

استخدام حرارة ماء تبريد المحرك لتشغيل منظومة التبريد الامتصاصية لتكييف هواء السيارة

حيدر حاتم عبد الصاحب

المعهد العالي للعلوم والتقنية غريان

haiderhatem2@yahoo.com

Abstract :

It is known that one- third of the energy generated by combustion of fuel in internal combustion engines transfer to the walls of engine parts and causing their temperature to rise. This lost energy is extracted by the water cooling system. This paper is addressed to investigate the possibility of using a lost heat to drive absorption refrigeration system as an alternative system for car air conditioning. Lithium Bromide – water absorption refrigerator is suggested for this application. A theoretical analysis of the system has been carried out to maximize its cooling potential. The study was conducted on the 6-cylinder petrol engine and it is found that the wasted energy from the engine cooling system is ranged between 10.8 kW at engine speed 500 rpm to 77.6 kW at engine speed 2000 rpm. In this research was calculated the cooling capacity and of the coefficient of performance of the system at different temperature in the condenser and evaporator and noted that the low level of the water temperature did not allow the refrigeration system to produce continuous cooling corresponding to engine speeds at a low evaporator temperature (less than 22 °C) , especially at hot weather condition (at 45 °C).

المخلص:

كما هو معلوم إنه حوالي ثلث الطاقة الناتجة من احتراق الوقود في محركات الاحتراق الداخلي تنتقل إلى جدران أجزاء المحرك وتتسبب بارتفاع درجة حرارتها وهذه الطاقة الحرارية المفقودة تسحب بواسطة ماء تبريد المحرك. يتناول هذا البحث التحقق من إمكانية استخدام الطاقة الحرارية المفقودة إلى أجزاء المحرك والمسحوبة بواسطة ماء تبريد المحرك لإدارة منظومة تبريد امتصاصية لغرض تشغيل جهاز تكييف هواء السيارة وتبريد هواء حيز الجلوس. واقترحت منظومة التبريد الامتصاصية بروميد الليثيوم _ ماء لهذا التطبيق وتم أنجاز تحليل نظري للمنظومة للحصول على أفضل أداء. وأجريت الدراسة لسيارة محرك بنزين ذو ست

اسطوانات ووجد أن الطاقة المطروحة من منظومة تبريد محرك السيارة تتراوح بين 10.8 kW عندما كانت سرعة دوران المحرك 500 rpm إلى 77.6 kW عندما تكون سرعة دوران المحرك 2000 rpm. تم حساب سعة التبريد ومعامل أداء المنظومة عند درجات حرارة مختلفة في المكثف والمبخر ولاحظ أنه في الأجواء الحارة وعندما تكون درجة حرارة المكثف مرتفعة (45 °C) فإنه لا يمكن الحصول على تبريد مستمر من المنظومة ودرجات حرارة تبريد في المبخر منخفضة (أقل من 22 °C) ويرجع السبب في ذلك إلى المستوى المنخفض لدرجة حرارة ماء تبريد المحرك.

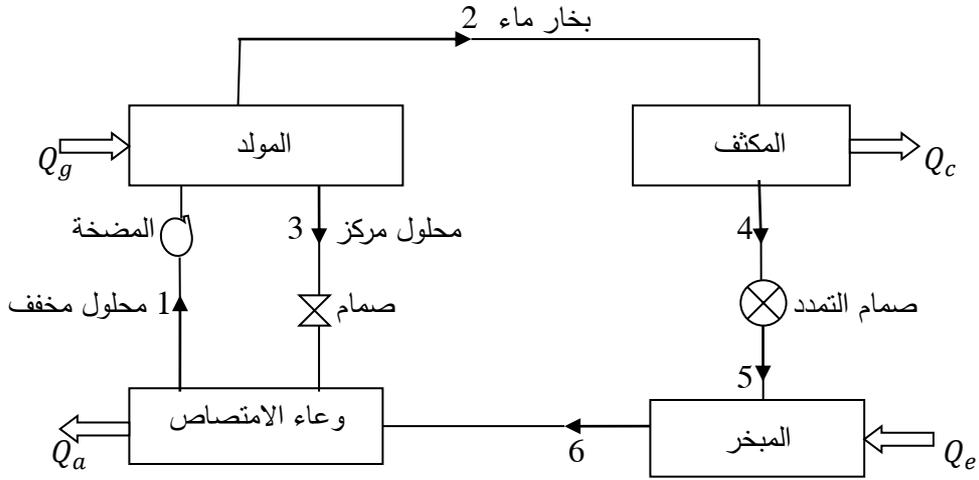
المقدمة :

منظومة تكييف هواء السيارات في الوقت الحالي تشغل تبعاً لدورة التبريد الأنضغاطية وفي هذه الدورة يستخدم الضاغط وهو يحتاج إلى طاقة كبيرة لكي يعمل، وهذه الطاقة تأخذ من قدرة المحرك وبالتالي يقلل من كفاءة محرك السيارة لذلك تجرى البحوث الآن للاستفادة من الطاقة الحرارية المنتقلة إلى جدران أجزاء المحرك والمسحوبة بواسطة ماء التبريد لتشغيل منظومة التبريد الامتصاصية وتشغيل منظومة تكييف هواء السيارة.

تعتمد منظومة التبريد الامتصاصية على ظاهرة تواجد بعض المواد الصلبة والسائلة عند تبريدها يمكنها امتصاص بعض المواد الأخرى وعند إعادة تسخينها تتخلص منها. وتعرف المواد الصلبة والسائلة بالمواد الماصة absorbers والمواد الأخرى موائع التبريد refrigerants. ويوجد نوعان من منظومة التبريد الامتصاصية شائعة الاستعمال وهما: 1- منظومة التبريد الامتصاصية تستخدم الأمونيا كمائع للتبريد والماء كمادة ماصة وهذه المنظومة تستخدم في مجال التبريد والتجميد بدرجات حرارة منخفضة. 2- منظومة التبريد الامتصاصية تستخدم الماء كمائع للتبريد وملح بروميد الليثيوم كمادة ماصة وهي تستخدم في مجالات تكييف الهواء والتي اقترحت للاستخدام في هذا البحث [1].

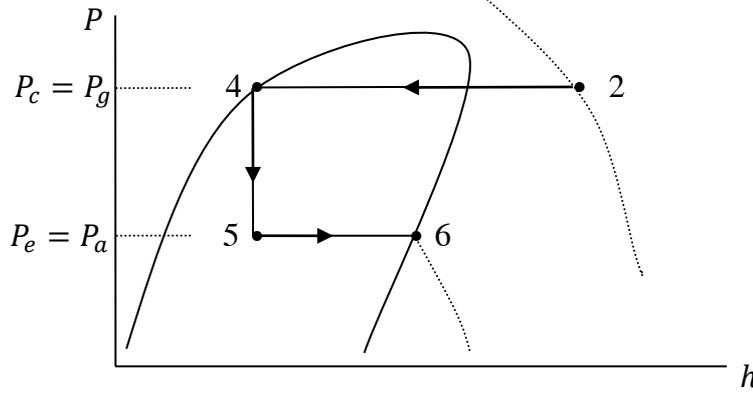
تحتاج منظومة التبريد الامتصاصية إلى طاقة حرارية ويمكن استخدام أي مصدر متوفر للطاقة مثل الغازات الطبيعية أو الطاقة الشمسية أو الكهرباء أو حرارة ماء تبريد محرك السيارة كما اقترح في هذا البحث. يوضح الشكل (1) مكونات منظومة بروميد الليثيوم_ماء الامتصاصية وفيها نلاحظ أنه عند إضافة حرارة (Q_g) في المولد Generator - وهي الحرارة المسحوبة من ماء تبريد المحرك - يتبخر الماء الموجود في المحلول، وعند طرد الحرارة (Q_c) خلال المكثف Condenser يتكثف بخار الماء إلى ماء سائل، وبعد تمدد الماء المتكثف من الضغط العالي (ضغط المكثف P_c) إلى الضغط المنخفض (ضغط

المبخر (P_e) يتبخر الماء في المبخر Evaporator ممتصاً الحرارة (Q_e) من المكان المبرد. داخل وعاء الامتصاص Absorber يتم اختلاط بخار الماء المتولد في المبخر بالمحلول المركز الراجع من المولد عبر صمام تمدد للحصول على المحلول المخفف. وتتم خلال عملية الامتصاص طرد الحرارة (Q_a). وتعمل المضخة على سريان المحلول المخفف وزيادة ضغطه من ضغط وعاء الامتصاص (P_a) إلى ضغط المولد (P_g).



الشكل (1): أجزاء منظومة التبريد الامتصاصية

ويوضح الشكل (2) مخطط الضغط _ الانتالبي للماء (مائع التبريد) في منظومة بروميد الليثيوم _ ماء الامتصاصية وحسب نقاط الحالات الموضحة في الشكل (1).



الشكل (2): مخطط الضغط _ الانتالبي للماء في منظومة بروميد الليثيوم _ ماء الامتصاصية
 التحليل الرياضي:

المنظومة المقترحة في هذا البحث يتم تشغيلها بواسطة الماء الساخن الذي يدور في منظومة تبريد محرك السيارة. ومقدار الحرارة المطرودة خلال مشع السيارة Q_{rad} يمكن حسابها بالمعادلة:

$$Q_{rad} = m_w C_p (T_{w,in} - T_{w,out}) \quad (1)$$

m_w معدل تدفق ماء تبريد المحرك. ويعتمد على سرعة دوران المحرك ومن دراسة سابقة [2] يكون:

$$m_w = 0.001 N - 0.1243 \quad \{kg/s\} \quad (2)$$

N سرعة دوران المحرك $\{rpm\}$.

درجتي حرارة دخول وخروج الماء من مشع السيارة على الترتيب. ويمكن حسابهما اعتماداً على دراسة سابقة [2] ويكون:

$$T_{w,in} = 0.006 N + 71.19 \quad \{^{\circ}C\} \quad (3)$$

$$T_{w,out} = 0.004 N + 65.32 \quad \{^{\circ}C\} \quad (4)$$

وبفرض أن درجة حرارة المولد T_g أقل بـ $5^{\circ}C$ من درجة حرارة ماء تبريد المحرك الساخن ($T_{w,in}$) أي أن [3]:

$$T_g = T_{w,in} - 5 \quad (5)$$

ونفرض أن المولد يستطيع أن يمتص 50% من الحرارة المستخلصة من ماء تبريد المحرك في المشع
 أي أن:

$$Q_g = 0.5 Q_{rad} \quad (6)$$

أي أن فاعلية المبادل الحراري المستخدم تكون 0.5 [4].

يحتوي المكثف والمبخر على الماء وبخاره فقط لذلك فإن الضغط المناظر لدرجات حرارة عمل كل منهما
 هو ضغط التشبع (P_{sat}) لبخار الماء. إضافة إلى ذلك فإن ضغط المولد P_g يساوي ضغط المكثف P_c ،
 وأن ضغط وعاء الامتصاص P_a يساوي ضغط المبخر P_e أي أن:

$$P_c = P_g = P_2 = P_3 = P_4 = P_{sat. at T_c} \quad (7)$$

$$P_e = P_a = P_1 = P_5 = P_6 = P_{sat. at T_e} \quad (8)$$

T_c درجة حرارة المكثف. و T_e درجة حرارة المبخر.

معدل تدوير بروميد الليثيوم بين المولد ووعاء الامتصاص يخضع لاتزان الكتلة التالي:

$$m_1 x_1 = m_3 x_3 \quad (9)$$

x_1 تركيز المحلول المخفف في النقطة (1) وهو يعتمد على ضغط المبخر ودرجة حرارة وعاء الامتصاص
 أي أن:

$$x_1 = f(T_a, P_e) \quad (10)$$

x_3 تركيز المحلول المركز في النقطة (3) وهو يعتمد على ضغط المكثف ودرجة حرارة المولد أي أن:

$$x_3 = f(T_g, P_c) \quad (11)$$

m_1 معدل تدفق كتلة المحلول المخفف. و m_3 معدل تدفق كتلة المحلول المركز.

وأن أتران الكتلة الكلية يكون:

$$m_2 = m_1 - m_3 \quad (12)$$

m_2 معدل تدفق كتلة بخار الماء الخارج من المولد.

معادلة الاتزان الحراري خلال المولد تكون:

$$Q_g = m_2 h_2 + m_3 h_3 - m_1 h_1 \quad (13)$$

h_2 الانتالبي (المحتوى الحراري) لبخار الماء الخارج من المولد. h_1 الانتالبي (المحتوى الحراري) للمحلول المخفف الداخل إلى المولد. h_3 الانتالبي (المحتوى الحراري) للمحلول المركز الخارج من المولد.

ويمكن حساب سعة تبريد المنظومة من المعادلة التالية:

$$Q_e = m_2 (h_6 - h_5) \quad (14)$$

h_5 و h_6 الانتالبي (المحتوى الحراري) لبخار الماء الداخل والخارج من المبخر على الترتيب.

معامل أداء المنظومة يكون:

$$COP = \frac{Q_e}{Q_g} \quad (15)$$

خواص الماء و خواص محلول بروميد الليثيوم ماء عند مختلف الضغوط ودرجات الحرارة وتركيز المحلول تم أخذها من المرجع [5].

النتائج والمناقشة:

تم حل المعادلات الحاكمة لمنظومة التبريد وملاحظة تصرف المنظومة عند ظروف تشغيل مختلفة مؤثرة على أداء المنظومة. حيث تم فرض أن درجتي حرارة المكثف ووعاء الامتصاص متساويتان وأخذت قيم لهما تتراوح بين 35°C إلى 45°C . وأخذت قيم لدرجة حرارة المبخر تتراوح بين 5°C إلى 22°C . بينما درجة حرارة المولد محددة وتعتمد على درجة حرارة ماء تبريد محرك السيارة.

يبين الشكل (3) مقدار الطاقة الحرارية المستخلصة من ماء تبريد المحرك أثناء مروره في المشع مع تغير سرعة دوران المحرك. ونلاحظ أنه عند زيادة سرعة الدوران تزداد الطاقة المستخلصة من ماء التبريد وذلك بسبب زيادة طاقة احتراق الوقود في المحرك وبالتالي زيادة الطاقة الحرارية المنقلة إلى أجزاء المحرك ويؤدي ذلك إلى زيادة درجة حرارة ماء تبريد المحرك الداخل إلى المشع.

الأشكال من (4) إلى (9) توضح سعة التبريد ومعامل أداء المنظومة عند درجات حرارة مختلفة في المكثف والمبخر. وفي جميع هذه الأشكال نلاحظ أنه عند زيادة سرعة دوران المحرك تزداد سعة التبريد

ومعامل أداء المنظومة وذلك بسبب الزيادة في طاقة احتراق الوقود والذي يسبب زيادة درجة حرارة ماء تبريد المحرك وبالتالي زيادة درجة حرارة البخار المتكون في المولد.

كذلك نلاحظ في الأشكال من (4) إلى (9) أنه عند زيادة درجة حرارة المبخر تزداد سعة التبريد ومعامل أداء المنظومة وذلك بسبب زيادة كمية بخار الماء (مائع التبريد) المتحرر في المولد في هذه الحالة.

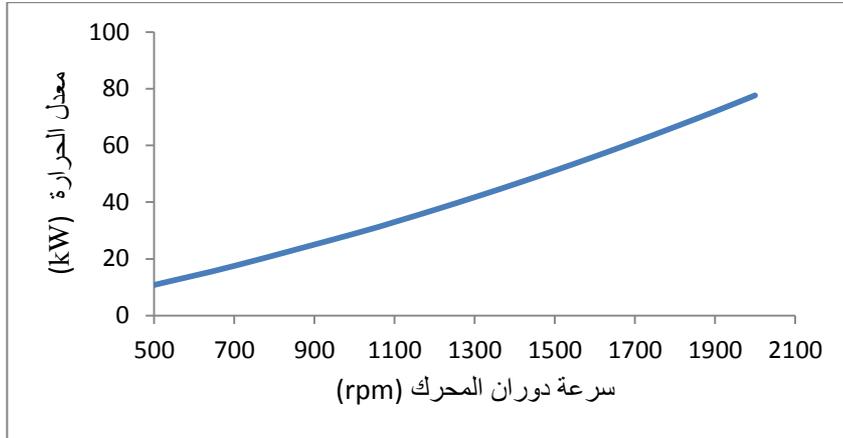
الشكل (4) يبين أنه عندما تكون درجة حرارة المكثف - وعاء الامتصاص 35°C فإن المنظومة تنتج تبريد من بداية تشغيل المحرك أي عند سرعة الدوران المنخفضة (500 rpm) ولكل درجات حرارة المبخر التي تكون أعلى من 5°C . ونلاحظ في هذا الشكل أنه عندما تكون درجة حرارة المبخر 5°C تتراوح سعة التبريد بين 1.62 kW عند سرعة دوران المحرك 500 rpm إلى 24.38 kW عند سرعة دوران 2000 rpm وأن سعة التبريد تكون كافية (حوالي 6 kW) عند سرعة دوران المحرك 920 rpm. وعندما تكون درجة حرارة المبخر 10°C تتراوح سعة التبريد بين 3.32 kW عند سرعة دوران المحرك 500 rpm إلى 28 kW عند سرعة دوران 2000 rpm وأن سعة التبريد تكون كافية عندما تصل سرعة دوران المحرك إلى 720 rpm. وعندما تكون درجة حرارة المبخر 15°C تتراوح سعة التبريد بين 3.94 kW عند سرعة دوران المحرك 500 rpm إلى 30.04 kW عند سرعة دوران 2000 rpm وأن سعة التبريد تكون كافية عندما تصل سرعة دوران المحرك إلى 640 rpm.

الشكل (5) يبين معامل أداء المنظومة عندما تكون درجة حرارة المكثف - وعاء الامتصاص 35°C ونلاحظ أنه عندما تكون درجة حرارة المبخر 5°C يتراوح معامل الأداء من 0.30 إلى 0.62 عندما تزداد سرعة دوران المحرك من 500 rpm إلى 2000 rpm وعند سرعة الدوران (920 rpm) التي تنتج التبريد الكافي يكون معامل الأداء 0.45. وعندما تكون درجة حرارة المبخر 10°C يتراوح معامل الأداء من 0.61 إلى 0.72 عندما تزداد سرعة دوران المحرك من 500 rpm إلى 2000 rpm وعند سرعة الدوران (720 rpm) التي تنتج التبريد الكافي يكون معامل الأداء 0.66. وعندما تكون درجة حرارة المبخر 15°C يكون معامل الأداء تقريباً مستقر و يتراوح بين 0.73 إلى 0.77 عندما تزداد سرعة دوران المحرك من 500 rpm إلى 2000 rpm وعند سرعة الدوران (640 rpm) التي تنتج التبريد الكافي يكون معامل الأداء 0.752.

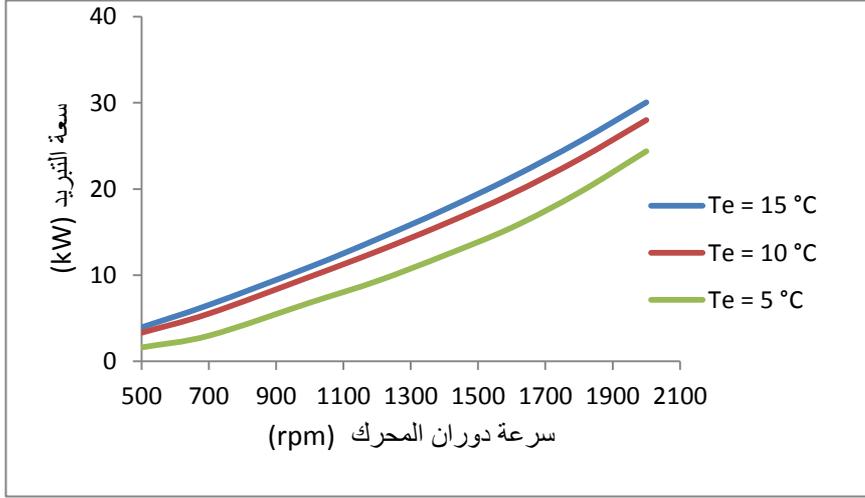
الشكلان (6) و(7) يوضحان تأثير زيادة درجة حرارة المكثف - وعاء الامتصاص إلى 40°C على سعة التبريد ومعامل أداء المنظومة. ونلاحظ عندما تكون درجة حرارة المبخر 10°C فإن المنظومة تبدأ

بإنتاج تبريد عندما تصل سرعة دوران المحرك أعلى من 1200 rpm وتتراوح سعة التبريد عند درجة التبخير هذه بين 0 عندما تكون سرعة دوران المحرك أقل من 1200 rpm إلى 18.45 kW عندما تكون سرعة دوران المحرك 2000 rpm. وعندما تكون درجة حرارة المبخر 15°C فإن المنظومة تنتج تبريد مستمر ومن بداية تشغيل المحرك أي عند سرعة الدوران المنخفضة (500 rpm) وتتراوح سعة التبريد عند درجة التبخير هذه بين 1.45 kW إلى 26.06 kW. وكذلك وعندما تكون درجة حرارة المبخر 20°C نلاحظ أن المنظومة تنتج تبريد مستمر ومن بداية تشغيل المحرك وتتراوح سعة التبريد عند درجة التبخير هذه بين 4 kW إلى 30 kW ويمعامل أداء مستقر يتراوح بين 0.73 إلى 0.77.

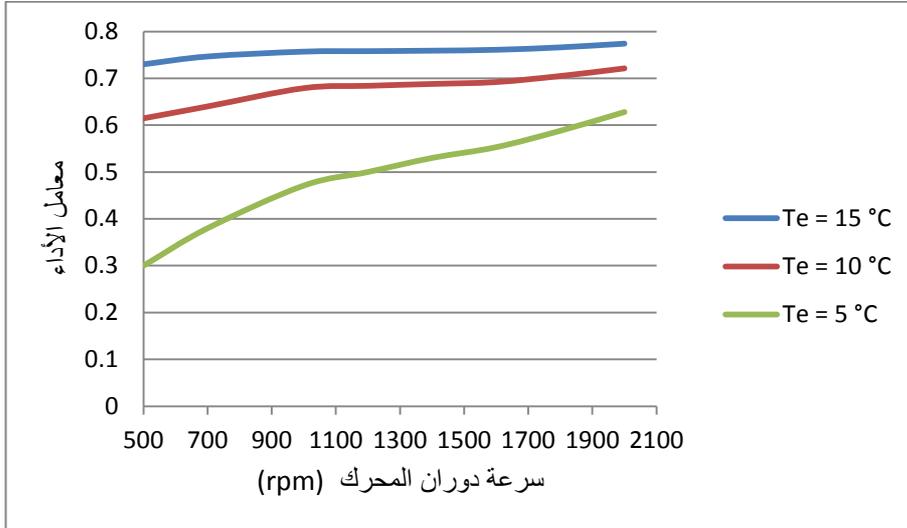
يوضح الشكلان (8) و (9) سعة التبريد ومعامل أداء المنظومة عندما تزداد درجة حرارة المكثف - وعاء الامتصاص إلى 45°C . ونلاحظ وعند هذه درجة التكثيف العالية (الأجواء الحارة جداً) أن التبريد المستمر عند كل سرعات المحرك لا يمكن إنتاجه عندما تكون درجة حرارة المبخر أقل من 22°C . وعند هذه درجة التبخير تتراوح سعة التبريد من 1 kW إلى 27 kW ويتراوح معامل أداء المنظومة من 0.18 إلى 0.69. بينما نلاحظ عندما تكون درجة حرارة المبخر 20°C فإن المنظومة تبدأ بإنتاج تبريد عندما تكون سرعة دوران المحرك أكبر من 1000 rpm وتتراوح سعة التبريد بين 0 إلى 23.43 kW. وعندما تكون درجة حرارة المبخر 18°C فإن المنظومة تبدأ بإنتاج تبريد عندما تكون سرعة دوران المحرك أكبر من 1600 rpm وتكون سعة التبريد 7.94 kW عند سرعة دوران 1800 rpm وتزداد إلى 14.47 kW عند سرعة دوران 2000 rpm.



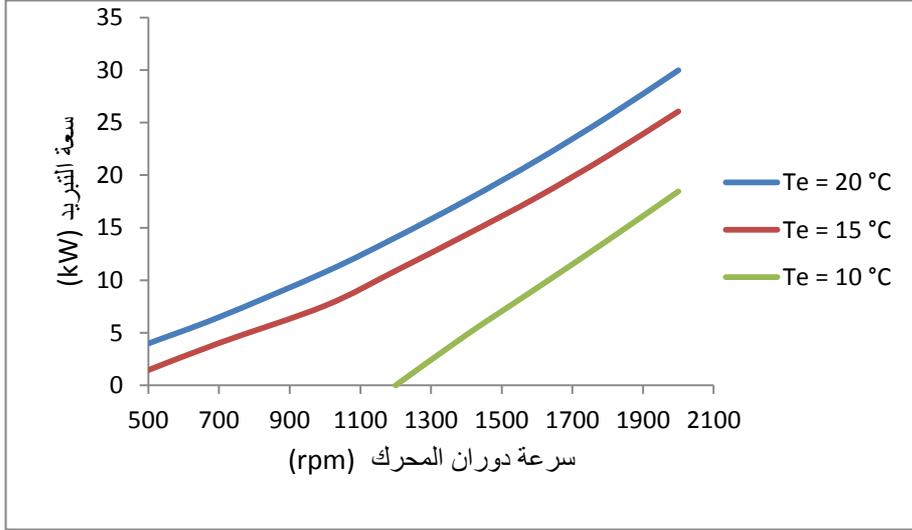
الشكل (3): معدل الحرارة المستخلصة في المشع من ماء تبريد المحرك.



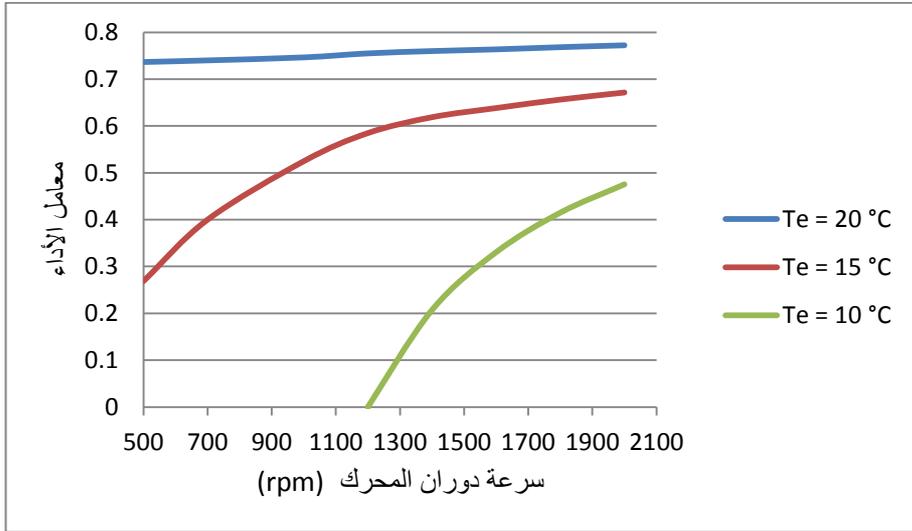
الشكل (4): يبين سعة تبريد المنظومة مع سرعة دوران المحرك عند $T_c = T_a = 35^\circ C$ ودرجات حرارة مختلفة في المبخر.



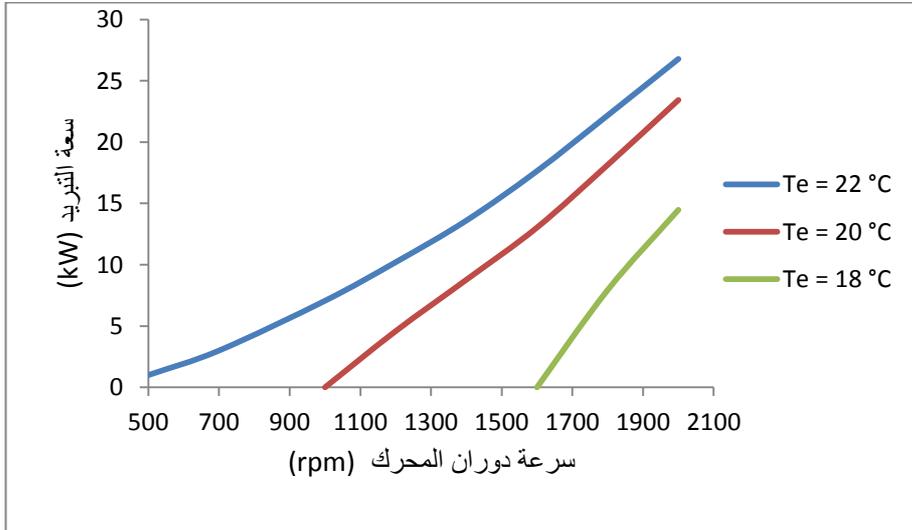
الشكل (5): يبين معامل أداء المنظومة مع سرعة دوران المحرك عند $T_c = T_a = 35^\circ C$ ودرجات حرارة مختلفة في المبخر.



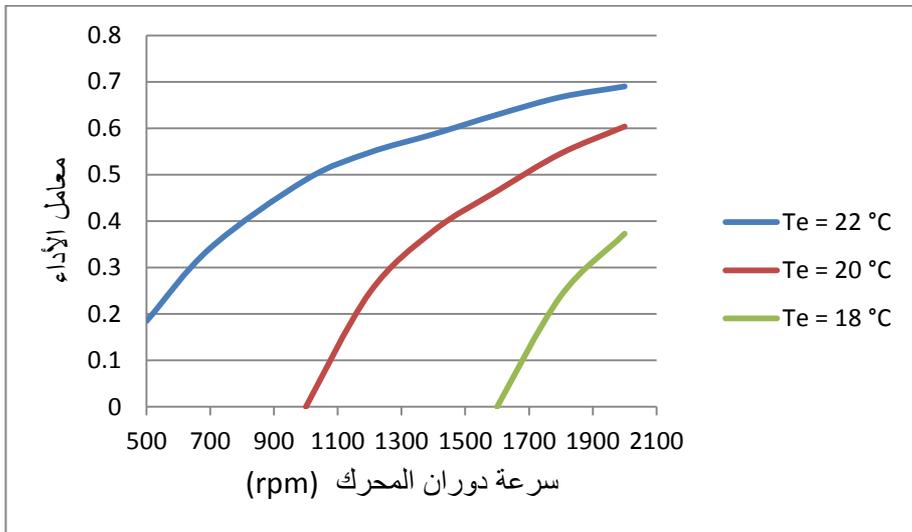
الشكل (6): يبين سعة تبريد المنظومة مع سرعة دوران المحرك عند $T_c = T_a = 40\text{ }^\circ\text{C}$ ودرجات حرارة مختلفة في المبخر.



الشكل (7): يبين معامل أداء المنظومة مع سرعة دوران المحرك عند $T_c = T_a = 40\text{ }^\circ\text{C}$ ودرجات حرارة مختلفة في المبخر.



الشكل (8): يبين سعة تبريد المنظومة مع سرعة دوران المحرك عند $T_c = T_a = 45^\circ C$ ودرجات حرارة مختلفة في المبخر.



الشكل (9): يبين معامل أداء المنظومة مع سرعة دوران المحرك عند $T_c = T_a = 45^\circ C$ ودرجات حرارة مختلفة في المبخر.

الاستنتاجات:

من خلال ملاحظة النتائج يمكن أن نستنتج بأنه يمكن إنتاج تبريد مستمر عند كل سرعات السيارة عندما تكون درجة حرارة المكثف- وعاء الامتصاص 35°C ولكل درجات حرارة المبخر التي تتراوح من 5°C إلى 15°C . وعندما تكون درجة حرارة المكثف- وعاء الامتصاص 40°C فإن التبريد المستمر لا يمكن الحصول عليه إذا كانت درجة حرارة المبخر أقل من 15°C . وعندما تكون درجة حرارة المكثف- وعاء الامتصاص 45°C (الأجواء الحارة جداً) فإن التبريد المستمر لا يمكن الحصول عليه إذا كانت درجة حرارة المبخر أقل من 22°C . لذلك فإن هذه المنظومة تكون غير مناسبة في الأيام الحارة جداً لتحقيق الشعور بالراحة للأشخاص.

قائمة الرموز

الرمز	المعنى	الوحدة
C_p	الحرارة النوعية لماء تبريد المحرك	$\text{J}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$
COP	معامل أداء المنظومة	-----
h_1	المحتوى الحراري لمحلول بروميد الليثيوم_ماء المخفف الداخل إلى المولد	kJ/kg
h_2	المحتوى الحراري لبخار الماء الخارج من المولد	kJ/kg
h_3	المحتوى الحراري لمحلول بروميد الليثيوم_ماء المركز الخارج من المولد	kJ/kg
h_5	المحتوى الحراري لبخار الماء الداخل إلى المبخر	kJ/kg
h_6	المحتوى الحراري لبخار الماء الخارج من المبخر	kJ/kg
m_w	معدل تدفق ماء تبريد المحرك	kg/s
m_1	معدل تدفق كتلة محلول بروميد الليثيوم _ ماء المخفف	kg/s

kg/s	معدل تدفق كتلة بخار الماء الخارج من المولد	m_2
kg/s	معدل تدفق كتلة محلول بروميد الليثيوم _ ماء المركز	m_3
rpm	سرعة دوران المحرك	N
kpa	ضغط وعاء الامتصاص	P_a
kpa	ضغط المكثف	P_c
kpa	ضغط المبخر	P_e
kpa	ضغط المولد	P_g
W	معدل الحرارة المطرودة في وعاء الامتصاص	Q_a
W	معدل الحرارة المطرودة في المكثف	Q_c
W	سعة تبريد المنظومة	Q_e
W	معدل الحرارة المضافة في المولد	Q_g
W	معدل الحرارة المزالة من ماء تبريد المحرك في المشع	Q_{rad}
°C	درجة حرارة وعاء الامتصاص	T_a
°C	درجة حرارة المكثف	T_c
°C	درجة حرارة المبخر	T_e
°C	درجة حرارة المولد	T_g
°C	درجة حرارة الماء الداخل إلى المشع	$T_{w,in}$
°C	درجة حرارة الماء الخارج من المشع	$T_{w,out}$

%	تركيز محلول بروميد الليثيوم _ ماء المخفف	x_1
%	تركيز محلول بروميد الليثيوم _ ماء المركز	x_3

المراجع :

- [1] Ibrahim Dinc, Mehmet Kanoglu (2010) " Refrigeration system and application " Second Edition, John Wiley & Sons, Ltd.
- [2] Yashvir Singh, Nishant Kr. Singh (2013) " Dirt analysis on the performance of an engine cooling system " Journal of Energy in Southern Africa, vol. 24, No.4 November.
- [3] G Vicatos, J Gryzagoridis, S Wang (2008) " A car air conditioning system based on an absorption refrigeration cycle using energy from exhaust gas of an internal combustion engine " Journal of Energy in Southern Africa, vol.19, No.4 November.
- [4] Ramesh K. Shah, Dusan P. Sekulic (2003) " Fundamentals of heat exchanger design " Jone Wiley & Sons, Inc. New York.
- [5] J. B. Jones, R. E. Dugan (1996) " Engineering Thermodynamics " Prentice Hall Inc. USA.