

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة محمد بوضياف - المسيلة



ميدان: علوم المادة

فرع: الفيزياء.

تخصص: فيزياء المواد

كلية: العلوم.

قسم: الفيزياء.

رقم: PH/MAT/19/2024

مذكرة مقدمة لنيل شهادة الماستر أكاديمي

إعداد الطالبين: معمرى محمد الأمين

روباش هشام

تحت عنوان

دراسة تجريبية لتصميم مبرد سيارة باستعمال التبريد

الكهروحراري

تمت المناقشة يوم: 06 / 06 / 2024 أمام اللجنة المكونة من:

رئيسا

جامعة المسيلة

أ.د. سي عبد الله معيوف

مشرفا و مقررا

جامعة المسيلة

أ.د. بلهوشات حسين

مناقشا

جامعة المسيلة

د. عبيد ظاهر

السنة الجامعية: 2024/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## شكر و تقدير

"من اجتهد وأصاب، فله أجران، ومن اجتهد وأخطأ فله أجر واحد".

الحمد لله الذي وهبنا نعمة العقل سبحانه والشكر له على كل نعمه وفضله  
وكرمه.

تبارك الله ذو الجلال والإكرام.

نشكر كل من قدم لنا يد العون والمساعدة في إنجاز هذه المذكرة.

ونخص بالذكر الأستاذ المحترم " **بلموشات حسين** " الذي لم يبخل علينا بنصائحه

وإرشاداته، من خلال إشرافه على عملنا خطوة بخطوة، وبكل جدية وتفاني.

كما نتقدم بالشكر الخالص إلى أعضاء اللجنة المناقشة لقبولهم مناقشة وإثراء هذه  
المذكرة :

**أ. د سي عبد الله معيوف** رئيسا للجنة

**د. عبيد طاهر** مناقشا

كما لا ننسى أن نشكر السيد المحترم مسؤول مخابر قسم الفيزياء بكلية العلوم السيد:

**لعربي يوسف**

ونشكر في الأخير كل من قدم لنا يد المساعدة، سواء من قريب أو من بعيد.

فالحمد لله الذي تتم بنعمته الصالحات.

.....إهداء

إلى من جرع الكأس فارغاً ليستقيني قطرة حبه

إلى من كلت أنامله ليقدّم لنا لحظة سعادة

إلى من حصد الأشواق عن دربي ليمهد لي طريق العلم

إلى القلب الكبير والدي العزيز

إلى من أَرْضَعْتَنِي الحُبَّ والحنان.....إلى رمز الحب الناصع بالبياض

إلى ملاكي في الحياة....إلى معنى الحب والحنان والتفاني....إلى بسملة حياتي وسر الوجود

إلى من كان دماؤها سر نجاحي وحنانها بلمس جراحي إلى أغلى الأحابي

إلى حبيبتي والدي العزيزة

إلى من شاركوني ظلمة الرحم..إلى من أرى التفاؤل باعينهم والسعادة في ضحكهم

إلى شعلتنا الذكاء والنور

إلى الوجوه المفعمة بالبراءة...بمحببتهم ازدهرت أيامي وتفتحت براعم اللغد

إخوتي الأحباء

إلى الإخوة التي لم تلدهم أمي..إلى من تلو بالإخاء وتميزوا بالوفاء والعطاء إلى ينابيع الصدق

الصافي

إلى من معهم سعادة وبرفقتهم في دروب الحياة الحلوة والعزينة سرى

أصدقائي

روياش هشام

.....إهداء

إلى من جرع الكأس فارغاً ليستقيني قطرة حبه

إلى من كلت أمانه ليقدّم لنا لحظة سعادة

إلى من حصد الأشواق عن دربي ليمهد لي طريق العلم

إلى القلب الكبير والدي العزيز رحمه الله و أسكنه الفردوس الأعلى

إلى من أروعتنني الحب والحنان.....إلى رمز الحب الناصع بالبياض

إلى ملاكي في الحياة....إلى معنى الحب والحنان والتفاني....إلى بسمه حياتي وسر الوجود

إلى من كان دماؤها سر نجاحي وحنانها بلمس جراحي إلى أغلى الأحياء

إلى حبيبتي والديتي العزيزة

إلى من شاركوني ظلمة الرحم..إلى من أرى التفاؤل بأعينهم والسعادة في ضحكهم

إلى شعلتنا الذكاء والنور

إلى الوجوه المفعمة بالبراءة...بمحببتهم ازدهرت أيامي وتفتحت براعم اللغد

إخوتي الأحياء

إلى الإخوة التي لم تلدهم أمي..إلى من تحلو بالإخاء وتميزوا بالوفاء والعطاء إلى ينابيع الصدق

الصافي

إلى من معهم سعدي وبرفقتهم في دروب الحياة الحلوة والعزينة سردي

أصدقائي

معهم بي محمد الأمين

I.....	الفهرس
IV.....	قائمة الجداول
V.....	قائمة الأشكال
01.....	المقدمة العامة

## الفصل الأول: الظواهر الكهروحرارية

02 .....	1.I مقدمة
02 .....	2.I أشباه النواقل
02.....	1.2.I أشباه النواقل النقية
04 .....	2.2.I أشباه النواقل غير النقية
04.....	1.2.2.I أشباه النواقل من النوع - n
05 .....	2.2.2.I أشباه النواقل من النوع - P
06.....	3.2.I ثنائي الوصلة
06 .....	3.I نبذة تاريخية عن الظواهر الكهروحرارية
07 .....	4.I التأثير الكهروحراري
08 .....	1.4.I أثر سيبك
09 .....	2.4.I أثر بلنتيه
10.....	3.4.I أثر طومسون
11 .....	4.4.I المعاملات الكهروحرارية

13	1.4.4.I علاقات كلفن.....
13	5.I الكفاءة ومعامل الجدارة .....
13	1.5.I كفاءة التحويل .....
15	2.5.I معامل الجدارة .....
15	6.I الوحدات الكهروحرارية .....
15	16.I تقديم الوحدة كهروحرارية .....
16	2.6.I مبدأ عمل الوحدة الكهروحرارية .....
17	1.2.6.I الأداء النظري .....
17	1.1.2.6.I صيغ تتعلق بالوحدة الكهروحرارية .....
18	2.1.2.6.I معامل الأداء البارد .....
19	3.1.2.6.I الفارق الأقصى في درجة الحرارة .....
19	2.2.6.I الأداء الفعلي .....
19	1.2.2.6.I المبادلات الحرارية.....
20	2.2.2.6.I مولد لتيار كهربائي .....
23	3.6.I نماذج وسلاسل لوحات كهروحرارية .....
24	4.6.I استخدامات وحدات بلتيه.....
25	5.6.I مزايا و عيوب نظام التبريد بوحدات بلتيه .....

## الفصل الثاني: أساسيات التكييف والتبريد في المركبات

27.....	I.مقدمة
27.....	II. 2 الحرارة والانتقال الحراري
27.....	II.1.2 الحرارة
27.....	II.2.2 الانتقال الحراري
28.....	II.3.2 الحرارة المحسوسة و الحرارة الكامنة
29.....	II.4.2 السعة الحرارية النوعية
30 .....	II.5.2 التوازن الحراري
31.....	II.1.3 الأسس الطبيعية لتوليد البرودة طبقاً لمبدأ التبخير
31.....	II.2.3 النظرية التشغيلية لمنظومة التكييف والتبريد
32.....	II.1.2.3 مكونات منظومة التكييف و التبريد

## الفصل الثالث: دراسة تجريبية لتصميم مبرد سيارة باستعمال التبريد الكهروحراري

35 .....	III.1.مقدمة
35 .....	III.2. الجانب العملي
35.....	III.1.2 إشكالية البحث
35.....	III.2.2 أهمية البحث و أهدافه

35.....	3.2.III المكونات و العناصر المستخدمة في المبرد
40.....	4.2.III تركيب المبرد
41 .....	5.2.III النتائج التجريبية
50.....	6.2.III نتائج البحث
52.....	خاتمة

## قائمة الجداول

### الفصل الأول

23.....	الجدول (1-I): يبين نتائج تجريبية لمعاينة نماذج لوحدة بلتييه TEC
---------	---

### الفصل الثاني

30.....	الجدول (1.II): قيم السعات الحرارية النوعية لبعض المواد شائعة الاستعمال
---------	--

### الفصل الثالث

37.....	الجدول (1.III): يبين المواصفات التي تشتغل عليها وحدة TEC1-12706
---------	---

41.....	الجدول (2.III): يبين نتائج تجريبية لمعاينة وحدة بلتييه دون استعمال المشتتات
---------	---

42.....	الجدول (3.III): يبين تغير درجات الحرارة بين وجهي الوحدة باستعمال المشتتات الحرارية
---------	--

43.....	الجدول (4.III): يبين تغير درجات الحرارة $T_f$ و $T_{ch}$ بدلالة $U(V)$ و $I(A)$
---------	---

44.....	الجدول (5.III): يبين تغير درجات الحرارة $T_f$ و $T_{ch}$ بدلالة الزمن عند ربط 03 وحدات على التفرع
---------	---

- الجدول (6.III): يبين تغير درجات الحرارة  $T_f$  و  $T_{ch}$  بدلالة الزمن عند ربط وحدتين على التسلسل.....45
- الجدول (7.III): يبين تغير درجات الحرارة  $T_f$  و  $T_{ch}$  بدلالة الزمن عند ربط 06 وحدات على التسلسل.....46
- الجدول (8.III): يبين قيم درجات الحرارة عند مدخل و مخرج المبرد عند استعمال الهواء الساخن.....47
- الجدول (9.III): يبين قيم درجات الحرارة عند مدخل و مخرج المبرد عند استعمال هواءالمخبر.....48

## قائمة الأشكال

### الفصل الأول

- الشكل (1-I): شبكة بلورة أشباه النواقل.....03
- الشكل (2-I): كيفية تحرر إلكترون و تكون الفجوة.....04
- الشكل (3-I): شبكة بلورة المادة نوع n .....05
- الشكل (4-I): شبكة بلورة المادة نوع P.....05
- الشكل (5-I): التركيب و الرمز الإلكتروني لثنائي الوصلة.....06
- الشكل (6-I): رسم يوضح تأثير سيبك.....08
- الشكل (7-I): رسم تخطيطي يوضح اكتشاف تأثير سيبك.....09
- الشكل (8-I): رسم يوضح تأثير بلنتيه.....09
- الشكل (9-I): رسم تخطيطي لمبدأ تأثير طومسون عندما يكون  $\tau < 0$  (أ) و  $\tau > 0$  (ب).....11
- الشكل (10-I): مخطط وصفي لأثر سيبك.....12
- الشكل (11-I): مخطط وصفي لوحدة بلنتيه.....16
- الشكل (12-I): رسوم توضيحية لوحدة سيبك (a)، بلنتيه (b)، RC هي مقاومة الحمل عند أطراف وحدة سيبك.....17

- الشكل (13-I): يمثل منحنيات تغيرات  $(Q_c)$  و  $(COP_c)$  بالنسبة للتيار I.....19
- الشكل (14-I): يمثل منحنيات تغيرات  $(Q_c)$  و  $(COP_c)$  الفعلي بالنسبة للتيار I.....20
- الشكل (15-I): يوضح وحدة بلتيه في وضع مولد كهربائي.....20
- الشكل (16-I): رسم تخطيطي لمولد كهروحراري يتكون من ساقى أشباه نواقل متصلة بمقاومة  $R_L$ .....21
- الشكل (17.I): نموذج لوحدة بلتيه TEC1-12706.....23

## الفصل الثاني

- الشكل (1.II) : يوضح منحنى لتغير درجات الحرارة بدلالة الزمن لعملية تبخر الماء.....28
- الشكل (2.II): يبين طريقة عمل منظومة التكييف.....32
- الشكل (3.II): يبين دورة التبريد المستخدمة في المركبة.....33

## الفصل الثاني

- الشكل (1.III): صورة لوحدة بلتيه TEC1-12706.....36
- الشكل (2.III) : رسم تخطيطي يمثل أبعاد وأجزاء وحدة TEC1-12706.....37
- الشكل (3.III): يمثل مشنت حراري.....38
- الشكل (4.III): يمثل مشنتات حرارية موضوعة على وجهي وحدة بلتيه مع استعمال مروحة.....38
- الشكل (5.III): يبين المولدات المستعملة لتشغيل المبرد.....38
- الشكل (6.III): يبين جهاز الفولطمتر و الأمبير متر المستعملين خلال العمل التجريبي.....39
- الشكل (7.III): يبين المزدوجات الحرارية المستعملة خلال العمل التجريبي.....39

- الشكل (8.III): أ- رسم تخطيطي لمقطع عرضي لنفق التبريد ب- رسم تخطيطي لمقطع طولي لنفق التبريد.....40
- الشكل (9.III): يبين مخطط عملي للمبرد.....41
- الشكل (10.III): يبين منحنى تغير درجات الحرارة بدلالة الزمن بعد استعمال المشتتات.....42
- الشكل (11.III): يمثل منحنى تغير درجات الحرارة  $T_F$  و  $T_{ch}$  بدلالة  $I(A)$  و  $U(V)$ .....43
- الشكل (12.III): يمثل منحنى لتغير درجات الحرارة  $T_F$  و  $T_{ch}$  بدلالة الزمن عند ربط 03 وحدات على التفرع.....44
- الشكل (13.III): يمثل منحنى تغير درجات الحرارة  $T_F$  و  $T_{ch}$  بدلالة الزمن ( توصيل وحدتين على التسلسل).....45
- الشكل (14.III): يمثل منحنى لتغير درجات الحرارة  $T_F$  و  $T_{ch}$  بدلالة الزمن عند ربط 06 وحدات على التسلسل.....46
- الشكل (15.III): يبين إضافة صوف الحديد بين شفرات المشتت.....47
- الشكل (16.III): يوضح صورة لنتائج التجريب بعد استعمال الهواء الساخن.....48
- الشكل (17.III): صورة لنتائج التجريب بعد استعمال هواء المخبر.....48

# مقدمة

## مقدمة عامة

تتمحور معظم الأبحاث على تحقيق حياة أفضل للإنسان. من بين هذه الأبحاث تأمين عمليات التبريد التي أصبحت مستهلكاً رئيسياً للطاقة، بالإضافة إلى كونها من بين أكثر المجالات المسببة للانبعاثات الكربونية و الاحتباس الحراري. لذا فإنه من الأهمية توفير حلول تخدم هذا الميدان المهم في حياتنا، حيث تعد تكنولوجيا التبريد الكهروحراري من أهم التطبيقات الصديقة للبيئة. إهتم الباحثون مؤخراً في العديد من الأبحاث على الأثر الكهروحراري الناتج عن دمج وصلتين متباينتين من المواد نصف ناقلة، بحيث يزداد الاختلاف في درجات الحرارة بين وجهي الوحدة الكهروحرارية عند تطبيق جهد كهربائي (أثر بلتية). إرتأينا في هذا البحث إلى تصميم و صناعة مبرد يعمل بالتبريد الكهروحراري.

يتضمن هذا البحث المتواضع ثلاث فصول رئيسية، حيث كان الأول و الثاني عبارة عن فصلين نظريين و الفصل الثالث تطبيقي.

**الفصل الأول:** في البداية قدمنا أنصاف النواقل و أنواعها التي تشكل اللبنة الأساسية في الحصول على التقنية الكهروحرارية، ثم قمنا بإبراز نبذة تاريخية عن الظواهر الكهروحرارية و تعرفنا على أنواع هذه الظواهر و المعاملات الكهروحرارية. بعد ذلك تطرقنا إلى معرفة مبدأ عمل الوحدة الكهروحرارية كمولد وكمصدر حراري مع التعرف على أدائها في كل حالة. في نهاية هذا الفصل عرفنا بأنواع سلاسل و نماذج لوحات بلتية كما قدمنا تطبيقات و مزايا و عيوب طريقة التبريد الكهروحراري.

**الفصل الثاني:** في هذا الفصل أوجزنا بعض المفاهيم و المبادئ الأساسية للحرارة و انتقالها لأن لها علاقة بموضوع البحث كما تطرقنا لدراسة تقنيات و أسس التبريد و التكيف في المركبات و ذلك بمعرفة الأسس الطبيعية لتوليد البرودة طبقاً لمبدأ التبخير و التعرف على النظريات التشغيلية لمنظومة التكيف و التبريد و العناصر و المكونات الأساسية التي تحقق تشغيل هذه المنظومة .

**الفصل الثالث:** هو الجانب التجريبي الذي يحتوي طريقة العمل و التركيب التجريبي و كذا عرض النتائج المتحصل عليها و مقارنتها من خلال الفرق في درجة الحرارة عند مدخل و مخرج المبرد الذي يعمل بتبريد كهروحراري.

# الفصل الأول

الظواهر الكهروحرارية

**1. مقدمة**

إن الكهرباء و الحرارة من أهم مصادر الطاقة في وقتنا، حيث يتم التحول من الطاقة الحرارية إلى الطاقة كهربائية عبر آلية الانتقال الإلكتروني في إطار تحول الطاقة من شكل إلى آخر. هذه الظاهرة الفيزيائية هي عبارة عن حركة للإلكترونات داخل المادة تتأثر بتغير الشروط المتواجدة فيها (درجة الحرارة، الضغط ... إلخ).

تسمح هذه المواد بالتحول المباشر للطاقة من شكل حراري إلى كهربائي و العكس من شكل كهربائي إلى حراري. يسمى هذا التحول الفيزيائي بالظواهر الكهروحرارية من بينها نذكر: ظاهرة سيبياك، ظاهرة بييلتيه، و ظاهرة طومسون.

**2.I أشباه النواقل**

هي مواد تقع بين حدود النواقل والعوازل ومن أمثلتها الجرمانيوم و السيلكون و هذه المواد لها صفات معينة مثل :

أ- تكون عازلة تماما في حالتها النقية عند درجة حرارة تساوي الصفر المطلق.

ب-تكون ناقلة بصورة رديئة في حالتها النقية عند درجة الحرارة العادية.

ج- تزداد درجة ناقلتها بإضافة مواد أخرى.

د- تتحسن ناقلتها بارتفاع درجة حرارتها [1].

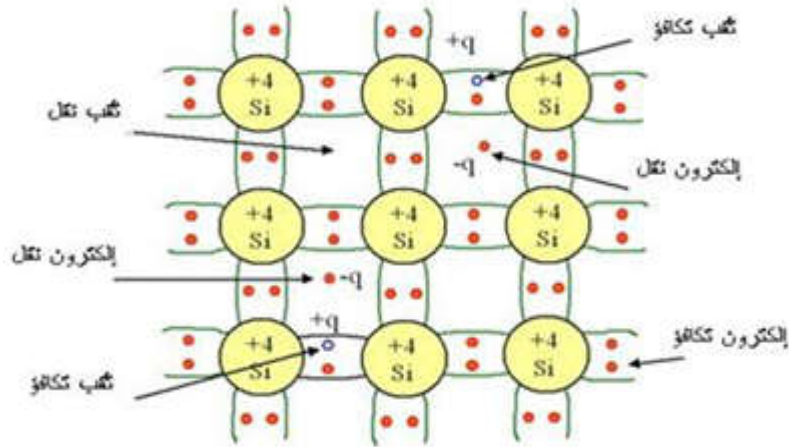
و تنقسم أشباه النواقل إلى نوعين هما:

**1.2.I أشباه النواقل النقية**

عبارة عن مواد خالية من أي شوائب، موجودة في المجموعة الرابعة من الجدول الدوري أي أنها رباعية

التكافؤ و من أشهر هذه العناصر السيلكون و الجرمانيوم، ترتبط هذه العناصر مع بعضها في روابط

تساهمية لتكوين ما يسمى بالبلورة.



الشكل (1-I): شبكة بلورة أشباه النواقل [2].

يبين الشكل (1-I) تركيباً بلورياً رباعياً لأشباه النواقل، حيث إن وحدة خلية البلورة تتكون من ذرة

تحيط بها أربع ذرات و حول كل ذرة توجد أربع إلكترونات. يرتبط كل إلكترون بالذرة الخاصة به و بذرة أخرى

مجاورة لينتج عن ذلك ترابط بين هذه الذرات تدعى بالترابط التساهمي.

عند درجة حرارة الصفر المطلق تكون جميع إلكترونات التكافؤ لأشباه النواقل موجودة في نطاق

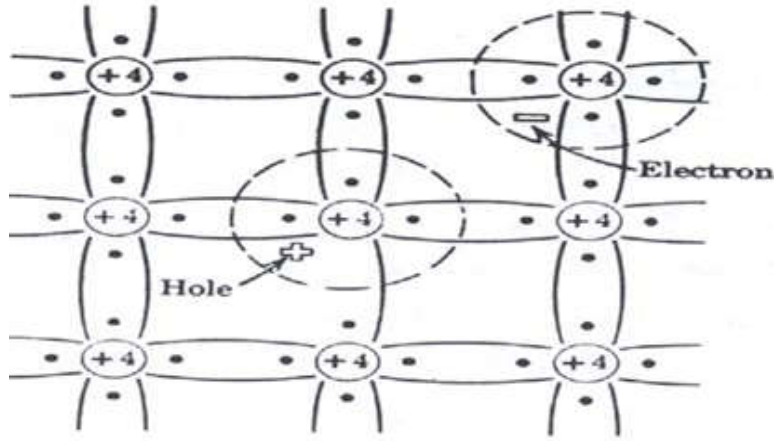
التكافؤ و ليست في نطاق التوصيل و بهذا تكون أشباه النواقل عبارة عن عازل مثالي.

عند ارتفاع درجة الحرارة إلى حوالي 300K، تكتسب إلكترونات التكافؤ طاقة حركية كافية لكسر

الروابط التساهمية و ينتج عن ذلك تحرر إلكترونات وفي هذه الحالة يصبح شبه الناقل ناقل للكهرباء. هذه

الناقلية تعتبر ضعيفة جداً إذا ما قورنت مع ناقلية المعادن، لذلك تمت إضافة الشوائب لأشباه النواقل لزيادة

ناقليتها .



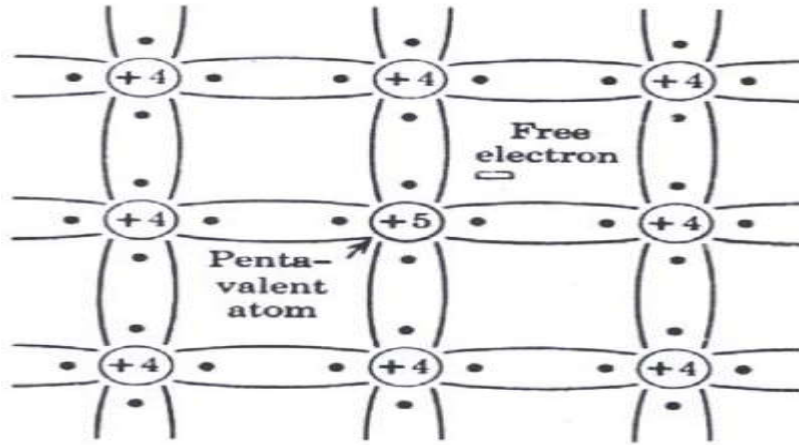
الشكل (2-1): كيفية تحرر إلكترون و تكون الفجوة [2].

## 2.2.1 أشباه النواقل غير النقية

يمكن زيادة ناقلية أشباه النواقل النقية و ذلك بإضافة شوائب خماسية التكافؤ أو بإضافة شوائب ثلاثية التكافؤ إلى مادة شبه الناقل النقي بعناية و بمعدل مسيطر عليه حيث تكون نسبة الشوائب المضافة إلى حوالي ذرة لكل مليون ذرة من السيلكون أو الجرمانيوم. تصنف أشباه النواقل غير النقية إلى نوعين:

### 1.2.2.1 أشباه النواقل من النوع - n

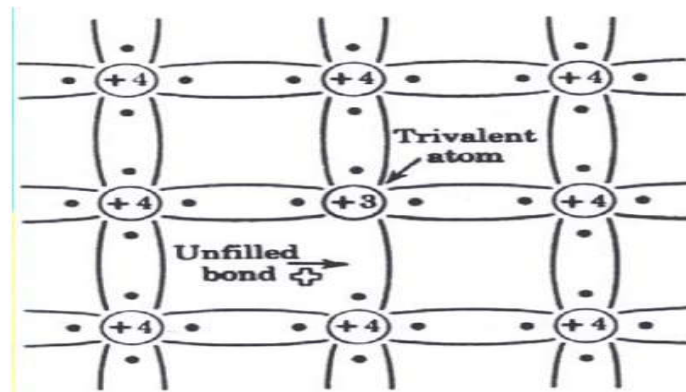
عند إضافة شوائب تحتوي على خمسة إلكترونات في مدارها الأخير إلى المادة شبه الناقل، فإن شبه الناقل يكتسب ناقلية إضافية تعرف بالناقلية الإلكترونية و ذلك لوجود إلكترون زائد عند عملية الترابط التساهمي لأن ذرة السيلكون أو الجرمانيوم لا تحتاج إلا لأربعة إلكترونات فقط فيصبح الإلكترون الخامس للشائبة حر. كنتيجة للعملية السابقة تظهر كمية من الإلكترونات الحرة يكون عددها مساويا لعدد ذرات المادة الشائبة الداخلة في عملية التطعيم، يدعى هذا النوع من الشوائب خماسية التكافؤ بالشوائب المانحة حيث تمنح الذرة الشائبة إلكترونا من إلكتروناتها الخمسة ليشارك في عملية التوصيل الكهربائي.



الشكل (3-I): شبكة بلورة المادة نوع n [2].

## 2.2. I أشباه النواقل من النوع P

عند إضافة شوائب تحتوي في مدارها الأخير على ثلاثة إلكترونات إلى مادة السيلكون أو الجرمانيوم فإن الإلكترونات الثلاثة للمادة الشائبة ترتبط مع ذرات السيلكون أو الجرمانيوم بروابط تساهمية بينما تبقى الرابطة الرابعة غير مكتملة مما يؤدي إلى تكوين فجوة عندما تكتسب إلكترون من الذرة الرابعة للسيلكون أو الجرمانيوم و لذلك تسمى بالشوائب الكاسبة.



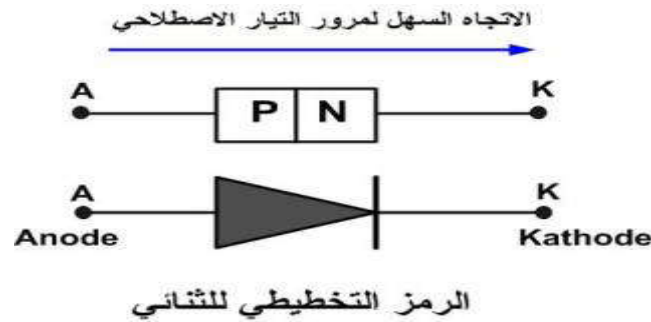
الشكل (4-I): شبكة بلورة المادة نوع P [2].

للحصول على عناصر إلكترونية تعمل بعيدة عن سلوك شبه الناقل المنفرد لابد من استخدام النوعين

p-n في تشكيل هذه العناصر.

### 3.2.I ثنائي الوصلة

يتم تشكيل ثنائي الوصلة (p-n) على بلورة أحادية و متصلة من مادة شبه الناقل النقي مثل السيليكون أو الجرمانيوم، يطعم أحد جانبي هذه البلورة بشوائب مانحة، ويطعم الآخر بشوائب كاسبة. لا يمكن تشغيل ثنائي الوصلة p-n بمجرد وضع قطعة من مادة شبه الناقل نوع n- ملاصقة لمادة من نوع p- لأن عدم الاستمرار في البناء البلوري لمادة شبه الناقل يؤدي إلى ضياع كل الصفات التي شكلت من أجلها ثنائي الوصلة.



الشكل (5-I): التركيب و الرمز الإلكتروني لثنائي الوصلة [2].

نلاحظ أن لثنائي الوصلة طرفين الأول متصل بالمادة نوع P ويطلق عليه المصعد أو الأنود ويرمز له بـ A والطرف الثاني المتصل بالمادة نوع n يطلق عليه المهبط ويرمز بـ K [2].

### 3.I نبذة تاريخية عن الظواهر الكهروحرارية

عرفت الكهروحرارية فترتين رئيسيتين من التطور: الأولى من 1821 إلى 1851 والثانية من أواخر 1930 إلى أوائل 1960.

1821: اكتشف الفيزيائي الألماني توماس يوهان سيبيك أول تأثير كهروحراري، حيث لاحظ أن إبرة معدنية تتحرف عندما يتم وضعها بين إثنين من الموصلات ذات طبيعة مختلفة مرتبطة في نهاياتها بواسطة تقاطعات وأن أحد التقاطعات يتم الاحتفاظ به عند درجة حرارة أعلى من الأخرى [03].

تم تفسير هذا التأثير على أنه عبارة عن ظهور مجال مغناطيسي ساعد فيما بعد في تفسير المجال المغناطيسي للأرض. تم في وقت لاحق تفسير هذه الظاهرة من خلال ظهور تيار كهربائي بين التقاطعات الباردة والساخنة.

1834: اكتشف الفيزيائي الفرنسي جان بلتيه التأثير الكهروحراري الثاني، وهو في الواقع، الظاهرة المعاكسة لتأثير سيبيك و هي: إذا تم تطبيق تيار كهربائي على مادة صلبة معدنية، يتم ملاحظة إزاحة حرارية من وجه إلى آخر.

1838: قام هاينريش لينز بشرح اكتشافات بلتيه كما يلي: إذا تم تمرير تيار كهربائي من خلال دائرة مصممة من إثنين من المواد المختلفة والتي تكون اتصالاتها في نفس درجة الحرارة، يتم امتصاص الحرارة عند تقاطع واحد وتعاد إلى الآخر. تم تنفيذ هذا العرض باستخدام الزوجين الكهروحراري الأنتيمون / البزموت. حيث وضع تقاطع هذه الأسلاك المعدنية في قطرة ماء ولاحظ ما يلي: عندما يمر التيار في اتجاه واحد تتجمد قطرة الماء و عندما يمر التيار في الاتجاه الآخر، يذوب الجليد.

1851: وليام طومسون (اللورد كلفن) يربط آثار سيبيك وبلتيه. أحضر مادة تخضع لتدرج حراري يتم اجتيازها بواسطة تيار كهربائي، تتبادل الحرارة مع البيئة الخارجية. على العكس من ذلك، يتم توليد تيار كهربائي بواسطة مادة تخضع لتدرج حراري ويتم اجتيازها بواسطة تدفق حراري [04].

1865: أظهر روبرت بنسن وجوزيف ستيفان أن أشباه الموصلات تؤدي أيضا إلى ظهور تأثير سيبيك مع عائد أعلى بكثير من تلك التي تم الحصول عليها بالمعادن.

1909: أجرى العالم الألماني إدموند ألتكيرش لأول مرة حسابا مرضيا لخصائص الدوائر الكهروحرارية.

1950: اكتشف أبراهام إيفي أن أشباه الموصلات المطعمة لها تأثير كهروحراري أعلى من المواد الأخرى.

1990: تجدد الاهتمام بالكهرباء الحرارية بسبب المخاوف البيئية [05].

## 4.I التأثير الكهروحراري

نتناول الآثار الكهروحرارية العلاقات المختلفة بين توليد قوة محرك كهربائية نتيجة وجود فرق في

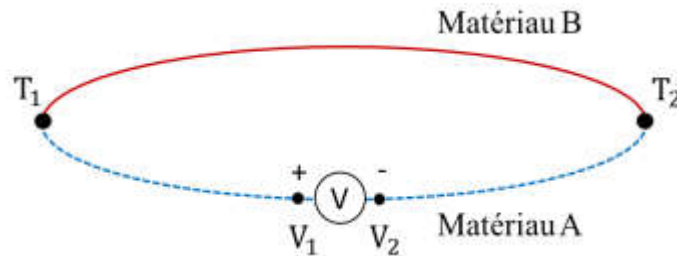
درجة الحرارة بالمادة نفسها أو عند الوصلة بين مادتين مختلفتين سواء في اتجاه معين أم في الاتجاه

المعاكس : بمعنى توليد فرق في درجة الحرارة عند تطبيق قوة محرك كهربائية.

### 1.4.I أثر سيبك

في عام 1821، لاحظ الفيزيائي الألماني توماس سيبك إنحراف إبرة معدنية عندما توضع بين موصلين من طبيعتين مختلفتين و هذا عند تعرضهما لفرق في درجة الحرارة. نسب الظاهرة إلى ظهور حقل مغناطيسي وذن بأنه وجد تفسيراً للمجال المغناطيسي الأرضي. في وقت لاحق، تم شرح الظاهرة بظهور فارق الجهد عند تقاطع اثنين من المواد المعرضة لفارق في درجة الحرارة وبالتالي، فإن المواد الكهروحرارية ستسمح بتحويل الحرارة مباشرة إلى كهرباء [06].

أثر سيبك هو عبارة عن نشوء قوة دافعة كهربائية نتيجة حدوث فرق في درجات الحرارة عند نقاط اتصال مادتين مختلفتين في دائرة كهربائية مفتوحة الشكل (6-I). إن معرفة معامل سيبك يزودنا بفكرة تحول الطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية أين تركز الاهتمام على معرفة المواد التي لها كفاءة عالية في التحول الكهروحراري.



الشكل (6-I): رسم يوضح تأثير سيبك [07].

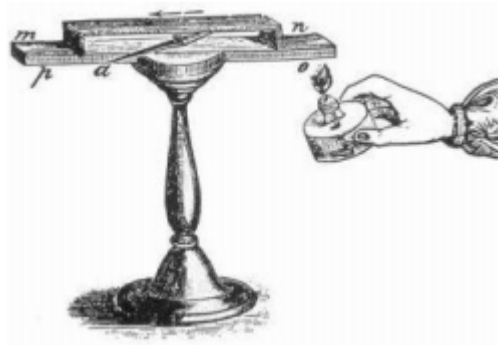
عند تسليط درجات حرارة مختلفة  $T_1$  و  $T_2$  في دائرة مصنوعة من وصلتين معدنيتين مختلفتين A و B المترابطتين في نهايتهما الشكل (6-I)، فإنه ستتولد قوة كهربائية  $V_T$  و تسمى هذه القوة بالقوة الدافعة الكهربائية (القوة الدافعة الكهروحرارية). أوضحت التجارب أنه في مدى ضيق من درجات الحرارة تكون القوة الدافعة الكهروحرارية متناسبة مع الفرق بين درجتي حرارة الوصلتين حيث :

$$V_T = S(T_2 - T_1) \quad (1 - I)$$

إذ أن ثابت التناسب يعطى بالعلاقة التالية :

$$S = \frac{dV_T}{dT} \quad (2 - I)$$

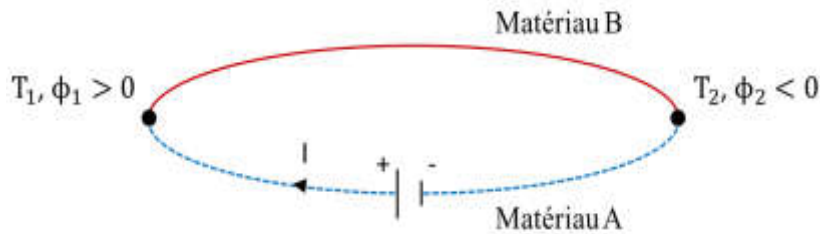
حيث: S تسمى بالقوة الدافعة الكهروحرارية التفاضلية أو النوعية أو ما يسمى بمعامل سيبك، و يتوقف على مادة الوصلتين و على درجة الحرارة [08].



الشكل (7-I): رسم تخطيطي يوضح اكتشاف تأثير سيبك [08].

#### 2.4.I أثر بلتيه

في عام 1834، اكتشف الفيزيائي الفرنسي جان بلتيه الأثر الكهروحراري الثاني: يظهر فرق في درجة الحرارة عند تقاطع مادتين مختلفتين بعد تتعرضها لتيار كهربائي. بالتالي، يمكن لمادة كهروحرارية توليد برودة أو حرارة من خلال تطبيق تيار كهربائي [09].



الشكل (8-I): رسم يوضح تأثير بلتيه [07].

يعد أثر بلنتيه معكوس لأثر سيبك ، فعند وضع نقطتي تماس معدنين مختلفين في درجة الحرارة نفسها، ثم إغلاق هذه الدارة بوصلها إلى مولد تيار كهربائي مستمر خارجي، يسبب مرور تيار كهربائي فيها فرقا في درجتي حرارة نقطتي التماس، أي تنخفض درجة حرارة إحدى نقطتي التماس وترتفع درجة حرارة نقطة التماس الأخرى، وعند عكس جهة التيار الكهربائي المار في الدارة يحدث انقلاب في تغير درجتي حرارة نقطتي التماس تدعى هذه الظاهرة بأثر بلنتيه.

تعرف كمية الحرارة اللازم تطبيقها على هذه الدارة لإعادة درجة حرارة نقطتي التماس إلى ما كانت عليه في البداية بحرارة بلنتيه وتتناسب كمية حرارة بلنتيه طردا مع شدة التيار الكهربائي المار في الدارة  $I$  وفق العلاقة التالية:

$$Q = \pi \cdot I \quad (3 - 1)$$

حيث يمثل المقدار  $\pi$  ثابت (معامل) بلنتيه وهو يتعلق بدرجتي حرارة وصلتي المعدنين المستخدمين ونوعهما. ونظرا لصغر كمية الحرارة المصاحبة لهذه الظاهرة مقارنة بكمية حرارة جول يتعذر قياسها مباشرة وتحسب من معامل بلنتيه [10].

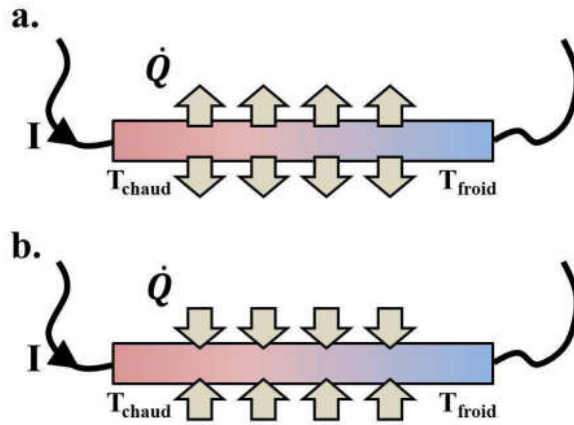
### 3.4.I أثر طومسون

في عام 1851، قدّم طومسون (لورد كلفن) لجمعية (Société Royale d'Édimbourg) مذكرة بعنوان "نظرية ميكانيكية للتيارات الحرارية"، حيث قدم فيها دراسة للتأثيرين الحراريين السابقين، وسماها "على نظرية ميكانيكية للتيارات الحرارية". وفي هذه المذكرة، قدم تأثيرًا إضافيًا سيتم تسميته بتأثير طومسون. بخلاف تأثيرات بلنتيه و سيبك، يمكن ملاحظة تأثير طومسون في مادة واحدة. وبالتالي، عندما يمر التيار الكهربائي  $I$  في مادة متجانسة تتعرض لانخفاض في درجة الحرارة، يُلاحظ وجود مصدر للحرارة داخل المادة بالإضافة إلى تأثير جول لجهاز مثل الذي يُمثل في الشكل (8-I). إذا كان التيار الكهربائي  $I$  وانخفاض درجة الحرارة

$dT/dx$  ضعيفين بما فيه الكفاية، يتبين أن معدل إنتاج الحرارة الحجمي  $\dot{Q}$  من هذا المصدر يتناسب مع  $I$  و  $dT/dx$ .

$$\dot{Q} = \tau \frac{I}{A} \frac{dT}{dx} \quad (4-I)$$

حيث أن  $A$  هو مساحة الموصل و يُسمى معامل التناسب  $\tau$  بمعامل طومسون. يُوضح الشكل (8-I) حالة مادة مع  $\tau < 0$  في (أ) و  $\tau > 0$  في (ب). في الواقع، يُلاحظ أيضًا إنتاج حرارة ناجم عن تأثير جول نظرًا لوجود تيار كهربائي. عمومًا، يُعتبر تأثير طومسون صعب الملاحظة لأنه ضعيف مقارنة بالتسخين الجولي [11].



الشكل (9-I): رسم تخطيطي لمبدأ تأثير طومسون عندما يكون  $\tau < 0$  (أ) و  $\tau > 0$  (ب) [11].

#### 4.4.I المعاملات الحرارية

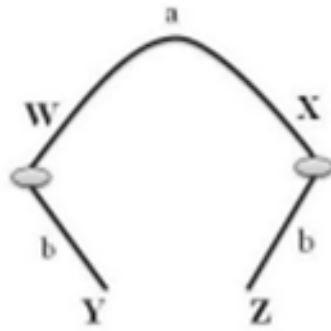
تتميز المواد الكهروحرارية بثلاث معاملات هي:

- معامل سيبك Le coefficient Seebeck ( $V/K$ )

- التوصيل الكهربائي La conductivité électrique ( $\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$ )

- الموصلية الحرارية La conductivité thermique ( $w/m \cdot k$ )

تحتوي المواد الكهروحرارية الجيدة على معامل سيبك مرتفع وموصلية كهربائية عالية علاوة على الموصلية الحرارية المنخفضة. ومع ذلك ، فإن كفاءتها المنخفضة في استخدام الطاقة تشكل عيبا كبيرا. تطبيق فرق درجة الحرارة ( $dT$ ) على طرفي قضيب موصل الشكل (9-I) فإنه يتولد تلقائيا فارقا في الجهد ( $dV$ ) يتناسب مع فرق الحرارة. ثابت التناسب  $S$  يمثل معامل سيبك.



الشكل (10-I): مخطط وصفي لأثر سيبك [12].

في حالة تأثير بلتيه، فإن كمية الحرارة الممتصة ( $Q$ ) أو المتولدة تتناسب مع التيار الكهربائي ( $I$ ). ثابت التناسب  $\pi$  هو معامل بلتيه:

$$\pi = \frac{Q}{I} \quad (5 - I)$$

في كل جزء من المادة  $dX$ ، يتم إعطاء تدرج تدفق الحرارة بواسطة العلاقة التالية:

$$\frac{dQ}{dX} = \tau I \frac{dT}{dX} \quad (6 - I)$$

حيث  $X$  هو إحداثية المكان و  $\tau$  هو عامل طومسون، المعطى بالعلاقة:

$$\tau_A - \tau_b = T \frac{dS_{ab}}{dT} \quad (7 - I)$$

المعاملات الثلاثة المطلقة  $S$  ،  $\pi$  ، و  $\tau$  مرتبطة بالعلاقات:

$$\pi = \tau ST \quad (8 - I)$$

$$\tau = T \frac{dS}{dT} \quad (9 - I)$$

تطبيقات التأثيرات الكهروحرارية تتطلب وجود مادتين مختلفتين  $a$  و  $b$  والتي ستشكل الاتصال. وبالتالي، يرتبط معامل التأثيرات الحرارية بزوج المواد المأخوذة بشكل منفصل وفقاً للعلاقة:

$$S_{ab} = S_a - S_b \quad (10 - I)$$

نظراً لأن تأثير سيبيك مرتبط بنقل الانتروبي بواسطة حاملات الشحنة ، فإن المواد فائقة التوصيل لها معامل سيبيك صفري لأن الإلكترونات لا تنقل الانتروبي في حالة التوصيل الفائق. هذا جعل من الممكن إنشاء مقياس للمعاملات الداخلية المطلقة للمواد.

#### 1.4.4.I علاقات كيلفن

التأثيرات الثلاثة لـ سيبيك و بلتيه و طومسون مرتبطة ببعضها البعض من خلال علاقات كيلفن التالية (تسمية كيلفن أطلقت على طومسون في عام 1892 عندما أصبح عضواً للوردات [11]):

$$S_{ab} = \frac{\pi_{ab}}{T} \quad (11 - I)$$

$$\tau_a - \tau_b = T \frac{dS_{ab}}{dT} \quad (12 - I)$$

المواد الكهروحرارية هي مواد يمكن أن تحول الكهرباء إلى حرارة، أو الحرارة إلى كهرباء. بعضها يوصل الحرارة بشكل أفضل من الكهرباء، في حين يوصل البعض الآخر الكهرباء بشكل أفضل من الحرارة. المواد التي تمتلك معامل سيبيك عالي وتوصيلية كهربائية عالية هي مواد كهروحرارية جيدة، وبالتالي فإنها تمتلك توصيل حراري منخفض [12،06].

#### 5.I الكفاءة ومعامل الجدارة

### 1.5.I كفاءة التحويل

تحديد العلاقة بين تدفق الحرارة والتيار الكهربائي في المادة يسهل من حساب كفاءة التحويل. يُفترض أن محول الطاقة الكهروحرارية يعمل كمؤد مثالي بدون فقد في الحرارة. لذلك، فإن تعبير كفاءته سيكون القوة الكهربائية له ( $W$ ) مقسومة على القوة الحرارية الممتصة من الجانب الساخن ( $Q_h$ ):

$$\eta = \frac{W}{Q_h} \quad (13 - I)$$

تعطى القوة الكهربائية  $W$  بناءً على تأثير سيبك وفارق درجة الحرارة  $\Delta T$ ، بالمعادلة التالية:

$$W = (S_p - S_n)I \times \Delta T \quad (14 - I)$$

بالإضافة إلى ذلك، يتم حساب تدفق الحرارة التوزيعي  $\phi$  بضرب الموصلية الحرارية الكلية  $\lambda$  في فارق درجة الحرارة  $\Delta T$  (قانون فورييه) أي:

$$\phi = \lambda \times \Delta T \quad (15 - I)$$

في هذه المعادلة، تمثل  $\lambda$  موصلية الحرارة للمواد  $n$  و  $p$  الموجودة على التوازي. أما بالنسبة للقوة الحرارية  $Q_h$ ، فهي ناتجة عن جمع تدفق الحرارة وتأثير سيبك، و الذي يعطى بالعلاقة التالية:

$$Q_h = (S_p - S_n)I \times T_h + \lambda \times \Delta T \quad (16 - I)$$

عند إهمال مقاومات الاتصال على مستوى الوصلات الساخنة والباردة أمام مجموع المقاومات في الفرعين، نحصل في النهاية على عبارة كفاءة التحويل:

$$\eta = \frac{(S_p - S_n)I \times \Delta T}{(S_p - S_n)I \times T_h + \lambda \times \Delta T} \quad (17 - I)$$

بالإضافة إلى ذلك، يمكن التعبير عن الحد الأقصى للكفاءة على النحو التالي:

$$\Phi = \eta_c \times \eta_{th} \quad (18 - I)$$

حيث  $\eta_c$  و  $\eta_{th}$  تمثلان على التوالي كفاءة كارنو وكفاءة النظام الخاصة بالتحويل الكهروحراري:

$$\eta_c = \frac{T_h - T_c}{T_h} \quad (19 - I)$$

$$\eta_{th} = \frac{\sqrt{1 + Z_c T_m} - 1}{\sqrt{1 + Z_c T_m + \frac{T_c}{T_h}}} \quad (20 - I)$$

في هذه المعادلة الأخيرة، يتم تعريف  $Z_c$  و  $T_m$  على التوالي كمعامل الجدارة للزوج p-n ودرجة الحرارة المتوسطة. لذا، فالكفاءة القصوى هي عبارة عن كفاءة كارنو و كفاءة النظام  $\eta_{th}$  التي تأخذ في الاعتبار الخصائص الفيزيائية لعناصر الحرارة.

### 2.5.I معامل الجدارة

يحدد معامل الجدارة (ZT) ما إذا كانت المادة لديها خصائص كهروحرارية جيدة أم لا. يتم العثور على هذا المعامل في تعبير الكفاءة  $\eta_{th}$  كلما كان المعامل المثالي أعلى، كلما كانت المادة أفضل.

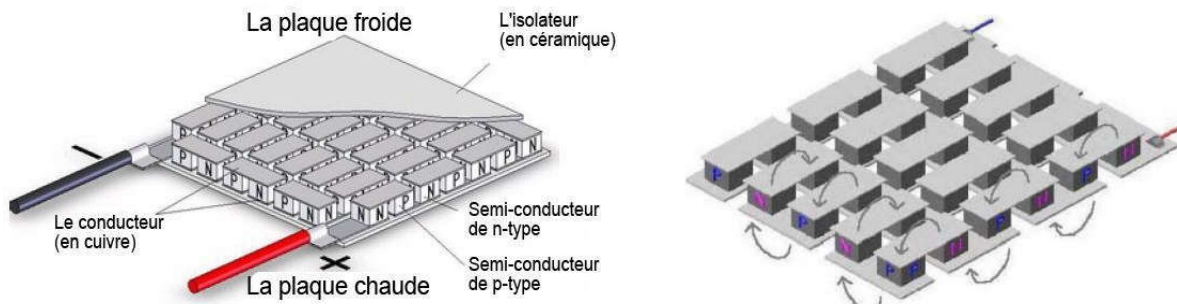
تعتبر المادة جيدة عندما تكون لديها قوة كهروحرارية عالية، أي توجد لديها موصلية كهربائية عالية وموصلية حرارية منخفضة. والمواد المثالية في الوقت الحالي تعرض قيم ZT تفوق قليلاً الوحدة. لذلك، تقتصر كفاءة تحويل الوحدات الكهروحرارية على قيم تتراوح بين 7% إلى 15%، وهذا يعني أن 7% إلى 15% من الحرارة المارة عبر الوحدة الكهروحرارية يتم تحويلها إلى كهرباء، أو أن 7% إلى 15% من الكهرباء التي تمر في الوحدة تُستخدم في التبريد [05].

### 6.I الوحدات الكهروحرارية Les modules thermoélectrique

في هذا الجزء نقدم شرحاً مفصلاً لمبدأ عمل الوحدات الكهروحرارية والمعاملات التي تحدد أدائها.

#### 1.6.I تقديم الوحدة كهروحرارية

الخلايا ذات تأثير بيلته أو الوحدات الكهروحرارية مكونة من كتل شبه موصلة (غالبًا من البيزموث/تلوريد) من النوع n و p، متصلة تسلسلياً بواسطة مادة موصلة (غالبًا ما تكون من مادة النحاس) وألواح تبادل حراري من السيراميك. يمكن ملاحظة أن الوصلات هي من نوع p-n من جهة و n-p من الجهة الأخرى [13].



الشكل (11-I): مخطط وصفي لوحدة بلتية [4، 11].

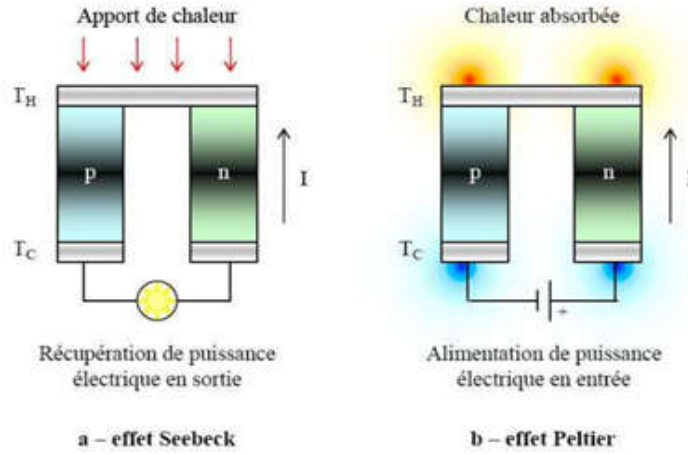
يتم تصنيع أشباه النواقل باستخدام مواد مختلفة بما في ذلك سبيكة الأنثيموان والتيلوريوم ( $Sb_2Te_3$ )، وسبيكة الرصاص والتيلوريوم ( $PbTe$ )، وسبيكة البزموت والتلوريد ( $Bi_2Te_3$ ). ومع ذلك، يُستخدم الأخير فقط في تصنيع وحدات بلتية للتبريد. بعد ذلك، يتم توصيل فروع الزوجين p-n وجميع الأزواج الأخرى المكونة للوحدة كهربائياً على التوالي وحرارياً على التوازي لتحسين تدفق الحرارة الذي يعبر الوحدة ومقاومتها الكهربائية [14].

## 2.6.I مبدأ عمل الوحدة الكهروحرارية

أهم تطبيقات الظواهر الكهروحرارية هي إما تحويل مباشر لتدفق الحرارة إلى طاقة كهربائية عن طريق تأثير سيبك أو تحويل الكهرباء إلى إنتاج تدفق حراري من خلال تأثير بلتية. يتم ذلك، من خلال دائرة كهربائية تسمى وحدة كهروحرارية.

الوحدة الكهروحرارية هي عبارة عن ربط على التسلسل لمجموعة من الوصلات لأنصاف النواقل من نوع p-n. الفرق بين الظاهرتين هو أنه في الحالة الأولى تولّد الوحدة تياراً كهربائياً ناتج عن اختلاف درجات

الحرارة بين وجهي الوحدة، أما في الحالة الثانية، فتكون الوحدة متصلة بمولد للتيار الكهربائي الذي يسمح وفقاً لاتجاهه بخفض أو زيادة درجة الحرارة على أحد أوجه الوحدة، كما هو موضح في الشكل (I-10).



الشكل (I-12): رسوم توضيحية لوحدة سيبك (a)، بلتية (b)، RC هي مقاومة الحمل عند أطراف وحدة

سيبك [05].

معظم الوحدات الكهروحرارية لديها هيكل ثلاثي الأبعاد (3D). هذا النوع من التصميم يسمح بالحفاظ على درجات الحرارة بشكل أكثر كفاءة مقارنة بتوجيه توالي المزدوجات الحرارية على طول الدعم في هيكل ثنائي الأبعاد (D2). واحدة من التطبيقات العملية للمزدوجات الحرارية هي قياس درجة حرارة عنصر "ساخن" بدقة كبيرة عن طريق معرفة درجة حرارة الانضمام "باردة" ومعامل سيبك للمزدوجات الحرارية. الوحدات الكهروحرارية يمكن استخدامها كمستشعر للتدفق الحراري [07].

### 1.2.6.I الأداء النظري

الأداء النظري لوحدة الكهروحرارية (بدون مراعاة دوائر التبادل الحراري مع الوسطين الساخن والبارد) ينبع من خصائص المادة التي تشكل الألواح الشبه موصلة، وهي القدرة الحرارية الكهربائية  $\alpha$ ، والمقاومة الكهربائية R، والموصلية الحرارية K.

### 1.1.2.6.I صيغ تتعلق بعمل الوحدة الكهروحرارية:

في الصيغ التالية، تُمثل  $n$  عدد البلاطات في الخلية، و  $I$  تمثل التيار الكهربائي الذي يمر في

الخلية،  $T_C$  تُمثل درجة حرارة الوجه البارد،  $T_h$  تُمثل درجة حرارة الوجه الساخن للبلاطات.

- الطاقة الباردة الممتصة من قبل السطح البارد للخلية تعطى كالتالي:

$$P_C = n \left[ \alpha I T_C - \frac{1}{2} R I^2 - K(T_h - T_C) \right] \quad (21 - I)$$

- الطاقة الباردة الممتصة من قبل السطح الساخن للخلية تعطى بالعلاقة:

$$P_h = n \left[ \alpha I T_h - \frac{1}{2} R I^2 - K(T_h - T_C) \right] \quad (22 - I)$$

- القوة الكهربائية المزودة إلى الخلية:

$$P_W = P_h - P_C = n[\alpha I(T_h - T_C) + R I^2] \quad (23 - I)$$

- الجهد عند أطراف الخلية:

$$U = n[\alpha(T_h - T_C) + R I] \quad (24 - I)$$

### 2.1.2.6.I معامل الأداء البارد

الكفاءة الطاقوية، المعروفة أيضاً بـ 'معامل الأداء البارد'.

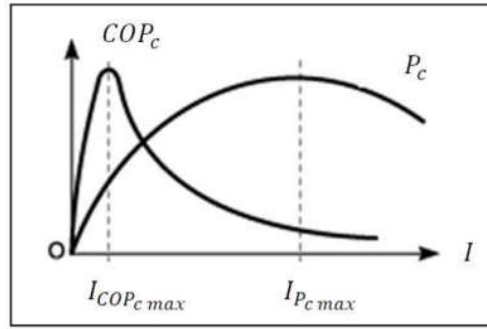
$$COP_C = \frac{P_C}{P_W} \quad (25 - I)$$

في الرسم البياني أدناه، تمثل منحنيات تغيرات  $(Q_C)$  و  $(COP_C)$  بالنسبة للتيار  $I$ . يُفترض أن درجتي

الحرارة  $(T_h)$  و  $(T_C)$  متساويتان أو ثابتتان. "من خلال هذه المنحنيات، يمكننا ملاحظة وجود نقطتين

مثلتين: واحدة لـ  $(COP_C)$  والأخرى لـ  $(P_C)$ . يتم اختيار نقطة التشغيل المثالية كونها النقطة المتوسطة بين

هاتين النقطتين".



الشكل (13-I): يمثل منحنيات تغيرات  $(Q_c)$  و  $(COP_c)$  بالنسبة للتيار  $I$  [13].

### 3.1.2.6.I الفارق الأقصى في درجة الحرارة

الفارق الأقصى في درجة الحرارة بين الوجه البارد الذي يتم عزله حراريًا تمامًا ( $P_c = 0$ ) والوجه

الساخن، يعتمد على المواد الحرارية الكهربائية وعلى درجة الحرارة  $T_c$  من أجل تيار كهربائي  $I = I_{P_c \max}$

$$\Delta T_{\max} = \frac{1\alpha^2}{2RK} T_c^2 \quad (26 - I)$$

### 2.2.6.I الأداء الفعلي

عندما يحتاج الشخص إلى استخدام خلية بلتية، يحتاج إلى تحسين تركيبة معينة والنظر في بعض

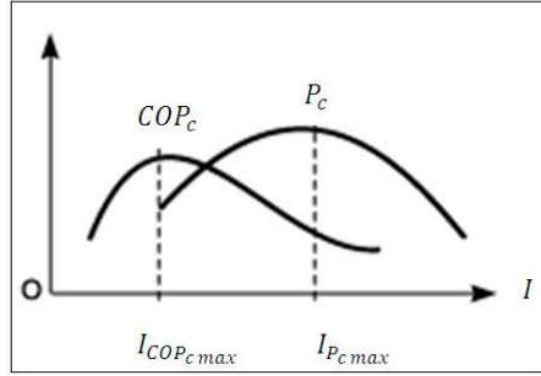
العوامل منها.

### 1.2.2.6.I المبادلات حرارية

لتحقيق نقل الحرارة، يجب وضع مبادلات حرارية ساخنة وباردة بين الوجهين للخلية. لكل منها مقاومة

حرارية عامة:  $S_c$  و  $S_h$ . باعتبار مبادلات الحرارة وتحديد مقاومات الحرارة ودرجة حرارة الوسطين، يمكن

رسم منحنيات الأداء الفعلي، كما هو موضح في الشكل (13-I).



الشكل (I-14): يمثل منحنيات تغيرات  $(COP_c)$  و  $(Q_c)$  الفعلي بالنسبة للتيار  $I$  [13].

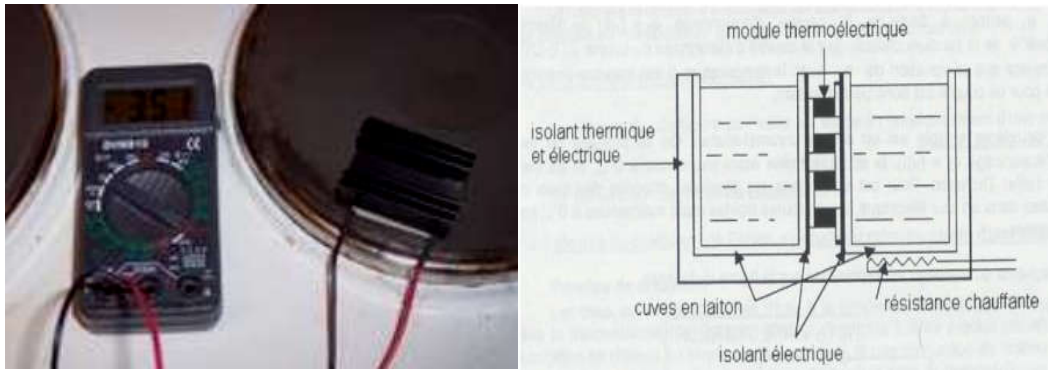
تكون الأداءات الفعلية بشكل منطقي أقل من الأداءات النظرية. في الواقع، يتم تقليل  $Q_{cmax}$  و  $(COP_{cmax})$  بنسبة 1 إلى 3 .

### 2.2.2.6.I مولد لتيار كهربائي

الوحدات الكهروحرارية قد تستخدم كمولدات. إذا حافظنا على وجه بارد ووجه ساخن، هذا يخلق فرق في

الفولتية عند أطرافها. لتطبيق هذه الظاهرة، يمكننا إجراء تجربة بسيطة حيث نضع وجهًا من الخلية على لوحة

تسخين والآخر على مشنت حرارة. باستخدام فولتметр، يمكننا رصد الجهد الناتج [13].



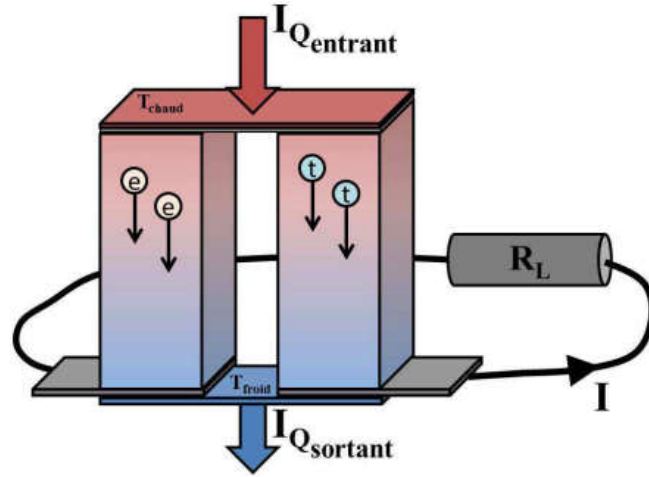
الشكل (I-15): يوضح وحدة بلتية في وضع مولد كهربائي [13].

يتم توصيل العنصرين المعروفين أحيانًا باسم "الساقين"، كما هو موضح في الشكل (I-15) بمقاومة  $R_L$  .

يُحافظ على أحد أطراف النظام عند درجة حرارة  $T_{ساخنة}$  في حين يتم الاحتفاظ بالطرف الآخر عند درجة

حرارة  $T_{باردة}$ ، حيث  $T_{froid} < T_{chaud}$ ، كل ساق من النظام مميز بمقاومته الكهربائية  $R$ ، وموصليته

الحرارية في غياب التيار الكهربائي  $K$ ، و  $S$  معامل سيبك؛ تُعرف مقطع كل عنصر بـ  $A$  وطوله بـ  $l$ . لتمييز خصائص كل ساق، نستخدم المؤشرات  $N$  و  $P$ . توضح التكوين المعروض في الشكل 1.5 بوضوح أن أطوال الساقين يجب أن تكون متطابقة:  $l = l_N = l_P$ . تعطى خصائص النظام ككل بتجميع خصائص كل عنصر.



الشكل (16-I): رسم تخطيطي لمولد كهروحراري يتكون من ساقين أشباه نواقل متصلة بمقاومة  $R_L$  [11].

وبالتالي فإن المقاومة الكهربائية الشاملة  $R$  تكون:

$$R = R_N + R_P = \left( \frac{\rho_N}{S_N} + \frac{\rho_P}{S_P} \right) l \quad (27 - I)$$

حيث  $\rho$  يدل على المقاومة الكهربائية. التوصيل الحراري الكلي  $K_0$  من النظام في حالة عدم وجود تيار

كهربائي هو :

$$K_0 = K_N + K_P = \frac{(\kappa_N S_N + \kappa_P S_P)}{l} \quad (28 - I)$$

حيث  $\kappa$  يدل على التوصيل الحراري.

أخيرا ، معامل سيبك الإجمالي  $S$  هو :

$$S = S_P - S_N \quad (29 - I)$$

لنفترض أن المواد متجانسة :  $\rho$ ,  $\kappa$  و  $S$  يفترض أن تكون مستقلة عن درجة الحرارة. في التطبيق العملي، لضمان احترام هذه الفرضية المعينة من قبل CPM (Constant Parameters Model) سيتم فرض

$$\Delta T = T_{\text{chaud}} - T_{\text{froid}} \text{ صغيرة أمام متوسط درجة الحرارة}$$

$$T = (T_{\text{chaud}} - T_{\text{froid}})/2.$$

باستخدام تعريف تأثير بلتيه والعلاقة الثانية لكلفن، يمكننا تحديد التدفقات الحرارية الناتجة عن التأثيرات الحرارية الكهروحرارية  $I_{Q_c}$  و  $I_{Q_f}$ ، المتبادلة بالترتيب مع الخزان الساخن والخزان البارد.

$$I_{Q_c} = \alpha T_{\text{chaud}} I \quad (30 - I)$$

$$I_{Q_f} = \alpha T_{\text{froid}} I \quad (31 - I)$$

حيث  $I$  يمثل التيار الكهربائي المتدفق في الدارة الكهربائية. ومن الضروري أيضا أن يأخذ في الاعتبار التدفق الحراري  $I_{Q_0}$  المرتبط بالموصلية الحرارية للنظام الذي يتبع قانون فوربييه :

$$I_{Q_0} = K_0 \Delta T \quad (32 - I)$$

أخيرا ، يجب ألا ننسى مساهمة تأثير جول الذي ينتج حرارة بمعدل Ioffe (Abraham Ioffe)

$$\dot{Q} = RI^2 \quad (33 - I)$$

يفترض أن هذه الحرارة موزعة بالتساوي بين الخزان الساخن والخزان البارد وبالتالي، فإن التدفقات التي تدخل وتغادر الوحدة الكهروحرارية تساوي :

$$I_{Q_{\text{entrant}}} = I_{Q_c} + I_{Q_0} - \frac{\dot{Q}}{2} \quad (34 - I)$$

$$I_{Q_{\text{sortant}}} = I_{Q_f} + I_{Q_0} + \frac{\dot{Q}}{2} \quad (35 - I)$$

ينتج التيار الكهربائي بفضل تأثير سيبك عن القوة الدافعة الكهربائية  $S\Delta T$ . وهكذا، باستخدام قانون أوم،

نحصل على العبارة التالية لشدة التيار الكهربائي [11]:

$$I = \frac{S\Delta T}{R + R_L} \quad (36 - I)$$

### 3.6.I نماذج و سلاسل لوحات الكهروحرارية

وحدات بلتية المتوفرة في السوق متنوعة بأحجام مختلفة ونماذج و تصاميم مختلفة، يُظهر الشكل (15-)

(I) نوعاً من وحدات البلتية المتاحة في السوق.



الشكل (17-I): نموذج لوحدة بلتية TEC1-12706

هناك نماذج متعددة من هذه السلسلة بخصائص و مواصفات مختلفة متوفرة كذلك في السوق، فقد أُجريت

تجارب لمعاينة مختلف نماذج الوحدة TEC في القدرة التبريدية و سرعة التبريد حيث لوحظ أن TEC1-

12706 ذو قدرة تبريدية أقل وسرعته أبطئ بالمقارنة مع نماذج الأخرى بينما النموذج TEC1-12703 فإن

قدرته التبريدية أعلى و سرعته أفضل كما يوضحها الجدول (1-I) .

الجدول (1-I): يبين نتائج تجريبية لمعاينة نماذج لوحدة بلتية TEC [15].

	Current (at 12V)	Time to 0°C	Temp after 30 min	Temp after 60 min
TEC1-12706	3.47A	1'03"	-4.5°C	-3.6°C
TEC1-12705	2.57A	0'53"	-7.5°C	-8.8°C
TEC1-12704	2.73A	0'35"	-14.8°C	-15.5°C
TEC1-12703	3.18A	0'30"	-18.8°C	-19.6°C

### 4.6.I استخدامات وحدات بلتية

تُستخدم وحدات بلتية في عدة قطاعات، منها:

- القطاع العسكري (الفضاء) حيث يتم استخدامها لتبريد الأجزاء الإلكترونية، وتبريد أجهزة استشعار الأشعة تحت الحمراء.

- القطاع العلمي : يتم استخدامها لتبريد ليزر النيوديميوم، والدوائر المتكاملة.

- القطاع الطبي : يتم استخدامها في حاويات نقل الأعضاء لعمليات زراعة الأعضاء.

- القطاع الصناعي : تسمح بتثبيت درجة حرارة حبر الآلات النسخ والطابعات.

يعتبر تكييف الهواء باستعمال وحدات بلتية نادر للغاية. ومع ذلك، قامت شركة Melcor بتطوير نظام حراري كهربائي لتكييف هواء الخزائن الكهربائية. تم توثيق تبريد مكان بحجم 2.5 متر مكعب مع إنتاج مياه ساخنة في نفس الوقت. يندرج هذا تحت تطبيقات الأماكن الصغيرة. أما في التسعينيات، فقد تم تكييف قطارات السرعة الفائقة (TGV) باستخدام وحدات بلتية. يمكن لهذا النظام توليد 700 إلى 900 واط من الطاقة الباردة باستخدام 48 وحدة بلتية وكفاءة أقل من 0.4 مع تدفق هواء بمعدل 150 متر مكعب في الساعة. تم أيضًا تصميم مصدر حراري بناءً على 24 وحدة بلتية يمكنها توفير ما يصل إلى 300 واط من الطاقة الباردة و 2.4 كيلو واط من الطاقة الحرارية [16].

### 5.6.I مزايا و عيوب نظام التبريد بوحدات بلتية

أنظمة توليد البرودة باستخدام وحدات بلتية تتمتع بالمزايا التالية:

- استخدام أجزاء غير متحركة، لذلك فهي قليلة الصيانة.
- عمر تشغيل يصل إلى حوالي 100000 ساعة في الحالة الثابتة.
- لا توجد سوائل تبريد ضارة بالبيئة.
- حجم و وزن مخفضين.
- نظام صامت.

- سهولة الاستخدام.
- أنظمة قابلة للعكس: تسمح بالتبريد أو التسخين اعتمادًا على اتجاه التيار المطبق.
- توفير التيار المستمر متوافق مع التغذية الشمسية.
- بينما تكون عيوب نظام التبريد بوحدة بلتيه قليلة مقارنة بمزاياه و تتمثل في مايلي:
  - قوة التبريد ضعيفة.
  - كفاءة منخفضة (معامل أداء النظام هو 0.4).
  - تكاثف الجليد على الوجه البارد [17].

## الفصل الثاني

أساسيات التكييف و التبريد في المركبات

**1.I مقدمة**

يعتمد هذا نظام التبريد أساسا على عمليتي ضغط و تبخير وسيط تبريد، لذلك يدعى بنظام التبريد الانضغاطي أو النظام التبخيري وهذا ما سنقدم شرحا له في هذا الفصل.

**2.II الحرارة والانتقال الحراري****1.2.II الحرارة**

الحرارة هي شكل من أشكال الطاقة في حالة انتقال بين جسمين أو وسطين مختلفين في درجة الحرارة. تمثل درجة الحرارة الوسيلة التي يتم بها إنتقال الطاقة الحرارية بين جسمين أو وسطين مختلفين، وبذلك نستنتج بأن الحرارة توجد فقط عندما يكون هناك اختلاف في درجات الحرارة، وتتعدم عندما ينعدم هذا الاختلاف. لا يمكن خلق الطاقة من العدم و إنما يتم نقلها من مكان إلى آخر، أو تحويلها من شكل إلى آخر. تنتقل الطاقة الحرارية من أكثر الأجسام سخونة إلى أكثرها برودة [18].

**2.2.II الانتقال الحراري**

هي صورة من صور الطاقة التي تنتقل من جسم إلى آخر أو من منطقة إلى أخرى ، و ذلك نتيجة لوجود فرق في درجات الحرارة بين الجسمين أو النقطتين، بحيث أي تغيير في المحتوى الحراري للمادة سيؤدي إلى تغيير في خواص تلك المادة كحالة المادة مثلا ( صلبة، سائلة، غازية) أو لزوجتها أو لونها أو بنيتها البلورية وغيرها من خواص المادة.

توجد عدة طرق لانتقال الطاقة الحرارية من منطقة إلى أخرى و تنحصر في ثلاثة أنواع:

**طريقة التوصيل:** انتقال الحرارة خلال المواد الصلبة و كذلك السوائل و الغازات عندما تكون ساكنة.

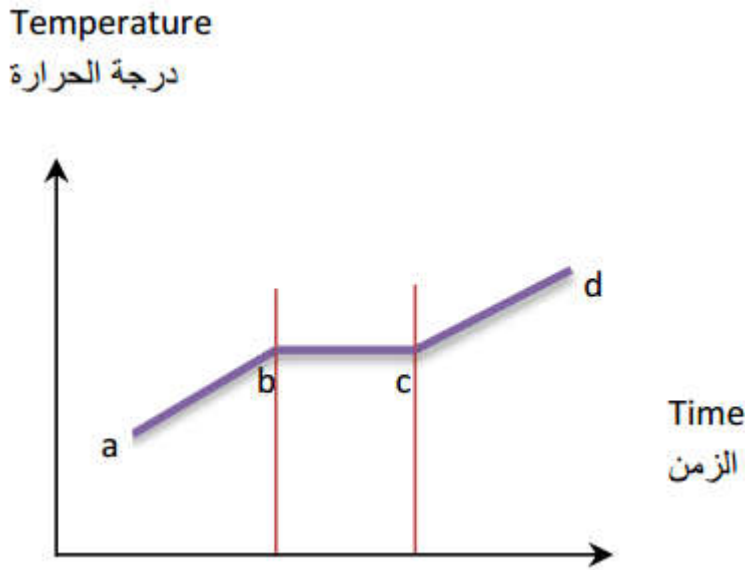
**طريقة الحمل:** هو انتقال الحرارة بفعل حركة المائع من موقع ساخن إلى آخر أقل سخونة و عليه تعد حركة السائل أو الغاز ضرورية لتوليد انتقال الحرارة بالحمل، و في مجالات التطبيق العملي يحدث الحمل الحراري

نتيجة دفع المائع قسريا عبر أجسام ذات أشكال هندسية متنوعة.

**طريقة الإشعاع :** لا تحتاج هذه الطريقة إلى وسط مادي على عكس التوصيل و الحمل، فالحرارة في هذه الحالة تنتقل في الفراغ [19].

### 3.2.II الحرارة المحسوسة و الحرارة الكامنة

إذا قمنا بتسخين كمية من الماء في وعاء تحت تأثير الضغط الجوي فإنه سيبدأ في التبخر عند بلوغ درجة الحرارة ( $100^{\circ}\text{C}$ ). سيستمر مقياس درجة الحرارة في قراءة  $100^{\circ}\text{C}$  طالما يوجد بعض الماء السائل في الوعاء، ولكن حين يتبخر الماء كليا تبدأ درجة الحرارة بالارتفاع إلى أعلى من  $100^{\circ}\text{C}$ . يبين الشكل (1.II) عملية تسخين الماء تجريبيا.



**الشكل (1.II):** يوضح منحنى لتغير درجات الحرارة بدلالة الزمن لعملية تبخر الماء [20].

يمثل الخط (ab) عملية تسخين الماء من 25 إلى 100 درجة مئوية، و يتضح بأن الحرارة المصروفة على الماء استهلكت في رفع درجة حرارته تباعا لهذا الخط. لهذا سميت بالحرارة المحسوسة، لأننا نشعر بتغير سخونة الماء دون أن يحصل أي تغير في حالته أو طبيعته. أما الخط (bc) فهو خط أفقي يشير إلى ثبوت درجة الحرارة أثناء عملية التبخير.

يبدأ الماء في التبخر بثبوت درجة الحرارة عند النقطة  $b$  و ينتهي عند النقطة  $c$ ، حيث تشير المساحة تحت الخط  $bc$  إلى تواجد خليط من البخار و السائل بدرجة حرارة ( $100^{\circ}\text{C}$ ) وهنا يتم استهلاك الحرارة لتبخير الماء فقط، أي لتغيير حالته من سائل إلى بخار. تسمى كمية الحرارة المصاحبة لتغيير الطور (تغيير حالة المادة) بالحرارة الكامنة. لا يقتصر تغير طور المادة على التبخر فقط أي تحويل السائل إلى بخار، و إنما يشمل التكتيف و هو تحويل البخار إلى سائل.

## 4.2.II السعة الحرارية النوعية

السعة الحرارية النوعية ( $C$ ) هي كمية الحرارة ( $Q$ ) اللازمة لرفع درجة الحرارة لكيلوغرام واحد من الكتلة بمقدار درجة مئوية واحدة ( $1^{\circ}\text{C}$ ) أو درجة واحدة بوحدة كيلفن ( $1\text{K}$ ). أحيانا تختصر التسمية إلى الحرارة النوعية، أي أن:

$$Q = m \times C \times \Delta T \quad (1.II)$$

فإذا قيست الحرارة بالجول ( $J$ ) و الفرق في الحرارة ( $\Delta T$ ) بالكلفن ( $K$ ) و الكتلة بالكيلوغرام ( $\text{Kg}$ ) تصبح وحدة الحرارة النوعية ( $J/\text{Kg}\cdot K$ ) أو ( $\text{KJ}/\text{Kg}\cdot K$ ). تجدر الإشارة إلى أن مقدار الفرق في درجة الحرارة بوحدة  $^{\circ}\text{C}$  يتخذ نفس المقدار بالوحدة  $K$ . فمثلا عند رفع درجة الحرارة من  $20^{\circ}\text{C}$  ( $293\text{K}$ ) إلى  $80^{\circ}\text{C}$  ( $353\text{K}$ ) ينتج فرق في درجة الحرارة مقداره ( $60^{\circ}\text{C}$ ) أو ( $60\text{K}$ )، وعليه تتخذ ( $C$ ) نفس المقدار بوحدة ( $J/\text{Kg}\cdot K$ ) أو بوحدة ( $J/\text{Kg}\cdot ^{\circ}\text{C}$ ).

## 5.2.II التوازن الحراري

عندما يتلامس جسمان لهما درجات حرارة مختلفة، تنتقل الحرارة من الجسم الأشد حرارة إلى الجسم الأخر، و إن كمية الحرارة المنتقلة من الجسم الحار لابد و أن تساوي الحرارة المنتقلة إلى الجسم الأخر. في الواقع هذا هو المبدأ الأساس لتحليلات التوازن الحراري. يمكننا استخدام المعادلة (1.II) لتقييم كمية الحرارة

المكتسبة أو المفقودة من الجسم في حالة حصول تغيير في درجة حرارته، علما أن تطبيق هذه المعادلة يقتصر على السوائل و المواد الصلبة فقط. أما الغازات فلها نوعان من السعة الحرارية النوعية، الأول بثبوت الحجم ( $C_V$ ) و الثاني بثبوت الضغط ( $C_P$ )، ترتبط السعتان للغازات المثالية بالمعادلة التالية :

$$C_P - C_V = R \quad (2. II)$$

حيث R ثابت الغازات المثالية [20].

**الجدول (1.II):** قيم السعات الحرارية النوعية لبعض المواد شائعة الاستعمال [20].

المادة	C (kj/kg.K)	Substance
الماء	4.186	Water
ماء البحر	3.390	Sea water
الهواء	1.010	Air
ثاني اكسيد الكربون	0.840	Carbon Dioxide
الميثان	2.220	Methane
البروبان	2.400	Propane
بخار الماء	2.000	Steam at 100°C
حامض الكبريتيك	1.340	Sulfuric acid
الكحول الأيثلي	2.400	Ethanol
الالومنيوم	0.900	Aluminum
النحاس	0.387	Copper
الحديد والصلب	0.451	Steel
الخشب	1.700	Wood
المطاط	1.700	Rubber

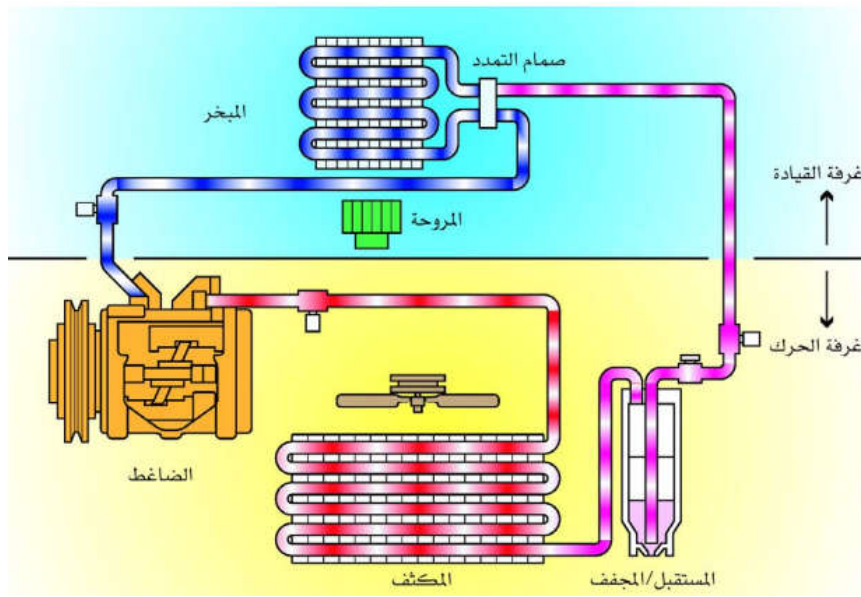
### 1.3.II الأسس الطبيعية لتوليد البرودة طبقاً لمبدأ التبخير

تعتمد طريقة التبريد في مكيف السيارة على نظرية تبخير السائل، أي يتم تحويل سائل من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية و يلزم لعملية التبخير هذه كمية معينة من الحرارة يتم اكتسابها من الحيز المحيط بالمبخر (حيز الركاب) مما يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة الحيز المحيط. يلزم لإتمام هذه العملية سائل سريع التبخير تكون درجة حرارة هذا السائل أقل من درجة حرارة الهواء المرغوب في تبريده.

### 2.3.II النظرية التشغيلية لمنظومة التكييف و التبريد

تتولد البرودة بتبخير سائل التبريد في المبخر. وذلك بخفض ضغطه بعد حقنه داخل المبخر بواسطة صمام التمدد بعد أن كان تحت ضغط مرتفع في وعاء سائل التبريد، فيتبخر و من ثم تسحب الحرارة من الحيز المحيط به فيسخن و يقوم صمام التمدد بحقن كمية معينة من سائل التبريد في المبخر تناسب قدرة التبريد المطلوبة و الكمية المثلى التي يتمكن المبخر من تبخيرها و يتم التحكم في هذا الصمام عن طريق منظم لدرجة الحرارة الذي يعتمد على درجة حرارة الهواء عند مخرج المبخر في عمله، كما يمثل صمام التمدد نقطة الفصل بين الجزء ذي الضغط المرتفع و الجزء ذي الضغط المنخفض في دائرة التبريد و بعد ذلك يتم إعادة تكثيف وسيط التبريد الساخن الذي تم تبخيره في المبخر و يقوم الضاغط بسحب بخار وسيط التبريد من المبخر و رفع ضغطه ثم يدفعه إلى المكثف و يتم سحب الحرارة من بخار وسيط التبريد التي تم اكتسابها من حيز الركوب عن طريق مساحة المقطع الكبير للمكثف و طردها إلى الهواء الجوي الخارجي و بذلك يتكثف بخار وسيط التبريد على الضغط في المكثف و يخرج بعد ذلك وسيط التبريد السائل من أسفل المكثف و يسري إلى داخل وعاء سائل التبريد بعد فصل أي بقايا من الماء من وسيط التبريد بواسطة المجفف (لأن سائل التبريد يتحلل بواسطة الماء). إذا جهاز التكييف يحتوي على دورتين مقترنتين ببعضهما وهما دورة الهواء و دورة وسيط التبريد و ترتبطان ببعضهما عن طريق المبخر الذي يعمل كمبادل حراري [21].





الشكل (3.11): يبين دورة التبريد المستخدمة في المركبة [21].

## الفصل الثالث

دراسة تجريبية لتصميم مبرد سيارة باستعمال  
التبريد الكهروحراري

### 1.III مقدمة

إن طريقة التبريد الكهروحراري هي تكنولوجيا تعتمد على ظاهرة بلتية لتوليد تدفق حراري عند المنطقة الواصلة بين نوعين مختلفين من المواد بعد تمرير تيار كهربائي. للاستفادة من هذه الظاهرة أنشئت وحدات تدعى بعناصر بلتية أو بالمبردات الكهروحرارية (TEC). تعد هذه التكنولوجيا أقل استخدامًا بكثير من التبريد الانضغاطي المستخدم بشكل واسع. ومع ذلك، فإن التطورات في هذا المجال مستمرة، مما قد يؤدي إلى تحسين كفاءة وأداء تكنولوجيا التبريد الكهروحراري في المستقبل.

### 2.III الجانب العملي

سنتطرق في هذا الفصل إلى الدراسة التجريبية و التي تتمثل في تصميم مبرد يعمل بأثر بلتية المكون من وحدات كهروحرارية TEC كما يلي:

#### 1.2.III إشكالية البحث

كانت فكرة البحث تقديم دراسة عن إمكانية تصميم مبرد سيارة باستعمال نظام تبريد كهروحراري، أجريت التجارب في مخابر قسم الفيزياء-كلية العلوم- جامعة المسيلة.

#### 2.2.III أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى تقديم دراسة تصميمية لنظام تبريد يعتمد على تجميع وحدات كهروحرارية التي تعمل على مبدأ بلتية و تصميم نموذج للتحقق من إمكانية التنفيذ. هذا النظام صديق للبيئة، يعتمد على مصدر تغذية كهربائي مستمر.

### 3.2.III المكونات والعناصر المستخدمة في نموذج نظام التبريد الكهروحراري

لتأمين شروط إجراء البحث التجريبي لا بد من تأمين العناصر الآتية:

06 وحدات تبريد كهروحرارية، 06 مراوح، 12 مشنت حراري، 02 مولد كهربائي للتيار المستمر،

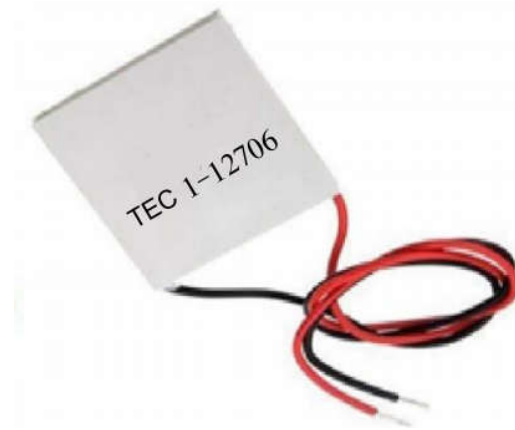
02 مزدوج حراري لقياس الحرارة، جهازي فولطمتر و أمبير متر، مجفف شعر، نفق بأبعاد )

(  $60\text{Cm} \times 10\text{Cm} \times 6\text{Cm}$  ) مصنوع من ألواح الألمنيوم يتوسطها عازل.

#### أ- الوحدة الكهروحرارية Peltier Module

تتكون الوحدة الكهروحرارية من مصفوفة من عدة وصلات نصف ناقلة نوع p-n مرتبة بين

صفيحتين خزفيتين. هذه العناصر متصلة مع بعضها على التسلسل، لكنها توصل على التفرع حرارياً.



الشكل (1.III): صورة لوحدة بلتية TEC1-12706

تم شراء الوحدات الكهروحرارية من موقع علي بابا التجاري. يوضح الشكل (1.III) وحدة التبريد

الكهروحرارية المستخدمة في هذا المشروع و هي من النوع TEC1-12706، تبلغ طاقة التبريد لوحدة TEC

حوالي 92 واط عند أقصى فرق درجة حرارة يبلغ  $68^{\circ}\text{C}$ .

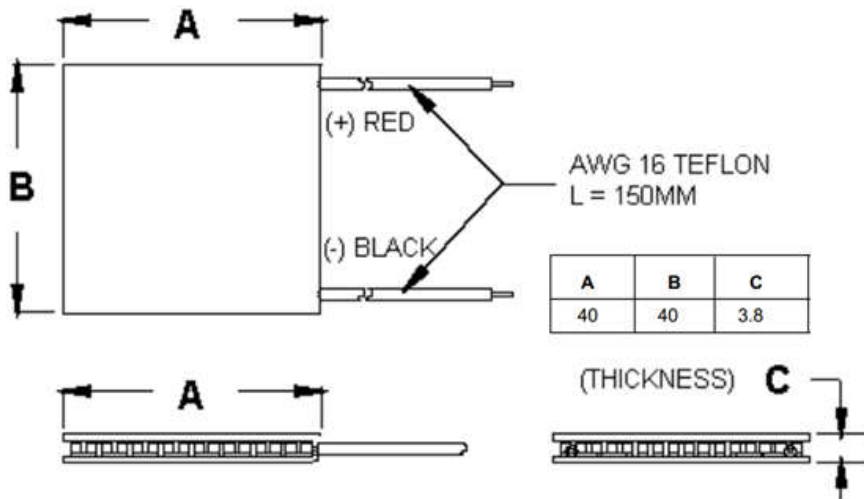
تم اختيار عدد الوحدات الكهروحرارية التبريدية اعتماداً على طاقة التبريد اللازمة داخل حجرة مركبة

عند 23 درجة مئوية يمكن أن تعطي وحدة TEC طاقة تبريد تبلغ 37.5-50 واط، لذا فإن ستة وحدات

تبريد TEC ستعطي قوة تبريد 225 - 300 واط.

الجدول(1.III): يبين المواصفات التي تشتغل عليها وحدة TEC1-12706

Hot Side Temperature (° C)	25° C	50° C
Qmax (Watts)	50	57
Delta Tmax (° C)	66	75
I <sub>max</sub> (Amps)	6.4	6.4
V <sub>max</sub> (Volts)	14.4	16.4
Module Resistance (Ohms)	1.98	2.30



الشكل (2.III) : رسم تخطيطي يمثل أبعاد وأجزاء وحدة TEC1-12706 [23].

ب- مروحة مع مشتت حراري

- وظيفة المروحة تبريد الجانب الساخن لشريحة TEC1-12706.

- المشتت الحراري هو عنصر غير فعال (غير مستهلك للطاقة) يشتت الحرارة بواسطة شفرات سطحه المعدني الواسع، مما يزيد مساحة سطح التبادل الحراري مع الوسط الخارجي، أي له تأثير تبريدي مكتسب يكون ملتصقاً مع الجانب الساخن من وحدة التبريد كهروحرارية وتوضع المروحة فوقه لتبديد الحرارة الناتجة بينما يكون مشتت آخر ملتصقاً على الجانب البارد داخل النفق.



الشكل (3.III): يمثل مشتت حراري

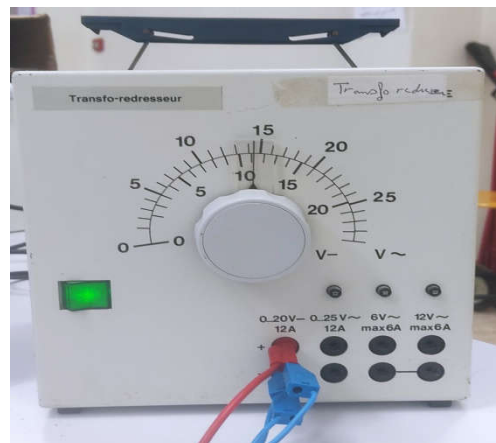


الشكل (4.III): يمثل مشتتات حرارية موضوعة على وجهي وحدة بلتيه مع استعمال مروحة

### ج-المولدات الكهربائية

استعملنا لتغذية الوحدات و المراوح مولدين كهربائيين ذو توتر كهربائي مستمر DC جهد

كلاهما 12V، إحداهما لتغذية الوحدات كهروحرارية و الآخر لتغذية المراوح.



الشكل (5.III): يبين المولدات المستعملة لتشغيل المبرد.

د- جهازي الفولطمتر و الأمبيرمتر

استعملنا جهازي الفولطمتر و الأمبيرمتر للتحقق من توتر و شدة التيار التي تغذي الوحدات

الكهروحرارية و المراوح.



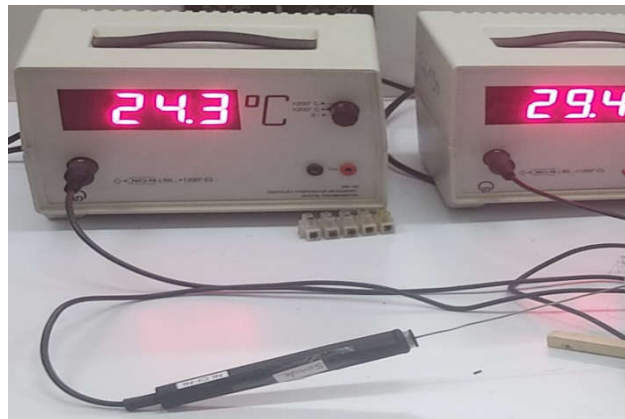
الشكل(III.6): يبين جهاز الفولطمتر و الأمبير متر المستعملين خلال العمل التجريبي.

هـ- المزدوج الحراري

إستعملنا حساسين حراريين للتأكد من تغير درجة الحرارة و معاينة نتيجة هذا المشروع إحداهما

يستعمل عند مدخل النفق (قياس درجة حرارة الهواء الداخل) و الآخر يوضع عند المخرج لقياس درجة حرارة

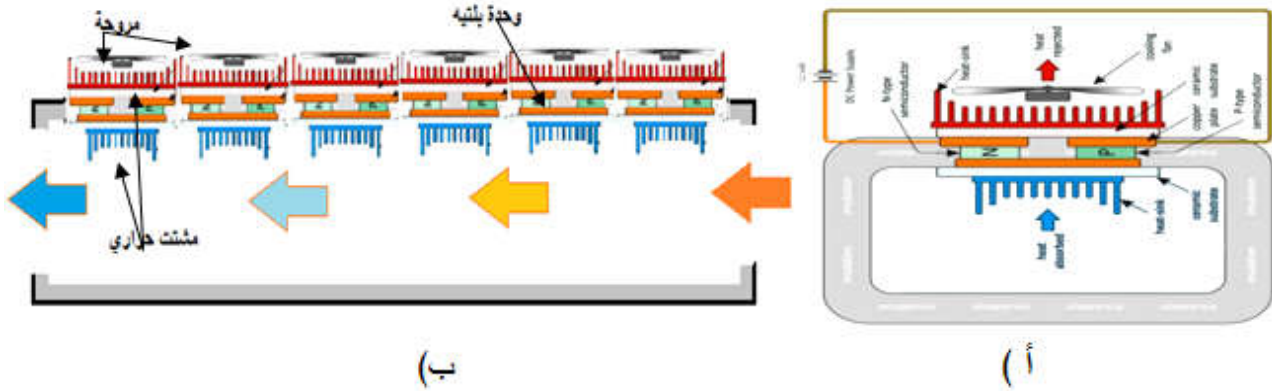
الهواء الداخل و الخارج من النفق.



الشكل(III.7): يبين المزدوجات الحرارية المستعملة خلال العمل التجريبي.

و- هيكل المبرد

قمنا بتصميم نفق جدرانه من مواد عازلة للحفاظ على درجة الحرارة المنخفضة داخله لأطول فترة ممكنة. تم تصميم هيكل المبرد على شكل نفق متوازي المستطيلات مصنوع من ألواح من الألمنيوم محشو بمادة عازلة حرارياً، أبعاد هيكل المبرد:  $60\text{cm} \times 10\text{cm} \times 6\text{cm}$ .



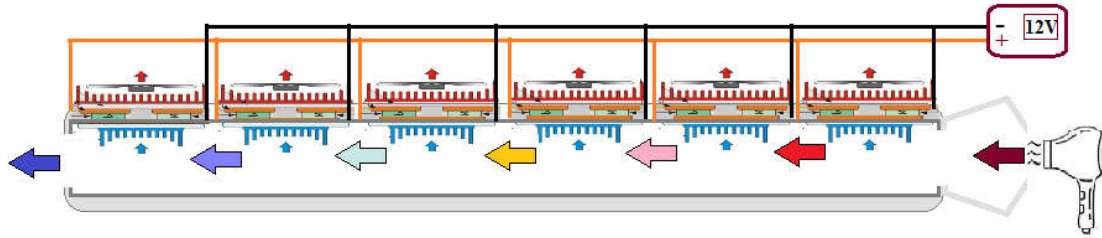
الشكل (8.III): أ- رسم تخطيطي لمقطع عرضي لنفق التبريد ب- رسم تخطيطي لمقطع طولي لنفق

التبريد، الصورة على اليمين مقتبسة من [22]

### 4.2.III تصميم المبرد

تم تجميع المكونات معاً لبناء نظام تبريد وتهوية كهروحراري يعمل باستخدام تأثير بلتية، وكما نعلم لا تعمل الوحدات الكهروحرارية بدون المبادلات الحرارية (المشتتات). استعملنا مبادلين حراريين لكل وحدة كهروحرارية يعملان بإحتكاك الهواء مكونان من شفرات من الألمنيوم مع مراوح لإجبار الهواء على الحركة. تم استخدام اثنين من المشتتات الحرارية لهذا النوع من التجميع لكل وحدة كهروحرارية، حيث تم تثبيت أحد المشتتات الحرارية على الجانب الساخن والآخر على الجانب البارد مع وضع الغراء الحراري للتخلص من الفجوات أو الفراغات الهوائية بين جوانب الوحدة و المشتت. تقوم المراوح بإجبار الهواء على المرور من خلال الشفرات ويتم امتصاص الحرارة من الهواء الداخل للمبادل بواسطة الحمل الحراري. تمرير هذه الحرارة من خلال الزعانف الحرارية عن طريق التوصيل إلى الوحدات الكهروحرارية، وبالتالي تنخفض درجة حرارة

الهواء البارد نحو مخرج النفق. تعمل الوحدات الكهروحرارية كمضخات حرارية بحيث تنقل الحرارة الممتصة من الوجه البارد وضخه إلى الوجه الساخن.



الشكل (9.III): يبين مخطط عملي للمبرد.

### 5.2.III النتائج التجريبية

معاينة درجة حرارة وجهي وحدة بلتية بدلالة الزمن :

الحالة الأولى: دون استعمال المشتتات الحرارية.

تمت معاينة وحدة بلتية بقياس درجة حرارة الوجهين بعد تغذيته كهربائيا دون استعمال المشتتات الحرارية و

بعد استقرار درجة الحرارة على الوجهين ( بعد 7 دقائق ) كانت النتائج حسب الجدول التالي:

الجدول (2.III): يبين نتائج تجريبية لمعاينة وحدة بلتية دون استعمال المشتتات.

التوتر $U(V)$	شدة التيار $I(A)$	درجة حرارة الجانب الساخن	درجة حرارة الجانب البارد	درجة حرارة المخبر T
11	5	56.5°C	-13 °C	20.5 °C

الحالة الثانية: مع استعمال المشتتات الحرارية

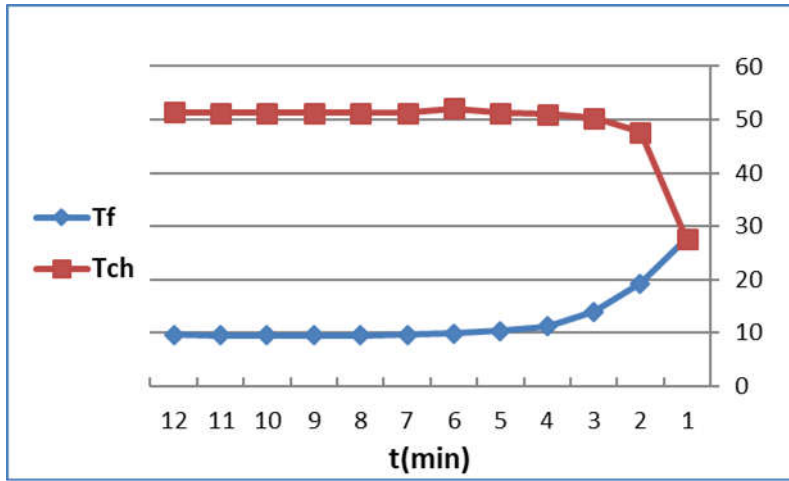
تمت معاينة وحدة بلتية مع استعمال المشتتات الحرارية فتحصلنا على النتائج المبينة في الجدول

(3.III):

شدة التيار  $I(A) = 3.09$  و التوتر  $U(V) = 12$

الجدول(3.III): يبين تغير درجات الحرارة بين وجهي الوحدة باستعمال المشتتات الحرارية.

t (min)	0	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
$T_{ch} (^{\circ}C)$	27.7	47.7	50.3	51	51.3	52.1	51.3.	51.3	51.3	51.2	51.3	51.4
$T_f (^{\circ}C)$	27.7	19.3	14	11.2	10.3	9.8	9.6	9.5	9.5	9.5	9.5	9.6



الشكل(10.III): يبين منحنى تغير درجات الحرارة بدلالة الزمن بعد استعمال المشتتات.

من خلال نتائج المتحصل عليها من الجدول و المنحنى نلاحظ أن درجة الحرارة عند المشتت الموضوع على

الوجه الساخن للوحدة يستقر عند  $T_{ch} = 51^{\circ}C$  عند بلوغ الدقيقة  $6min$  ودرجة حرارة مشتت الوجه البارد

تستقر عند  $T_f = 9.5^{\circ}C$  عند الدقيقة  $12 min$ .

معاينة درجة حرارة وجهي وحدة بلتيه بدلالة الشدة و التوتر الكهربائيين:

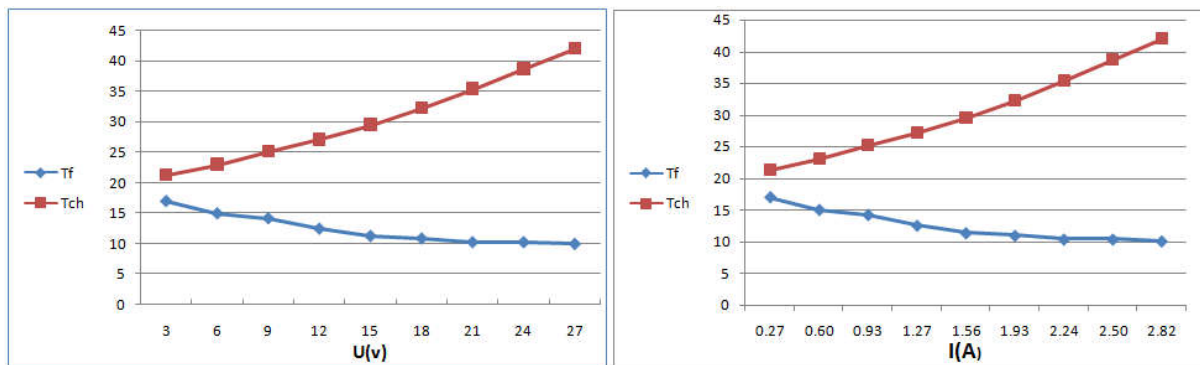
لمقارنة عمل وحدة بلتيه نقوم بدراسة تغير درجات حرارة المشتتات الحرارية بدلالة تغير التوتر و الشدة، قمنا

بتجميع ثلاث وحدات بلتيه على التسلسل داخل النفق وقمنا بغلق القاطعة فكانت النتائج: (درجة حرارة المخبر

$20.5^{\circ}C$ ).

الجدول (4.III): يبين تغير درجات الحرارة  $T_f$  و  $T_{ch}$  بدلالة  $U(V)$  و  $I(A)$ .

$I(A)$	2.82	2.5	2.24	1.93	1.56	1.27	0.93	0.6	0.27
$U(V)$	27	24	21	18	15	12	9	6	3
$T_f(°C)$	10	10.3	10.3	10.9	11.3	12.5	14.2	15	17
$T_{ch}(°C)$	42	38.7	35.4	32.2	29.5	27.1	25.2	23	27.1



الشكل (11.III): يمثل منحنى تغير درجات الحرارة  $T_f$  و  $T_{ch}$  بدلالة  $U(V)$  و  $I(A)$ .

من خلال النتائج المتحصل عليها لاحظنا أن تغير الشدة و التوتر الكهربائيين يؤثر على تغير درجة الحرارة للوحي الوحدة بمعنى كلما زادت الشدة و التوتر الكهربائيين زادت كفاءة تبريد الوحدات والعكس صحيح.

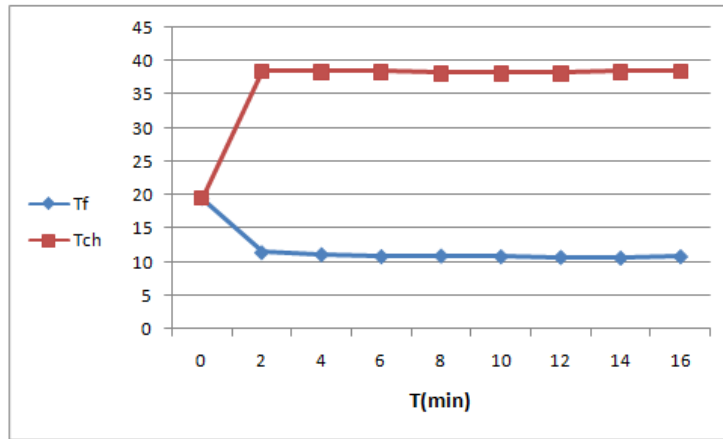
معاينة درجة حرارة وحدات بلتيه بدلالة الزمن (ربط على التفرع).

بعد ربط 03 وحدات بلتيه على التفرع داخل النفق كانت النتائج كالتالي:

شدة التيار  $I(A)$ : 9 و التوتر  $U(V)$ : 10

الجدول (5.III): يبين تغير درجات الحرارة  $T_{ch}$  و  $T_f$  بدلالة الزمن عند ربط 03 وحدات على التفرع.

t (min)	0	02	04	06	08	10	12	14	16
$T_{ch}$ (°C)	19.5	38.5	38.4	38.4	38.2	38.2	38.2	38.4	38.5
$T_f$ (°C)	19.5	11.4	11.1	10.8	10.9	10.8	10.7	10.6	10.8



الشكل (12.III): يمثل منحنى لتغير درجات الحرارة  $T_{ch}$  و  $T_f$  بدلالة الزمن عند ربط 03 وحدات على

التفرع.

عند توصيل 03 وحدات بلتيه على التفرع لاحظنا أن درجة الحرارة الساخنة عند مشنت الوجه الساخن تستقر

عند القيمة  $T_{ch} = 38.5^{\circ}\text{C}$  بينما درجة الحرارة الباردة داخل المبرد تستقر عند  $T_f = 10.6^{\circ}\text{C}$ .

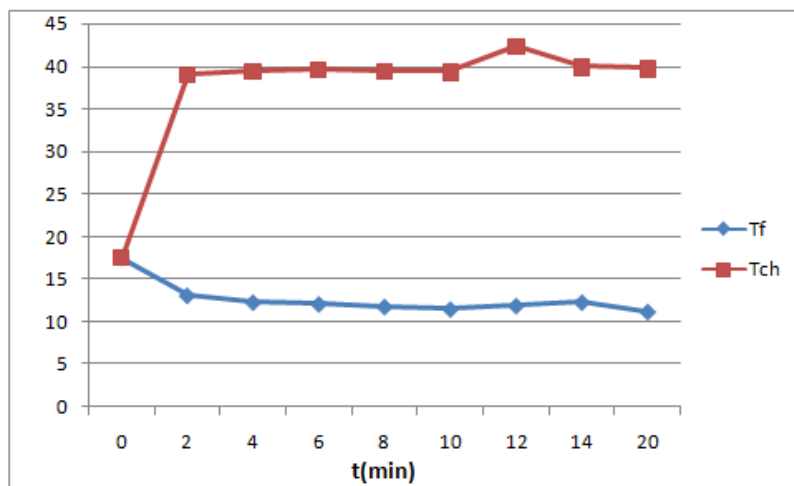
معاينة درجة حرارة وحدات بلتيه بدلالة الزمن (ربط على التسلسل).

بعد تركيب وحدتين بلتيه على التسلسل كانت النتائج كالتالي:

شدة التيار  $I(A)$ : 3 و التوتر  $U(V)$ : 18

الجدول (6.III): يبين تغير درجات الحرارة  $T_{ch}$  و  $T_f$  بدلالة الزمن عند ربط وحدتين على التسلسل.

t (min)	0	02	04	06	08	10	12	14	20
$T_{ch}(^{\circ}C)$	17.5	39	39.4	39.6	39.4	39.3	42.3	39.9	39.7
$T_f(^{\circ}C)$	17.5	13.1	12.3	12.1	11.8	11.5	11.9	12.3	11.2



الشكل (13.III): يمثل منحنى تغير درجات الحرارة  $T_{ch}$  و  $T_f$  بدلالة الزمن ( توصيل وحدتين على

التسلسل).

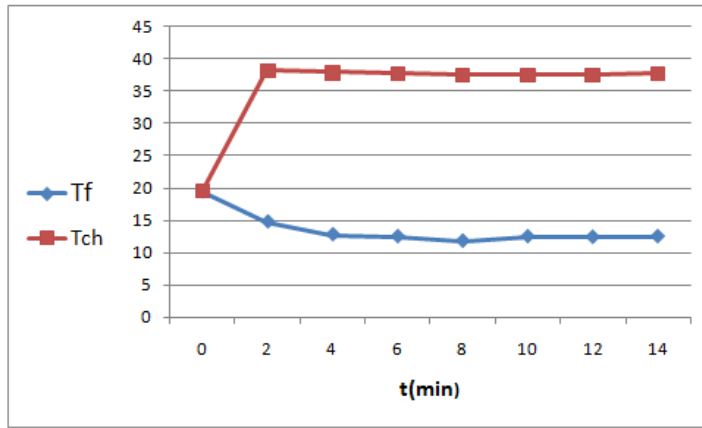
عند توصيل وحدتين بلمتيه على التسلسل لاحظنا أن درجة الحرارة الساخنة عند مشنت الوجه الساخن تستقر عند القيمة  $T_{ch} = 39^{\circ}C$ ، بينما درجة الحرارة الباردة داخل المبرد تستقر عند  $T_f = 11^{\circ}C$  و بعد تركيب

06 وحدات بلمتيه على التسلسل كانت النتائج كالتالي:

شدة التيار  $I(A)$ : 3 و التوتر  $U(V)$ : 27

الجدول (7.III): يبين تغير درجات الحرارة  $T_f$  و  $T_{ch}$  بدلالة الزمن عند ربط 06 وحدات على التسلسل.

t (min)	0	02	04	06	08	10	12	14
$T_{ch}(^{\circ}C)$	19.5	38.2	37.9	37.7	37.6	37.6	37.5	37.7
$T_f(^{\circ}C)$	19.5	14.8	12.8	12.5	11.8	12.5	12.4	12.5



الشكل (14.III): يمثل منحنى لتغير درجات الحرارة  $T_f$  و  $T_{ch}$  بدلالة الزمن عند ربط 06 وحدات على

التسلسل.

عند توصيل 06 وحدات بلمتية على التسلسل لاحظنا أن درجة الحرارة الساخنة عند مشنت الوجه الساخن

تستقر عند القيمة  $T_{ch} = 37^{\circ}C$  بينما درجة الحرارة الباردة داخل المبرد فتستقر عند  $T_f = 12^{\circ}C$  وهي

تقريبا نفس قيم توصيل وحدتي بلمتية على التفرع.

إذا من خلال النتائج المتحصل عليها نستنتج أن كفاءة التبريد متساوية عند توصيل الوحدات على التفرع أو

على التسلسل.

معاينة درجة الحرارة بين مدخل  $T_{int}$  و مخرج المبرد  $T_{ext}$

عند تركيب المبرد تم توصيل 03 وحدات بلمتية على التفرع مع مولد واحد و إستعملنا في هذه الحالة 06

وحدات بلمتية و مولدين لتغذية الوحدات و مولد خاص لتغذية المراوح الستة .

عند استعمال مجفف الشعر عند مدخل النفق لدفع الهواء البارد الناتج من جوانب الوحدات بلتيه وجد في هذه الحالة أن الفرق في درجة الحرارة بين مدخل و مخرج النفق هو كما يلي:

$$\Delta T = 20.7^{\circ}\text{C} - 18.5^{\circ}\text{C} = 2^{\circ}\text{C}$$

و السبب هو تباعد شفرات المشنت الحراري (البعد وجد  $1\text{Cm}$ ).

قمنا بإضافة صوف الحديد بين شفرات المشنت لزيادة النقل الحراري و التقليل من سرعة تدفق الهواء.



الشكل(III.15): يبين إضافة صوف الحديد بين شفرات المشنت.

كما لوحظ أن وجهي وحدات البلتيه ليست على تماس جيد مع المشنتات الداخلية لذلك قمنا بإضافة شفرات من الألمنيوم من نفس أبعاد هذه الوحدات بين الوجه البارد للوحدة و وجه المشنت مع وضع غراء حراري. ثم أجرينا التجارب على الحالتين:

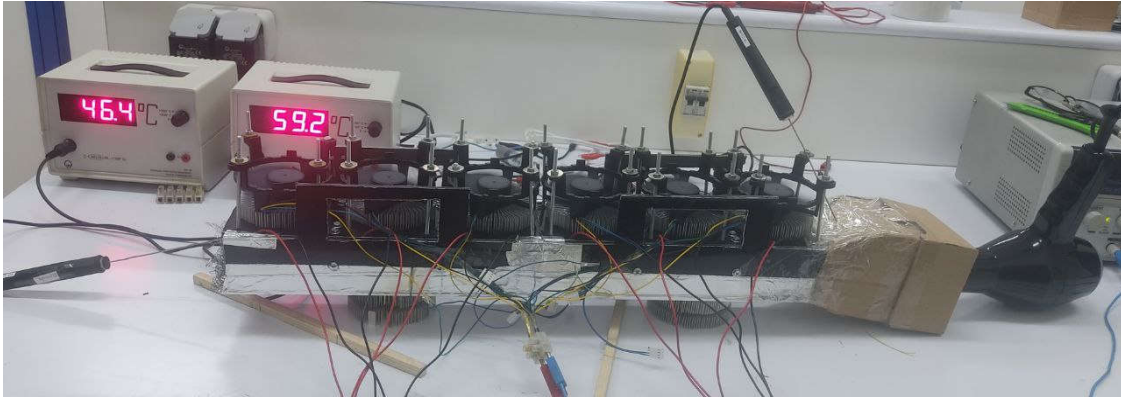
الحالة الأولى : إستعمال مجفف الشعر في وضع ساخن كحاكاة لحرارة فصل الصيف فكانت النتائج:

الجدول(III.8): يبين قيم درجات الحرارة عند مدخل و مخرج المبرد عند استعمال الهواء الساخن.

درجة حرارة المخبر	درجة الحرارة عند مدخل	درجة الحرارة عند مخرج
$T_0$	النفق $T_{int}$	النفق $T_{ext}$
$23^{\circ}\text{C}$	$59.2^{\circ}\text{C}$	$46.4^{\circ}\text{C}$

من نتائج المتحصل عليها نجد الفرق في درجة الحرارة بين مدخل ومخرج النفق.

$$\Delta T = 59.2^{\circ}\text{C} - 46.4^{\circ}\text{C} = 12.8^{\circ}\text{C}$$



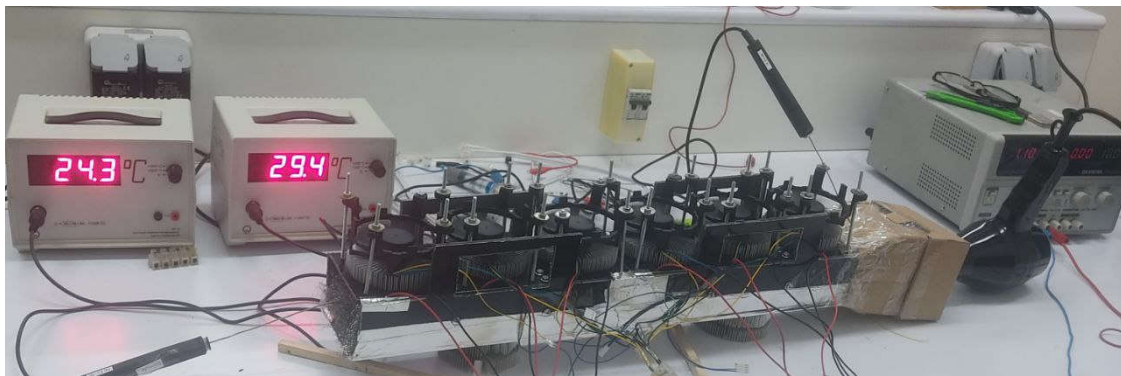
الشكل (16.III): يوضح صورة لنتائج التجريب بعد استعمال الهواء الساخن

الحالة الثانية: استعمال مجفف الشعر بهواء المخبر.

من نتائج المتحصل عليها نجد الفرق في درجة الحرارة  $\Delta T = 29.3^{\circ}\text{C} - 24.3^{\circ}\text{C} = 5^{\circ}\text{C}$ .

الجدول (9.III): يبين قيم درجات الحرارة عند مدخل و مخرج المبرد عند استعمال هواء المخبر.

درجة حرارة عند مخرج النفق	درجة حرارة عند مدخل النفق	درجة حرارة المخبر
$T_{ext}$	$T_{int}$	$T_0$
24.3°C	29.3°C	23°C



الشكل (17.III): صورة لنتائج التجريب بعد استعمال هواء المخبر.

حساب معامل الأداء لنظام هواء - هواء

يمكن حساب معامل الأداء من خلال العلاقة (1.III) :

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

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

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

$$m_{air} = \rho \times Q = \rho \times V \times A = 1.164 \times 2.5 \times 0.0066 = 0.0192 \text{ kg/s}$$

$$Q_c = 0.0192 \times 1008 \times (29.4 - 24.3)$$

$$Q_c = 99.01 \text{ W}$$

الطاقة المقدمة لتشغيل الجهاز هي الطاقة اللازمة لتشغيل وحدات بلتيه و لتغذية المراوح وتعطى بالعلاقة التالية :

$$P = P_{TEM} + P_{fans} \quad (3.III)$$

$$P = 6(12 \times 5.5) + 6(12 \times 0.2)$$

$$P = 374.4$$

$$COP = \frac{Q_c}{P} = \frac{146.66}{374.4} = 0.39$$

يمكن القول أن تغير درجات الحرارة للهواء ضعيف نسبيا يتراوح  $\Delta T = 5^\circ\text{C}$  في الأجواء المعتدلة وبالتالي عند حساب معامل الأداء COP من العلاقة (1.III) نجد قيمته  $COP = 0.39$  والذي يعتبر منخفضا نسبيا مقارنة مع وحدات التكييف التقليدية لنظام الانضغاطي  $COP = 2.57$  وبالتالي لا ينصح باستخدام هذا النظام في تبريد الحجرات.

## 6.2.II نتائج البحث

نظام التبريد الكهروحراري يصلح لتبريد حيز صغير ونظام يكون معزول، كما أن استخدام مواد جيدة العزل في تصميم المبرد يلعب دوراً أساسياً في الحفاظ على درجة الحرارة ويبطئ من عملية التبادل الحراري مع الوسط الخارجي مما يعطي نتائج أفضل.

# خاتمة

## خاتمة

من خلال الدراسة التجريبية التي أجريناها في محاولة لصناعة مبرد سيارة بإستعمال نظام التبريد الكهروحراري، استطعنا التعرف على مبدأ عمل الوحدات الكهروحرارية التي تعمل بتأثير بلتية و التعرف على خصائص هذا النوع من الوحدات TEC1-12706. بعد ذلك قمنا بتصميم و تركيب المبرد الذي يعتمد على تجميع وحدات بلتية. قمنا بعد ذلك بتجريب المبرد، فكانت النتائج كالتالي :

- قيمة الشدة والتوتر الكهربائيين يؤثران على كفاءة تبريد الوحدات.
  - طريقة ربط الوحدات لا تؤثر على كفاءة التبريد للوحدات.
  - الفرق في درجة الحرارة بين مدخل و مخرج المبرد عند استعمال الهواء الساخن كانت  $\Delta T = 12.8^{\circ}\text{C}$ .
  - الفرق في درجة الحرارة بين مدخل و مخرج المبرد عند استعمال الهواء العادي كانت  $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$ .
  - معامل الأداء لنظام التبريد للمبرد باستعمال الهواء كوسيط التبريد هو  $\text{COP} = 0.39$ .
- نظام التبريد الكهروحراري باستعمال هذا النوع من الوحدات يصلح لتبريد حيز صغير ونظام يكون معزول و مغلق مثل الثلاجة. لتحسين كفاءة و أداء هذا المبرد نقترح استعمال نظام تبادل حراري (هواء-سائل) لزيادة الكفاءة وتحسين التبريد. كما نقترح أيضا تغيير الوحدات المستعملة TEC1-12706 بوحدات ذات كفاءة وسرعة تبريد أكبر مثل TEC1-12703.

## قائمة المراجع

- [1] إبراهيم السيد بدوي العرجة، فكري عثمان إبراهيم عثمان، " أساسيات الهندسة الكهربائية " قطاع الكتب، وزارة التربية والتعليم، جمهورية مصر العربية.
- [2] المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني، " أساسيات الكهرباء والإلكترونيات"، الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج، المملكة العربية السعودية.
- [03] Caroline CHUBILLEAU (2010). " Influence d'inclusions de PbTe ou de ZnO sur les propriétés thermoélectriques de matériaux skutterudites" ,institut national polytechnique de lorraine.
- [04] Zoui Mohamed Amine(2017). " Etude expérimentale d'un module thermoélectrique avec réalisation d'une application à effet Peltier". Université Africaine Ahmed draya Adrar.
- [05] Roux-Briffaud Jonas(2008). " La Thermoélectricité. Etude bibliographique" IUT DE SAINT NAZAIRE.
- [06] Djalila Boudemagh(2010). Synthèse et Etude des Matériaux Thermoélectrique du Système Mg<sub>2</sub>Si<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>. Physique. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, Français.
- [07] Etienne Yvenou(2017). Développement de modules thermoélectriques imprimés et flexibles pour des applications à température ambiante. Energie électrique. Université Grenoble Alpes, Français.
- [08] د. عبد الفتاح أحمد الشاذلي، فيزياء الجوامد، ج3، كلية التربية، جامعة عين الشمس.
- [09] Claude Godart. "Thermoélectricité : une nouvelle mine « verte » ? ", La revue 3 EI n°52, mars 2008, page (3).
- [10] مذكرة ماستر أكاديمي، باساسي مريم(2019)، الكشف عن التغير الطوري بالفعل الحراري لسبيكة Fe<sub>76</sub>B<sub>14</sub>Si<sub>7</sub>Cr<sub>3</sub> بواسطة معامل سيبالك و المقاومة الكهربائية. جامعة قاصدي مرباح ورقلة.
- [11] Yann APERTET(2013). Réflexions sur l'optimisation thermodynamique des générateurs thermoélectriques. Thèse de doctorat Université Paris-Sud Institut d'Electronique Fondamentale.
- [12] Travaux pratiques intermédiaires, université de Genève, section de physique, thermoélectricité, 2014.

[13] Pierre Chapoul, Kevin Guerineau , Chritophe Dom et all(2008). Etude du module thermoélectrique à effet Peltier.institut national des sciences appliquees de ROUEN.

[14] Bao YANG, Herwin AHUYA et Thanh N. TRAN(2008). Thermoelectric technology assessment: application to air conditioning and refrigeration, review article, volume 14 number 5 HVAC&R Research.

[15] <https://youtu.be/ACadXn5lwV0>

[16] Matthieu COSNIER(2008), Etude expérimentale d'un système thermoélectrique destiné au rafraîchissement des bâtiments, thèse, Ecole doctorale de l'Université de Savoie SISEO.

[17] Rouzzit mohamed. Midegue Oussama(2016). Production du froid par effet peltier dans une sale informatique,these. Universite saad dahlab blida.

[18] سرمد عبد الكريم فيصل. قتيبة جاسم عبد الامير. علي محمد عيسى. و آخرون (2012). "محاكاة أعطال منظومة تكييف المركبات "كلية الرافدين الجامعة هندسة تقنيات التكييف والتبريد.بغداد.

[19] شهرزاد أمين ، هيثم نافع صالح، غيث ياس خيضر، محمود فائق رشيد، محمد ناصر حسين، ملزمة انتقال الحرارة، جمهورية العراق.

[20] د.محمد تقي الدين الكامل(2023). " انتقال الحرارة – مبادئ أساسية ".

[21] المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني،"تكييف الهواء بالمركبات". تخصص كهرباء السيارات،الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج، المملكة العربية السعودية.

[22] مجلة جامعة طرطوس العلمية (2018)، المجلد 02 العدد 03.

[23] <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/227422/ETC2/TEC1-12706.html>

## ملخص:

تعود أصول التبريد الكهروحراري إلى نظرية فيزيائية تُعرف باسم تأثير بلتييه. يعمل هذا التأثير على مبدأ توليد الحرارة عن طريق تمرير تيار كهربائي عبر سلسلة من الوصلات شبه الناقلة من النوع p-n. عندما يمر التيار عبر هذه المواد، تنتقل الحرارة من جانب إلى آخر، مما يتسبب في أن يصبح أحد جانبي الوحدة ساخنًا بينما يصبح الجانب الآخر باردًا إلى حد التجمد. من مميزات هذه الطريقة هو احترامها للبيئة وتكلفتها المنخفضة.

باستخدام هذه التقنية، قمنا بتصنيع مكيف هواء سيارة يعمل بنظام التبريد الكهروحراري. استخدمنا 06 وحدات كهروحرارية (وحدات بلتييه)، وهي متاحة بشكل واسع في السوق تحت التصنيف **TEC1-12706**. كما قمنا بدراسة وتنفيذ نظام التبريد من خلال تصميم هيكل تكييف الهواء وتجميع جميع مكوناته.

**الكلمات المفتاحية:** التبريد الكهروحراري، أثر بلتييه، الوصلة p-n، الكهروحرارية، وحدة بلتييه.

## Résumé:

La réfrigération thermoélectrique trouve son origine dans une théorie physique bien connue sous le nom d'effet Peltier. Cet effet basé sur le principe de la génération de chaleur par le passage d'un courant électrique à travers une série de jonction semi-conducteurs de type p-n. Lorsque le courant traverse ces matériaux, la chaleur est transférée d'un côté à l'autre, ce qui fait qu'un côté de l'unité devient chaud tandis que l'autre côté devient froid. L'un des avantages de cette méthode de refroidissement est son respect de l'environnement, et son faible coût de fabrication.

Grâce à cette technologie, nous avons fabriqué un climatiseur de voiture fonctionnant avec le système de refroidissement thermoélectrique. Nous avons utilisé 06 modules thermoélectriques (modules peltier), couramment disponible sur le marché sous la désignation TEC1-12706. Nous avons étudié et mis en œuvre le système de refroidissement en concevant la structure de la climatisation et en assemblant tous ses composants.

**Les mots clés:** Refroidissement thermoélectrique, Effet Peltier, Jonction p-n, thermoélectricité, Modules peltier.