

"دراسة تجريبية لرفع معامل أداء جهاز تبريد

كهرحراري لتبريد حجرة مركبة"

الباحث: م. علي سمير الديوب

كلية الهك - جامعة البعث

ملخص البحث:

واجهت الباحثين في هذا المجال العديد من الصعوبات وخصوصاً معامل الأداء المنخفض لهذه الوحدات الكهرحرارية، حيث ركزت معظم الأبحاث الجديدة على إيجاد حلول لرفع معامل الأداء، من خلال تغيير أنواع المواد المستخدمة أو استخدام تقنيات جديدة لزيادة التبادل الحراري من سطوح المواد الكهرحرارية.

توضح هذه الدراسة التجريبية عملية تبريد حجرة مركبة باستخدام جهاز تبريد كهرحراري يعتمد على انتقال الحرارة بين الموائع المختلفة التي تتدفق ضمن الجهاز. تم تصميم هذا الجهاز وتنفيذه، مع أخذ الدراسات المرجعية وما تحتويه من نقاط مهمة بعين الاعتبار. تم تنفيذ تجارب مختلفة ضمن حجرة المركبة في أوقات مختلفة من اليوم، وأظهر هذا العمل إمكانية استخدام وحدة التبريد الكهرحرارية المبنية اعتماداً على أنصاف النواقل، والتي تستخدم الهواء والماء كوسيط عامل لها في تبريد حجرة المركبة، حيث أن الحرارة تنتقل من الهواء داخل حجرة المركبة عبر الوحدات الكهرحرارية اعتماداً على فرق درجات الحرارة بين أسطحها الخارجية، وبين الوسيط العامل (هواء-ماء) ويتم طرحها للوسط الخارجي عن طريق مبادل حراري.

وجد من خلال الدراسة أن استخدام الوحدات الكهرحرارية ذات التأثير التبريدي مع الوحدات الكهرحرارية المستخدمة لتوليد التيار الكهربائي معاً في نفس الوقت بوضعها بين مبادلين حراريين أدى إلى زيادة الفعالية التبريدية بشكل ملحوظ حيث تقوم الوحدات المولدة للتيار بامتصاص كمية من الحرارة الضائعة وتحويلها مباشرة إلى طاقة كهربائية

وكننتيجة لذلك ينخفض استهلاك النظام للطاقة وتنخفض درجة الحرارة للجهة الساخنة وبالتالي يرتفع معامل الأداء حيث وصل معامل الأداء (COP=1.2) عند استخدام وحدات التوليد الكهروحرارية.

الكلمات المفتاحية: وحدات التبريد الكهروحرارية، معامل الأداء، انتقال الحرارة، تكييف الهواء، وحدات توليد التيار الكهروحراري

Experimentation Analyses to enhancing of COP Thermoelectric Device for Automotive Cabin Cooling

Abstract

Many challenges are faced the researchers by these systems due to its lower coefficient of performance (COP). Recent research works tried to found new ways to improve the COP by means of either changing the material of thermoelectric or using some technique to increase heat transfer from thermoelectric surface.

This experimental study is illustrated thermoelectric automotive cabin process that depend on heat passing through thermoelectric modules and transferred to different fluids inside the device. The system is designed and modified for this project with considered some important points from literature review. The experiment work was carried out inside cabin vehicle at different time of day. However, this work shows that cooling cabin vehicle by thermoelectric modes is possible after period with using air and liquid as fluids. The heat is transferred from the internal cabin air through thermoelectric modules due to the temperature difference between their surfaces and working fluids (air-water).

The improvement in performance of thermoelectric cooling device was maintained in last arrangement by using thermoelectric generation with thermoelectric cooling sandwiched between two heat exchangers. Thereby the thermoelectric generation was absorbed the heat wasted from hot face of thermoelectric cooling modules and converted direct to electric power. The results indicate that the device power consumption is decreased and the cooling power of setup is increased thus the COP reached to 1.2 by using TEG.

Keywords: Thermoelectric cooling, COP, heat transfer, air cooling. thermoelectric generation

1-المقدمة:

كان أول اكتشاف للخواص الكهروحرارية من قبل العالم بيلتير عام 1834 حيث أن إعطاء تيار كهربائي صغير إلى مادتين ناقتين للتيار على تماس مباشر يولد فرق درجات حرارة بين المادتين، فترتفع درجة حرارة أحد الأطراف وتخفض بالمقابل في الطرف الأخر. أُعدت العديد من الدراسات حول هذه الظاهرة وكيفية استخدامها وخصوصاً في وحدات التبريد الكهروحرارية وتكييف الهواء بسبب التأثير السلبي الكبير لوحدة تبريد الهواء التقليدية العاملة بالفريون على البيئة.

تعرف الوحدة الكهروحرارية بأنها محول طاقة صلب يتكون من مجموعة من المزدوجات الحرارية موصولة على التوالي كهربائياً وعلى التوازي حرارياً. تتكون المزدوجة الحرارية من نوعين مختلفين العناصر الحرارية شبه الموصلة، والتي تولد تأثير التبريد الكهروحراري عند تطبيق فرق جهد بين طرفيها المتصلين، ويدعى هذا بتأثير بلتير الكهروحراري والعكس صحيح حيث يتم توليد فرق جهد ضمن المزدوجة إذا تعرضت لاختلاف درجات حرارة بين طرفيها حسب مبدأ سييكت والذي يسمى أيضاً بالتوليد الكهروحراري [1]. تتكون المواد الكهروحرارية التقليدية من مواد سبائكية مثل Bi_2Te_3 و $PbTe$ و $SiGe$ و $CoSb_3$ ، ويعد Bi_2Te_3 هو الأكثر استخداماً بينها [2]. ويعتبر (phonon-glass electron-crystal) (أو PGEC باختصار) من أفضل المواد الكهروحرارية مما يعني أن هذه المواد يجب أن يكون لها موصلية حرارية منخفضة مثل في الزجاج، وموصلية كهربائية عالية كما في الكريستال [3]. قدم الباحث (Anatychuk) وآخرون (1996) عدد من أمثلة تدعم مفهوم استخدام مواد غيرمتجانسة رقيقة لتحسين كفاءة الوحدة الكهروحرارية مما يقدم تطور كبير في المواد الكهروحرارية الرقيقة من حيث إمكانية وجود مجموعة متنوعة من التصميمات للوحدات وتمكين الإنتاج الضخم وتقليل تكاليف التصنيع.

تعتبر عملية استعادة الطاقة الحرارية الضائعة عن طريق استخدام التوليد الكهروحراري (TEG) واحدة من أهم طرق استعادة الحرارة الضائعة من غازات العادم كما في محركات الاحتراق الداخلي والتي يضيع فيها جزء كبير من الطاقة الحرارية الناتجة عن الاحتراق إلى الوسط المحيط مع غازات العادم، قدم الباحث (Hasanuzzaman) وآخرون [4] دراسة توضح تطور التقنيات المستخدمة في استعادة الحرارة الضائعة من غازات العادم في محركات الاحتراق الداخلي والتي تضمنت التوليد الكهروحراري واستخدام دارة رانكين العضوية بالإضافة إلى تطورات تقنيات إعادة التشحيم في محركات الاحتراق الداخلي. وقد وضح كل من (Conklin and Szybist) [5]، أن ما نسبته 50,4% من طاقة الوقود يتحول إلى عمل مفيد وأن الطاقة الحرارية الضائعة عبر غازات العادم حوالي 27,7% وفي دراسة أخرى [6] أظهرت النتائج أن حوالي 18,4% من طاقة الاحتراق تضيع مع الغازات المنبعثة من العادم.

يوجد في محركات الاحتراق الخاصة بالمركبات مصدري رئيسين للطاقة الحرارية الضائعة الأول هو مبرد مياه (الراديتور) والثاني نظام تصريف غازات العادم [7]، قدم (Xing Niu) وآخرون [8] تصميم لمبادل حراري صفائحي مدمج مع وحدات توليد كهروحرارية تجارية وأظهرت نتائج الاختبارات لهذا المبادل أن الطاقة العظمى المسترجعة وكفاءة تحويل الطاقة يتأثران بشروط التشغيل وخاصة درجة حرارة المائع الساخن عند المدخل و تدفقه. كما تم دراسة تأثير عدد وحدات توليد الطاقة الكهروحرارية بواسطة النمذجة - (Chien) [9] (Chou Weng)، في جهاز توليد كهروحراري يستعيد الحرارة الضائعة من غازات العادم ويحولها إلى تيار كهربائي مباشرة وأظهرت النتائج أن زيادة عدد وحدات التوليد قد لا يكون ذو فائدة كبيرة اقتصادياً على عكس زيادة درجة الحرارة المنتقلة بين طرفي وحدة التوليد التي تزيد تدفق التيار المتولد .

ازداد الاهتمام بالتبريد الكهروحراري أيضاً في السنوات الأخيرة نتيجة البحث عن أنظمة تبريد صديقة للبيئة ولها استهلاك منخفض من الطاقة لذلك لجأ العلماء إلى تطوير نماذج لوحدات تبريد كهروحرارية تعمل بمبدأ بلتير [10] واستخدمت هذه الوحدات لاستبدال

أنظمة تكييف الهواء العاملة بالفريون الذي يحتوي على مركبات الكلوروفلوروكربون المسببة لظاهرة الاحتباس الحراري، أظهرت أنظمة التبريد الكهروحراري العديد من الميزات أهمها حجمها الصغير و عدم وجود أي أجزاء متحركة بالإضافة إلى سهولة التحويل بين حالة التبريد و التدفئة و مما ساهم في انتشارها و خصوصا في السيارات كون أن التيار المستمر المستخدم في أنظمة التبريد الكهروحرارية متناسب مع أنظمة تشغيل المركبات، قدم (Yang and Stabler) [11] دراسة شاملة لتطبيقات التبريد الكهروحراري في المركبات، كما وأظهرت النتائج التجريبية لأحد هذه الأنظمة الكهروحرارية المستخدمة لتبريد شاحنة [12] انخفاض معامل الأداء (COP) الذي تراوح بين 0,4-0,8 عند درجة حرارة بين 30°C إلى 46°C في الوسط المحيط بالشاحنة. ولكن يمكن زيادة التأثير التبريدي من خلال التعديل في تصميم الجهاز المستخدم كما أظهرت التجربة.

قدم الباحثون العديد من الدراسات النظرية والتجريبية لاستخدام أنظمة التبريد الكهروحراري المتقلة والثابتة و بهدف تحسين معامل الأداء لهذه الأنظمة من خلال تصاميم مختلفة و استخدام أنواع مختلفة من الموائع لنقل الحرارة من الوسط المراد تبريده إلى الوسط الخارجي عبر وحدات التبريد الكهروحرارية، نذكر منها النظام الذي اختبره كل من Raut (and Walke) [13] داخل سيارة سياحية والذي كان هدفه سحب مقدار 222 KW من الطاقة الحرارية من داخل المركبة واستخدموا لهذا الغرض ستة وحدات تبريد كهروحرارية مثبتة بين مبادلين حراريين مزودين بزعانف وأظهرت النتيجة إمكانية تخفيض درجة الحرارة بمقدار (4) درجات عن الوسط المحيط. كما قام الباحث (Junior) وآخرون [14] بمقارنة نتائج النمذجة لنظام تبريد كهروحراري يعمل بتقنية مائع-غاز بالحالتين المستقرة و غير المستقرة مع نظام التكييف التقليدي بين درجات حرارة تتراوح ضمن 25°C إلى 30°C ووجد أن الاستطاعة التبريدية للنظام التقليدي أكبر بخمس مرات من النظام الكهروحراري إذا كان دخل الطاقة متساوي للنظامين المدروسين. و قدم الباحث Wang وآخرون [15] تصميم و دراسة بواسطة النمذجة الحاسوبية لنظام تبريد كهروحراري يعمل بتقنية مائع-غاز و أعطت النتائج النظرية معامل الأداء التبريدي

(COP) بحدود 1.55 عند استطاعة تبريد KW 1.55 عند نفس درجة حرارة الدخل للمائع وهي 30°C .

وقدم الباحث (Attar) وآخرون [16] نموذجاً مطوراً عن تصميم العالم (Lee) لنظام تكييف كهروحراري (TEAC) مبني على تصميم العالم (Gentherm) الذي اعطى معامل تبريد 1.68 عند نفس الدخل، حيث قدم الباحث دراسة لا بعدية للنظام و اقترح تعديلا على نسبة الأبعاد الهندسية للوحدة الكهروحرارية وعند تطبيق النموذج المقترح عملياً باستخدام تقنية هواء-هواء للمبادلات الحرارية أعطى النظام المستخدم معامل أداء 1.3 عند دخل 400 KW .

بنى الباحث (Deshmukh) و آخرون [17] نظام تبريد كهروحراري و حصلو في النتيجة على تخفيض لدرجة الحرارة بمقدار 5°C بينما استطاع (Wan) وآخرون [18] تطوير جهاز تبريد كهروحراري مكون من زعانف مصنوعة من الألمنيوم و مروحة بالإضافة إلى وحدات كهروحرارية مع مواد عازلة و خزان مياه صغير و اعتمد على نموذجين مختلفين الأول TEC1 والذي كان يحتوي على وحدتي تبريد كهروحرارية تجارية ذات الطراز 12706 أما النموذج الثاني TEC2 كان يحتوي على أربع وحدات تبريد كهروحرارية من نفس الطراز وتم تجربة النموذجين المقترحين حيث كانت درجة حرارة الطرف البارد للنموذج الأول من 16.7°C إلى 18.1°C و الثاني من 10.2°C إلى 12.1°C عند دخل تيار وكانت الاستطاعة التبريدية الكلية للنموذج الأول 74.6 W والثاني وصلت إلى 138.2 W في حين كانت استطاعة الدخل الأولى 83.8 W و معامل الأداء 0.89، أما الثانية فكانت 154.3 W وبالتالي وصل معامل الأداء إلى 0.9 وتم تركيب 6 أجهزة من النموذج الثاني TEC2 ذي الاستطاعة التبريدية الأعلى للحصول على الراحة الحرارية لسائق مركبة حيث أظهرت الدراسة أن معظم أجزاء جسم السائق في حالة الراحة الحرارية.

2- أهداف البحث:

تطوير تصميم جديد لجهاز تبريد الكهروحراري العامل باستخدام وحدات كهروحرارية (بالتير-سيك) ووسائط رخيصة كالماء والهواء حيث تعمل وحدات التوليد كهروحرارية بتأثير سيك لاستعادة جزء من الحرارة الضائعة بهدف رفع معامل الأداء لهذا النوع من الأجهزة وذلك بسبب انخفاض معامل الأداء المنخفض لهذه الأنظمة مما أدى إلى عدم انتشارها. كما ويهدف البحث إلى توضيح الفرق بين استخدام نظام الهواء إلى هواء ضمن الجهاز ونظام الماء إلى هواء من خلال توضيح مكونات كل من النظامين ثم مقارنة بين معامل الأداء لكل نظام وتحديد الأفضل بينهما.

3- أهمية مشروع البحث:

تتمثل أهمية البحث في رفع معامل الأداء التبريدي لجهاز التبريد الكهروحراري بالاعتماد على تصميم جديد للجهاز يمكننا من استعادة جزء من الطاقة التي تنتج عن الوحدات التبريد الكهروحرارية واستخدامها لتشغيل أجزاء من الجهاز وبالتالي تقليل من الطاقة اللازمة للدخل واستخدام الماء والهواء كوسيط عامل يمكننا من تخفيض تكاليف والأثار البيئية الضارة الناجمة عن دارات التبريد التقليدية.

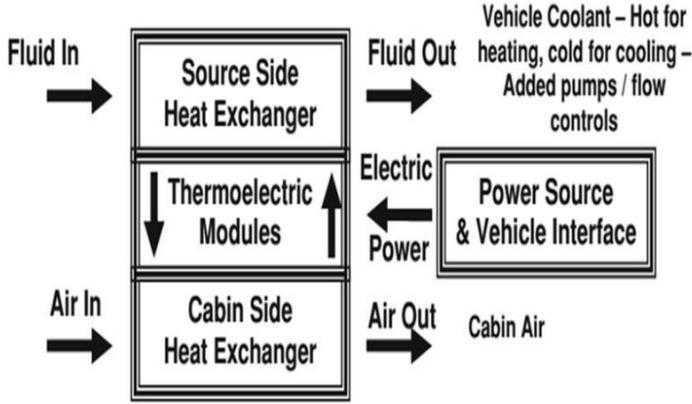
4-1 مواد وطرق البحث:

تم الاعتماد على برامج التصميم الهندسي الثلاثي الابعاد SolidWorks لتجهيز التصميم الهندسي للجهاز المراد إجراء التجربة عليه وفقاً للدراسات المرجعية تم اقتراح تصميم بحجم صغير يمكننا من تثبيته ضمن هيكل المركبة بطريقة سهلة ، بعد الانتهاء من مرحلة التصميم والتنفيذ الهندسي للجهاز تم تحديد كافة الأجهزة و الأدوات اللازمة لإجراء التجربة و قياس البارامترات المطلوبة مثل التيار الكهربائي و درجات الحرارة عند الدخل و الخرج ، ومن أجل ذلك تم استخدام عدة مقاييس منها جهاز MS-1208

(Multispan) متعدد المداخل مع مزدوجات حرارية نوع k-type لتحديد درجات الحرارة ضمن نقاط مختلفة من الدارة بالإضافة إلى مقياس للتيار و الجهد .

4-2- نظام التبريد الكهروحراري

تم إعداد وتنفيذ جهاز التبريد الكهروحراري الخاص بمشروع البحث في المخبر و المشغل الخاص بكلية الهندسة الميكانيكية القسم الحراري في المعهد الوطني للهندسة للتكنولوجيا خلال فترة الدراسة ضمن المعهد و يتكون من الوحدات الكهروحرارية، المراوح، خزان المياه المصنوع من النحاس و الذي يعتبر مبادل حراري ، الزعانف المصنوعة من الألمنيوم لزيادة عملية التبادل الحراري والمواد عازلة ومضخة مياه ومبرد للمياه مصنوع من الفولاذ المقاوم للصدأ وبعض المكونات الأخرى كأنايبب التوصيل و يوضح الشكل 1. مخططاً توضيحياً لمبدأ عمل الوحدات الكهروحرارية.

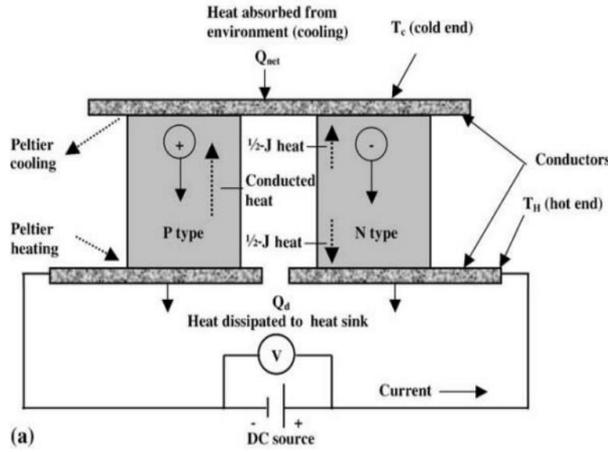


الشكل 1. مخطط توضيحياً لنظام التبريد الكهروحراري HVAC-TEM.

يمكننا توضيح مبدأ عمل الوحدات التبريدية Thermoelectric Modules المعتمدة على مبدأ بلتيرير الحراري والتي تتكون من مادتين مختلفتين من أنصاف النواقل نوع P و N توضع هذه الوحدات ضمن مبادلين حراريين و يتم تغذيتها بالطاقة من مصدر كهربائي ذي تيار مستمر وهذه إحدى أهم الميزات التي تمكننا من استخدام هذه الوحدات ضمن

المركبات حيث ترتفع درجة الحرارة على أحد الوجهين و تنخفض في الوجه المقابل و يعذى ذلك إلى ان الإلكترونات تحتاج إلى سحب طاقة حرارية (تبريد) عندما تنتقل من مستوى طاقة منخفض في المواد نصف الناقلة من النوع P إلى مستوى طاقة أعلى في النوع N عبر الموصل الحراري بينهما (conductor) عند درجة حرارة T_c ويرمز لهذه الطاقة المسحوبة ب Q_{net} ويتم نقل الحرارة الممتصة عبر المواد النصف الناقلة عن طريق النقل الإلكتروني.

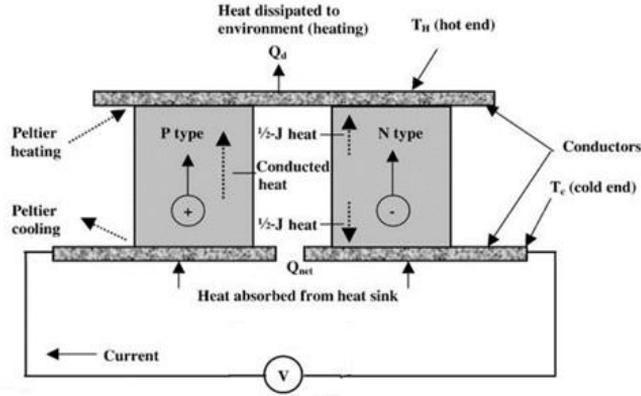
وتحرر هذه الطاقة الحرارية المسحوبة عندما تعود الإلكترونات إلى مستوى طاقة أقل في المادة من النوع P عند الوجه الثاني للوحدة الكهروحرارية مما يؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة عندها ويرمز لها ب T_h وتكون الطاقة المنبوضة هي Q_d كما هو موضح في الشكل 2.



الشكل 2 آلية عمل وحدت التبريد الكهروحراري TEC

والعكس صحيح حيث يمكن توليد تيار كهربائي مباشرة عند إنشاء فرق في درجات الحرارة بين وجهي الوحدة الكهروحرارية وهذا يدعى بتأثير سيبيكت أو التوليد الكهروحراري حيث يتم تعريض أحد وجهي الوحدة الكهروحرارية إلى درجة حرارة عالية ممل يؤثر في حاملات الشحنة ضمن أنصاف النواقل وهي الإلكترونات في النوع N أما في النوع P تكون

عبارة عن ثقب. وينتج عن هذا الفرق في درجات الحرارة تجمع الكترونات النوع N في الطرف المقابل للمصدر الحراري ولكي تستطيع الانتقال إلى الطرف الآخر P تحتاج إلى طرح الطاقة الحرارية. إن فرق الجهد بين الطرفين يولد تيار كهربائي مستمر منخفض الشدة كما يوضح الشكل 3.



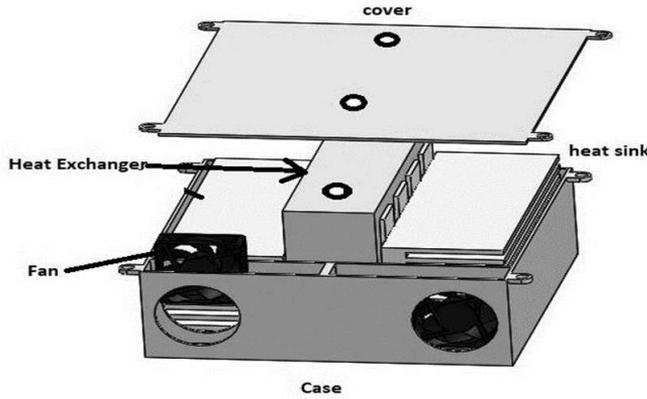
الشكل 3 آلية عمل وحدة التوليد الكهروحراري TEG

يعتمد نظام التبريد الكهروحراري على الوحدات الكهروحرارية لتوفير التأثير التبريدي ومن المعروف أن الوحدات الكهروحرارية (TEMS) لا تعمل بمفردها، إنما تحتاج إلى مبادلات حرارية (Heat Exchanger) لسحب وتبديد الحرارة من السطح البارد والساخن في هذه الوحدات و تعتمد TEMS على التيار مستمر كمصدر للطاقة والذي يمكن توفيره من بطارية السيارة بشكل مباشر.

تم تصميم الجهاز الخاص بمشروع البحث بواسطة برنامج حاسوبي (solid work)، وباستخدام هذا البرنامج يتم تجميع الاجزاء في بيئة ثلاثية الأبعاد كما هو موضح في الشكل 4. حيث أن التصميم بواسطة هذا البرنامج يسمح بمزايا النمذجة ثلاثية الأبعاد لتغيير أي شيء في تصميم بدون أي تأثير في التكلفة.

تم التركيز خلال التصميم على إمكانية التعديل في نوع المبادلات الحرارية المستخدمة لسحب ونبذ الحرارة من طرفي وحدة التبريد الكهروحرارية لذلك تم استخدام عدة طرق

لتجميع الجهاز حيث يختلف نوع الوسيط العامل الملامس لسطح التبادل الحراري في حال كان الوسيط العامل هو الماء كان خزان الماء داخل الجهاز هو المبادل حراري المستخدم لسحب الحرارة من الوجه الساخن ليتم تبريدها بواسطة مبرد خارجي ، أما في حال كان الهواء هو الوسيط العامل في الجهتين لا حاجة للتبريد المائي حيث توزع وحدات التبريد الكهروحرارية ضمن مبادلين حراريين على شكل زعانف مصنوعة من الألمنيوم يتم سحب الهواء من داخل المركبة بواسطة المراوح وعند مروره ضمن الجهاز يتم سحب الطاقة الحرارية منه ويضخ الهواء البارد من جهاز التبريد إلى المركبة بواسطة مراوح أيضا ويعتمد على الهواء أيضا لتبريد الوجه الساخن للوحدات الكهروحرارية حيث يدخل الهواء من الوسط المحيط و يسحب الحرارة المنبوذة من الطرف الساخن .

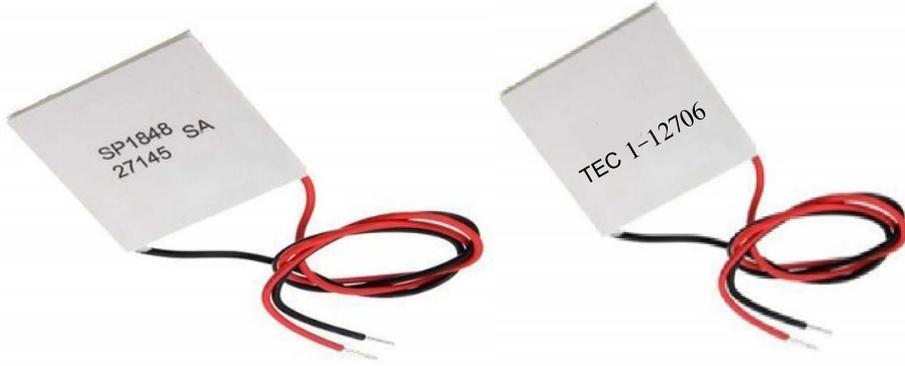


الشكل 4. مكونات جهاز التبريد الكهروحراري المصمم بواسطة برنامج كمبيوتر (solid work)

3-4- مكونات جهاز التبريد

الوحدات الكهروحرارية التجارية المختارة لمشروع البحث متوفرة في السوق الهندي. يوضح الشكل 5 التالي وحدة التبريد الكهروحرارية المستخدمة في هذا المشروع و هي من النوع TEC1-12706 تبلغ الطاقة التبريد لوحدة TEC حوالي 92 وات لأقصى فرق درجة حرارة 68°C وكذلك يتم اختيار وحدات التوليد الكهروحراري (TEG) لهذا المشروع من النوع TEG (SP1848-27145) حيث تنتج كل وحدة TEG حوالي 0.97 فولت

عند اختلاف درجة الحرارة (ΔT) بين وجهي الوحدة تصل إلى 20 درجة مئوية مع زيادة الطاقة المولدة بزيادة فرق درجة الحرارة.



الشكل 5 صورة وحدة TEC-TEG كهروحرارية

يتم اختيار عدد الوحدات الكهروحرارية التبريدية اعتماداً على طاقة التبريد اللازمة داخل كابينة المركبة عند 23 درجة مئوية مع توفر ظروف الراحة للركاب يمكن أن يعطي TEC طاقة تبريد 37.5-50 واط مع فرق درجات حرارة ΔT حوالي 10 درجة مئوية بين السطح البارد و الساخن، لذا فإن اثني عشر TEM وحدة تبريد ستعطي قوة تبريد 450-600 واط وتم استخدام اثني عشر TEGs أيضاً ستعطي أقصى قدرة 2.6-7.9 واط عند اختلاف درجات الحرارة ($20^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$) .

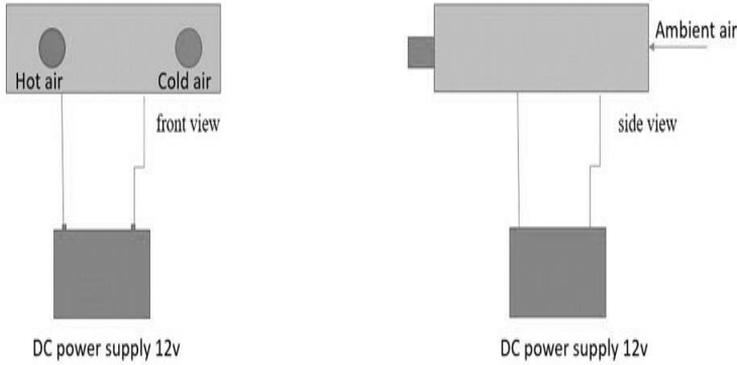
4-5- الطرق المقترحة لتجميع التصميم :

يتم تجميع المكونات معاً لبناء نظام تبريد وتهوية كهروحراري يعمل باستخدام تأثير بلتيرير التبريدي لكابينة السيارة وكما نعلم لا تعمل الوحدات الكهروحرارية بدون المبادلات الحرارية. هناك أنواع مختلفة من المبادلات يمكن تصنيفها بعدت طرق منها نوع المائع المستخدم ، في هذا المشروع تم وضع المبادل الحراري حسب النوع المائع المستخدم ، حيث تم استخدام نوعين مختلفين من المبادلات الحرارية ؛ الأول هو عبارة عن مبادل

يعمل بالهواء مكون من زعانف من الألمنيوم مع مراوح لإجبار هذا الهواء على الحركة والآخر؛ عبارة عن مبادل حراري للمياه مصنوع من النحاس مع مضخة مياه لإجبار الماء على الحركة داخل الدارة لتصل إلى المبرد لتبريد تلك المياه. يمكن استخدام هذين النوعين من المبادلات الحرارية معاً ضمن توزيعين مختلفين الأول يسمى نظام الهواء إلى الهواء والثاني يسمى تجميعه الهواء إلى السائل.

4-5-1 نظام الهواء إلى الهواء

يتم استخدام اثنين من الزعانف الحرارية لهذا النوع من التجميع، حيث سيتم تثبيت أحد الزعانف الحرارية على الجانب الساخن من الوحدات الكهروحرارية والآخر سيتم تثبيته على الجانب البارد وستقوم المراوح بإجبار الهواء على المرور من خلال الزعانف الحرارية. يوضح الشكل 5 الرسم توضيحي لنظام الهواء إلى الهواء.

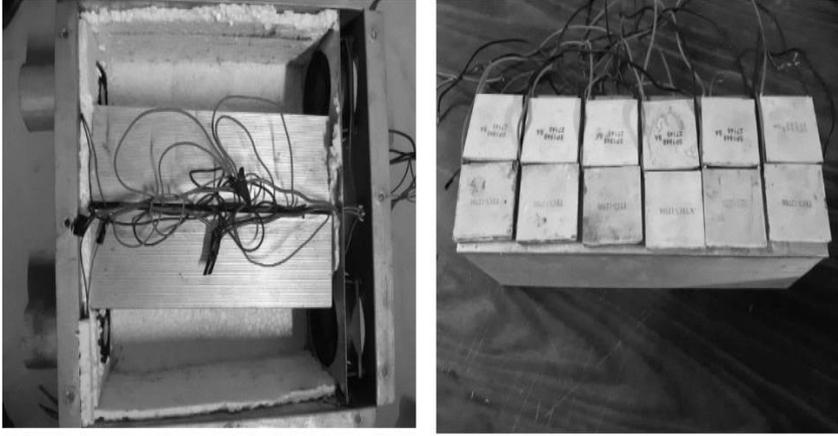


الشكل 6 رسم توضيحي لنظام الهواء إلى الهواء

ويتم امتصاص الحرارة من الهواء الداخل للمبادل بواسطة الحمل الحراري، وتمرير هذه الحرارة من خلال الزعانف الحرارية عن طريق التوصيل إلى TEMs وبالتالي تنخفض درجة حرارة الهواء ويُدفع الهواء البارد نحو المقصورة. تعمل الوحدات الكهروحرارية كمضخة حرارية بحيث تنقل الحرارة الممتصة من الوجه البارد وضخه إلى الوجه الساخن. يظهر الشكل 7 توزيع وحدات التبريد الكهروحراري داخل النظام.

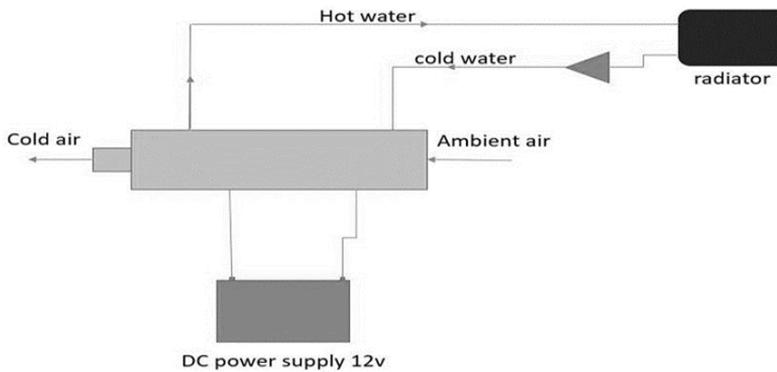
2-5-4- نظام الهواء إلى السائل

يتم استخدام مبادل حراري يعمل بالماء كوسيط عامل لسحب الحرارة من لجانب الساخن لهذا النظام في التجميع ، ثم تثبيت ست من الوحدات الكهروحرارية لكل جانب.



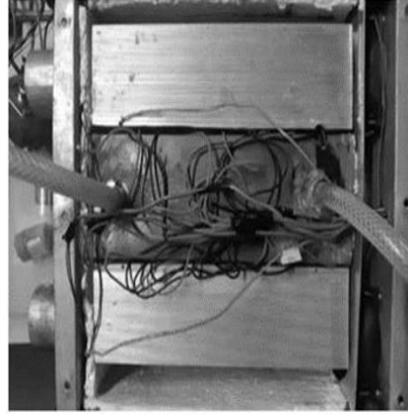
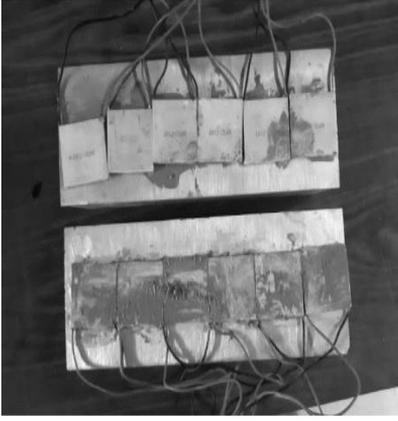
الشكل 7 توزيع الوحدات التبريد الكهروحراري في نظام الهواء إلى الهواء

يستخدم الهواء كوسيط عامل حيث توضع زعنفة لسحب الحرارة من الهواء ويكون الماء هو السائل المستخدم لامتصاص الحرارة من الوحدات الكهروحرارية TEM يوضح الشكل رسم تخطيطي لتجميع الهواء إلى السائل.



الشكل 8. رسم توضيحي لنظام الهواء إلى سائل

يتم دفع الهواء المحيط بواسطة المراوح من جانبيين ويمر عبر زعانف المشتت الحراري ، يتم امتصاص الحرارة من الهواء إلى الزعانف عن طريق الحمل الحراري القسري وينتقل عبر TEM من الجانب البارد إلى الجانب الساخن كما هو موضح في الشكل التالي يظهر صورة TEM لهذا النظام .الجانب الساخن يتم تثبيت TEM على مبادل حراري يمتص الحرارة وينقلها إلى الماء . ستجبر المضخة الماء الساخن على الدوران في دورة التبريد إلى المبرد لتبريده بالهواء المحيط مرة أخرى..



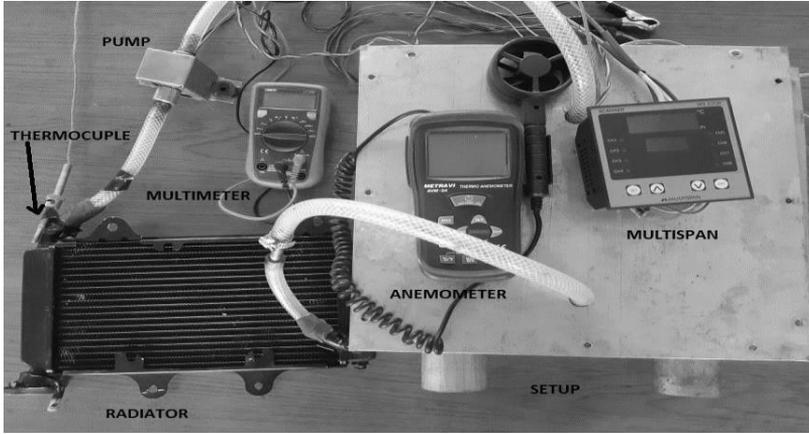
الشكل 9 توزيع الوحدات التبريد الكهروحراري في نظام الهواء إلى الهواء

يتم إغلاق الجهاز بواسطة البراغي والصواميل بعد توصيله بأجهزة استشعار درجة حرارة وأنابيب محكمة التوصيل. تم إجراء اختبار النظامين السابقين داخل سيارة بطروف مختلفة.

8-النتائج والمناقشة

بعد أن تم توضيح مبدأ العمل مع التجميعات المختلفة الهواء إلى الهواء والسائل إلى الهواء . تم الإعداد لاختبار الجهاز المصمم لهذا المشروع في ثلاثة أوقات مختلفة من

اليوم؛ صباحًا في الساعة 9 صباحًا وبعد الظهر في الساعة 2 مساءً و في الساعة 6 مساءً؛ تم إجراء هذا الاختبار داخل سيارة بسعة 5 ركاب. يتم قياس درجة الحرارة في نقطة مختلفة داخل الإعداد باستخدام مزدوجات حرارية من النوع Multispan لمسح درجة الحرارة هذه ومقياس شدة الريح لقياس سرعة الهواء حيث تم الاختبار في NIT Rourkela ، الهند، أوديشا ، قسم الميكانيك .

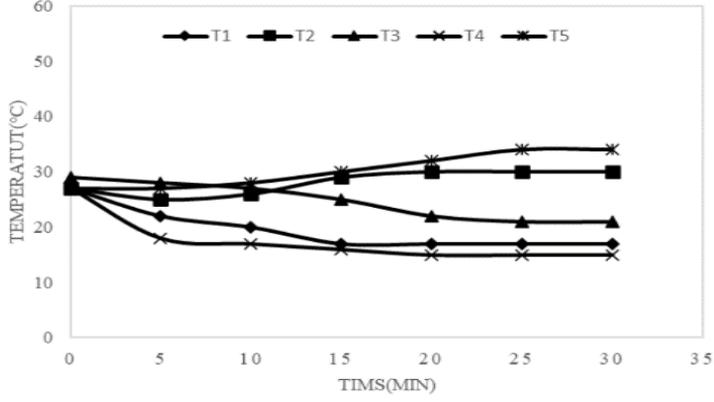


الشكل 10. تجميع كامل الجهاز قبل التجربة

وتوضح المخططات (5.a.b.c) النتائج التجريبية لتغيرات درجات الحرارة لنظام الهواء إلى هواء خلال أوقات التجربة الثلاث حيث توضع 6 ستة وحدات تبريد كهروحرارية نوع TEC1 ، وتثبت عدة حساسات لتحديد درجة الحرارة في نقاط الدارة المختلفة.

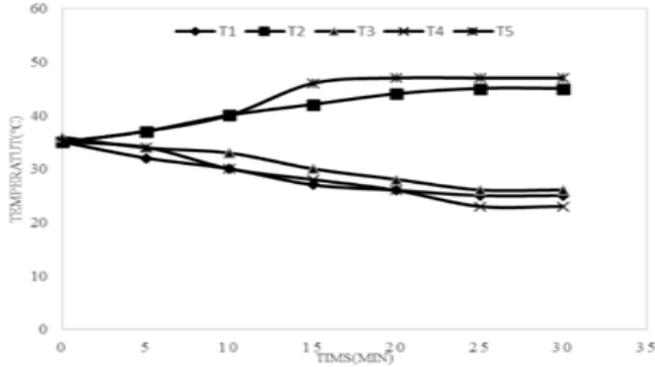
(T1) درجة حرارة الهواء الداخل للحجرة -T2 درجة حرارة الهواء الداخل للجهاز - T3 درجة حرارة حجرة المركبة - T4 درجة حرارة قاعدة الزعنفه الجبهة الباردة -T5 درجة حرارة الزعنفه الجبهة الساخنة-T6 درجة حرارة الوسط المحيط) حيث نلاحظ تغيرات درجات حرارة دخول الهواء خلال فترة القيام بالتجريب وهو نصف ساعة في كل مرة وبعدها تبقى درجة الحرارة ثابتة تقريباً.

يمكن حساب معامل الأداء لنظام الهواء إلى هواء من العلاقة (1)

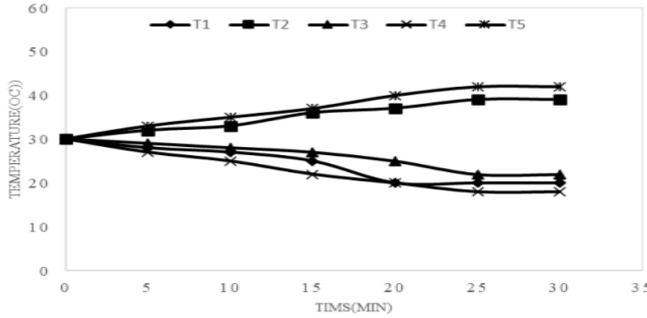


$$COP = \frac{Q_c}{P} \quad (1)$$

الشكل 10.a عند الساعة 9 صباحاً



الشكل 10.b عند الساعة 2 ظهراً



الشكل 10.c عند الساعة 6 مساءً

حيث Q_c : كمية الطاقة الحرارية الفعلية المسحوبة من خلال وسيط التبريد وهو الهواء (التأثير التبريدي) وتعطى بالعلاقة (2) و P الطاقة المقدمة للجهاز على شكل طاقة كهربائية

$$Q_c = m_{air} \times C_p \times (T_{air_{in}} - T_{air_{out}}) \quad (2)$$

$$C_p=1008 \text{ J/kg K}, m_{air} = \rho \times Q = \rho \times V \times A = 1.164 \times 2.5 \times 0.005 = 0.01455 \text{ kg/s}$$

$$Q_c = 0.01455 \times 1008 \times (27 - 17) = 146.66 \text{ W}$$

أما الطاقة المقدمة لتشغيل الجهاز فهي الطاقة اللازمة لوحدات التبريد الكهروحرارية و المراوح المستخدمة لدفع الهواء .

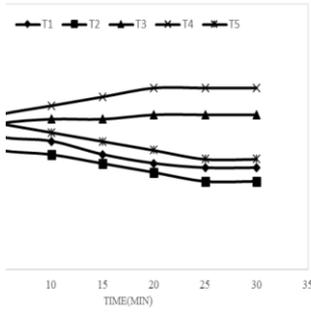
$$(P=P_{TEM} + P_{fans})$$

$$P=12 \times 12 \times 2.2 + 12 = 328.8W$$

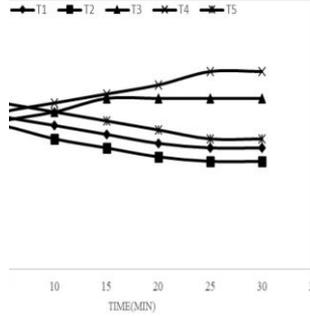
النظام يمكن القول أن تغير درجات الحرارة للهواء داخل كبينة السيارة صباحاً تراوح بين $^{\circ}C$ (9-10) بعد مرور نصف ساعة لهذه النظام وبالتالي يمكن حساب معامل الأداء COP من العلاقة (1) $cop = 0.45$ والذي يعتبر منخفضاً نسبياً مقارنة مع وحدات التكييف التقليدية و هو أعلى معامل أداء تم الحصول خلال فترات التجريب ، وبالتالي لا ينصح باستخدام هذه النظام ابداً.

عند استخدام نظام الهواء إلى سائل تم وصل المكونات معاً بواسطة الأنابيب كما في اة (6) حيث يوضع خزان المياه في المنتصف ويتم وضع الزعانف على الطرفين أما وحدات التبريد الكهروحرارية توضع بينهما حيث يتم تثبيتها بواسطة مادة ناقلة من نوع خاص بحيث يكون الجزء الساخن نحو الخزان و البارد على تماس مع قاعدة الزعانف كما في الصورة وتم إعادة التجربة في نفس الأوقات الثلاثة السابقة ونفس مدة التجريب حيث تم توزيع الحساسات على الشكل التالي ((T1 درجة حرارة الهواء البارد -T2 درجة حرارة الزعانف - T3 درجة حرارة خروج السائل من الجهاز - T4 درجة حرارة خروج السائل من الجهاز -T5 درجة حرارة داخل حجرة المركبة-T6 درجة حرارة الوسط المحيط)). ويوضح الشكل (4) تثبيت كامل الجهاز قبل التجربة في حالة نظام الهواء إلى سائل.

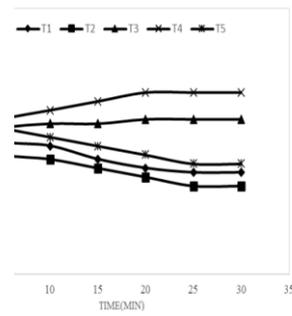
وأظهرت النتائج أن تغير درجات الحرارة ضمن حجرة المركبة تراوح بين $^{\circ}C$ (8-12) كما توضح المخططات (a.b.c.6)



الشكل 6.a عند الساعة 9 صباحاً



الشكل 6.b عند الساعة 12 ظهراً

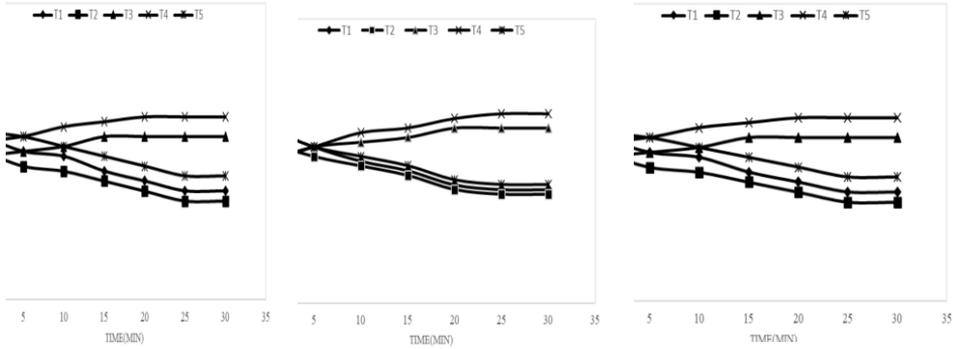


الشكل 6.c عند الساعة 6 مساءً

وعند حساب معامل الأداء خلال أوقات التجربة نلاحظ أن قيمة معامل الأداء قد ارتفعت (0.9-0.993) حيث كان أسوأ فترة هي فترة الظهيرة عند الساعة 12 ظهراً بسبب ارتفاع درجة حرارة الوسط المحيط إلى 40°C .

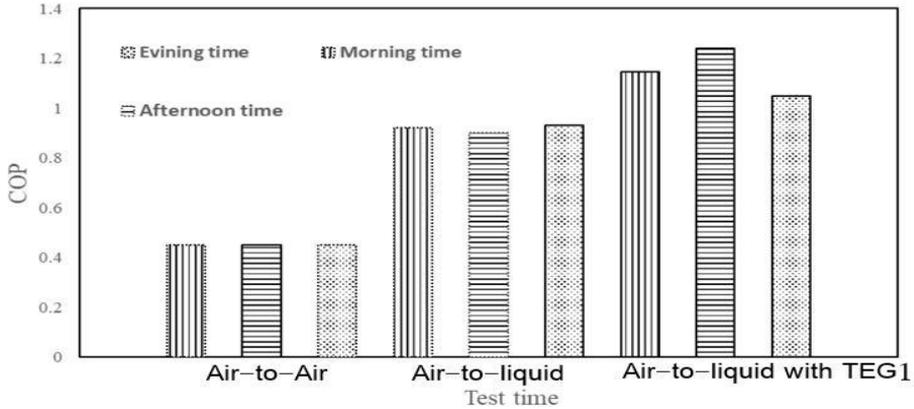
من خلال التجربة السابقة نلاحظ انخفاض قيمة معامل الإداء الجهاز ويعود ذلك إلى ارتفاع درجة الحرارة في الطرف الساخن لوحدة التبريد الكهروحراري من النوع TEC1-12706 ولذلك يجب تقليل درجة الحرارة لهذا الغرض تم دمج وحدات التوليد الكهروحراري من النوع TEG1 والتي تختلف من حيث بنية التركيب الداخلية عن وحدات التبريد TEC1-12706 ومبدأ عملها يعتمد على تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية مباشرة حسب نظرية سيبيكت.

تم إعادة التجربة مع نظام الهواء إلى سائل مع إضافة 12 وحدة توليد كهروحراري من النوع TEG1 بالإضافة إلى وحدات التبريد من النوع TEC1 وتم تثبيتها بين الخزان و الزعانف بنفس الطريقة السابقة ونفس الوقت المحدد سابقاً ونلاحظ من المخططات a, b, c (7) تغير درجات الحرارة داخل حجرة المركبة بين (9-12) خلال الأوقات المختلفة للتجربة.



الشكل 7.a عند الساعة 9 صباحاً
الشكل 7.b عند الساعة 2 ظهراً
الشكل 7.c عند الساعة 6 مساءً

ولكن عند حساب معامل الأداء الجديد مع اخذ الطاقة المولدة من وحدات التوليد بعين الاعتبار نلاحظ أن معامل الأداء COP ارتفع إلى 1.2 عند الظهيرة مقارنة مع فترتي الصباح و المساء كما يوضح الشكل (8) نتائج معامل الأداء في الحالات الثلاثة للتجربة عند ثلاث أوقات مختلفة.



الشكل (8) نتائج معامل الأداء عند أوقات التجربة الثلاثة

كما نلاحظ من التجربة تغير كبير في معامل الأداء بين (1.2-0.45) بعد إضافة وحدات الوليد الكهروحراري العاملة بتأثير سيبكت مما يوضح إمكانية زيادة معامل الأداء

ويمكننا القول أن أجهزة التكييف الكهروحراري سوف تكون المستقبل الواعد و البديل الأمثل لأجهزة التبريد التقليدية العاملة بالفريون كوسيط عامل بسبب التأثير الكبير لمركبات الكلوروفلوروكربون الموجودة في الفريون على الغلاف الجوي كما أن أجهزة التبريد الكهروحرارية تتميز بقلة تكلفتها وسهولة صيانتها وقلّة استهلاك الطاقة مقارنة مع أجهزة التبريد التقليدية.

دلت النتائج التجريبية على ان تغير درجات الحرارة داخل حجرة المركبة في الصباح و المساء أفضل من فترة الظهيرة التي تراوحت درجة الحرارة فيها بين 38 إلى 40 درجة مئوية كون اعتمادنا في تبريد الماء المستخدم في عملية سحب الحرارة يعتمد على درجة الحرارة الخارجية و خصوصا في ظروف زاد رطوبة عالية مما يؤثر سلباً على معامل الأداء لأجهزة التبريد الكهروحرارية ولكن الاستخدام وحدات كهروحرارية لامتصاص الطاقة الحرارية وإعادة استخدامها يرفع من معامل الأداء بشكل ملحوظ وفي نهاية هذا البحث يمكننا القول أن مستقبل الطاقات في كوكب الأرض يحتاج إلى مزيد من الدراسات من أجل تحسين كفاءة استخدام الموارد المتاحة وإيجاد حلول حديثة تساعد على تقليل من التأثيرات السلبية لاستخدام الوقود الاحفوري و الغازات الضارة بالغلاف الجو و الاتجاه نحو الطاقات المستدامة .

المراجع : References

- [1] Riffat, S. B., & Ma, X. Improving the coefficient of performance of thermoelectric cooling systems: A review. *International Journal of Energy Research*, 28(9) (2004): 753–768
- [2] Zhao, Dongliang, and Gang Tan. "A review of thermoelectric cooling: materials, modeling and applications." *Applied Thermal Engineering* 66.1-2 (2014): 15-24.
- [3] Anatyckuk LI et al. 1996. Optimal functions as an effective method for thermoelectric devices design. 15th International Conference on Thermoelectrics, Chernivtsi, Ukraine, 223–226.
- [4] M.H.Hassan, S.Paria, M.Hasanuzzaman, “Technologies to recover exhaust heat from internal combustion engines,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (2012)
- [5] Conklin JC, Szybist JP. A highly efficient six-stroke internal combustion engine cycle with water injection for in-cylinder exhaust heat recovery. *Energy* 2010;35:1658–64
- [6] Dolz V, Novella R, GarcAa A, S ~ A;nchez J. HD Diesel engine equipped with a bottoming rankine cycle as a waste heat recovery system. Part 1: Study and analysis of the waste heat energy. *Applied Thermal Engineering* 2012(0): 269–7836 2012(0):269–78
- [7] Fairbanks, J. Thermoelectric applications in vehicle status 2008, in: Europe conference on thermoelectrics 2008: 1–8
- [8] Xing Niu, Jianlin Yu, Shuzhong Wang, “Experimental study thermoelectric generator,” on low-temperature waste *Journal of Power Sources*, 188 (2009), pp. 621–626

- [9] Yu C, Chau KT. Thermoelectric automotive waste heat energy recovery using maximum power point tracking. *Energy Conversion and Management* 2009;50(6):1506–1
- [10] S.B. Riffat, Xiaoli Ma, Improving the coefficient of performance of thermoelectric cooling systems: a review, *Int. J. Energy Res.* 28 (2004) 753e768
- [11] Jihui Yang, F.R. Stabler, Automotive applications of thermoelectric materials, *J. Electron.Mater.* 38 (7) (2009).
- [12] Luo Qinghai, Wang Yanjin, Zhang Pengfei, A novel thermoelectric airconditioner for a truck cab, in: *International Conference on Advances in Energy Engineering*, 2010
- [13] M.S. Raut and D.V. Walke, *IJEST* 4, 2381 (2012)
- [14] N.C. Strupp, N.C. Lemke, J. Koehler, and C.S. Junior, *J. Electron. Mater.* 38, 1093 (2009)
- [15] D. Crane, J. LaGrandeur, D. Wang, Design and analysis of a thermoelectric hvac system for passenger vehicles, *SAE Int.*, Vols. 2010-01-0807, 2010
- [16] A. Attar, H. Lee, and S. Weera, *J. Electron. Mater.* 43, 2179 (2014)
- [17] V. Deshmukh, A. Dharme, M. Gaikwad, C. H. Moghe, and C. P. Assistant, “Air Conditioning System in Car Using Thermoelectric Effect,” vol. 5, no. Vi, pp. 89–95, 2017

- [18]** Q. Wan, C. Su, X. Yuan, L. Tian, Z. Shen, and X. Liu, "Assessment of a Truck Localized Air Conditioning System with Thermoelectric Coolers," *J. Electron. Mater.*, 2019