة احتراق مختبرية لإجراء التجارب العملية عليها إذ إنَّ المعادلات الحاكمة لمنظومة تبريد هذا المحرك التي توصل إليها الباحث و اعتمدت في بحثنا هذا هي على النحو الآتي :

كمية الحرارة المتبددة من ماء تبريد محرك السيارة هي [6] :

$$Q_{rad} = \dot{m}_w \, C_{p_w} \, \Delta T_w \qquad (52)$$

إذ إنَّ درجة حرارة الماء الداخل لمنظومة تبريد المحرك عندما يعمل في ظروف عدم التحميل تعطى بالعلاقة الآتية [6] :

$$T_{w،in،NL} = 13.4 \, N^{0.269} \qquad (53)$$

ويعطى الفرق بين درجة حرارة الماء الداخل لمنظومة تبريد المحرك و درجة حرارة الماء الخارج منها عند ظروف عدم التحميل بالعلاقة الآتية [6] .

$$\Delta T_{w،NL} = 0.0061 \, N + 3.6268 \qquad (54)$$

أما درجة حرارة الماء الداخل لمنظومة تبريد المحرك عندما يعمل في ظروف التحميل تعطى بالعلاقة الآتية [6] :

$$T_{w،in،WL} = 0.006 \, N + 71.19 \qquad (55)$$

و الفرق بين درجة حرارة الماء الداخل لمنظومة تبريد المحرك و درجة حرارة الماء الخارج منها عند ظروف التحميل يحسب من العلاقة الآتية [6] .

$$\Delta T_{w،WL} = 0.002 \, N + 5.87 \qquad (56)$$

كما أنَّ معدل جريان الماء خلال منظومة تبريد المحرك يتمثل بالعلاقة الآتية [6] .

$$\dot{m}_w = 0.001 \, N - 0.1243 \qquad (57)$$

6.2. التحقق من صحة البرنامج المستخدم.

من أجل التحقق من صحة البرنامج المستخدم أجريت مقارنة للنتائج المستحصلة من الدراسة الحالية مع نتائج الباحث (Da Wen Sun) في المصدر[13] وكانت النتائج متقاربة على نحو كبير وبنسبة اختلاف 2% .

3. النتائج و المناقشة.

تبيّن النتائج التي تم الحصول عليها من محاكاة منظومة التثليج الامتصاصية باستخدام محاليل التثليج المختلفة التي اختيرت في هذا البحث بالنسبة لظروف عمل السيارة (ظروف عدم التحميل ، ظروف التحميل) لتوضيح تأثير تغير السرعة الدورانية للمحرك عند ظروف التشغيل المختلفة في كمية الحرارة المتبددة منه و سعة التثليج و معامل الأداء لكل محلول من المحاليل المستخدمة. إنَّ المقارنة بين أداء المنظومة الامتصاصية باستخدام محاليل التثليج المختلفة سيكون عند الظروف نفسها من درجات الحرارة للمكثف و وعاء الامتصاص ، وقد اختيرت ثلاث درجات حرارة هي (35°C) و (40°C) و (45°C) لاسيما أن تبريد المكثف و وعاء الامتصاص يكون بالهواء القادم من المحيط الخارجي على نحو مباشر. إذ إنَّ هذا الظروف يمكن وصفها على النحو الآتي :

1. ظروف عدم التحميل (وهي الظروف التي تكون فيها السيارة متوقفة عن الحركة إذ اختيرت السرعة الدورانية للمحرك بين (1000 RPM – 500 RPM)).

2. ظروف التحميل (وهي الظروف التي تكون فيها السيارة متحركة بسرع معينة إذ اختيرت السرعة الدورانية للمحرك بين (2000 RPM – 1000 RPM)).

أما كفاءة المبادل الحراري فقد افترضت قيمتها (60%) و أنَّ كفاءة مضخة المحلول هي (90%) كما أشرنا سابقاً.

1.3. نظرة عامة في سلوك محاليل التثليج.

توضح الأشكال من (2) إلى (13) تأثير تغير السرعة الدورانية لمحرك السيارة في كل من كمية الحرارة المكتسبة في المبخر (Q_e) ومعامل الأداء لمنظومة التثليج الامتصاصية (COP) عند درجات حرارة مختلفة للمبخر و تحت ظروف تشغيل مختلفة للمحرك (عدم التحميل و التحميل) ضمن المجالات المحددة سابقاً لدرجات الحرارة للمكثف و وعاء الامتصاص . ويلاحظ عموماً زيادة كمية الحرارة المكتسبة في المبخر مع زيادة السرعة الدورانية للمحرك ؛ وذلك لأنَّ زيادة السرعة الدورانية للمحرك يزيد من كمية الحرارة المجهزة للمولد و بالتالي زيادة درجة حرارة المولد التي بدورها تزيد من تركيز المحلول المركز الخارج من المولد ، وهذا يعني زيادة كمية بخار مائع التثليج المنفصل عن المحلول والخارج من المولد ، وعليه تزداد كمية الحرارة المسحوبة من الوسط المراد تبريده بواسطة المبخر نتيجة زيادة معدل جريان بخار مائع التثليج إذ إنَّ كمية الحرارة تتناسب طردياً مع معدل جريان البخار على وفق المعادلة (10). كذلك تزداد كمية الحرارة المكتسبة في المبخر مع زيادة درجة حرارة المبخر إذ إنَّ زيادة درجة حرارة المبخر تعني زيادة المحتوى الحراري (الانثالبي) لبخار مائع التثليج الخارج من المبخر وبثبوت كل من المحتوى الحراري لمائع التثليج الخارج من المكثف و معدل جريان بخار مائع التثليج لثبوت درجات حرارة في كل من المكثف و المولد ، وإذ إنَّ كمية الحرارة المكتسبة في المبخر تعادل الفرق بين المحتوى الحراري لمائع التثليج في حالته السائلة الخارج من المكثف و مائع التثليج في حالته الغازية الخارج من المبخر فإنَّ كمية الحرارة المسحوبة من الوسط المراد تبريده بواسطة المبخر تزداد بزيادة مقدار هذ الفرق بين المحتوى الحراري على وفق المعادلة (10).

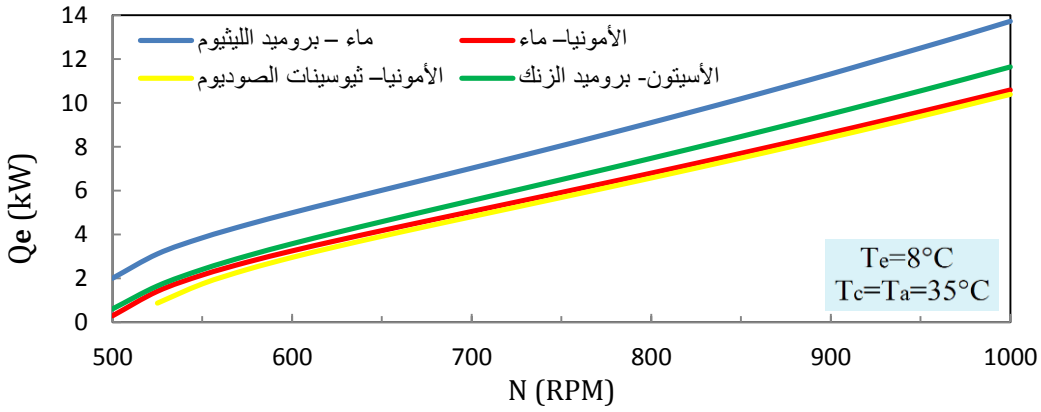
كما أنَّ لتغير السرعة الدورانية لمحرك السيارة تأثير كبير في معامل الأداء إذ إنَّ زيادة السرعة الدورانية لمحرك السيارة يتسبب في زيادة درجة حرارة ماء منظومة التبريد للمحرك الذي يمثل درجة حرارة المولد على وفق المعادلة (2) إذ إنَّ هذه الزيادة في درجة حرارة المولد تتسبب في زيادة تركيز المحلول المركز مما يؤدي إلى انخفاض معدل جريانه وبالتالي تنخفض كمية الحرارة الداخلة للمولد، وبما أنَّ العلاقة عكسية بين معامل الأداء للمنظومة و كمية الحرارة الداخلة للمولد على وفق المعادلة (23) فأنَّ معامل الأداء سوف يزداد كما هو موضح في الأشكال آنفة الذكر. و نلاحظ أيضاً أنَّ تغير درجة حرارة المبخر يؤثر في معامل الأداء إذ تزداد قيمة معامل الأداء مع زيادة درجة حرارة المبخر، و يعود سبب ذلك إلى أنَّ الزيادة في درجة حرارة المبخر تعني زيادة كل من ضغط المبخر و ضغط وعاء الامتصاص و تقليل تركيز المحلول في وعاء الامتصاص وبالتالي تقليل كمية المحلول اللازمة لتوليد كمية البخار نفسها لمائع التثليج بثبوت تركيز المحلول في المولد. وهذا يعني أنَّ انخفاض معدل جريان المحلول المركز الخارج من المولد مما يقلل من كمية الحرارة اللازمة للمولد و كما ذكرنا سابقاً أن العلاقة

عكسية بين كمية الحرارة الداخلة للمولد و معامل الأداء للمنظومة على وفق المعادلة (23) و عليه نستنتج أنَّ معامل الأداء يزداد بزيادة درجة حرارة المبخر .

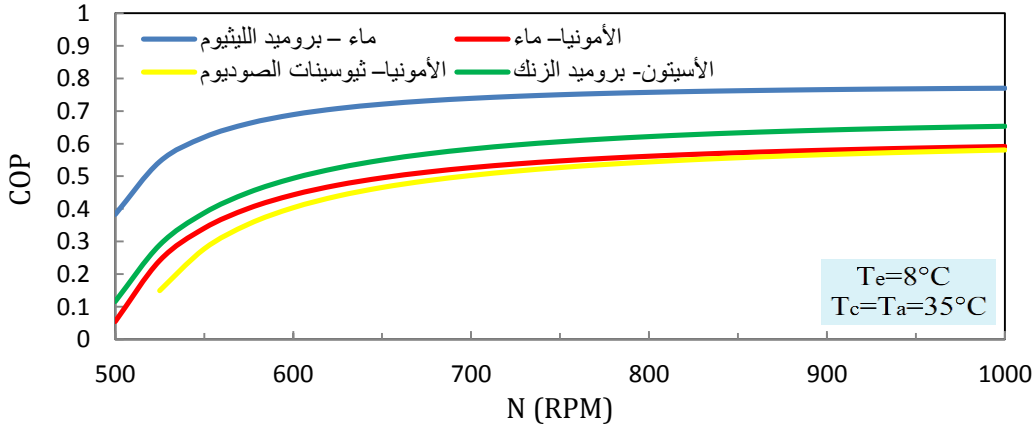
2.3. المقارنة بين محاليل التثليج المستخدمة عند الظروف الحرارية نفسها.

1.2.3. ظروف عدم التحميل .

توضح الأشكال (2) و(3) تأثير تغيير السرعة الدورانية للمحرك في كل من كمية الحرارة المكتسبة في المبخر ومعامل الأداء للمنظومة عند درجات الحرارة نفسها لكل من المبخر والمكثف ووعاء الامتصاص و باستخدام محاليل التثليج المختلفة . إذ يلاحظ أنَّ محلول (ماء - بروميد الليثيوم) له أفضل أداء ثم يليه محلول (الأسيتون - بروميد الزنك) ثم محلول (الأمونيا - ماء) وأخيراً محلول (الأمونيا - ثيوسينات الصوديوم) .

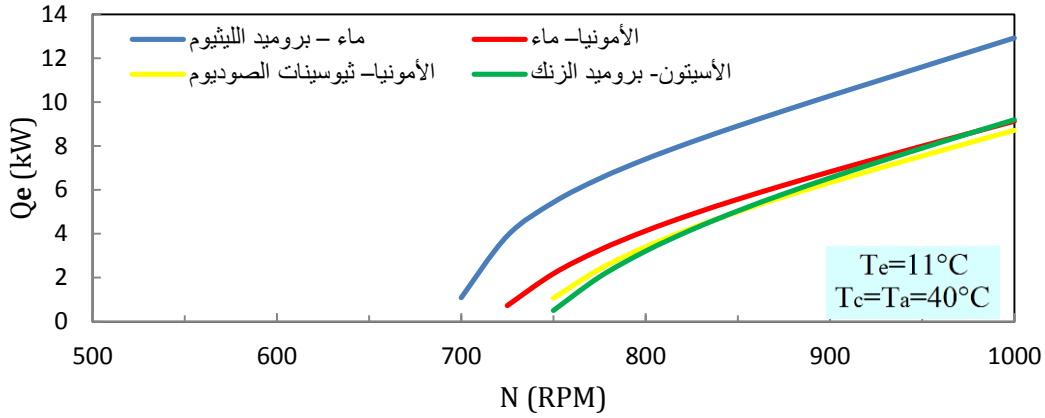


الشكل (2) تأثير تغيير السرعة الدورانية للمحرك على كمية الطاقة الحرارية المكتسبة في المبخر لمحاليل التثليج المختلفة عند ظروف عدم التحميل للمحرك .

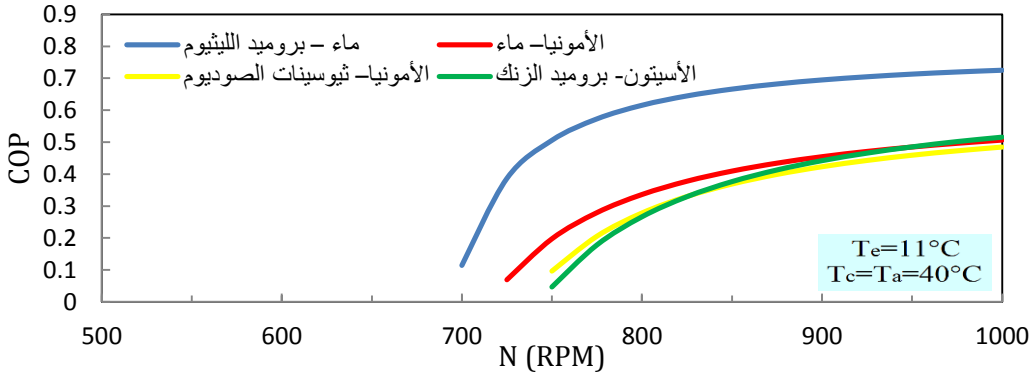


الشكل (3) تأثير تغيير السرعة الدورانية للمحرك على معامل الأداء للمنظومة لمحاليل التثليج المختلفة عند ظروف عدم التحميل للمحرك .

و توضح الأشكال (4) و (5) تأثير تغيير السرعة الدورانية للمحرك في كل من كمية الحرارة المكتسبة في المبخر ومعامل الأداء للمنظومة عند درجات الحرارة نفسها لكل من المبخر والمكثف ووعاء الامتصاص و باستخدام محاليل التثليج المختلفة. إذ يلاحظ أنَّ محلول (ماء - بروميد الليثيوم) له أفضل أداء ثم يليه محلول (الأمونيا- ماء) ثم محلول (الأمونيا- ثيوسينات الصوديوم) وأخيراً محلول (الأسيتون- بروميد الزنك) .

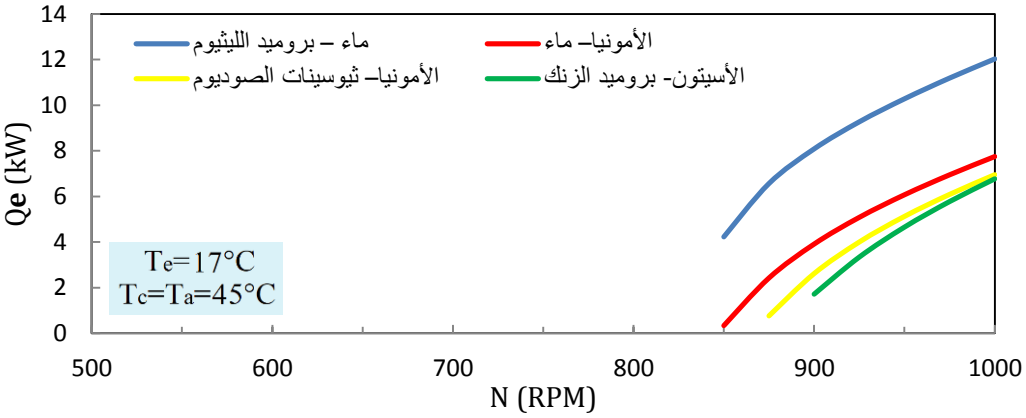


الشكل (4) تأثير تغيير السرعة الدورانية للمحرك على كمية الطاقة الحرارية المكتسبة في المبخر لمحاليل التثليج المختلفة عند ظروف عدم التحميل للمحرك.

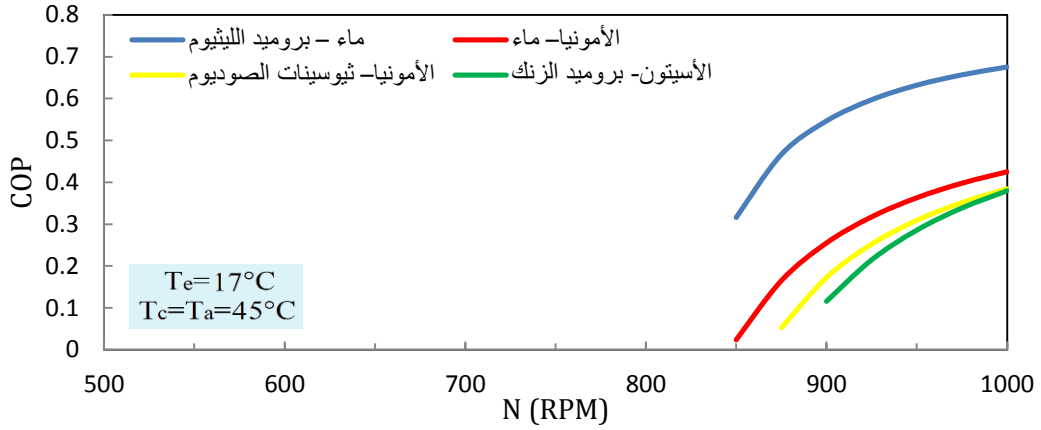


الشكل (5) تأثير تغيير السرعة الدورانية للمحرك على معامل الأداء للمنظومة لمحاليل التثليج المختلفة عند ظروف عدم التحميل للمحرك .

وتوضح الأشكال (6) و (7) تأثير تغيير السرعة الدورانية للمحرك في كل من كمية الحرارة المكتسبة في المبخر ومعامل الأداء للمنظومة عند درجات الحرارة نفسها لكل من المبخر والمكثف ووعاء الامتصاص و باستخدام محاليل التثليج المختلفة. إذ يلاحظ أنَّ محلول (ماء - بروميد الليثيوم) له أفضل أداء ثم يليه محلول (الأمونيا- ماء) ثم محلول (الأمونيا - ثيوسينات الصوديوم) وأخيراً محلول (الأسيتون- بروميد الزنك) .



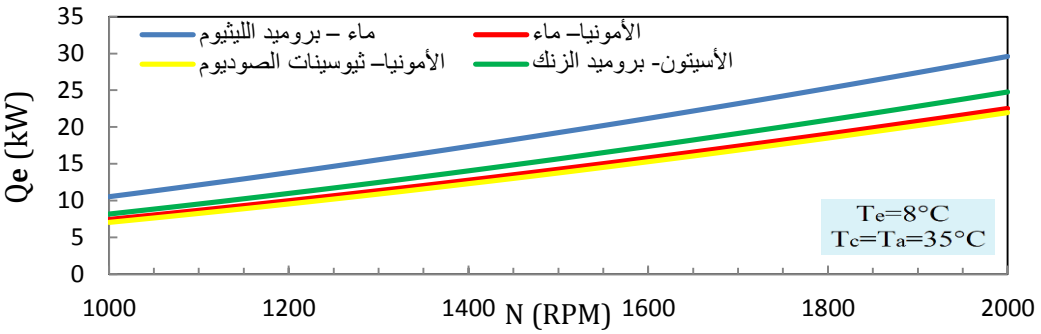
الشكل (6) تأثير تغيير السرعة الدورانية للمحرك على كمية الطاقة الحرارية المكتسبة في المبخر لمحاليل التثليج المختلفة عند ظروف عدم التحميل للمحرك.



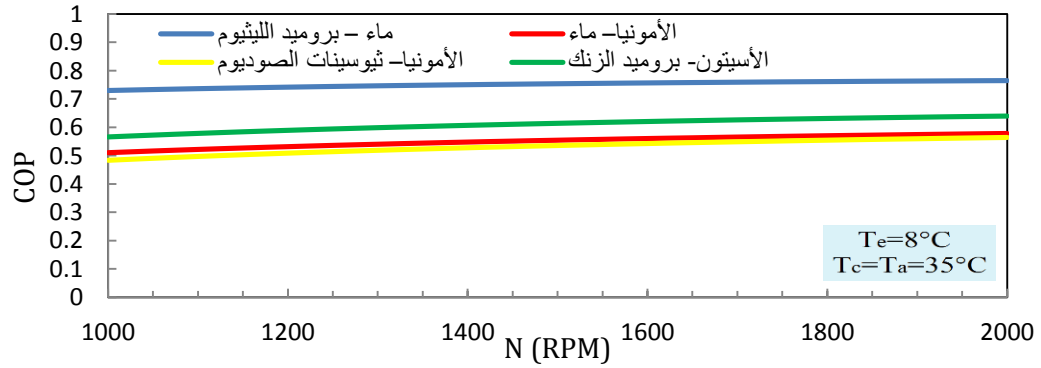
الشكل (7) تأثير تغيير السرعة الدورانية للمحرك على معامل الأداء للمنظومة لمحاليل التثليج المختلفة عند ظروف عدم التحميل للمحرك .

2.2.3. *ظروف التحميل*

توضح الأشكال (8) و (9) تأثير تغيير السرعة الدورانية للمحرك في كل من كمية الحرارة المكتسبة في المبخر ومعامل الأداء للمنظومة عند درجات الحرارة نفسها لكل من المبخر والمكثف ووعاء الامتصاص و باستخدام محاليل التثليج المختلفة. إذ يلاحظ أنَّ محلول (ماء-بروميد الليثيوم) له أفضل أداء ثم يليه محلول (الأسيتون- بروميد الزنك) ثم محلول (الأمونيا- ماء) وأخيراً محلول (الأمونيا-ثيوسينات الصوديوم) .



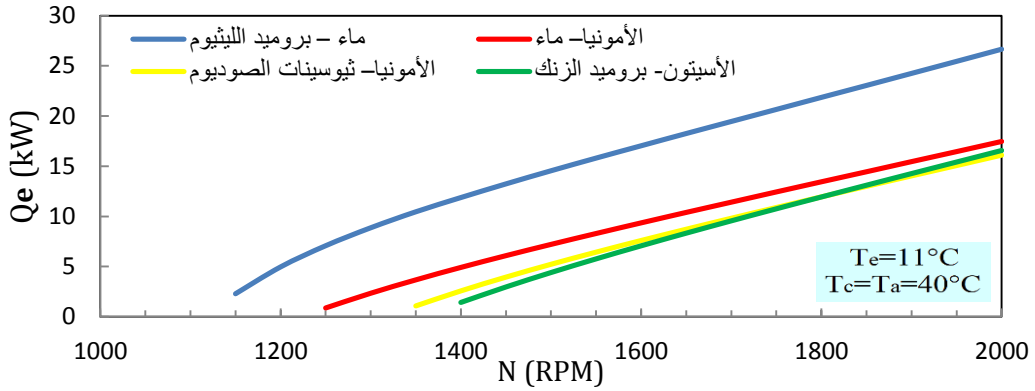
الشكل (8) تأثير تغيير السرعة الدورانية للمحرك على كمية الطاقة الحرارية المكتسبة في المبخر لمحاليل التثليج المختلفة عند ظروف التحميل للمحرك.



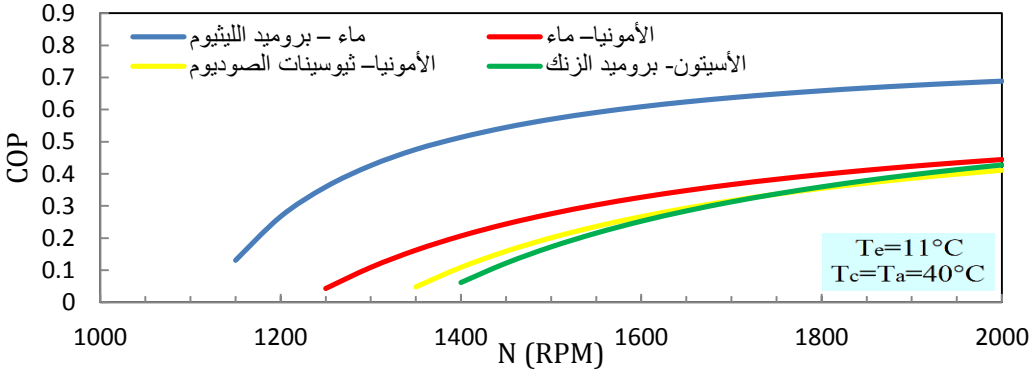
الشكل (9) تأثير تغيير السرعة الدورانية للمحرك على معامل الأداء للمنظومة لمحاليل التثليج المختلفة عند ظروف التحميل للمحرك .

و توضح الأشكال (10) و (11) تأثير تغيير السرعة الدورانية للمحرك في كل من كمية الحرارة المكتسبة في المبخر ومعامل الأداء للمنظومة عند درجات الحرارة نفسها لكل من المبخر والمكثف ووعاء الامتصاص و

باستخدام محاليل التثليج المختلفة . إذ يلاحظ أنَّ محلول (ماء-بروميد الليثيوم) له أفضل أداء ثم يليه محلول (الأمونيا- ماء) ثم محلول (الأمونيا-ثيوسينات الصوديوم) وأخيراً محلول (الأسيتون- بروميد الزنك) .

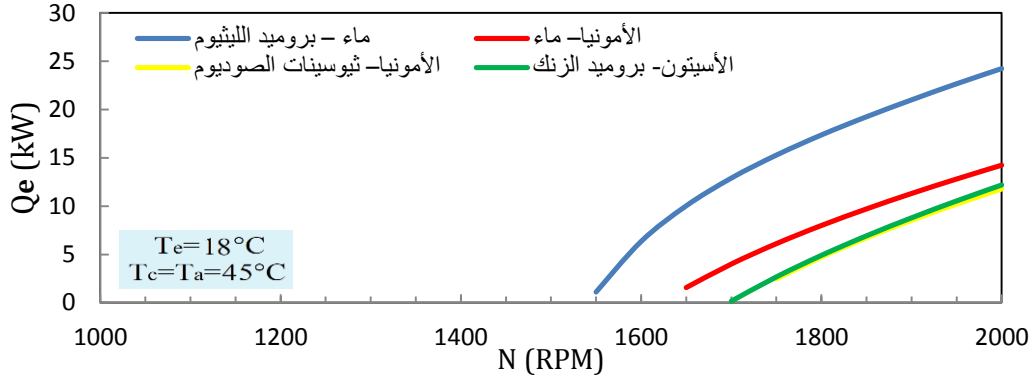


الشكل (10) تأثير تغيير السرعة الدورانية للمحرك على كمية الطاقة الحرارية المكتسبة في المبخر لمحاليل التثليج المختلفة عند ظروف التحميل للمحرك.

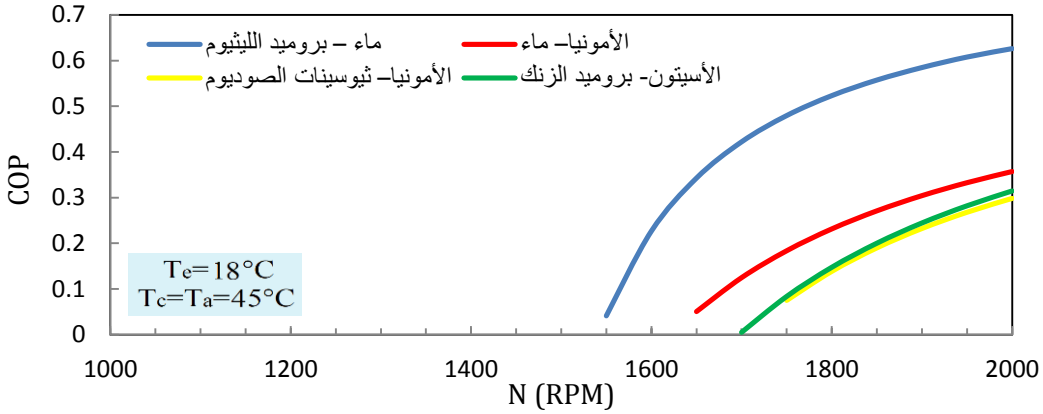


الشكل (11) تأثير تغيير السرعة الدورانية للمحرك على معامل الأداء للمنظومة لمحاليل التثليج المختلفة عند ظروف التحميل للمحرك .

وتوضح الأشكال (12) و (13) تأثير تغيير السرعة الدورانية للمحرك في كل من كمية الحرارة المكتسبة في المبخر ومعامل الأداء للمنظومة عند درجات الحرارة نفسها لكل من المبخر والمكثف ووعاء الامتصاص و باستخدام محاليل التثليج المختلفة. إذ يلاحظ أنَّ محلول (ماء-بروميد الليثيوم) له أفضل أداء ثم يليه محلول (الأمونيا- ماء) ثم محلول (الأسيتون- بروميد الزنك) وأخيراً محلول (الأمونيا-ثيوسينات الصوديوم) .



الشكل (12) تأثير تغيير السرعة الدورانية للمحرك على كمية الطاقة الحرارية المكتسبة في المبخر لمحاليل التثليج المختلفة عند ظروف التحميل للمحرك.



الشكل (13) تأثير تغيير السرعة الدورانية للمحرك على معامل الأداء للمنظومة لمحاليل التثليج المختلفة عند ظروف التحميل للمحرك .

4. الاستنتاجات .

أعد هذا البحث لدراسة إمكانية استغلال الطاقة الحرارية المتبددة من ماء تبريد محرك السيارة في تشغيل منظومة تثليج امتصاصية باستخدام أربعة محاليل تثليج مختلفة (ماء - بروميد الليثيوم / أمونيا - ماء / أمونيا – ثيوسينات الصوديوم / أسيتون - بروميد الزنك) ، إذ تضمن هذا البحث إنشاء أربعة نماذج رياضية لدراسة أوجه المقارنة بين هذه المحاليل ولمعرفة الأفضل من بينها من حيث الأداء وبعد الحصول على النتائج و تمثيلها بمخططات حرارية تفصيلية استنتج من خلالها ما يأتي :

نوع المحلول	ظروف التشغيل	سعة التبريد (kW)	معامل الأداء	درجة حرارة المبخر (°C)	درجة جرارة المكثف و وعاء الامتصاص (°C)
ماء – بروميد الليثيوم	عدم التحميل (1000 RPM)	14.49	0.8136	14	35
		13.72	0.7704	14	40
		5.205	0.2922	14	45
	التحميل (2000 RPM)	32.32	0.8346	17	35
		30.88	0.7974	17	40
		19.73	0.5094	17	45
الأمونيا– ماء	عدم التحميل (1000 RPM)	12.13	0.6779	15	35
		10.86	0.6046	15	40
		4.003	0.2172	15	45
	التحميل (2000 RPM)	27.1	0.697	17	35
		27.49	0.6271	17	40
		8.537	0.2121	17	45
الأمونيا – ثيوسينات الصوديوم	عدم التحميل (1000 RPM)	11.78	0.6596	15	35
		10.48	0.5853	15	40
		2.322	0.127	15	45
	التحميل (2000 RPM)	26.16	0.6742	17	35
		23.49	0.6037	17	40
		4.611	0.1159	17	45
الأسيتون - بروميد الزنك	عدم التحميل (1000 RPM)	13.49	0.7573	16	35
		12.14	0.6815	16	40
		3.708	0.2079	16	45
	التحميل (2000 RPM)	32.25	0.8328	18	35
		27.46	0.7089	18	40
		12.19	0.3146	18	45

اذ يتضح من الجدول اعلاه ان محلول (ماء - بروميد الليثيوم) له أفضل أداء ومن ثم يليه محلول (أمونيا - ماء) ويليه (أمونيا – ثيوسينات الصوديوم) و أخيراً (أسيتون - بروميد الزنك) عند الاخذ بنظر الاعتبار درجة الحرارة التي يعمل بها المبخر; سيما وان هذا الدرجة هي التي ستحدد درجة حرارة هواء التبريد الداخل الى الحيز المراد تبريده.

5. الدراسات المستقبلية.

فيما يلي بعض التوصيات للدراسات المستقبلية :

1. القيام بالدراسة نفسها مع تحسين درجة حرارة ماء منظومة تبريد المحرك عن طريق تسخينه بواسطة جزء من الحرارة المفقودة في غازات العادم.
2. إجراء هذه المقارنة على نحو عملي و المقارنة مع النتائج التي تم التوصل إليها في هذا البحث .
3. القيام بمقارنة عملية و نظرية باستخدام محاليل التثليج المستخدمة في هذا البحث مع تغيير المصدر المجهز للحرارة من منظومة تبريد محرك السيارة إلى المجمعات الشمسية أو المراجل الحرارية وغيرها الكثير .

الرموز

الرمز	التعريف	الوحدة
COP	معامل الأداء	---
C_p	الحرارة النوعية عند الضغط الثابت	kJ / kg . K
h	المحتوى الحراري (الانثالبي)	J / kg
$\dot{m}$	معدل جريان الكتلة	kg / s
N	السرعة الدورانية للمحرك	RPM
P	الضغط	N / $\mathbf{m^2}$
Q	الطاقة الحرارية	W
T	درجة الحرارة	K
W	الشغل	W
X	تركيز المحلول	---

الرموز اللاتينية

الرمز	التعريف	الوحدة
ΔT	متوسط الفرق لدرجات الحرارة	K
ε	الفعالية	---
η	الكفاءة	---
ρ	الكثافة	kg / $\mathbf{m^2}$

الرموز الدليلية السفلية

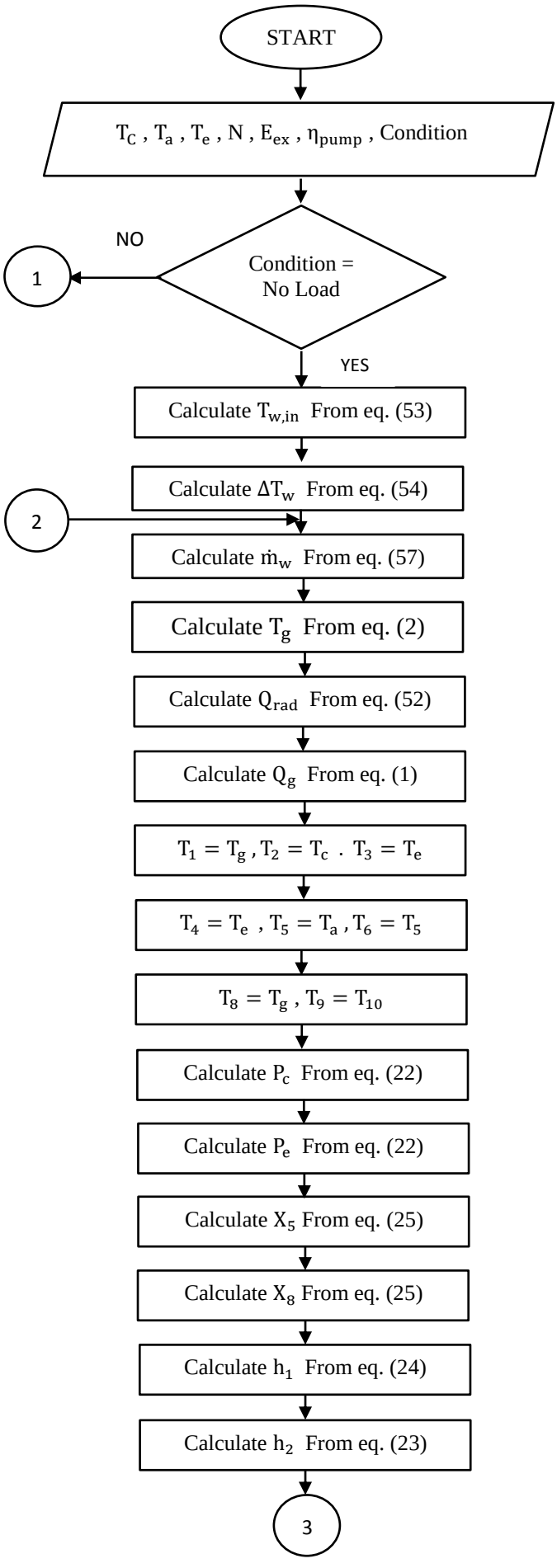
الرمز	التعريف
1،2،3،....	الحالة عند النقطة
a	وعاء الامتصاص
Acetone	أسيتون
Acetone – ZnBr 2	أسيتون – بروميد الزنك
c	المكثف
e	المبخر
ex	المبادل الحراري للمحلول
g	مولد البخار

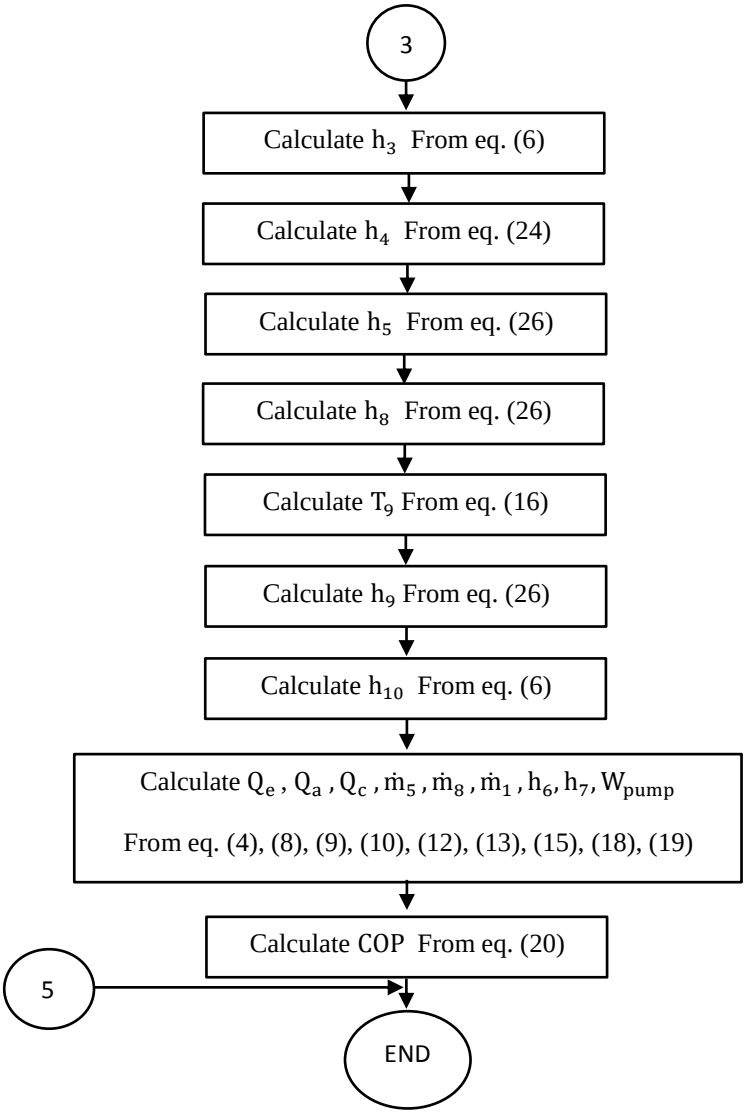
H_2O	ماء
H_2O-LiBr	ماء – بروميد الليثيوم
l	الحالة السائلة
NH_3	أمونيا
NH_3-H_2O	أمونيا - ماء
NH_3-NaSCN	أمونيا – ثيوسينات الصوديوم
pump	مضخة المحلول
r	مائع التثليج
sol	المحلول
v	الحالة الغازية (بخار)
w	ماء منظومة تبريد المحرك
w،in	الماء الداخل لمنظومة تبريد المحرك
NL	عدم التحميل
WL	مع التحميل
rad	منظومة تبريد المحرك (الراديتور)

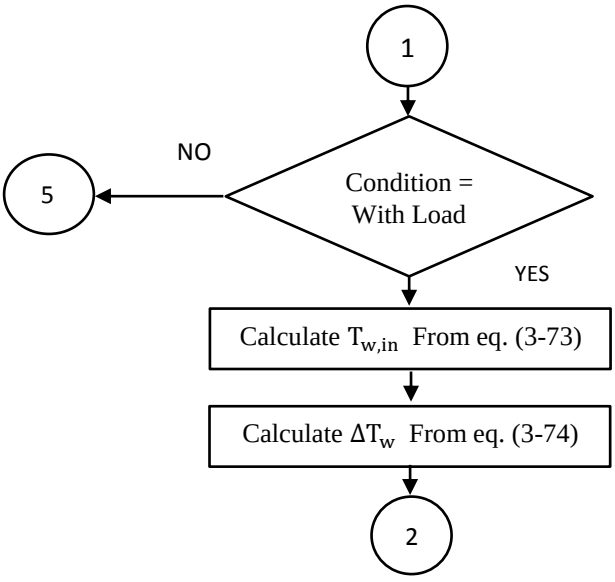
6.المراجع

1. Ferguson، C. R، Kirkpatrick، A. T. (2001)." *Internal Combustion Engines Applied Thermosciences* ". 2ed Edition ، John Wiley & sons، Inc.
2. Boatto P.، Boccaletti C.، Cerri G.، Malvicino C.، (2000). *" Internal Combustion Engine Waste Heat Potential For An Automotive Absorption System Of Air Conditioning Part 1: Tests On The Exhaust System Of A Spark Ignition Engine"* . The Institute Of Mechanical Engineers، Vol. 214، No. 8، pp. 979-982 .
3. Boatto، P.، Boccaletti، C.، Cerri، G.، Malvicino، C.، (2000). *Internal Combustion Engine Waste Heat Potential For An Automotive Absorption System Of Air Conditioning Part 2: The Automotive Absorption System.* The Institute Of Mechanical Engineers، Vol. 214، No. 8، pp.983-989.
4. Horuz I.، (1998) . *"Alternative Road Transport Refrigeration"*. Turkish Journal Of Engineering And Environmental Sciences، Vol. 22، No. 3، pp. 211-222.
5. Shannon M. M.، (2005). "*An Alternative Refrigeration System for Automotive Applications* "، M.Sc. Thesis، Department of Mechanical Engineering ; Mississippi State.
6. Abdulwadood S. Sh.،(2013). *" Perspective the Use of Thermal Energy Lost From an Engine Cooling System to Run an Absorption Refrigerator for Vehicle Air Conditioning"* . Thi-Qar University Journal for Engineering Sciences، Vol. 4، No. 1، pp. 74-91.
7. Holman. J. P.، (2010). *" Heat Transfer* "، 10th Edition، Mc Graw–Hill Companies ، Inc.
8. Al–Doori A. S.، (1983*). " A Feasibility Study Of An Air Conditioning System For A Vehicle Using The Reject Heat Energy "* M.Sc. Thesis، College Of Engineering، University Of Basrsh.

9. Tesha. (2009). *" Absorption Refrigeration System As An Integrated Condenser Cooling Unit In A Geothermal Power Plant "*. M.SC Thesis، Department Of Mechanical And Industrial Engineering، University Of Iceland .
10. Liu. Y.L.، Wang. R.Z.، (2004). *"Performance Prediction of a Solar/Gas Driving Double Effect LiBr–H2O Absorption System"* . Renewable Energy، Vol. 29، pp.1677–1695 .
11. Lansing. F. L.، (1978). *"Computer Modeling Of A Single Stage Lithium Bromide / Water Absorption Refrigeration Unit "*. DNS Engineering Section، JPL Deep Space Network Progress Report 42-43.
12. G.A. Florides، S.A. Kalogirou، S.A. Tassou ، L.C. Wrobel، (2003). *"Design And Construction Of A Libr–Water Absorption Machine".* Energy Conversion And Management ، Vol . 44، PP (2483–2508) .
13. Sun. D. W.،(1998*). "Comparison Of The Performances Of NH3–H2O ، NH3–LiNO3 And NH3–NaSCN Absorption Refrigeration Systems"* . Energy Convers. Mgmt، Vol. 39، No. 5/6 ، pp.357–368
14. Pennington. R. E.، Kobe. K. A.، (1957*). "The Thermodynamic Properties Of Acetone"*. J. Am. Chem. Soc.، Vol .79، pp.300-305 .
15. Salman A.، Ali K.، (2008). *"Thermo Physical Properties Of Acetone–Zinc Bromide For Using In A Low Temperature Driven Absorption Refrigeration Machine"* . Heat Mass Transfer، Vol. 45، pp.61–70 .


START
T_C , T_a , T_e , N , E_{ex} , η_{pump} , Condition
NO
Condition = No Load
1
YES
Calculate $T_{w,in}$ From eq. (53)
Calculate ΔT_w From eq. (54)
2
Calculate $\dot{m}_w$ From eq. (57)
Calculate T_g From eq. (2)
Calculate Q_{rad} From eq. (52)
Calculate Q_g From eq. (1)
$T_1 = T_g$, $T_2 = T_c$. $T_3 = T_e$
$T_4 = T_e$, $T_5 = T_a$, $T_6 = T_5$
$T_8 = T_g$, $T_9 = T_{10}$
Calculate P_c From eq. (22)
Calculate P_e From eq. (22)
Calculate X_5 From eq. (25)
Calculate X_8 From eq. (25)
Calculate h_1 From eq. (24)
Calculate h_2 From eq. (23)
3


3
Calculate h_3 From eq. (6)
Calculate h_4 From eq. (24)
Calculate h_5 From eq. (26)
Calculate h_8 From eq. (26)
Calculate T_9 From eq. (16)
Calculate h_9 From eq. (26)
Calculate h_{10} From eq. (6)
Calculate Q_e , Q_a , Q_c , $\dot{m}_5$, $\dot{m}_8$, $\dot{m}_1$, h_6, h_7, W_{pump}
From eq. (4), (8), (9), (10), (12), (13), (15), (18), (19)
Calculate COP From eq. (20)
5
END


1
NO
5
Condition =
With Load
YES
Calculate $T_{w,in}$ From eq. (3-73)
Calculate ΔT_w From eq. (3-74)
2