

# مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية و  
الكهربائية و المعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 44 . العدد 12

1443 هـ . 2022 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير

أ. د. ناصر سعد الدين

رئيس التحرير

أ. د. هائل الطالب

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث

بشرى مصطفى

عضو هيئة التحرير	د. محمد هلال
عضو هيئة التحرير	د. فهد شريباتي
عضو هيئة التحرير	د. معن سلامة
عضو هيئة التحرير	د. جمال العلي
عضو هيئة التحرير	د. عباد كاسوحة
عضو هيئة التحرير	د. محمود عامر
عضو هيئة التحرير	د. أحمد الحسن
عضو هيئة التحرير	د. سونيا عطية
عضو هيئة التحرير	د. ريم ديب
عضو هيئة التحرير	د. حسن مشرقي
عضو هيئة التحرير	د. هيثم حسن
عضو هيئة التحرير	د. نزار عبشي

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

سورية . حمص . جامعة البعث . الإدارة المركزية . ص . ب (77)

. هاتف / فاكس : 2138071 31 963 ++

. موقع الإنترنت : [www.albaath-univ.edu.sy](http://www.albaath-univ.edu.sy)

. البريد الإلكتروني : [magazine@ albaath-univ.edu.sy](mailto:magazine@albaath-univ.edu.sy)

**ISSN: 1022-467X**

## شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
  - طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
  - إذا كان الباحث طالب دراسات عليا:  
يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقة على النشر في المجلة.
  - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:  
يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.
  - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :  
يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.
  - إذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :  
يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث , وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.
  - يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):  
عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي ( كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1- مقدمة
  - 2- هدف البحث
  - 3- مواد وطرق البحث
  - 4- النتائج ومناقشتها .
  - 5- الاستنتاجات والتوصيات .
  - 6- المراجع.

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات ( الآداب - الاقتصاد - التربية - الحقوق - السياحة - التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):
- عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي ( كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).

1. مقدمة.
2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
3. أهداف البحث و أسئلته.
4. فرضيات البحث و حدوده.
5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
7. منهج البحث و إجراءاته.
8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
9. نتائج البحث.
10. مقترحات البحث إن وجدت.
11. قائمة المصادر والمراجع.

7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:

- أ- قياس الورق 25×17.5 B5.
  - ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 - يمين 2.5- يسار 2.5 سم
  - ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8
  - ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20
- . كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي . العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض .

- ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.
- 8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- 9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر ، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى .
- 10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام وورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:  
آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة . الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة . سنة النشر . وتتبعها معترضة ( - ) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة . دار النشر وتتبعها فاصلة . الطبعة ( ثانية . ثالثة ) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة .  
وفيما يلي مثال على ذلك:

-MAVRODEANUS, R1986- Flame Spectroscopy. Willy, New York, 373p.

ب . إذا كان المرجع بحثاً منشوراً في مجلة باللغة الأجنبية:

. بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة, اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة . المجلد والعدد ( كتابة مختزلة ) وبعدها فاصلة . أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة.  
مثال على ذلك:

BUSSE,E 1980 Organic Brain Diseases Clinical Psychiatry News ,  
Vol. 4. 20 – 60

ج . إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و  
التقيد

بالبنود ( أ و ب ) ويكتب في نهاية المراجع العربية: ( المراجع In Arabic )

## رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

1. دفع رسم نشر (20000) ل.س عشرون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (50000) ل.س خمسون الف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (3000) ل.س ثلاثة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

## المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
54-11	م. طارق عيسى أكرم المرعي ناصر أبو صالح	تطوير خوارزمية لمزامنة الملفات الموزعة في التخزين السحابي عند حدوث تعديل في المحتوى بين طرفين
84-45	رضوان المحمد د. مسعود الأتاسي	تطوير خوارزمية لمزامنة الملفات الموزعة في التخزين السحابي عند حدوث تعديل في المحتوى بين طرفين
122-85	م. رغده الإبراهيم د. شفيق باصيل د. بسام عطيه	دراسة تزامن المحركات التحريضية المستقلة في النظم الكهروميكانيكية عديدة الكتل عديدة المحركات المقادة باستخدام التحكم الشعاعي
150-123	د. محمد علي محمد روان نصر	إطار عمل لتخمين جهود فريق العمل في تطوير مشاريع الويب







## "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 بلتيير [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 اكبر 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  $30^{\circ}\text{C}$  .

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 حصلوا في النتيجة على تخفيض لدرجة الحرارة بمقدار  $5^{\circ}\text{C}$  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  $16.7^{\circ}\text{C}$  إلى  $18.1^{\circ}\text{C}$  و الثاني من  $10.2^{\circ}\text{C}$  إلى  $12.1^{\circ}\text{C}$  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.

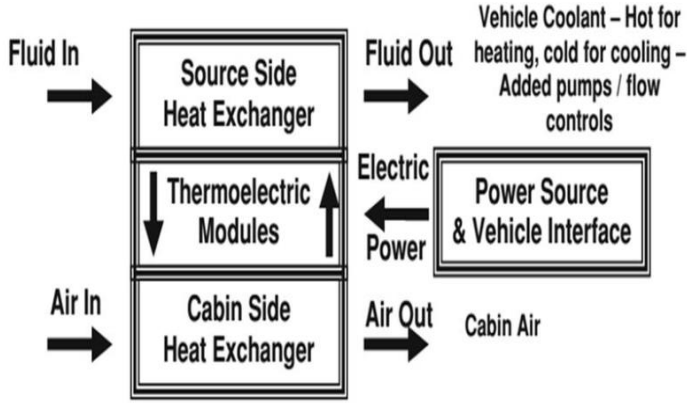
## 4-1 مواد وطرق البحث:

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 كأنابيب التوصيل و يوضح الشكل 1. مخططاً توضيحياً لمبدأ عمل الوحدات الكهروحرارية.

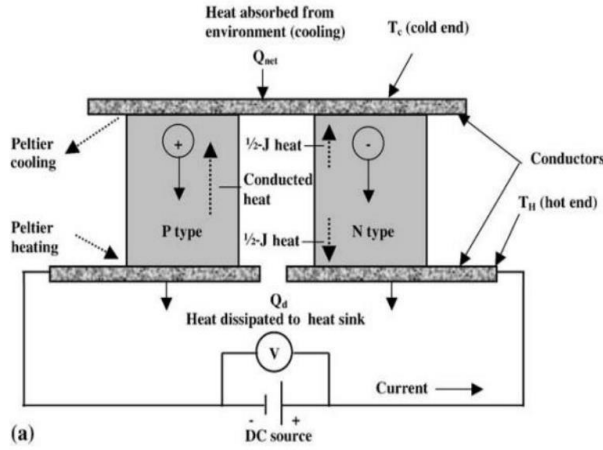


الشكل 1. مخطط توضيحياً لنظام التبريد الكهروحراري HVAC-TEM.

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.

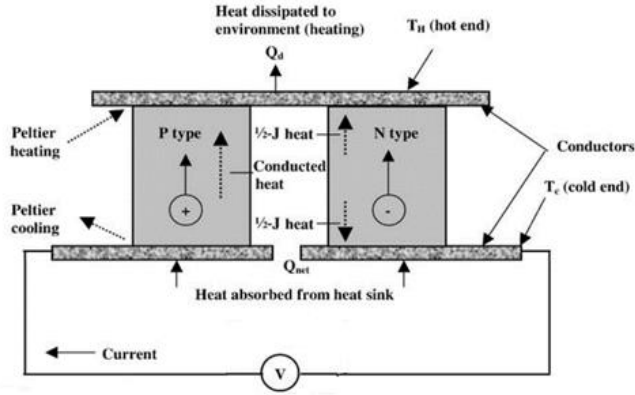
وتحرر هذه الطاقة الحرارية المسحوبة عندما تعود الإلكترونات إلى مستوى طاقة أقل في المادة من النوع P عند الوجه الثاني للوحدة الكهروحرارية مما يؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة عندها ويرمز لها ب  $T_h$  وتكون الطاقة المنبذة هي  $Q_d$  كما هو موضح في الشكل 2.



الشكل 2 آلية عمل وحدة 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 الأخر P تحتاج إلى طرح الطاقة الحرارية. إن فرق الجهد بين الطرفين يولد تيار كهربائي مستمر منخفض الشدة كما يوضح الشكل 3.



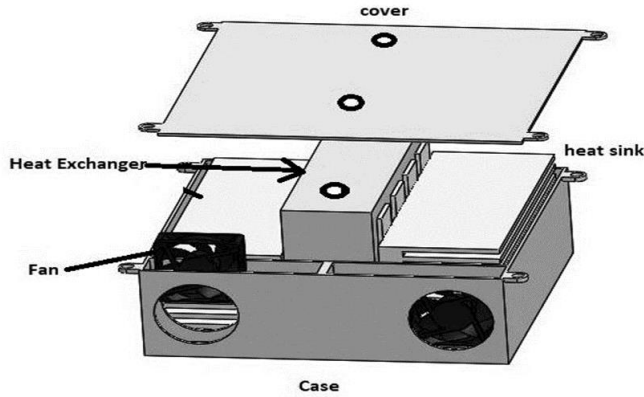
الشكل 3 آلية عمل وحدة التوليد الكهروحراري TEG

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 المنبثقة من الطرف الساخن .

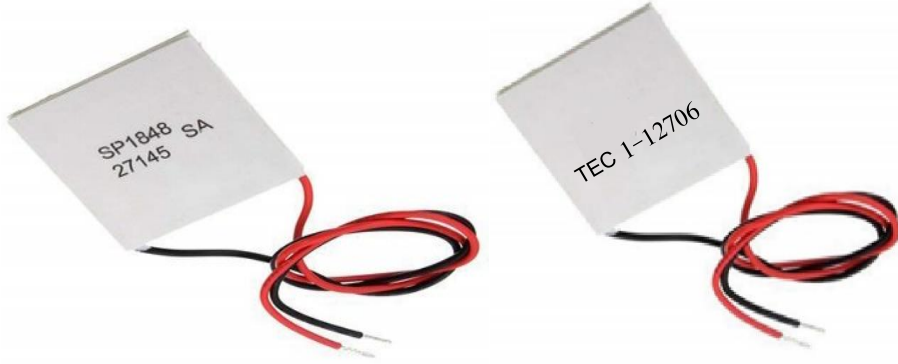


الشكل 4. مكونات جهاز التبريد الكهروحراري المصمم بواسطة برنامج كمبيوتر (solid work)

#### 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  $68^{\circ}\text{C}$  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 ( $\Delta T$ ) 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  $\Delta T$  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 °C ~ 40 °C) .

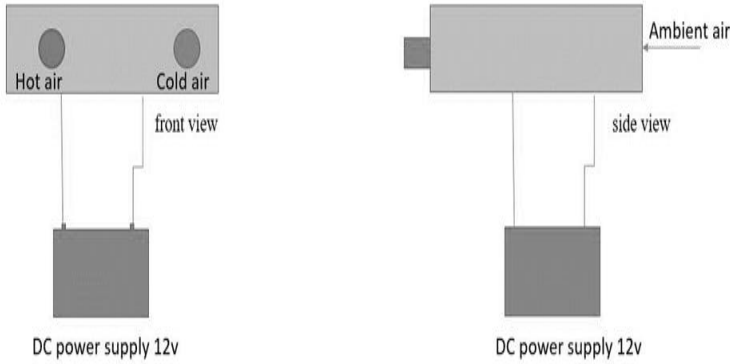
#### 4-5- الطرق المقترحة لتجميع التصميم :

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.



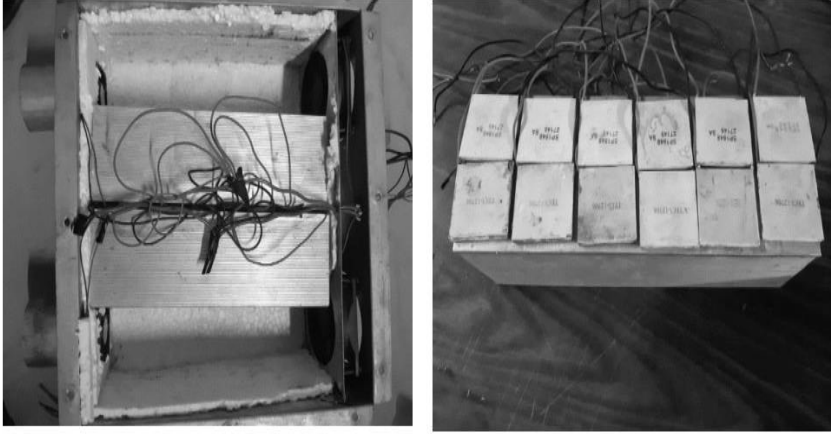
الشكل 6 رسم توضيحي لنظام الهواء إلى الهواء

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.



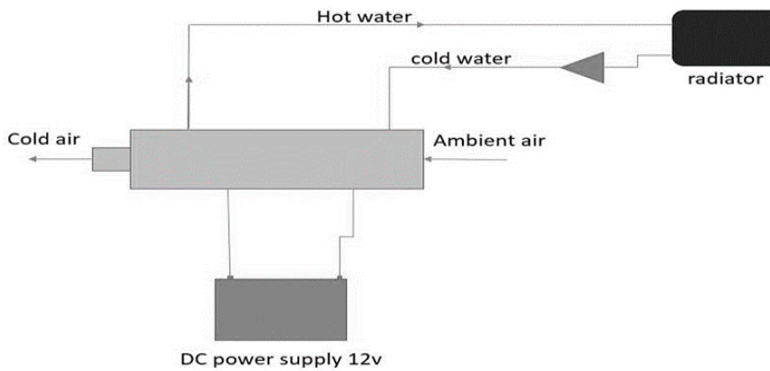
#### 2-5-4- نظام الهواء إلى السائل

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.



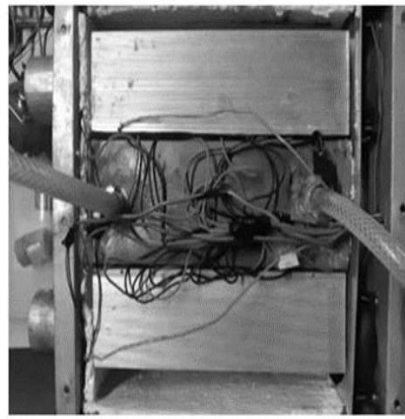
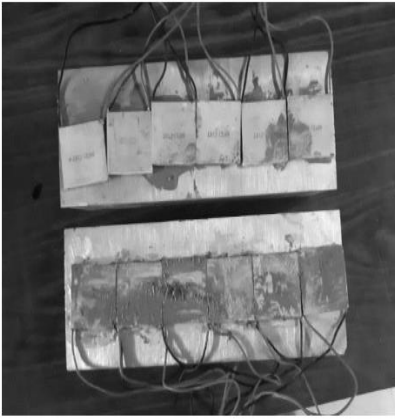
الشكل 7 توزيع الوحدات التبريد الكهروحراري في نظام الهواء إلى الهواء

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..



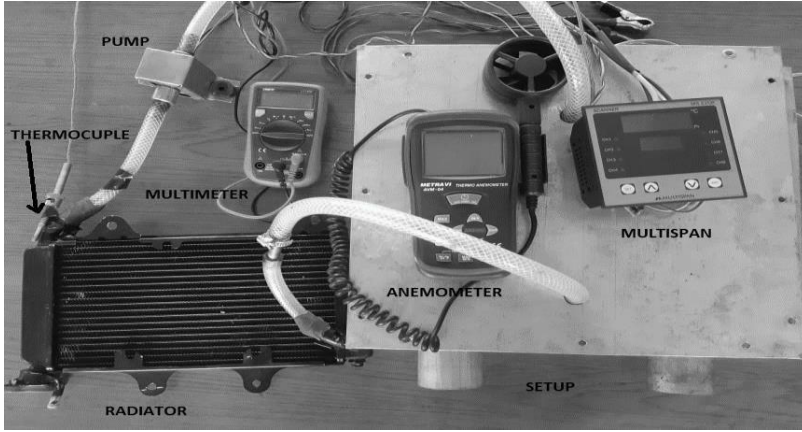
الشكل 9 توزيع الوحدات التبريد الكهروحراري في نظام الهواء إلى الهواء

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 .

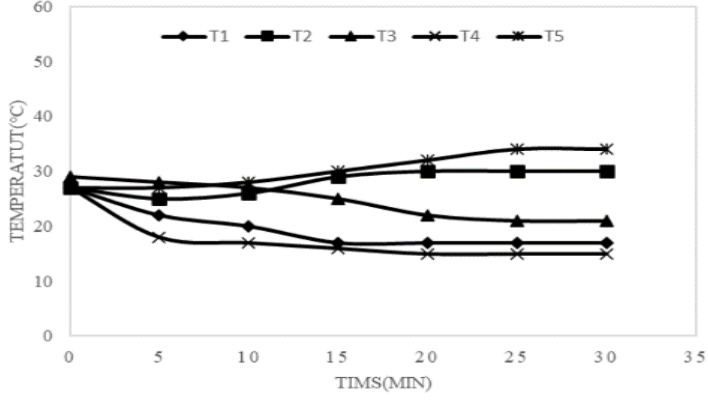


الشكل 10. تجميع كامل الجهاز قبل التجربة

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.

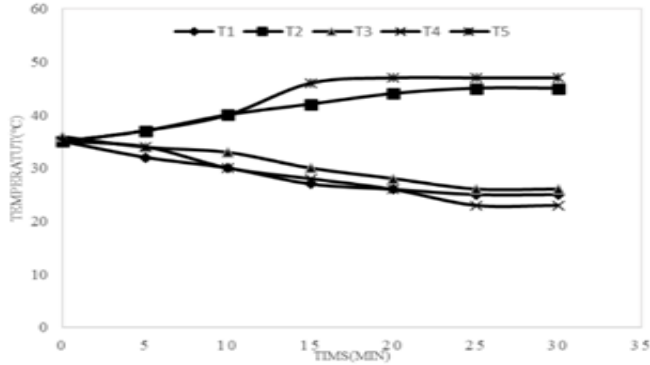
(T1) درجة حرارة الهواء الداخل للحجرة -T2 درجة حرارة الهواء الداخل للجهاز - T3 درجة حرارة حجرة المركبة - T4 درجة حرارة قاعدة الزعنفه الجبهة الباردة -T5 درجة حرارة الزعنفه الجبهة الساخنة-T6 درجة حرارة الوسط المحيط) حيث نلاحظ تغيرات درجات حرارة دخول الهواء خلال فترة القيام بالتجريب وهو نصف ساعة في كل مرة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

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

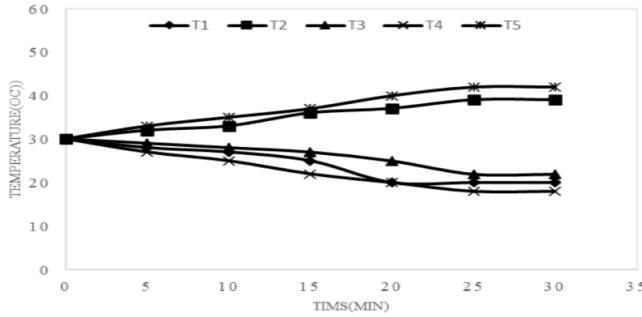


$$COP = \frac{Q_c}{P} \quad (1)$$

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 .

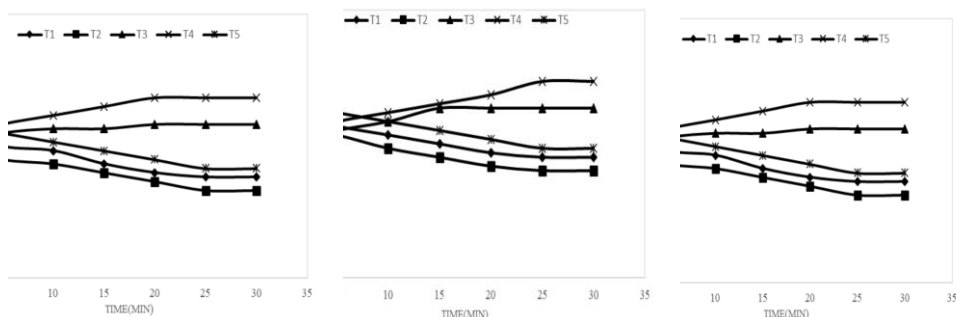
$$(P=P_{TEM} + P_{fans})$$

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

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)



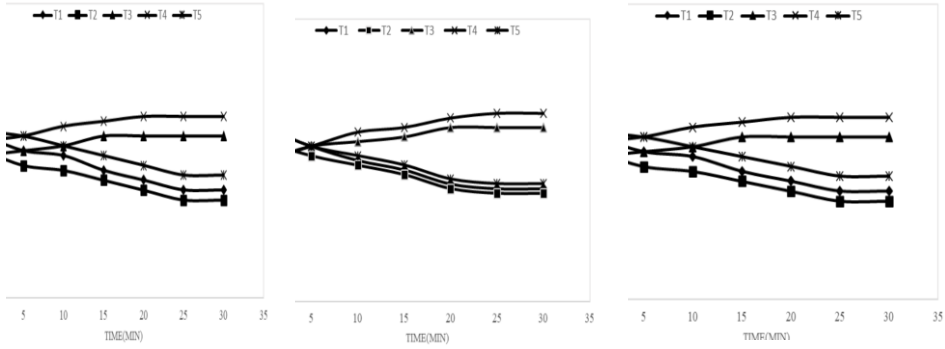
الشكل 6.a عند الساعة 9 صباحاً      الشكل 6.b عند الساعة 2 ظهراً      الشكل 6.c عند الساعة 6 مساءً

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  $40^{\circ}\text{C}$ .

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.

## دراسة تجريبية لرفع معامل أداء جهاز تبريد كهروحراري لتبريد حجرة مركبة

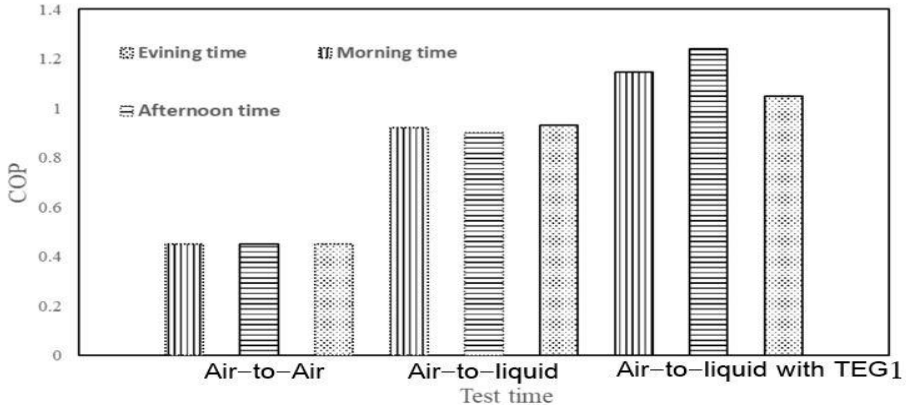


الشكل 7.a عند الساعة 9 صباحاً

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. 15<sup>th</sup> 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

# استخدام التعلم العميق لتحليل المشاعر

## في اللغة العربية

طالبة الدكتوراه: م. ريم ناصر

كلية الهندسة المعلوماتية - جامعة البعث

إشراف الدكتور: كمال السلوم

المشرف المشارك الدكتور: ناصر أبو صالح

### الملخص:

أصبح موضوع تحليل المشاعر يشغل حيزاً مهماً في المجالين الأكاديمي والصناعي وذلك بسبب التزايد الكبير في أعداد مستخدمي مواقع التواصل الاجتماعي وبالتالي كمية التعليقات والمراجعات حول المنتجات، الأحداث، الأخبار، الخ.

تم اقتراح العديد من التقنيات لحل مشكلة تحليل هذا الكم الهائل من البيانات وتصنيفها، حيث أظهر مجال التعلم العميق نتائجاً واعدةً في مجال تحليل المشاعر وخاصة بعد ازدياد أعداد العرب المستخدمين للإنترنت وبالتالي ازدياد كمية التعليقات التي شجعت الباحثين للخوض في تطبيق التعلم العميق لتحليلهم. تقدم هذه المقالة دراسة حول خوارزميات التعلم العميق الأكثر استخداماً في مجال تحليل المشاعر، ومن ثم تطبيق هذه الخوارزميات (CNN, LSTM, CNN+LSTM) على مجموعتين من البيانات النصية باللغة العربية والمقارنة بينها من حيث الأداء باستخدام عدة مقاييس للوصول للخوارزمية الأفضل وبالتالي يتحقق الهدف المرجو من بحثنا.

**الكلمات المفتاحية:** تحليل المشاعر، التعلم العميق، تضمين الكلمات، استخراج الميزات.

# Using deep learning for sentiment analysis in Arabic

## Abstract

Sentiment analysis has become an important topic in the academic and industrial fields due to the large increase in the number of users of social networking sites and thus the amount of comments and reviews about products, events, news, etc. Several techniques have been proposed to solve the problem of analyzing and classifying this huge amount of data, as the field of deep learning showed promising results in the field of sentiment analysis, especially after the increase in the number of Arabs using the Internet and thus the increase in the amount of comments that encouraged researchers to delve into the application of deep learning for their analysis. This article presents a study on the most commonly used deep learning algorithms in the field of sentiment analysis(CNN,LSTM,CNN+LSTM), and then applying these algorithms to two sets of text data in arabic and comparing them in terms of performance using several measures to reach the best algorithm that achieves the desired goal of our research.

**Keywords:** Sentiment analysis, deep learning, word embedding, feature extraction.

## 1. مقدمة:

لسنواتٍ طويلةٍ جربت الشركات مجموعة واسعة من الأفكار لتحليل سلوك العملاء والتنبؤ به، وذلك بهدف بناء جسر تواصل معهم لمعرفة ما لديهم من مشاكل أو عقبات أو حتى مديح لما يتم تقديمه. وهذا ما أدى لظهور مصطلح تحليل المشاعر الذي يهتم بتحليل الآراء، التقييمات، المواقف تجاه خدمة معينة، أفراد، قضايا مهمة، الخ. وذلك بهدف تصنيف هذه المشاعر إلى عدة فئات.

يعرف مصطلح تحليل المشاعر sentiment analysis أو التقيب في الآراء opinion mining بأنه تعريف أوتوماتيكي للآراء المُعبر عنها في النص تجاه موضوع معين [1].

يمكن القول إن السبب الرئيسي وراء ازدياد الاهتمام بتحليل المشاعر هو انتشار استخدام شبكة الانترنت التي شكلت بيئة مميزة لتفاعل البشر على اختلاف أماكنهم وأفكارهم، حيث زاد حجم البيانات المتبادلة بين مستخدمي الانترنت وهذا ما ساعد على زيادة التواصل وتبادل المعارف والمشاعر حول ظاهرة أو منتج معين، وبذلك أيضاً توفر للشركات وللمحللين بيانات خام لإجراء الإحصائيات اللازمة لمعرفة المنتجات الأكثر رغبة من قبل المستهلكين أو معرفة آراء الناس حول إحدى الظواهر بين إيجابي أو سلبي.

تجري عملية تحليل المشاعر على مستويات عدة من التقسيمات: الكلمة، العبارة، الجملة، المستند، أو المفهوم. كما توجد طريقتان أساسيتان لتطبيق تحليل المشاعر: الطرق التي تعتمد على القواميس وطرق التعلم الآلي.

تعتمد الطرق الأكثر شيوعاً لتحليل المشاعر على خوارزميات التعلم الآلي التقليدية والتي بدورها تستخرج السمات من النصوص، وتحدد السمات الأكثر أهمية ثم تتم عملية التصنيف باستخدام إحدى تلك الخوارزميات. إذاً تعتبر المشكلة الفعلية للطرق التقليدية أنها تعتمد على استخراج السمات يدوياً وهذا ما يعد استهلاكاً للوقت. إن استخراج هذه السمات في اللغة العربية مكلف ويحتاج الكثير من عمليات المعالجة الأولية إضافة إلى

تعدد اللهجات فيها هذا ما أدى إلى عدم وجود أي طريقة فعالة وموحدة للوصول إلى السمات أو معالجة النصوص. تعد عملية مراقبة وتحليل مواقع التواصل الاجتماعي والمدونات ومواقع الآراء أمراً صعباً وذلك بسبب الانتشار الواسع وكمية البيانات الهائلة، لذلك تتم عملية تحليل المشاعر باستخدام العديد من التقنيات بهدف الوصول للدقة الأعلى والأداء الأفضل.

## 2. الهدف من البحث:

تستخدم أساليب التعلم الآلي بشكل متزايد في مجال تحليل النصوص ولكن هذه الأساليب قد لا تكون الأمثل في كل الحالات. سنوضح في هذا البحث أهمية استخدام التعلم العميق مع البيانات النصية وهو أسلوب قادر على استخراج الميزات آلياً وذلك بهدف إثراء فهمنا وتحسين قدرتنا على التنبؤ بالمشكلة المطروحة.

سنستعرض في هذا البحث بعض الجهود السابقة في مجال تحليل المشاعر، ونحاول تقادي بعض الثغرات واقتراح عدد من الحلول بهدف تحسين أداء الخوارزميات المستخدمة.

يهدف هذا البحث فعلياً إلى تقديم دراسة عامة حول التعلم العميق وعملية تضمين الكلمات



إضافةً إلى مقارنة تحليلية لعدة خوارزميات تعلم عميق على مجموعتين من البيانات باللغة العربية بهدف تحديد الخوارزمية الأفضل.

### 3. أدوات البحث:

يتم التعامل في هذه الورقة مع نظام تشغيل windows 10/64 bit منسب على جهاز له المواصفات التالية:

❖ المعالج: intel core i7-10510U 2.30 GHz

❖ الذاكرة: 16 غيغا بايت.

كما تم استخدام google colab لتطبيق الخوارزميات.[2]

### 4. تضمين الكلمات Word Embedding:

إن الهدف الأساسي لتضمين الكلمات هو تمثيل هذه الكلمات كأشعة مؤلفة من قيم رقمية مستمرة، لذلك الكلمات المتشابهة المعنى تكون أشعتها متقاربة كما يظهر في الشكل(1). يحقق مبدأ تضمين الكلمات تمثيلاً مكثفاً (dense) للسماح بدلاً من الأشعة المبعثرة (sparse vectors) التي تعتمد على التردد frequency التي يقدمها TF-IDF وغيرها، حيث إن التمثيل السابق يعطي أداءً أفضل مع الشبكات العصبونية. يعتبر word2vec و Global Vectors (GloVe) أشهر نماذج تضمين الكلمات.[3]

نلاحظ في الشكل(2) طريقتين لتحقيق word2vec: الأولى Skip-gram والثانية CBOW (Continuous Bag-Of-Word). [4]

تعمل CBOW على توقع الكلمة الهدف (الحالية) اعتماداً على السياق أي الكلمات المحيطة بها (الكلمات السابقة والتالية)، أي أن هذه الكلمة هي الخرج بينما باقي الكلمات هي الدخل. أما فيما يخص Skip-gram فهي تعمل بالعكس أي تأخذ الكلمة كدخل وتتوقع من خلالها الكلمات المحيطة.



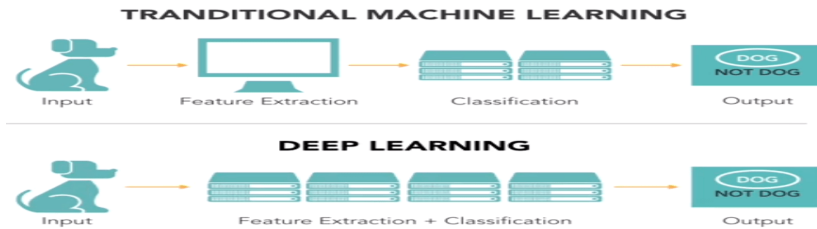
مصادر متعددة كتويتر، ويكيبيديا، وصفحات الويب، حيث سنتج مصفوفة تضمين الكلمات اعتماداً على نموذج CBOW ذات الابعاد 300 (بعد التجريب والاطلاع على الأبحاث السابقة كلما زادت الابعاد تحسن الاداء). سنمثل كل جملة بشعاع من الشكل  $n$   $x$   $d$  حيث أن  $n$  هي عدد الكلمات في كل جملة و  $d$  هي طول شعاع التضمين (هنا  $d=300$ )

## 5. التعلم العميق: [6]

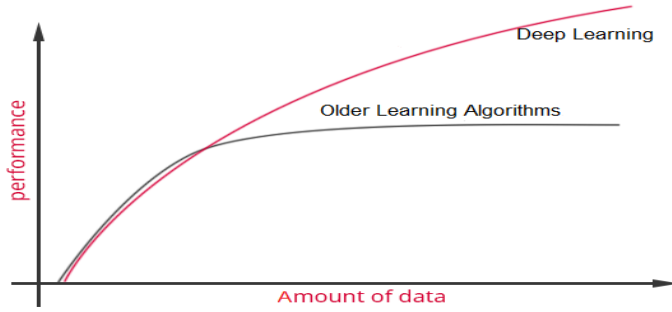
أحد أشكال التعلم الآلي، يتضمن خوارزميات تتيح للآلة التعلم بنفسها عن طريق محاكاة الخلايا العصبية.

يمكن أن يقدم التعلم العميق دقة عالية قريبة من دقة الأداء البشري وذلك لأنه يحاكي الخلايا العصبية، وتستخدم نماذج التعلم العميق لمجموعات البيانات الكبيرة المحددة الصفوف حيث تتعلم المميزات مباشرة من البيانات دون الحاجة لعملية الاستخراج اليدوي لها. يوضح الشكل (3) الفرق بين التعلم الآلي التقليدي الذي يقوم باستخراج الميزات يدوياً ثم تتم عملية التصنيف أما في التعلم العميق فإن الميزات يتم توليدها تلقائياً.

نلاحظ من الشكل (4) أن أداء شبكات التعلم العميق يزداد بازدياد حجم البيانات بينما أداء خوارزميات التعلم الآلي التقليدية يزداد إلى حد معين ثم يصبح ثابتاً مهماً ازداد حجم البيانات.

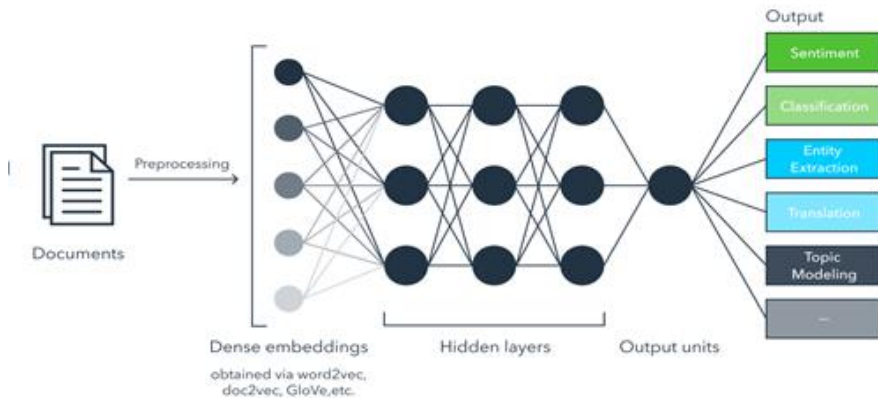


الشكل -3- : الفرق بين التعلم الآلي التقليدي والتعلم العميق.



الشكل (4) : أداء التعلم العميق والخوارزميات التقليدية بازدياد حجم البيانات

يوضح الشكل (5) أن بني التعلم العميق ماهي إلا شبكات عصبونية ذات طبقات مخفية كثيرة العدد (كلما كان عددها أكبر كلما كانت الشبكة أعمق)، يتم معالجة المستندات وتمرر إلى طبقة الدخل للشبكة العصبونية حيث يعبر عن كل كلمة بشعاع مستخدماً موقع كل كلمة في الجملة لإيجاد التشابه العاطفي بين الكلمات وهذا ما يسمى Word2vec أو يتم حفظ ترتيب الكلمات في الجملة إضافة إلى ما سبق (Doc2vec) وغيرها الكثير من الأساليب لأنظمة تضمين الكلمات word embedding. ثم ترسل للطبقات المخفية ومنها لطبقة الخرج التي تعطي الخرج النهائي (الشعور، التصنيف، الخ).



الشكل (5) : معالجة اللغات الطبيعية باستخدام شبكة تعلم عميق.

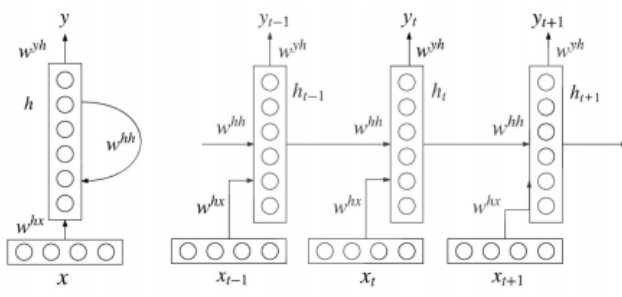
إن أشهر خوارزميات التعلم العميق المستخدمة في مجال تحليل النصوص هي: [7]

• **الشبكات العصبونية التكرارية (Recurrent Neural Network (RNN):**

أحد أنواع شبكات التعلم العميق تحتوي على حلقات داخل الشبكات (تستخدم المعلومات السابقة-الذاكرة- لتقدير القيمة التي تليها)، تفيد في التنبؤ بالقيمة التالية من الجملة.

هناك حدود لهذه الشبكة حيث إنه من المفترض أن تحمل RNN المعلومات حتى وقت طويل، لكن من الصعب نشر كل هذه المعلومات عندما تكون الخطوة الزمنية طويلة جداً. وعندما تكون الشبكة تحوي عدداً كبيراً من الطبقات المخفية تصبح غير قابلة للتدريب وتسمى هذه المشكلة: مشكلة اختفاء التدرج **vanishing gradient problem** ، حيث إن الشبكة تقوم بتحديث الوزن باستخدام خوارزمية النسب المتدرجة [7]، تنمو التدرجات بشكل أصغر عندما تتقدم الشبكة إلى الطبقات السفلية. إذا بقي التدرج ثابتاً يعني أنه لا يوجد مساحة للتحسين فإذا كان هذا الفرق صغيراً (تتغير الأوزان قليلاً) فلن تتعلم الشبكة أي شيء.

يوضح الشكل (6) شبكة عصبونية متكررة حيث أن  $x$  يمثل الدخل و  $y$  الخرج بينما  $w$  فهو يمثل الوزن.



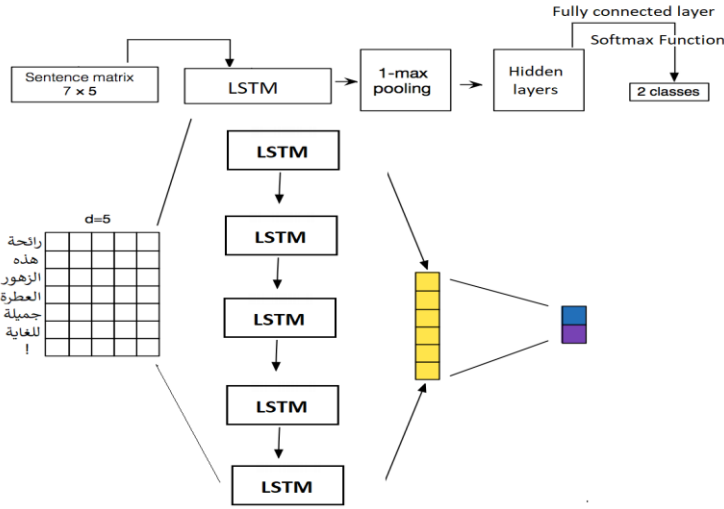
الشكل (6): شبكة عصبونية متكررة.

وهناك نوع خاص من RNN هو LSTM.

- **الذاكرة طويلة قصيرة الأمد (LSTM):** تعد نوعاً خاصاً من شبكات RNN من فوائدها بالإضافة إلى تعلم التسلسلات الطويلة أنها يمكن أن تتعلم كيفية عمل تنبؤ متعدد الخطوات من خطوة واحدة والتي قد تكون مفيدة للتنبؤ بسلسلة زمنية ومناسبة لتصنيف النصوص. تكمن الصعوبة فيها أنه قد يكون من الصعب تكوينها وقد تتطلب الإعداد للحصول على البيانات بالتنسيق الصحيح للتعلم.

إنّ شبكة LSTM تقرأ الدخل من اليسار إلى اليمين وذلك حسب اللغة طبعاً، بينما BI-LSTM تتألف من طبقتين الأولى تقرأ من اليسار إلى اليمين والثانية تقرأ بالعكس، يعد النوع الثاني جيداً عندما يكون السياق (context) للدخل النصي مهماً على سبيل المثال عندما يأتي مصطلح النفي بعد المصطلح الإيجابي.

يظهر الشكل (7) بنية مصغرة لشبكة LSTM. إنّ خرج طبقة التضمين هو قائمة من الأشعة لكل الكلمات في الجملة المراد تحليلها. الطبقة التالية هي طبقة LSTM التي تعمل بالتغذية العودية حيث إنّ خرج الشبكة السابق ما هو إلا دخل للشبكة الحالية. فيما بعد يتم تحويل الخرج من 3D إلى 2D. ثم يتم استخدام طبقة Max Pooling والتي تقلل أبعاد البيانات لدينا، حيث يتم اختيار القيمة العظمى لكل جزء (patch) من البيانات. تعتبر المجموعة المكونة من القيم العظمى التي تم الحصول عليها مجموعة البيانات الجديدة (الأقل حجماً) والتي ستستخدم في الطبقة التالية (Dropout Layer).



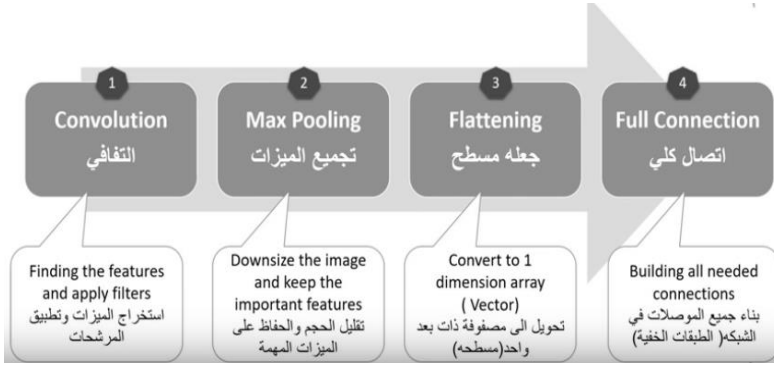
شكل (7): شبكة LSTM تستخدم للتصنيف الثنائي [8].

#### • الشبكات العصبونية الالتفافية Convolutional Neural Networks

**Networks(CNN):** نوع خاص من الشبكات العصبونية ذات التغذية الأمامية المستخدمة في مجال الرؤية الحاسوبية. تتكون هذه الشبكات من العديد من الطبقات الالتفافية والتي توجد المميزات المهمة. هناك أنواع مختلفة من الطبقات في CNN فمثلاً طبقة الدخل تحمل البيانات الخام بينما الطبقة الالتفافية فهي مسؤولة عن حساب الخرج من خلال عملية الجداء النقطي ( dot product) بين الفلاتر وأجزاء الدخل [9]. تعد مسؤولية طبقة تابع التنشيط تطبيق أحد توابع التنشيط على طبقات الالتفاف، ويمكن أن يكون تابع التنشيط من الشكل (Sigmoid، tanh، ReLU، Sigmoid،..). يعتبر ال Sigmoid تابع تنشيط غير خطي يحول القيم بين 0 و 1، إضافةً إلى ال ReLU (Rectified Linear Unit) الذي يعتبر تابع تنشيط غير خطي أيضاً. يستخدم تابع ال Softmax بشكل كبير في مسائل التصنيف الثنائي والتصنيف المتعدد أيضاً. تستخدم طبقة التجميع (Pool) لتقليل حجم البيانات وزيادة الفعالية، إلا أن الهدف الأساسي من إضافتها في شبكة ال CNN هو منع التلاؤم المفرط

Overfitting. هناك عدة أشكال لهذه الطبقة يمكن أن يكون max pooling أو average pooling . تعد طبقة Fully Connected Layer آخر طبقة في الشبكة وتأخذ دخلها من الطبقة السابقة وعملها الأساسي هو حساب نتيجة التصنيف ويكون خرجها عبارة عن مصفوفة أحادية البعد حجمها يساوي عدد الصفوف.

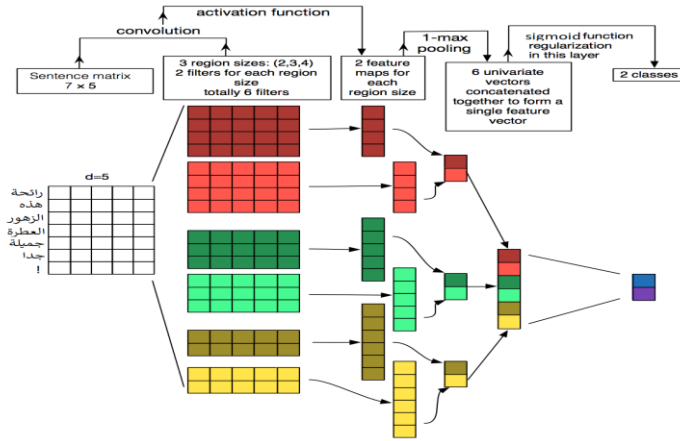
يظهر الشكل (8) مكونات الشبكة الالتفافية CNN ووظيفة كل منها في كل مرحلة من المراحل.



الشكل (8): مكونات الشبكة الالتفافية ومهامهم.

يظهر الشكل (9) أن البيانات تدخل إلى الطبقة الالتفافية التي تعمل على إزاحة (تحريك) الفلتر أو window على بيانات الدخل وبحركته يتم تطبيق بعض العمليات على تلك البيانات.





الشكل (9): بنية CNN لتصنيف الجمل تعمل على مستوى الكلمة [8].

## 6. الدراسات المرجعية:

نركز في بحثنا هذا على الدراسات التي تناولت اللغة العربية باستخدام التعلم العميق .

### ❖ دراسات باللغة العربية:

استخدم الباحثون [10] تقنيات التعلم العميق لتحليل المشاعر باللغة العربية على مجموعة بيانات كبيرة مؤلفة من 40K تغريدة عربية تتناول عدة مجالات منها الرياضة، الصحة، السياسة، الخ. حيث تم تطبيق ثلاث تقنيات وهي CNN، LSTM، RCNN (وهي عبارة عن تطبيق CNN ثم طبقة LSTM). وذلك بمساعدة تقنيات تضمين الكلمات كطبقة دخل للنماذج الثلاثة. لوحظ تفوق خوارزمية LSTM بدقة وقدرها 81.3% على CNN التي أعطت دقة 75.72% و RCNN بدقة 78.46%.

استخدم Alwehaibi وآخرون [11] LSTM لتصنيف النصوص العربية اعتماداً على تقنيات مختلفة لتضمين الكلمات مثل Aravec، ArabicNews، FastText لدراسة تأثير هذه التقنيات على دقة النموذج. بداية تم استخدام مجموعة بيانات عبارة عن تغريدات تويتر تم معالجتها باستخدام التقنيات المذكورة سابقاً لتوليد شعاع لكل كلمة. ثم يتم إدخال هذه الأشعة إلى طبقة LSTM مؤلفة من 128 عقدة في الطبقة المخفية

لتصنيف كل تغريدة ضمن ثلاثة صفوف (إيجابي، سلبي، محايد). تفوق FastText بالدقة على باقي التقنيات المستخدمة وذلك في حال كانت مجموعة البيانات متوازنة.

قدم El-Kilany [12] نموذجاً للتعرف على المشاعر وطبق على مجموعة تغريدات باستخدام طبقتين: طبقة تضمين للمحرف و word2vec و Bi-LSTM مع طبقة تصنيف CRF. تستخدم Bi-LSTM الأشعة المتولدة عن الطبقة الأولى لتوليد الميزات من أجل المصنف الذي يستخدمها لتوقع الصف الذي تنتمي له الكلمة اعتماداً على الكلمة السابقة والتالية في الجملة. أثبتت التجارب أن النموذج المقترح تفوق على نفس النموذج والذي يستخدم فقط تضمين المحرف بدون word2vec .

#### ❖ دراسات باللغة الإنكليزية:

قدم الباحثون في هذه الدراسة [13] شبكة تتألف من طبقة CNN وطبقة LSTM لتوقع المشاعر في مراجعات المستخدمين. حيث إن أهم ميزات هذه الشبكة أنها غير موجهة لمجال معين وليس هناك أية تفاصيل متعلقة باستخراج الميزات وذلك بفضل استخدام نموذج تضمين الكلمات لتمثيل أشعة ميزات الدخل، ثم يتم استخدام شبكة CNN لتحديد الميزات المهمة وهذا ما يحسن زمن التدريب.

#### 7. القسم العملي:

#### 7-1- إعدادات التجربة:

- **تقسيم البيانات:** تم تدريب واختبار النماذج باستخدام بايثون، وتقسيم كل مجموعة بيانات إلى مجموعات تدريب train بنسبة 70% وتحقق validation بنسبة 10% واختبار test بنسبة 20%.

- **المكتبات المستخدمة:** تم استخدام مكتبة Keras لتنفيذ التجربة [14]، واستخدمنا Keras checkpoint function لحفظ الأوزان الأفضل للنموذج. تم اختيار البارامترات التي تعطي النتائج الأفضل بعد عدة تجارب لكل نموذج وتم تحديدها باللون الغامق في كل جدول.

7-2- **مجموعة البيانات:** سنستخدم في هذا البحث مجموعتي بيانات باللغة العربية الأكثر استخداماً في مجال تحليل المشاعر:

- **المجموعة الأولى (LABR):** [15] وهي مجموعة بيانات كبيرة لمراجعات باللغة العربية الفصحى (LABR)، تتضمن حوالي 63000 مراجعة لكتب جُمعت من موقع goodreads.com. تتألف كل مراجعة review من: تقييم المستخدم rating، رقم المراجعة review id، رقم المستخدم user id، رقم الكتاب book id، ونص المراجعة review. تم تقييم كل كتاب على هذا الموقع ضمن المجال من 1 إلى 5 ومن ثم تم تحويلها إلى قطبية مشاعر محددة (سلبية أو إيجابي).

- **المجموعة الثانية:** [16] وهي مجموعة بيانات باللغة العربية العامية مأخوذة من مواقع التواصل الاجتماعي تتضمن حوالي 1200 سجل، ومقسمة إلى ثلاث فئات (إيجابي، سلبي، أو محايد).

	إيجابي	سلبي	محايد
LABR(balanced)	6580	6578	-
Dataset2(balanced)	434	438	405

الجدول (1): توزيع البيانات ضمن الفئات في مجموعتي البيانات.

7-3- **عمليات المعالجة الأولية:** سيتم تطبيق عمليات المعالجة الأولية على مجموعات البيانات المستخدمة وذلك على عدة مراحل:

- التقطيع tokenization : فيما يخص عملية التقطيع سنستخدم Natural Language Toolkit (NLTK).

- التقييس Normalization: بدايةً ستتم عملية التقييس في بحثنا هذا تبعاً لعدة قواعد وهي: حذف إشارة "\_" ،علامات الترقيم، الأعداد، المحارف الخاصة، الأحرف غير العربية، والأحرف المكررة. مثلاً سنستبدل كل المحارف ( أ، إ، آ ) بالحرف ( ا ) والأحرف ( ئ، و ) بالحرف ( ء).

- إزالة كلمات التوقف: أيضاً سنستخدم قائمة كلمات التوقف العربية الخاصة بـNLTK والتي تحوي 248 كلمة.

- إعادة الكلمات إلى أصلها stemming: سنستخدم المجذع الخفيف ( تاشفن تاشافينه ) الذي يقوم بتجذيع الكلمة، استخراج الجذر، تقطيع الكلمة إلى جميع الحالات الممكنة [17].

- lemmatization: وتستخدم لتحديد الكلمات الثانوية حيث تقوم بتحويل الصيغة البديلة إلى الصيغة الأساسية وبذلك يقل عدد الكلمات.

7-4- طبقة تضمين الكلمات لشبكة التعلم العميق: في هذه المرحلة نستبدل كل مراجعة (review) بشعاع تضمين من النموذج AraVec المدرب مسبقاً. في حال كانت الكلمات الموجودة في النص ليس لها تضمين في النموذج المستخدم، نبحت عن الكلمات الأكثر تشابهاً ونستخدمهم لتمثيل شعاع التضمين الخاص بالكلمة. قمنا بتثبيت الطول الأعظمي للكلمات في الجملة على الطول 100 وأي مراجعة تحوي أقل من العدد الأعظمي للكلمات سيضاف لها padding لنحصل على نفس الطول لكل المراجعات.

7-5- تطبيق CNN: يوضح الجدول (2) طبقات شبكة CNN المستخدمة، أما فيما يخص إعدادات التجربة التي قمنا بها فهي موضحة في الجدول (3).

1- طبقة الالتفاف الأولى:

512	عدد الفلاتر
3	أبعاد الفلتر Kernel size
ReLU(Rectified Linear Unit)	تابع التنشيط activation
1	Strides
2- طبقة التجميع Max pooling	
3- طبقة الالتفاف الثانية:	
256	عدد الفلاتر
3	أبعاد الفلتر Kernel size
ReLU	تابع التنشيط activation
1	Strides
4- طبقة التجميع Max pooling	
5- Fully connected Layer (Dense Layer)	
6- تابع التصنيف softmax	

الجدول

(2): طبقات CNN المستخدمة.

20,30,50	Batch size
2	Pooling
10,40,50,100	Epoch
Adam	Optimizer
0.001	Learning rate

الجدول (3): إعدادات التجربة.

6-7 - تطبيق LSTM :

بعد عدة تجارب للوصول للمعاملات الأفضل استخدمنا طبقتي LSTM الأولى حجمها 128 والثانية 64 متبوعاً بطبقة متصلة بالكامل fully connected layer تستخدم تابع التنشيط Relu وطبقة التسريب dropout بقيمة (0.5) ونهاية سنستخدم التابع softmax للتوقع. يوضح الجدول (4) المعاملات المستخدمة لشبكة LSTM .

20,30,50	Batch size
10,40,50,100	Epoch
0.5	Dropout
Adam	Optimizer
Softmax	تابع التنشيط Activation Function

الجدول (4): المعاملات المستخدمة لشبكة LSTM.

#### 7-7- تطبيق خوارزمية CNN مع LSTM:

سنقدم في هذه الطريقة نموذجاً يعتمد على دمج CNN مع LSTM، تم استخدام شبكة CNN لتستخرج الميزات أما LSTM تهتم بتسلسل ترتيب الكلمات وهذا الأمر مهم في حالة الجمل المنفية أو السخرية Sarcasm، قمنا بزيادة عدد الفلاتر المستخدمة في طبقة الالتفاف للحصول على ميزات مختلفة وزيادة عدد خلايا LSTM لتتناسب مع خرج طبقة الالتفاف. أيضاً قمنا بحذف طبقة Max-pooling (المسؤولة عن تقليل أبعاد الدخل) لتجنب فقدان أي ميزة قبل إرسال هذه الميزات إلى طبقة LSTM. (عدد ال Epoch المستخدم هنا هو 50).

- طبقة الالتفاف: إنَّ أبعاد الفلتر المستخدم في هذه الطبقة هو (3)، أما عدد الفلاتر فهو (n-1) حيث إن n هي عدد الكلمات في الجملة في حين أن ال strides قيمتها (1). يتحرك كل فلتر على طبقة الدخل من البداية إلى النهاية لاستخراج الميزات الأفضل لكل مراجعة review باستخدام تابع التنشيط ReLU. ثم تدمج هذه الميزات على شكل أشعة لتشكل خرائط الميزات عددها يساوي عدد الفلاتر.

- طبقة التسريب dropout: بقيمة (0.5) يعد هدف هذه الطبقة بشكل أساسي منع ال overfitting .
- طبقة LSTM : سنستخدم ثلاث طبقات LSTM كل طبقة تحوي خلايا LSTM بنفس عدد الفلاتر المستخدمة في طبقة الالتفاف، ثم سنجرب استخدام طبقتين فقط بهدف المقارنة.
- طبقة Fully Connected Layer : يتم هنا دمج خرج الطبقة السابقة في شعاع واحد وتحويله لقيمة واحدة ومن ثم تمرير هذه القيمة إلى طبقة التنشيط لتحديد الصف الذي تنتمي له هذه المراجعة وذلك باستخدام التابع softmax .

#### 7-8- التجربة والنتائج:

سنستخدم أربعة معايير شائعة لقياس دقة التصنيف وهي: [18]

(1) Accuracy: يقيس هذا المعيار كم عينة تم توقعها بشكل صحيح نسبةً

إلى عدد التوقعات الكلي ويُعطى وفق الصيغة التالية:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FN + FP + TN}$$

(2) Precision: يقيس هذا المعيار نسبة العينات التي تم تصنيفها بشكل

صحيح إلى العدد الكلي للعينات التي تم تصنيفها بشكل صحيح والعينات

التي تم تصنيفها بشكل خاطئ misclassified، ويُعطى وفق الصيغة

التالية:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

(3) Recall: يقيس هذا المعيار نسبة العينات التي تم تصنيفها بشكل صحيح إلى العينات التي تم تصنيفها بشكل صحيح والعينات التي لم يتم تصنيفها، ويُعطى وفق الصيغة التالية:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

(4) F-Measure: دمج للمعيارين السابقين Precision و Recall، حيث إنه كلما كانت قيمته أكبر كان الأداء أفضل، ويُعطى وفق الصيغة التالية:

$$F - Measure = 2 * \left( \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall} \right)$$

يمكن القول إن الدقة هي مقياس جيد عندما تكون مجموعة البيانات متوازنة، بينما AvgRec أو f1 هو المقياس الأفضل في حال مجموعات البيانات غير المتوازنة. تم تنفيذ النموذج أكثر من مرة وهذه النتائج هي متوسط لنتائج التنفيذ أكثر من مرة [19].

- العدد الأمثل لطبقات LSTM في المنهجية الثالثة:

بداية سنطبق المنهجية الثالثة باستخدام طبقتي LSTM ثم ثلاث طبقات لدراسة تأثيرها على أداء عملية التصنيف، نلاحظ من الجدول (5) أن استخدام ثلاث طبقات متتالية من LSTM يحسن الأداء بنسبة أكبر من استخدام طبقتين فقط، لذلك سيتم اعتماد منهجية الطبقات الثلاث لإنتاج النموذج الأفضل. هذه النتيجة تتوافق مع [20] الذي استنتج أن استخدام طبقات LSTM متتالية يحسن من دقة التصنيف.

عدد الطبقات	مجموعة البيانات	Accuracy	Precision	Recall	F1-score
2	LABR	82.2	81.9	84.1	82.9
	Dataset2	86.8	85.3	88	86.6



3	LABR	83.4	82.1	85.2	83.5
	Dataset2	87.1	85.9	89	87.4

الجدول(5): تأثير عدد طبقات LSTM المستخدمة.

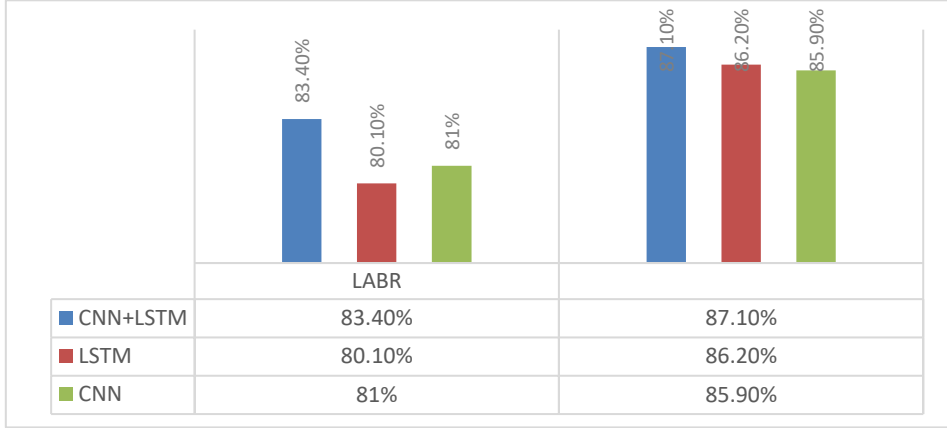
DataSet	CNN	LSTM	CNN+LSTM
LABR	81%	80.1%	<b>83.4%</b>
Dataset2	85.9%	86.2%	<b>87.1%</b>

الجدول(6): مقارنة الدقة للخوارزميات الثلاثة.

مجموعة البيانات	الخوارزمية المستخدمة	Precision	Recall	F1-score
LABR	CNN	80.4%	83.11%	81.7%
	LSTM	80%	82.6%	81.27%
	CNN+LSTM	82.1%	85.2%	83.5%
Dataset2	CNN	84.6%	86%	85.2%
	LSTM	85%	87.1%	86%
	CNN+LSTM	85.9%	89%	87.4%

الجدول(7): نتائج مقارنة الطرق الثلاثة على مجموعتي البيانات.

نلاحظ من الشكل (10) أن المنهجية CNN+LSTM الأفضل من حيث الدقة بين الخوارزميات.



الشكل-10- : مقارنة الدقة للطرق الثلاثة.

أما بالنسبة لزمن التدريب المستهلك من قبل المنهجيات الثلاثة فهذا ما يوضحه الجدول (8) حيث نلاحظ أن CNN هي الخوارزمية الأسرع من ناحية زمن التدريب وبذلك تكون الأفضل في حالة مجموعة البيانات الكبيرة.

DataSet	CNN	LSTM	CNN+LSTM
LABR	2h 27m	3h 10m	3h 2m
Dataset2	43m 3s	50m 6s	48m 4s

الجدول(8): مقارنة الزمن للمنهجيات الثلاثة.

## 8. الاستنتاجات والتوصيات:

قدمنا في هذا البحث دراسة عامة عن خوارزميات التعلم العميق وعملية تضمين الكلمات، وقمنا بتحليل بعض الأعمال السابقة باللغة العربية والإنكليزية.

فيما بعد طبقنا ثلاث منهجيات وخوارزميات للتعلم العميق وهي CNN و LSTM والمنهجية الأخيرة تعتمد على دمج الخوارزميتين السابقتين CNN+LSTM على التوالي. نجد أن CNN+LSTM هي الأفضل بالنسبة لمجموعة البيانات الأولى والثانية.

أيضاً يمكن ملاحظة أن CNN أفضل من LSTM من حيث الدقة في حالة مجموعة البيانات الأولى LABR والتي صنفت البيانات فيها إلى صنفين (إيجابي، سلبي) إضافةً إلى أنها استغرقت زمن تدريب أقل من باقي الخوارزميات، ويجدر بنا أن نذكر أن مجموعة البيانات الأولى أكبر حجماً من المجموعة الثانية بفارق كبير وهذا ما ذكر سابقاً.

إلا أن LSTM كانت أفضل من CNN من حيث الدقة في حالة مجموعة البيانات الثانية والتي صنفت البيانات فيها إلى ثلاثة صفوف (إيجابي، سلبي، محايد).

يمكن لنا في بحثنا القادم الدمج بين خوارزميات التعلم الآلي التقليدية والتعلم العميق بهدف الوصول لمنهجية أفضل أو دمج خوارزميات التعلم العميق ولكن بأسلوب مختلف عن الطرق المستخدمة في هذا البحث.

9. المراجع:

- [1] Bing Liu. Sentiment Analysis and Opinion Mining, Morgan & Claypool Publishers, May 2012.
- [2] <https://colab.research.google.com/>
- [3] Alharbi, A., Taileb, M. and Kalkatawi, M., 2021. Deep learning in Arabic sentiment analysis: An overview. Journal of Information Science, 47(1), pp.129–140.
- [4] Mikolov T, Sutskever I, Chen K et al. Distributed representations of words and phrases and their compositionality. In: Proceedings of the advances in neural information processing systems, 2013
- [5] A. B. Soliman, Eissa, K., and El-Beltagy, S. R. Aravec(2017): A Set of Arabic Word Embedding Models for Use in Arabic Nlp. Procedia Computer Science.
- [6] Kaur, H. and Mangat, V., 2017, February. A survey of sentiment analysis techniques. In 2017 International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud)(I-SMAC) (pp. 921–925). IEEE.
- [7] Jha S, Kumar R, Abdel-Basset M, Priyadarshini I, Sharma R, Long HV (2019) Deep learning approach for software maintainability metrics prediction. IEEE Access 7:61840–61855
- [8] Ye Zhang and Byron Wallace. 2015. A sensitivity analysis of (and practitioners' guide to) convolutional neural networks for sentence classification.

- [9] Priyadarshini I, Puri V (2021) A convolutional neural network (CNN) based ensemble model for exoplanet detection. Earth Sci Inf 1–13
- [10] Mohammed, A. and Kora, R., 2019. Deep learning approaches for Arabic sentiment analysis. Social Network Analysis and Mining, 9(1), pp.1–12.
- [11] Alwehaibi A, Roy K (2018) Comparison of pre-trained word vectors for Arabic text classification using deep learning approach. In: 2018 17th IEEE international conference on machine learning and applications (ICMLA), pp 1471–1474
- [12] El-Kilany A, Azzam A, El-Beltagy SR (2018) Using deep neural networks for extracting sentiment targets in Arabic Tweets. In: Shaalan K, Hassanien AE, Tolba F (eds) Intelligent natural language processing: trends and applications. Springer, Cham, pp 3–15
- [13] R. K. Behera, M. Jena, S. K. Rath, and S. Misra, “Co-Istm: convolutional lstm model for sentiment analysis in social big data,” Information Processing & Management, vol. 58, no. 1, Article ID 102435, 2021.
- [14] Gulli, A., Pal, S.: Deep Learning with Keras. Packt Publishing Ltd., Birmingham (2017)
- [15] <http://www.mohamedaly.info/datasets/labr>
- [16] [http://saifmohammad.com/WebDocs/Arabic-SentimntCorpora/bbn\\_shared-2.xls](http://saifmohammad.com/WebDocs/Arabic-SentimntCorpora/bbn_shared-2.xls)
- [17] T.Zerrouki, Tashaphyne, Arabic lights stemmer,

<https://pypi.python.org/pypi/Tashaphyne/0.2>

[18] Fawcett T (2006) An introduction to roc analysis. Pattern Recognit Lett 27(8):861–874

[19] Brownlee J. Imbalanced classification with python: Better metrics, balance skewed classes, cost-sensitive learning. Machine Learning Mastery; 2020

[20] Pal S, Ghosh S, Nag A (2018) Sentiment analysis in the light of LSTM recurrent neural networks. Int J Synth Emot 9(1):33–39. <https://doi.org/10.4018/ijse.2018010103>

## تحسين البنية المجهرية لبيليت الألمنيوم

### المصبوب غير المجانس AA-6063

إعداد: م. سامي محمد غسان شريك- طالب دراسات عليا (دكتوراه)

إشراف: د.م فؤاد ضحية & د.م المهندس مكي

جامعة البعث- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- قسم هندسة التصميم والإنتاج

#### ملخص البحث

يهدف تحسين البنية المجهرية لبيليت الألمنيوم 6063 المصنّع بطريقة الصب المستمر والتبريد المباشر بالماء Direct Chill Casting, تم التعاون مع مصنع محلي لدراسة ظروف الصب. تم فحص عينات البيليت بالاعتماد على عدة أجهزة اختبار كالمجهر الضوئي، جهاز فحص قساوة فيكرز HV، جهاز تحليل انعراج الأشعة السينية XRD وجهاز التحليل الطيفي.

تم تطبيق درجات حرارة صب مختلفة عند (685, 710, 735°C) و سرعات صب مختلفة عند (70, 90, 110mm/min)، حيث لوحظ أنه باعتماد درجات حرارة صب منخفضة وسرعات صب عالية تم الحصول على بنية حبيبية ناعمة متناسقة. تساهم تلك البنية بدورها في تحطيم الطور  $\beta$ -AlFeSi المتشكل على حدود البلورات والذي يسبب عادةً ضغوط بثق عالية وتأثير حاك على سطح الضبط لقلب البثق.

كما تمت دراسة مخطط الانحلال الطوري Al-Mg<sub>2</sub>Si حيث لوحظ أنه لدرجة حرارة تسخين البيليت قبل البثق أثر إيجابي في انحلال قسم جيد من رواسب الطور Mg<sub>2</sub>Si وذلك لنسب مغنزيوم قريبة من 0.5% وسليكون عند 0.45% مع الحفاظ على زمن إبقاء من (2-4 hr).

الكلمات المفتاحية: مجانسة بيليت الألمنيوم، ترسب الأطوار، سبيكة الألمنيوم 6063

# Improving the microstructure of un-homogenized casting aluminum billet 6063

## Abstract

In the aim to improve the microstructure of aluminum billet 6063, the conditions of direct chill casting of this billet were studied by cooperating with local factory. The samples were examined by optical microscope, hardness tester HV, x-ray diffraction, and spectrum meter.

Different casting temperatures at (685, 710, 735°C) were applied besides different casting speed at (70, 90, 110mm/min). It was noticed that by adopting high casting speeds and low casting temperatures we got equiaxed grains.

This structure helps to break the  $\beta$ -Al-Fe-Si phase which is located at the grains boundary. This phase normally causes high extrusion pressure and hard wear in the die bearing.

The Al-Mg<sub>2</sub>Si phases dissolving diagram was studied. We noticed that the billet pre-heating temperature with holding time 2-4 hr could has a positive effect on dissolving of good amounts of this phase by adopting ratios for Mg near to 0.5% and Si at 0.45%.

Keywords:

Aluminum billet homogenizing, phases participating, aluminum alloy 6063



## 1- مقدمة:

تصنع معظم منتجات البثق من سبائك الألمنيوم (6xxx) خاصةً السبيكة 6063 والتي تعد الأكثر شيوعاً في مجال البناء والأغراض الإنشائية الأخرى حيث يعد السليكون والمغنزيوم العنصران الأساسيان في هذه السبائك لتشكيلهما معاً سلسيديات المغنزيوم  $Mg_2Si$  والتي تساهم لاحقاً في تقسية قضبان الألمنيوم المبتوقة بسبب ترسبها من جديد بشكل ناعم ومتناسق بعد تطبيق عملية المعالجة الحرارية بالتعتيق الاصطناعي *Artificial Aging*. تجرى عادةً عملية مجانسة حرارية للألمنيوم بعد صبه -والذي يكون بشكل أسطوانات أو ما يسمى بالبيليت- وذلك بتسخينه إلى درجات حرارة من  $560-580^{\circ}C$  (تحت خط التجمد لتجنب حدوث انصهار أولي) لزمان إبقاء من 6-8 hr ثم التبريد إلى درجة حرارة الغرفة. خلال عملية المجانسة يبدأ الانعزال الميكروي *Micro Segregation* للعناصر السبائكية مثل  $Mg, Si, Mn$  وغيرها بالزوال إلى أن تختفي هذه الفروق بالتراكيز كما ينحل أيضاً جزء كبير من الطور  $Mg_2Si$  غير المتناسق حجماً و توزيعاً إضافةً إلى تحول طور اليوتكتيك  $\beta-Al-Fe-Si$  الأبري القاسي المتوضع على حدود البلورات إلى طور  $\alpha-Al-Fe-Si$  الحبيبي حيث يعد هذا التحول ضروري من أجل زيادة قابلية البثق وإعطاء إنهاء جيد للسطح [6], [7].

حيث إن غياب عملية المجانسة الحرارية أو عدم تطبيق ناجح لها يعد أحد أهم أسباب الفشل المبكر للقوالب بسبب ضغوط البثق العالية له وتسارعه لتشكيل طبقة اهتراء كثيفة على سطح ضبط القالب *Bearing* (الذي يعطي الشكل النهائي لقضيب الألمنيوم المبتوق) وبالتالي تآكل معدن القالب عند سطح الضبط حيث تحت الأطوار  $\beta-Al-Fe-Si$  أبرية الشكل و  $Mg_2Si$  ذات الحجم الكبير والتوزيع غير المنتظم على اهتراء القالب حتى في حال كان القالب مقسى بشكل جيد بعملية المعالجة الحرارية بالترتدة بسبب المساواة العالية والشكل الحاد لبنية هذه الأطوار المتشكلة في البيليت [14], [11]. فضلاً عن أنه لدى الألمنيوم قابلية عالية للالتصاق على سطح الحديد حيث تتشكل خلال عملية

البثق نتيجة الضغوط العالية على سطح الضبط والتي قد تصل إلى 50Mpa طبقة إضافية من الأكاسيد والتي تلتصق بسطح الضبط للقالب مما يؤدي إلى اهترائه بشكل متدرج كما أن هذا الاهتراء يتسارع بشكل كبير في درجات الحرارة العالية التي قد تصل إلى 600C° على سطح الضبط [8] . وعلى الرغم من سلبيات غياب عملية المجانسة الحرارية فإن العديد من المصانع حول العالم خاصة في جنوب شرق آسيا تتجنب هذه المعالجة الحرارية [3] , إضافةً لمعظم المصانع المحلية بسبب تكلفتها التأسيسية المرتفعة جداً وارتفاع تكاليف التشغيل فضلاً عن الحاجة إلى مساحة عمل كبيرة.

عادةً ما يتم تصنيف البيليت إلى فئتين: أولي Primary أي مصبوب من الفلز مباشرة وثانوي Secondary أي مصبوب من التالف Scrap (معاد صهره) [11] إلا أنه في بحثنا هذا تم تصنيفه إلى غير مجانس أي لم يتعرض لعملية المجانسة الحرارية بعد الصب والذي يستخدم عادةً لإنتاج القضبان الأقل جودة أو ذات مستويات التعقيد المنخفضة، ومجانس حرارياً.

بدراسة تاريخ فشل القوالب المستخدمة في المصانع المحلية لوحظ أنه بعد عدة دورات بثق يحصل فشل حاد في القوالب في حال كان الاعتماد أكثر على البيليت غير المجانس، حيث لوحظ أن القوالب تتعرض لضغوط عالية باستخدام هذا البيليت ما يؤدي إلى أضرار رئيسية كتشققات في ذكر القالب خاصةً عند الأعصاب، اهتراء سطح ضبط القالب وتكسر مفاجئ في القالب. يعد قالب البثق أكثر العناصر الحرجة في عملية البثق نظراً لكلفته الكبيرة، ابتداءً من معدن القالب مروراً بمعالجته الحرارية فضلاً عن دقة التصنيع العالية، تسامحات صغيرة جداً، إجهادات ميكانيكية وحرارية متكررة. لذا يعد زيادة العمر الاستثماري للقالب مطلب أساسي لتحقيق إنتاج اقتصادي بموثوقية عالية. إلا أنه بمعزل عن باقي العوامل المؤثرة مثل تصميم القالب والمعالجة الحرارية وظروف التشغيل، فإنه يمكن ربط العمر الاستثماري للقالب بشكل مباشر بجودة بيليت الألمنيوم فضلاً عن تأثير ذلك على الجودة النهائية للمقطع المبتثق مع الانتباه إلى باقي المعايير كسرعة البثق أو

معدل الإنتاج. حيث يمكن ربط جودة القضبان المبنوثة والعيوب الناشئة فيها كالعيوب السطحية، خشونة، تمزقات سطحية، حدوث شرخ في المقطع، تشكل خطوط، مشاكل بالأبعاد، تشكل ندبات، بظروف القالب وجودة سطح الضبط، بنية البليت، وبارامترات عملية التشغيل [4].

#### الجدول 1. التركيب الكيميائي لفولاذ القوالب السبائكي H13 - DIN 1.2344 [1]

C%	Si%	Mn%	Cr%	Mo%	V%	Fe%
0.37	0.98	0.36	5.02	1.25	0.85	Rest

توجه العديد من الباحثين إلى تحسين جودة البليت بطرق مختلفة فقد أشار الباحث [2] Shahani أن تغيرات صغيرة تكاد تكون لا ملحوظة في التركيب الكيميائي أو في العملية الإنتاجية يكون لها تأثيرات هامة على أداء سبائك بليت الألمنيوم 6xxx، فعلى سبيل المثال إضافة كميات صغيرة من المنغنيز لها تأثير كبير على تحولات الأطوار المعدنية. أيضاً لدورة تبريد بليت الألمنيوم تأثير على قابلية البثق وعلى الخواص الميكانيكية لقضبان الألمنيوم. ونوه إلى ذلك أيضاً الباحث [5] Cooper فقد تم الحصول على بنية مجهرية حبيبية ناعمة للبليت بإضافة Master Alloy Al-Ti-B أثناء الصب حيث تشكل نقاط تبلور ضمن بنية الألمنيوم. كما أشار الباحث [18] Ajide أنه من الممكن ربط زيادة قساوة السبيكة Al6063 بنمو البلورات و نشوء رواسب الطور  $Mg_2Si$ .

قام الباحث [9] Hao بدراسة التحريك والخلط أثناء الصب بتطبيق حقل كهرومغناطيسي لسبائك الألمنيوم 2024 حيث لاحظ تحسين في جودة السطح والبنية المجهرية وإلغاء ظاهرة الانعزال الميكروي للعناصر بشكل كامل. وقام بذلك أيضاً الباحث [13] Mapelli حيث درس الخلط أثناء الصب بتطبيق حقل كهرومغناطيسي لسبائك الألمنيوم 6060 حيث تم الحصول على رواسب أنعم وبنية مجهرية متجانسة. لم يتطرق الباحث إلى عملية البثق اللاحقة ومعالجاتها الحرارية.

قام الباحث [15] Samson بدراسة تأثير درجة حرارة الصب على الخواص الميكانيكية والكهربائية وتشكل البنى المجهرية لسبائك الألمنيوم 6063 بعد مرحلة الصب ومرحلة المجانسة ومرحلة التشكيل، إلا أن الباحث لم يتطرق لأثر سرعة الصب أو معدل التبريد كما أن عملية التشكيل المختارة كانت الدرفلة على البارد بعد القيام بمعالجة محلولية. أما الباحث [3] Couper فقد قام بدراسة أثر درجة حرارة المجانسة Homogenization على سبائك الألمنيوم Aluminum Billet 6061 حيث قام بأخذ عينات ودراستها عند درجات حرارة تتراوح بين  $450-600^{\circ}\text{C}$  ولزمن إبقاء 2hr، خواص المجانسة الأفضل كانت عند درجة حرارة  $540^{\circ}\text{C}$  و  $570^{\circ}\text{C}$ . في حين قام الباحث [10] Akhtar بدراسة الفرق بين بنية البيليت الأولي المصنَّع من الفلز مباشرة و بين البيليت الثانوي المعاد تكريره وبيّن أثر جودة البيليت على عمر خدمة القالب، لكنه لم يتعرض لغياب أثر المجانسة أو لضبط ظروف الصب والبتق لتحسين من بتق البيليت ذو الجودة المنخفضة، تمت ملاحظة درجة تكور أقل في عينة البيليت الثانوي وقد ينسب ذلك غالباً بسبب حجم الحبيبات الخشن والتي تميل إلى أن تملك درجة أكبر من تغطية  $\beta\text{-AlFeSi}$  خلال ظروف الصب مما يجعل من الصعب تكورها خلال المجانسة. بالمقابل فإن البيليت الأولي يملك بنية حبيبية صغيرة لذا يكون تكور الطور  $\beta\text{-AlFeSi}$  أكثر سهولة.

إن معظم الأبحاث لم تتطرق إلى غياب عملية المجانسة الحرارية بعد الصب والتي هي أضحت واقع صناعي في صناعة بتق قضبان الألمنيوم. يوضح (الشكل 1) آلية بتق قضبان الألمنيوم.



الشكل 1. آلية بتق قضبان الألمنيوم

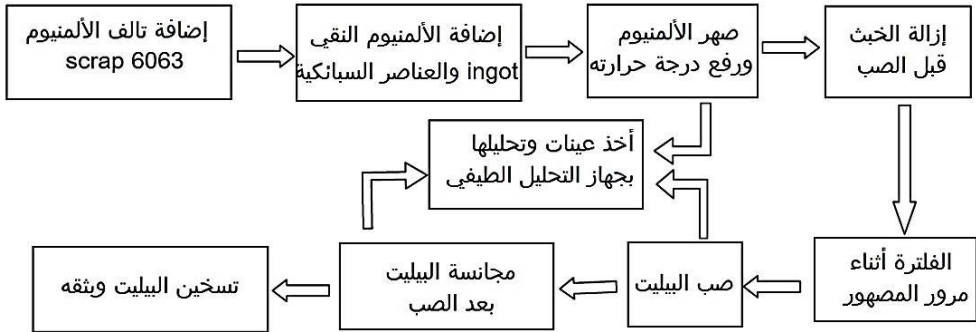
## 2- هدف البحث: Search Objective

إن الهدف وراء الدراسة الحالية اقتراح إجراءات صب وضوابط ما قبل البثق تعزز من جودة بيليت الألمنيوم المستخدم في عملية البثق بهدف الحصول على بيليت محسن ذو بنية حبيبية ناعمة متناسقة بإنتاجيات مقبولة وجيدة بغرض تعويض غياب عملية المجانسة الحرارية اللاحقة لعملية الصب ذات الكلفة العالية.

## 3- مواد وطرق البحث: Experimental Study

### 3-1- صب البيليت:

تم صب البيليت الثانوي ضمن مصنع محلي (شركة الزين لسحب الألمنيوم في حسياء) تبعاً لمواصفات AA-6063 لقطر بيليت 6inch باستخدام طريقة Direct Chill (DC) وذلك لفرن صهر بسعة 8ton حيث يتم إضافة العناصر السبائكية كالمغنزيوم والسليكون بعد الوصول إلى درجات حرارة قد تصل إلى  $750^{\circ}\text{C}$  ثم إضافة الأملاح اللاعضوية كطارد للخبث. يتم استخدام فلاتر من فوم الألومينا أثناء جريان المصهور لصيد بقية الأكاسيد والشوائب ليتم الصب في قالب من السيراميك حيث يتم تبريد مصهور المعدن بواسطة تيار من الماء بشكل دائري وذلك عن طريق مضخة ماء ذات استطاعة 20Kw ولغزارة تدفق 2600 l/min. إن المخطط التدفقي العام لصب البيليت الثانوي المعاد تدويره موضح في (الشكل 2).



الشكل 2. مخطط تدفقي لعملية الصب لإنتاج البيليت الثانوي

يتضمن تالف المصنع: القضبان غير المحققة للمواصفات، نهايات القضبان التي تم شدها قبل القص النهائي، تالف البيليت من المكبس وغيرها من الخردة Scrap خاصة المستخدمة في مجال البناء. عادةً ما يتم هنا تجاهل عملية المجانسة الحرارية بعد الصب لتخفيض التكاليف الإنتاجية، حيث يرسل البيليت مباشرةً إلى مكبس البثق ليتم بثقه على الساخن لدرجة حرارة لا تقل عن  $440^{\circ}\text{C}$  إذا كان القالب من النوع المفتوح و  $470^{\circ}\text{C}$  إذا كان القالب من النوع المغلق [1].

### 3-2- تحضير العينات:

تم شحذ عينات البيليت بورق صنفرة 600, 800, 1200, 1500 على التوالي، تم التلميع بمسحوق الماسي ذو حجم الحبيبات  $0.5\mu\text{m}$ ,  $1\mu\text{m}$ ,  $3\mu\text{m}$ ,  $5\mu\text{m}$  على التوالي. تم بعدها تخريش العينات بالغمس حوالي 30sec على الأقل بمحلول Keller ذو التركيب الكيميائي [19], [21] (190ml H<sub>2</sub>O, 5ml HNO<sub>3</sub>, 3ml HCL & 2ml HF).

### 3-3- تحليل وقياس جهاز انعراج الأشعة السينية XRD:

تم مسح عينات البيليت باستخدام جهاز انعراج الأشعة السينية X-Ray Diffraction نوع Philips طراز PW 1830 للتأكد من الأطوار المتواجدة من أجل زوايا انحراف  $10^{\circ} \leq 2\theta \leq 180^{\circ}$  الذي أظهر أن الرواسب Mg<sub>2</sub>Si و AlFeSi هي الأطوار الأساسية المتشكلة Major Phases، تم إجراء المسح مرتين للتأكد من دقة النتائج كما هو موضح في (الشكل 5).

### 3-4- تحليل القساوة:

تم إجراء قياس قساوة فيكرز HV برأس هرمي زاوية  $136^{\circ}$  ولزمن تطبيق حمولة 5sec بمعدل 3 مرات لكل قراءة، وذلك لعينات البيليت بعد الصب لمراقبة تحسن الخواص الميكانيكية.

### 3-5-التحليل الطيفي Spectrometer:

تم تنفيذ تحليل التركيب الكيميائي لعينات البيليت باستخدام جهاز التحليل الطيفي Spectrometer, يبين (الجدول 2) نتائج تحليل عينات بيليت ألمنيوم بجهاز التحليل الطيفي سواء من بيليت أساسي مجاني مصبوب من الفلز مباشرة, أو من بيليت ثانوي مصبوب من التالف أو الخردة. يلاحظ زيادة نسبة الحديد بشكل ملحوظ إلى الحدود العظمى في البيليت الثانوي المعاد صهره من التالف مقارنة بالبيليت الأولي الصبوب من الفلز الخام Raw Material. حيث ضبط نسب الحديد و الشوائب يحتاج إلى إضافة ألمنيوم نقي Ingot إلى مصهور الألمنيوم.

### 3-6-الفحص المجهرى:

تم فحص خصائص البنى المجهرية لعينة البيليت بعد الصب باستخدام المجهر الضوئي وبمقدار تكبير 100x, والتي تظهر العديد من الرواسب. وفق المواصفة ASTM-E3. يمكن تفسير هذه الرواسب بالطور  $Mg_2Si$  والذي يترسب داخل الحبيبات كجزئيات سوداء كبيرة الحجم ويختلف توزيعها من حبيبة لأخرى, و الطور  $AlFeSi$  والذي يترسب غالباً بشكل جزئيات رمادية على حدود الحبيبات [11].

يبين (الشكل 3) أجهزة الاختبار المستخدمة:



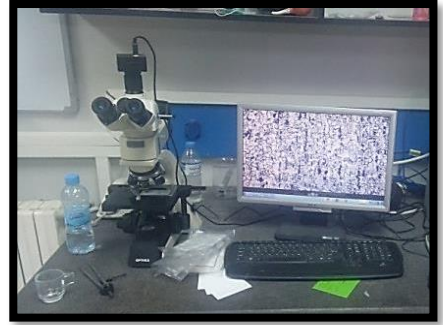
(a)



(b)



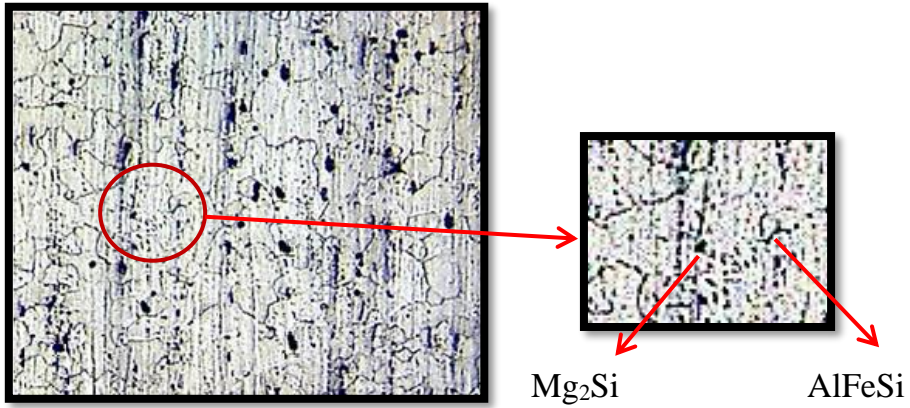
(c)



(d)

الشكل 3. أجهزة الاختبار المستخدمة  
(a) قالب الصب, (b) جهاز اختبار القساوة, (c) جهاز XRD, (d) مجهر ضوئي





الشكل 4. صورة مجهرية لبليت الألمنيوم

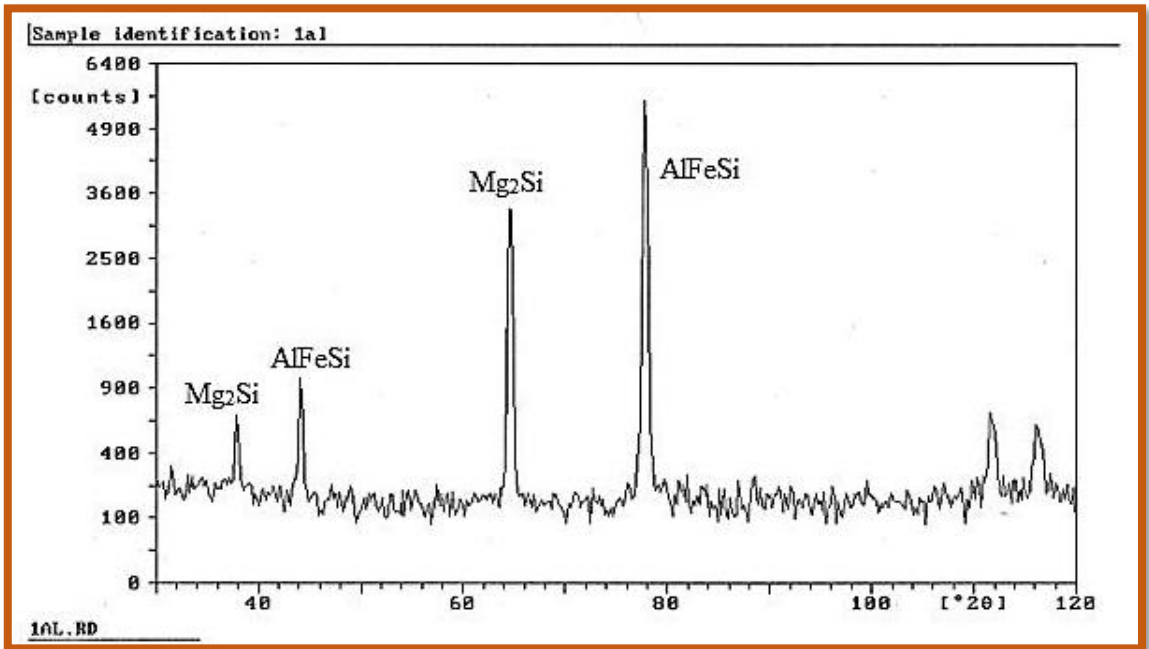
يبين (الجدول 2) التركيب الكيميائي (wt.%) للسبيكة 6063 وفق المعايير العالمية, و(الجدول 3) نتائج التحليل الطيفي لعينات من البليت الأساسي مصبوب من الفلز والبليت الثانوي مصبوب من التالف:

الجدول 2. التركيب الكيميائي المعياري للسبيكة AA-6063 [20]

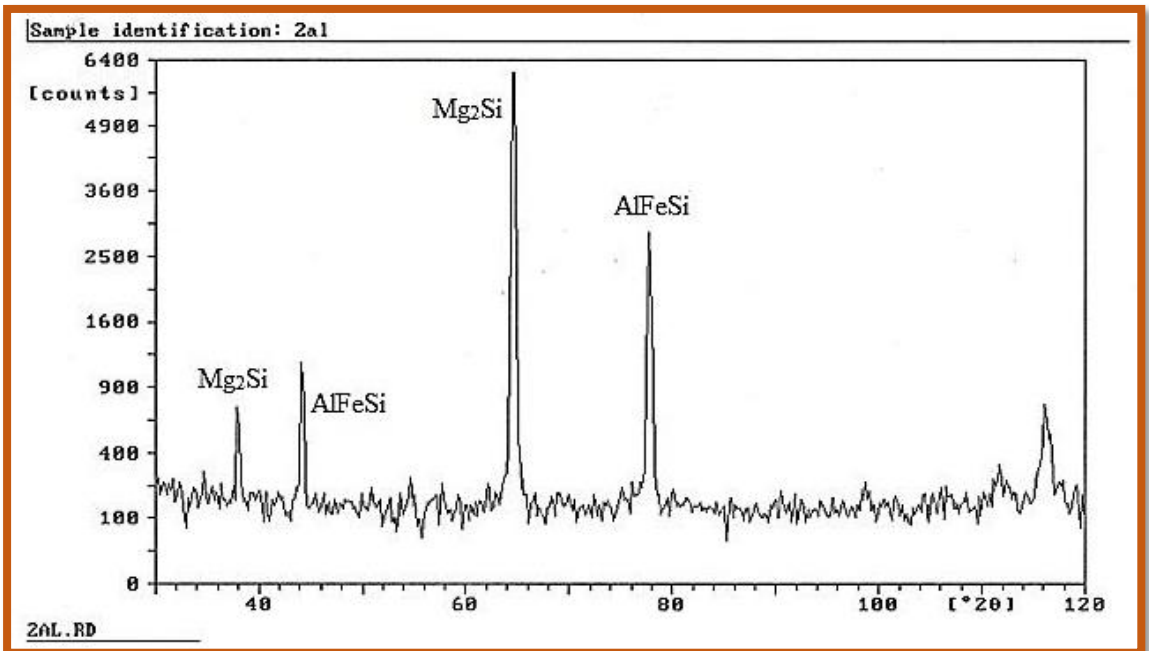
Si%	Fe.% max	Cu%	Mn%	Mg%	Cr%	Zn%	Ti%	بقية العناصر الشائبة		Al%
0.20-0.6	0.35	0.10	0.10	0.45-0.9	0.10	0.10	0.10	كل	مجم	97.5-99.35
								عنصر%	العناصر%	
								0.05	0.15	

الجدول 3. التركيب الكيميائي للبيليت AA-6063

	Fe%	Mg%	Si%	Mn%	Ti%	Cu%	Al%
بيليت أساسي من الفلز Primary	0.220	0.529	0.535	0.003	0.017	0.032	98.7
بيليت ثانوي من التالف Secondary	0.366	0.576	0.492	0.153	0.015	0.100	97.9
بيليت ثانوي من التالف Secondary	0.353	0.705	0.480	0.124	0.010	0.121	97.9



(a)



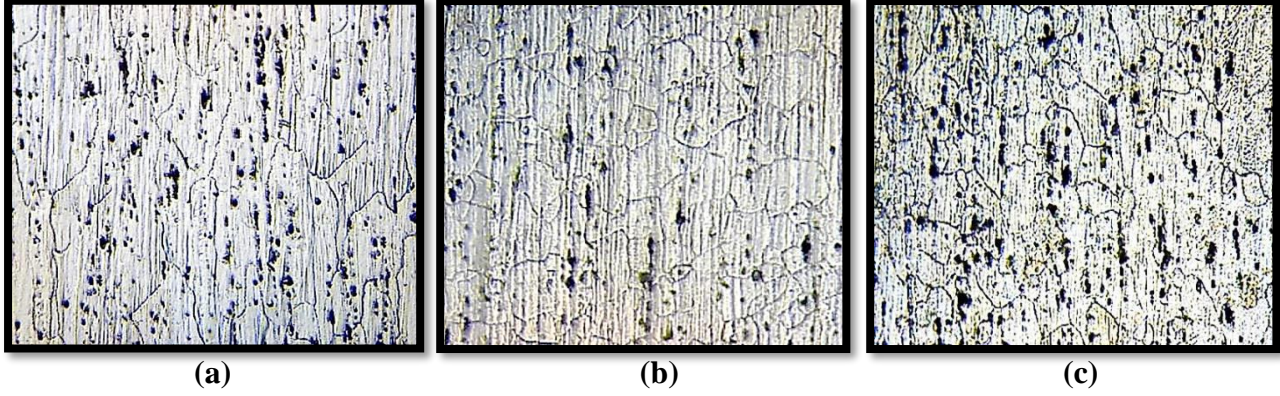
(b)

الشكل 5. نتائج تحليل XRD لعينات من بليت الألمنيوم

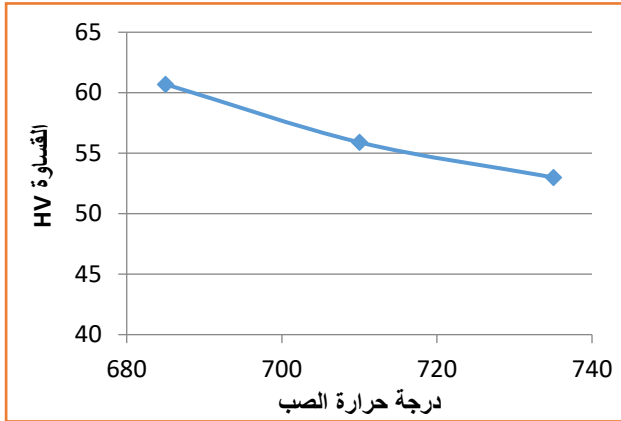
#### 4-النتائج:

#### 4-1- أثر درجة حرارة الصب على بنية بيليت الألمنيوم:

تم اختيار درجات حرارة صب مختلفة ( $685, 710, 735^{\circ}\text{C}$ ) ليطم دراسة تطور البنية المجهرية كما هو موضح في (الشكل6), وتغير القساوة كما هو موضح في (الشكل7):



الشكل6. تطور البنية المجهرية لدرجات حرارة صب مختلفة  
(a).  $735^{\circ}\text{C}$ , (b).  $710^{\circ}\text{C}$ , (c).  $685^{\circ}\text{C}$



الجدول4. تغير القساوة

مع تغير درجة حرارة الصب

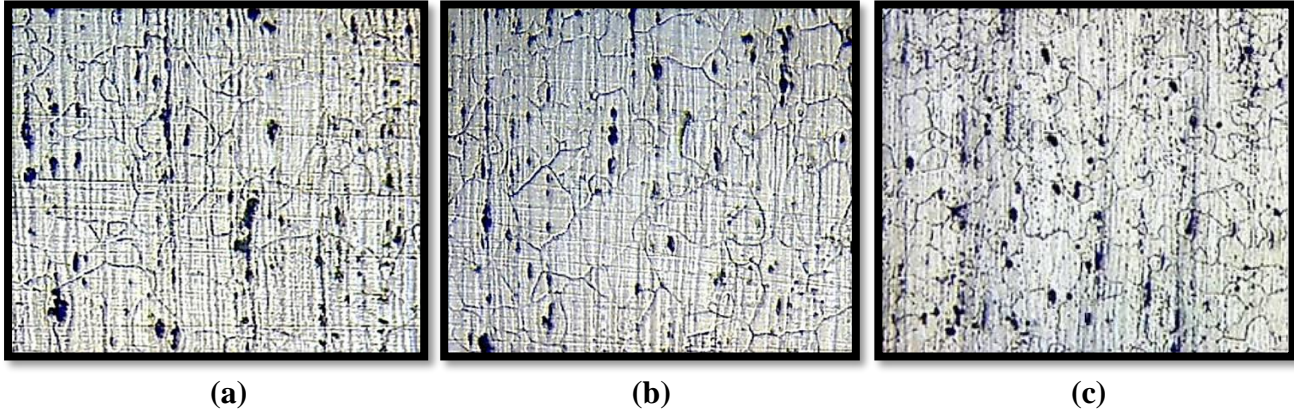
درجة حرارة الصب $^{\circ}\text{C}$	القساوة HV
685	60.7
710	55.9
735	53

الشكل7. تغير القساوة مع تغير درجة حرارة الصب

تم اقتراح درجة حرارة الصب الدنيا عند  $685^{\circ}\text{C}$  للمحافظة على سيولة جيدة لمصهور الألمنيوم، كما أنه يجب الانتباه إلى ضرورة أخذ قراءة درجة حرارة الصب فوق قالب الصب وليست لحظة خروجه من الفرن. نلاحظ أنه بانخفاض درجة الحرارة تتناقص حجم البلورات (الحبيبات) من الشكل الخشن Coarse لتصبح أكثر انتظاماً، يلاحظ أيضاً اختلاف توزيع جزيئات  $\text{Mg}_2\text{Si}$  من حبيبة لأخرى إضافةً إلى شكلها الخشن وغير المتجانس. كما نلاحظ أن القساوة تميل إلى الازدياد مع تناقص درجة الحرارة ما يدل على تحسن الخواص الميكانيكية .

#### 4-2- أثر سرعة الصب على بنية بيليت الألمنيوم:

تم اختيار سرعات صب مختلفة (70, 90, 110mm/min) ليتم دراسة تطور البنية المجهرية كما هو موضح في (الشكل 8)، وتغير القساوة كما هو موضح في (الشكل 9):

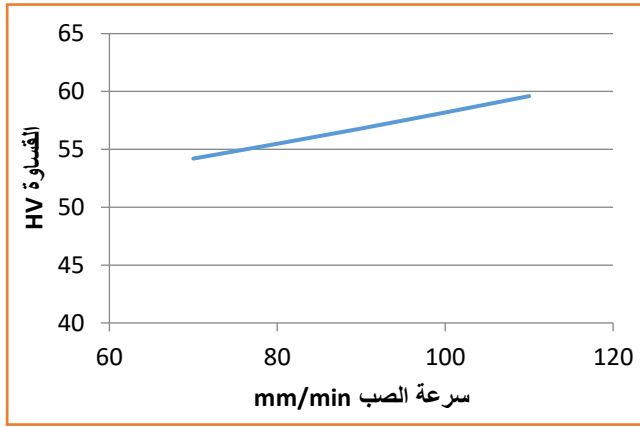


الشكل 8. تطور البنية المجهرية لسرعات صب مختلفة  
(a).70mm/min, (b).90mm/min, (c).110mm/min

## الجدول 5. تغير القساوة

مع تغير سرعة الصب

سرعة الصب mm/min	القساوة HV
70	54.2
90	56.6
110	59.6



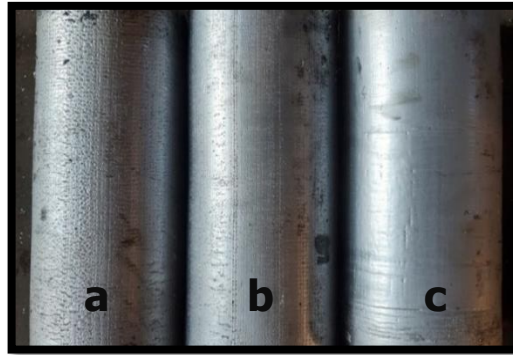
الشكل 9. تغير القساوة مع تغير سرعة الصب

تم التحكم بسرعة الصب بواسطة Inverter, نلاحظ أنه بازدياد سرعة الصب تتناقص حجم البلورات وتصبح أكثر انتظاماً Equiaxed Crystal, يلاحظ أيضاً توزع جزيئات  $Mg_2Si$  كبيرة الحجم غير المتجانسة من حبيبة لأخرى بشكل عشوائي. تميل القساوة إلى الازدياد مع زيادة سرعة الصب ما يدل على تحسن الخواص الميكانيكية. يجب الانتباه أنه مع زيادة سرعة الصب بشكل كبير وبالتالي يحدث تناقص بدرجة الحرارة بشكل حاد مما يزيد من الإجهادات الداخلية ما قد يؤدي إلى تشكل تشققات Cracks في بنية البيليت

إضافةً إلى تشكل المسامات Porosities [14]. كما أن زيادة سرعة الصب إلى حوالي 130mm/min فأعلى قد تؤدي إلى عدم وجود كمية مياه تبريد كافية متناسبة مع سرعة الصب وبالتالي حدوث تقطعات في عملية التجمد كما هو مبين في (الشكل 10) لذا تم اعتماد سرعة الصب العظمى 110mm/min.

الشكل 10. حدوث تقطعات أثناء صب البيليت وشرشرة سطحية Bleed Out لدى زيادة سرعة الصب بشكل زائد

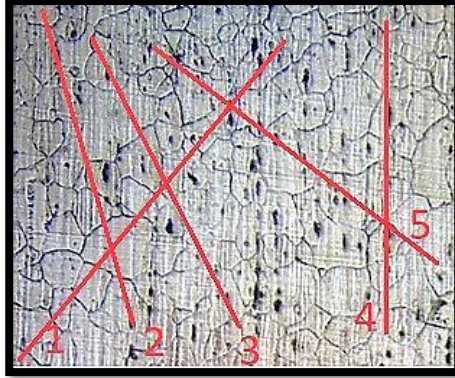
إن ضبط درجات حرارة الصهر و سرعات الصب مع ضرورة الانتباه إلى أن يكون تدفق مياه التبريد كافي و بدرجات حرارة منخفضة نسبياً من شأنه تحسين جودة سطح وتناقص سماكة قشرة التجمد (الطبقة المؤكسدة القاسية). كما هو مبين في (الشكل 11):



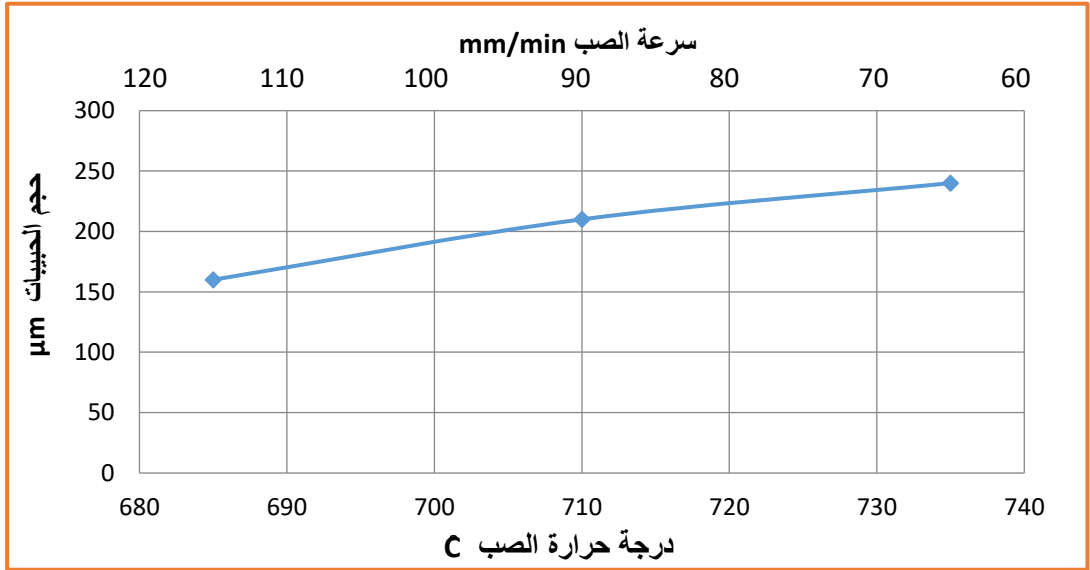
الشكل 11. تحسن جودة سطح البيليت بتحسين ظروف الصب و درجة حرارة تبريد مياه صحيحة

تم قياس طول البلورات باعتماد طريقة Average Grain Lineal Intercept (AGLI) حيث تم رسم عدة خطوط عشوائية (يمكن رسم دوائر) ثم تقسيم الطول الكلي للخط على عدد التقاطعات بين هذه الخطوط مع حدود الحبيبات (الشكل 12)، تم ملاحظة

تناقص في قياس البلورات كلما ازداد معدل التبريد، تقريباً من 240 $\mu\text{m}$  إلى حوالي 160 $\mu\text{m}$  كما هو موضح في (الشكل 13):



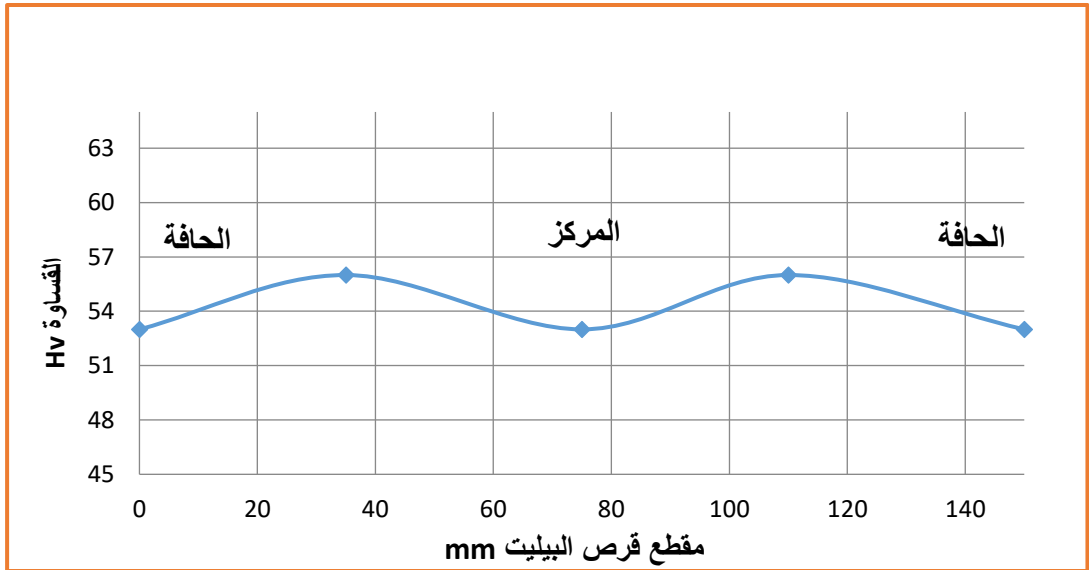
الشكل 12. القياس الوسطي لطول الحبيبات



الشكل 13. تغير قياس الحبيبات  $\mu\text{m}$  مع تغير درجة حرارة وسرعة الصب



كما تم ملاحظة اختلاف القساوة بالقرب من المركز وبالقرب من الحافة لعينة البيليت نفسها, يمكن تفسير ذلك باختلاف حجم الحبيبات بسبب معدلات التبريد السريعة عند الحافة وانخفاضها باتجاه الداخل خاصةً بسبب القطر الكبير للبيليت (الشكل 14). إضافةً لتواجد أكبر للرواسب نتيجة خاصية الانعزال الميكروي والتي قد تظهر بشكل واضح عند قشرة البيليت وبالقرب من الحافة والذي قد يؤدي أيضاً إلى ازدياد القساوة عند الحافة مقارنةً بالمركز [3].



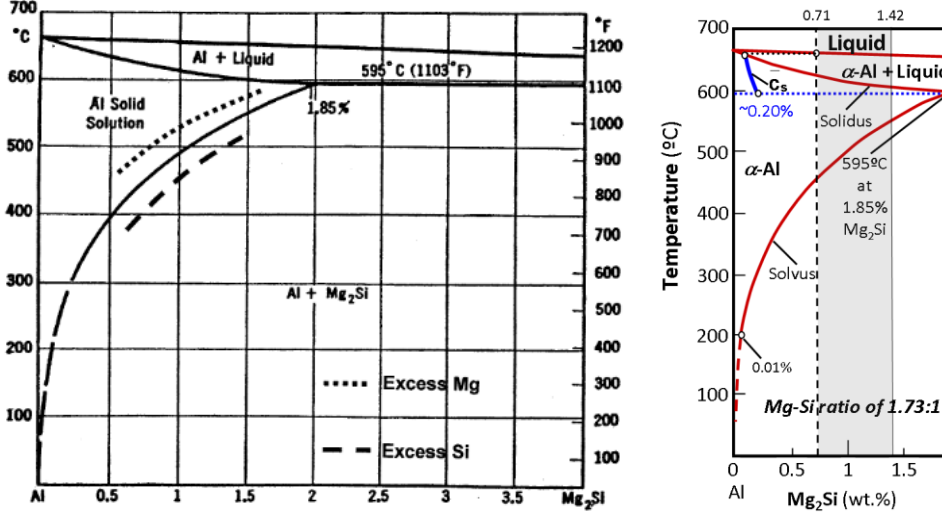
الشكل 14. تغير القساوة على مقطع قرص البيليت ذو القطر 6inch=152mm

وما يجب التنويه إليه أن القساوة المثالية لبيليت الألمنيوم الملائم لعملية البثق تتراوح بين 45-55HV , حيث إن البيليت ذو القساوة المنخفضة مثلاً من 32-36HV يميل ليكون لدن جداً Gummy خلال عملية البثق ما يجعلها أكثر صعوبة للبثق كما إن ذلك يسبب ذلك انهيار مبكر للقالب نتيجة لدونة البيليت والتصاقه بالقالب Jammed [17].

### 4-3- أثر التسخين المسبق على تحسين بنية بيليت الألمنيوم , مخطط الانحلال الطوري $Al-Mg_2Si$ :

تمت دراسة مخطط الانحلال الطوري (الشكل 15) من أجل معرفة نسب الحديد والمغنيزيوم و السليكون والتي تعد العناصر الرئيسية في السبيكة AA6063 - الممكن اختيارها للوصول إلى درجات حرارة منخفضة لانحلال الطور  $Mg_2Si$  , وبالتالي ربط انحلال هذا الطور  $Mg_2Si$  بدرجة حرارة تسخين البيليت والتي تستغرق عدة ساعات في الأفران متعددة البيليت- والذي يعد خيار مساعد للتعويض عن غياب عملية المجانسة الحرارية.

مع ملاحظة أن للمغنيزيوم أثر سلبي في رفع درجة الحرارة المحلولية بعكس السليكون الذي له أثر إيجابي في خفض درجة الحرارة المحلولية [16], إلا أنه تجدر الإشارة أن زيادة السليكون تقلل من تحول الطور  $\beta$ :  $AlFeSi$  الإبري إلى الطور  $\alpha$  الكروي [10].



الشكل 15. مخطط الانحلال الطوري

### $Al-Mg_2Si$ pseudo-binary phase [16]

تتراوح نسب العنصر لسبائك AA-6063 حسب التركيب المعياري:

$$[Si]_{total} = 0.2-0.6 \quad \%$$

$$[Mg]_{total} = 0.45-0.9 \quad \%$$

$$[Fe]_{total} = 0.15 - 0.35 \quad \%$$

يتم حساب نسبة المنغنيزيوم بالنسبة للسليكون لسبائك AA-6063 لدى تشكل الطور Mg<sub>2</sub>Si والتي تكون دائماً ذات قيمة ثابتة من العلاقة:

$$Mg/Si = \frac{2 \times A_{Mg}}{A_{Si}} = \frac{2 \times 24.304}{28.084} = 1.73$$

$A_{Si}$  الوزن الذري للسليكون: 28.084

$A_{Mg}$  الوزن الذري للمغنيزيوم: 24.304

$A_{Fe}$  الوزن الذري للحديد: 55.845

يتم حساب النسبة الوزنية للطور Mg<sub>2</sub>Si كالاتي:

$$[Mg_2Si] = [Si]_{Mg_2Si} + [Mg]_{total} \quad \%$$

لذا تكون نسبة السليكون في الطور Mg<sub>2</sub>Si من أجل نسب مغنيزيوم مختلفة:

$$[Si]_{Mg_2Si} = 0.45/1.73 = 0.26 \quad \%$$

$$[Si]_{Mg_2Si} = 0.6/1.73 = 0.34 \quad \%$$

$$[Si]_{Mg_2Si} = 0.75/1.73 = 0.43 \quad \%$$

$$[Si]_{Mg_2Si} = 0.9/1.73 = 0.52 \quad \%$$

بناءً على ذلك، تتراوح نسبة الطور Mg<sub>2</sub>Si في بنية الألمنيوم للسبيكة 6063 بين:

$$Mg_2Si = 0.45+0.26=0.71 \quad \%$$

$$Mg_2Si = 0.6+0.34=0.94 \quad \%$$

$$Mg_2Si = 0.75+0.43=1.18 \quad \%$$

$$Mg_2Si = 0.9+0.52=1.42 \quad \%$$

تكون هنا نسبة الطور  $Mg_2Si$  1.42% - 0.71% وبالتالي فإن درجة حرارة الانحلال تتراوح بين  $T = 440-570^{\circ}C$  تبعاً لمخطط الانحلال الطوري.

يتم حساب كمية السليكون الداخلة في الطور  $AlFeSi$ :  $\beta$  من العلاقة:

$$[Si]_{AlFeSi} = [Fe]_{total} \times \frac{A_{Si}}{A_{Fe}} \quad \%$$

تكون نسبة السليكون في الطور  $AlFeSi$ , من أجل نسب الحديد الصغرى  $Fe = 0.15\%$

$$[Si]_{AlFeSi} = [Fe]_{total} \times \frac{A_{Si}}{A_{Fe}} = 0.15 \times \frac{28.084}{55.845} = 0.075 \quad \%$$

تكون نسبة السليكون في الطور  $AlFeSi$ , من أجل نسب الحديد العظمى  $Fe = 0.35\%$

$$[Si]_{AlFeSi} = [Fe]_{total} \times \frac{A_{Si}}{A_{Fe}} = 0.35 \times \frac{28.084}{55.845} = 0.175 \quad \%$$

لذا فإن نسبة السليكون الواجب تواجدها في السبيكة AA-6063 بما يتوافق مع ماسبق، تكون

من أجل نسب الحديد الصغرى  $Fe = 0.15\%$ :

$$Si = 0.26 + 0.075 = 0.335 \quad \%$$

$$Si = 0.34 + 0.075 = 0.415 \quad \%$$

$$Si = 0.43 + 0.075 = 0.505 \quad \%$$

$$Si = 0.52 + 0.075 = 0.595 \quad \%$$

ومن أجل نسب الحديد العظمى  $Fe = 0.35\%$ :

$$Si = 0.26 + 0.175 = 0.435 \quad \%$$

$$Si = 0.34 + 0.175 = 0.515 \quad \%$$

$$\text{Si} = 0.43 + 0.175 = 0.605 \%$$

$$\text{Si} = 0.52 + 0.175 = 0.695 \%$$

وبالتالي كاختصار لماسبق، يمكن تقسيم درجة حرارة الانحلال و نسب السليكون إلى أربع فئات لنسب مغنيزيوم مختلفة كما هو موضح في (الجدول 5) و (الجدول 6):

الجدول 5. نسب العناصر الرئيسية الواجبة لتحقيق درجة حرارة الانحلال الصغرى والعظمى

لنسب حديد صغرى

	T	Mg <sub>2</sub> Si%	Fe%	Mg%	Si%
فئة 1	440°C	0.71	0.15	0.45	0.335
فئة 2	485°C	0.94	0.15	0.6	0.415
فئة 3	510°C	1.18	0.15	0.75	0.505
فئة 4	570°C	1.42	0.15	0.9	0.595

الجدول 6. نسب العناصر الرئيسية الواجبة لتحقيق درجة حرارة الانحلال الصغرى والعظمى

لنسب حديد عظمى

	T%	Mg <sub>2</sub> Si%	Fe%	Mg%	Si%
فئة 1	440°C	0.71	0.35	0.45	0.435
فئة 2	485°C	0.94	0.35	0.6	0.515
فئة 3	510°C	1.18	0.35	0.75	0.605
فئة 4	570°C	1.42	0.35	0.9	0.695

تكون عادةً درجة حرارة تسخين البيليت المجانس عند 440°C للمقاطع المفتوحة Solid و 470°C للمقاطع المغلقة Hollow [1] ، لذا يجب رفع درجة الحرارة بما يقارب 50°C للوصول إلى درجة الحرارة المحلولة عند 485°C في حال ارتفاع نسبة المغنيزيوم للحدود العظمى المسموح بها تبعاً لمخطط الانحلال الطوري وتركيب السبيكة AA6063. إلا أنه

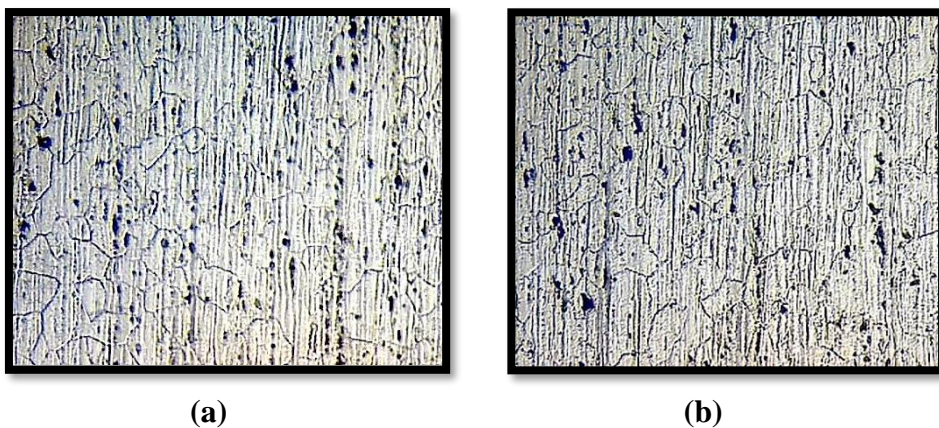
تجدر الإشارة أن رفع درجة حرارة البيليت له تأثير سلبي على قالب البثق بزوال طبقة النتردة بشكل متسارع لذا يجب زيادة تكرارية النتردة. كما أن ارتفاع نسب المغنزيوم والسليكون أدى إلى الحصول على قساوات عالية غير محبذة عند 63.5Hv و 64.5Hv.

كما أنه مايجب الأخذ به بعين الاعتبار هو تشكل الطور  $AlFeSi$  والذي يكون سابقاً لتشكل الطور  $Mg_2Si$  [16], لذا ومن أجل الحصول على درجة حرارة محلولية منخفضة للطور  $Mg_2Si$  فإنه يجب اختيار نسبة المغنزيوم عند حدوده الصغرى في الفئة الأولى  $Mg= 0.45\%$  أو قريبة منها في الفئة الثانية بما يتوافق مع التركيب الكيميائي المعياري للسبيكة AA-6063. حيث إن لرفع درجة حرارة تسخين البيليت بشكل كبير تأثير معاكس على انخفاض سرعة البثق وذلك بغرض المحافظة على درجة حرارة خروج مستقرة للمقطع المبتوق و التخفيض من درجة حرارة الاحتكاك مع القالب. عادةً ما يتم قياس درجة حرارة البيليت باستخدام مقياس حرارة تلامسي كما هو مبين في (الشكل 16).



الشكل 16. قياس درجة حرارة بيليت الألمنيوم بعد التسخين المسبق قبل البثق

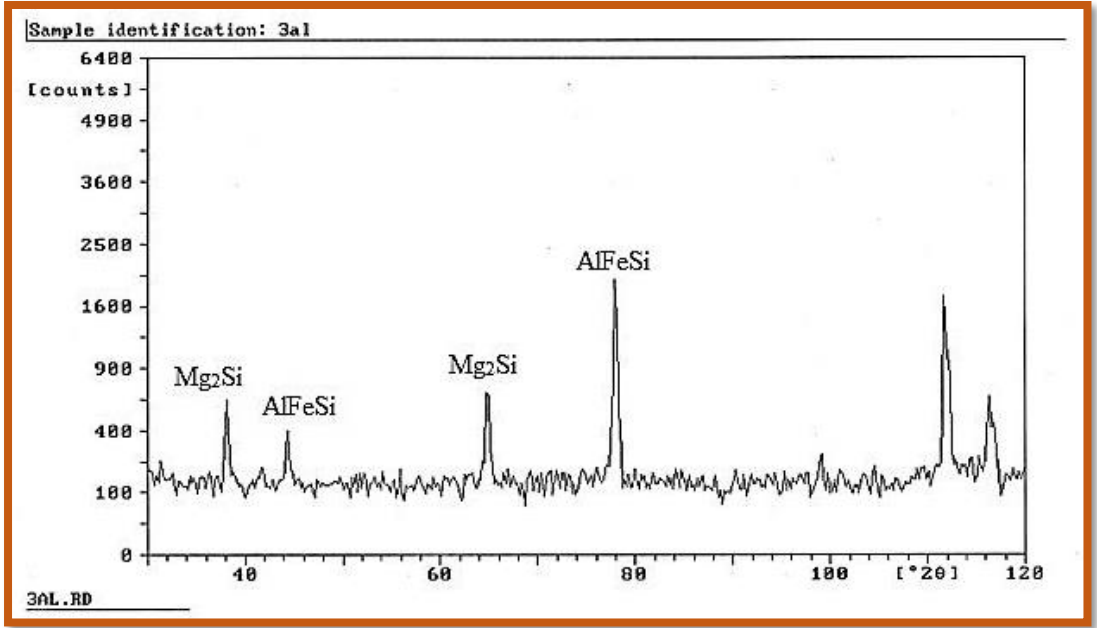
يوضح (الشكل 17) تطور البنية المجهرية لدرجة حرارة تسخين للبيليت عند  $485^{\circ}\text{C}$  ولأزمنة تسخين مختلفة, تم التبريد بالهواء:



الشكل 17. تطور البنية المجهرية لدرجة حرارة تسخين  $485^{\circ}\text{C}$  وأزمنة مختلفة  
(a). 2hr, (b). 4hr

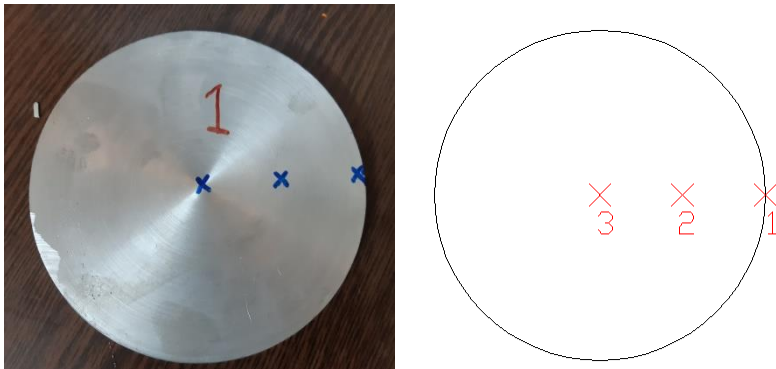
تم اختيار زمن الإبقاء عند 2-4hr بما يتوافق مع الواقع الصناعي حيث تقوم العديد من المصانع المحلية والعالمية باعتماد فرن تسخين متعدد البيليت والذي تتراوح سعته عادةً بين 8-12 عمود بيليت. نلاحظ من (الشكل 17) انحلال جيد للعديد من رواسب  $\text{Mg}_2\text{Si}$ , ما تبقى من الرواسب يتم انحلالها عادةً لدى البثق حيث تصل درجة حرارة خروج المقطع المبتثق بين  $510-550^{\circ}\text{C}$  [6].

تم ملاحظة أيضاً أنه بازدياد زمن الإبقاء يزداد مقدار الانحلال, نلاحظ انخفاض قمم الأطوار  $\text{Mg}_2\text{Si}$  و  $\text{AlFeSi}$  بعد التسخين المسبق والذي قد يدل على انحلال جزء جيد منها وانخفاض كثافتها. كما تم التأكد من ذلك بقياس قساوة البيليت فتم ملاحظة انخفاض القساوة بمقدار 8-10 Hv , مثلاً من 56.7Hv إلى 48.1Hv ومن 53Hv إلى 43Hv.



الشكل 18. نتائج تحليل XRD لبيليت الألمنيوم بعد التسخين المسبق

ومن أجل معرفة تجانس العناصر المنحلة تم أخذ قراءة جهاز التحليل الطيفي من مناطق مختلفة من عينة قرص عمود البيليت من المركز باتجاه الحافة كما هو موضح في (الشكل 19).



الشكل 19. أخذ قراءة التحليل الطيفي من مناطق مختلفة من قرص عمود البيليت 6inch



وكانت النتائج كالتالي:

**الجدول 7. تحليل تركيز العناصر من مناطق مختلفة, قطر البيليت 6inch**

	Fe%	Mg%	Si%	Mn%	Ti%	Cu%	Al%
بالقرب من الحافة	0.742	0.650	0.456	0.205	0.007	0.212	97.3
بين الحافة و المركز	0.731	0.651	0.446	0.206	0.007	0.181	97.3
بالقرب من المركز	0.718	0.653	0.441	0.205	0.008	0.180	97.3

إن تغير التركيب الكيميائي محدود و طفيف من الحافة باتجاه الداخل والذي يدل على تجانس توزع العناصر المنحلة بشكل جيد و على عدم تواجد ملحوظ لظاهرة الانعزال الميكروي بالنسبة لهذه العناصر.

**4-4- مقارنة إنتاجية:**

تمت تجربة أداء البيليت على مكبس البثق 1250ton بعد مراعاة الضوابط المدروسة حالياً بغرض الحصول على بيليت (محسن) رغم غياب عملية المجانسة الحرارية ناتج عن تالف السكراب و تجربة أدائه من ناحية ضغط المكبس و سرعة البثق ليتم مقارنته بالبيليت النخب الثاني (غير المجانس) المستخدم سابقاً بدون هذه الضوابط, كما تمت مقارنته بالبيليت النخب الأول (المجانس) المستورد عادةً والناتج من الفلز مباشرة. تم ذلك بالاعتماد على بيانات المعمل (شركة الزين).



الشكل 20. مكبس بثق ألمنيوم 6inch - شركة الزين

تمت تجربة البيليت على قوالب مفتوحة و مغلقة, و لفتحة واحدة أو عدة فتحات لأخذ نتائج شاملة, مع أخذ نسبة البثق أو التخفيض بعين الاعتبار extrusion ratio, حيث يتم حساب نسبة البثق (نسبة التخفيض) R كما يلي:

$$R = \frac{\text{مساحة مقطع البيليت}}{\text{مساحة المقطع المبتثق}} = \frac{\pi D^2 / 4}{n \cdot A}$$

D: قطر البيليت, A: مساحة المقطع المبتثق, n: عدد الفتحات في القالب

وتتراوح نسب البثق للقوالب المستخدمة من أقل قيمة عند 40 مرة إلى أكبر قيمة عند

110 مرة بما يتوافق مع التصنيف المرجعي. [1]



(a)



(b)



(c)



(d)

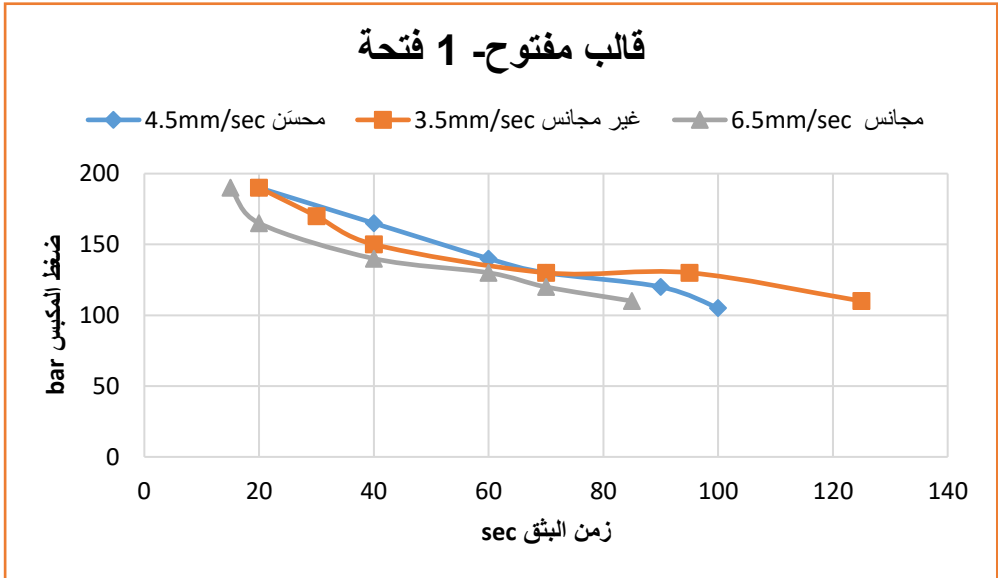
الشكل 21. بعض عيوب سرعة البثق الزائدة على مقطع بروفيل الألمنيوم

- (a) قالب مفتوح عدد 1 فتحة، نسبة التخفيض 63 مرة، طول البيليت 440mm  
(b) قالب مفتوح عدد 2 فتحة، نسبة التخفيض 85 مرة، طول البيليت 360mm  
(c) قالب مغلق عدد 1 فتحة، نسبة التخفيض 90 مرة، طول البيليت 310mm  
(d) قالب مغلق عدد 2 فتحة، نسبة التخفيض 52 مرة، طول البيليت 370mm

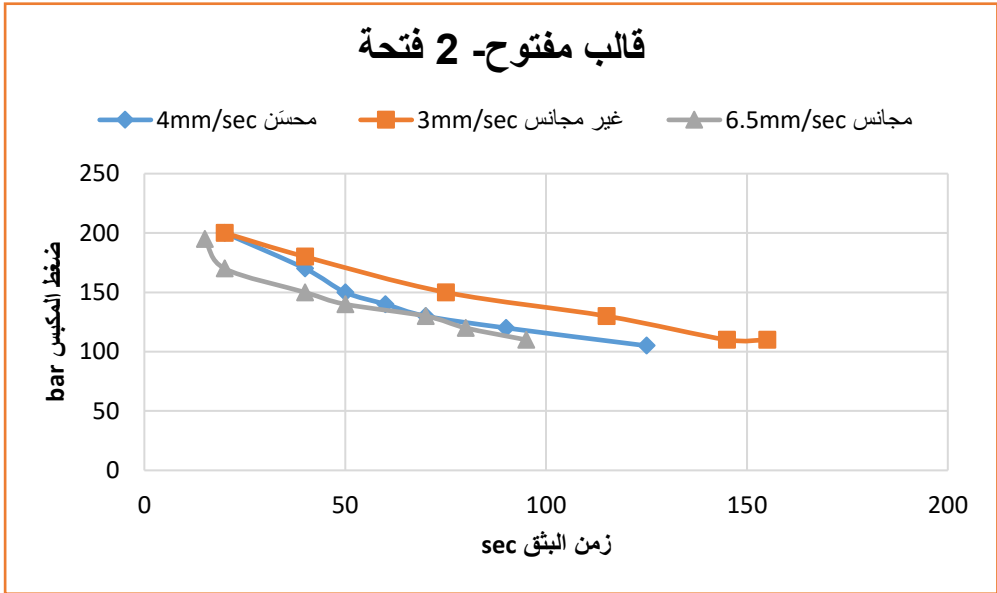
وكانت النتائج كالآتي:

الجدول 8. مقارنة السرعات الإنتاجية, سرعة البثق mm/sec

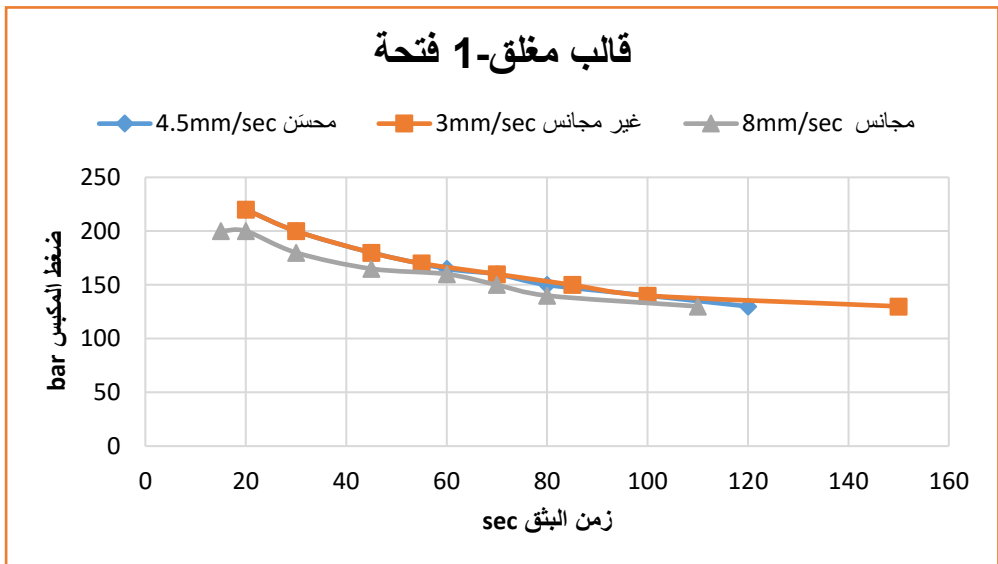
	بيليت مجانس (مستخدم سابقاً)	بيليت غير مجانس (مستخدم سابقاً)	بيليت غير مجانس محسّن (الدراسة الحالية)
قالب مفتوح (فتحة واحدة)	6.5	3.5	4.5
قالب مفتوح (فتحتين)	6.5	3	4
قالب مغلق (فتحة واحدة)	8	3	4.5
قالب مغلق (فتحتين)	8	3	4.5



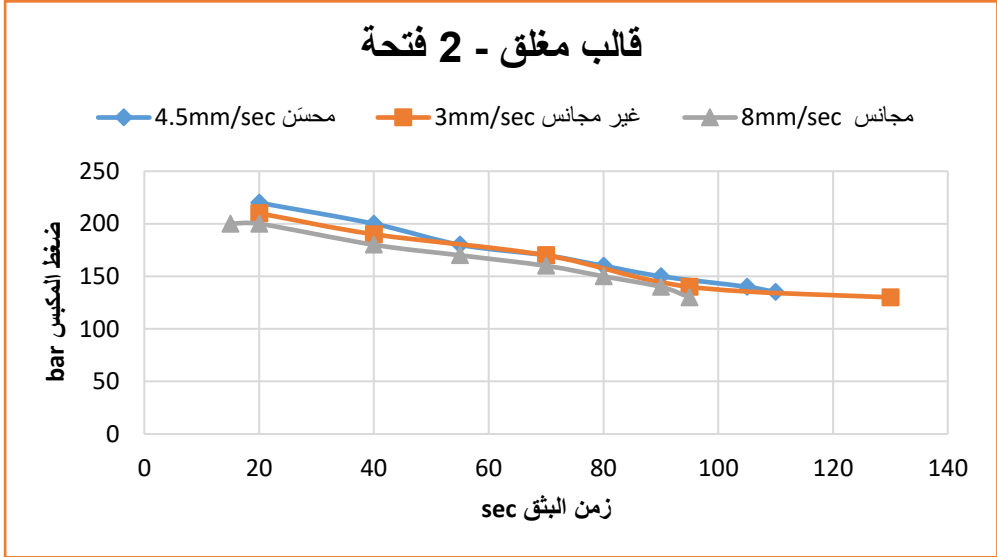
(a)



(b)



(c)



(d)

الشكل 22. تغير سرعة وضغط المكبس تبعاً لنوع البيليت المستخدم في البثق لقوالب مفتوحة ومغلقة

إن الحاكم الرئيسي لسرعة البثق هو ضغط المكبس و جودة القضيب المبتوق, لذا يجب الانتباه إلى ضرورة تحقيق التوازن بين زيادة معدلات الإنتاج وبين ضبط جودة قضبان الألمنيوم المبتوقة كما هو مبين في (الشكل 23) الذي يظهر بعض عيوب البثق المتشكلة على القضبان نتيجة زيادة سرعات البثق أو سوء في جودة البيليت.

تمت تحقيق إنتاجيات متوسطة بين البيليت المجانس النخب الأول والبيليت غير المجانس المستخدم سابقاً حيث كان إنتاج البيليت غير المجانس يعادل تقريباً 40% من إنتاج البيليت المجانس الأولي المصبوب من الفلز. و تم تحسينها إلى حوالي 55-60% باتباع التوصيات السابقة رغم غياب عملية المجانسة الحرارية.



(a)



(b)



(c)



(d)

الشكل 23. بعض عيوب سرعة البثق الزائدة على مقطع بروفيل الألمنيوم  
(a) خشونة عالية، (b) تشوه في المقطع الهندسي (تموجات)  
(c) تشكل ندوب و انخماصات في مقطع البروفيل، (d) تشققات في مقطع البروفيل

#### 5- مناقشة النتائج:

- أظهرت نتائج الفحص المجهرى لعينات من البيليت بعد الصب حبيبات ذات حجم متباين تبعاً لمعدلات التبريد، وتوزع غير منتظم للطور  $Mg_2Si$  وذلك في معظم أماكن البنية المجهرية إضافة للطور  $\beta: AlFeSi$  المتواجد على حدود البلورات. والتي تؤدي إلى ضغوط عالية خلال عملية البثق بسبب صعوبة انحلال الجزيئات الكبيرة منها خلال مرحلة تسخين البيليت قبل البثق.

- كانت قساوة البيليت غير المجانس أعلى من البيليت المجانس و يمكن ربط القساوة العالية للبيليت بظهور رواسب  $Mg_2Si$  و  $AlFeSi$  في السبيكة و بظاهرة الانعزال الميكروي لها أي توزعها بشكل غير متناسق.

- يجب إبقاء درجة حرارة الصب منخفضة لجعل عملية التصلب أسرع خاصةً باتجاه الداخل, ففي حال كانت درجة حرارة الصب مرتفعة جداً فإن مركز البيليت سيبقى فوق خط السيولة لفترة طويلة وسينتج عن هذا إعادة انصهار لجزء كبير من البلورات المتعددة عن جدار البيليت ما يؤدي إلى تشكيل بنية منتظمة عند القشرة وبالقرب من جدار البيليت وتمتد بشكل عمودي باتجاه الداخل. بينما في حال كانت درجة الحرارة منخفضة نسبياً فإن المصهور سينتقل بسرعة تحت خط السيولة وتتشكل البلورات بسرعة مما يساعد على تشكل بنية بلورية منتظمة متكاملة. أيضاً باعتماد سرعات صب أعلى فإننا نحصل على معدل تبريد وتجمد أعلى, كما أنه بازياد سرعة الصب تتناقص سماكة قشرة التجمد (الطبقة المؤكسدة القاسية).

- إلا أنه نتيجة الفروق الحرارية الكبيرة بين المركز و سطح البيليت الناتجة عن آلية التبريد والتي تؤدي إلى إجهادات حرارية إضافةً إلى سرعات الصب الكبيرة فإن العديد من العيوب قد تنشأ أثناء الصب مثل المسامات, انعزال ميكروي, تشققات, شرشرة سطحية .Bleed Outs



## 6-الاستنتاجات والتوصيات:

-في ضوء الدراسات المحلية، فإنه ينصح بتحسين جودة المعدن الخام باتباع تركيب كيميائي صحيح، استخدام نظام فلترة مناسب وتطبيق إجراءات الصب بشكل صحيح للحصول على جودة بيليت جيدة.

-بالحصول على معدلات تبريد وتصلب أسرع تم الحصول على بنية مجهرية ناعمة وتوزع أكثر انتظاماً للبلورات.

-بازدياد معدلات التبريد يتناقص حجم البلورات، تناقص قياس البلورات من حوالي  $240\mu\text{m}$  إلى ما دون  $160\mu\text{m}$ . إن القياس الوسطي الحبيبات مقارب للدراسة المرجعية Birol [7] و ZHANG [12] التي كانت عند  $150\mu\text{m}$ .

-إن الحصول على بلورات أكثر انتظاماً ونعومة يؤدي إلى تكسر الطور  $\text{AlFeSi}$  المتواجد على حدود الحبيبات وبالتالي التقليل من أثرها الحاد.

- بتسخين البيليت فوق خط الانحلال قبل عملية البثق يمكن الحصول على انحلال جيد لعناصر  $\text{Mg}$ ,  $\text{Si}$  والطور  $\text{Mg}_2\text{Si}$ . كما أن تسخين البيليت يجب أن يتم بشكل سريع بحيث يتجاوز خط الانحلال ولزمن إبقاء لا يقل عن 2-4hr لضمان أكبر انحلال ممكن لمركبات  $\text{Mg}_2\text{Si}$ .

- من أجل الحصول على درجة حرارة انحلال منخفضة  $485^\circ\text{C}$ ، تكون نسب المغنيزيوم المثالية عند الحدود الدنيا عند 0.45-0.5% بينما تكون نسب السليكون المثالية عند الحدود الوسطى عند 0.4-0.45% تبعاً للتركيب الكيميائي المعياري للشبيكة AA-6063.

## References

1. Pradip K. Saha 2000, Aluminum Extrusion Technology, ASM International United States of America (2000).
2. Shahani, R., Collet, R.T., Sigli, C.: Optimized 6xxx alloy billet performance: a structured approach. In: Proceedings of the Seventh International Aluminum Extrusion Technology Seminar, rvol. 2, pp. 13–22 (2000)
3. M. J. Couper, M. Cooksey, B. Rinderer, Effect of Homogenisation Temperature and Time on Billet Microstructure and Extruded Properties of Alloy 6061, Comalco Research & Technical Support, Comalco Aluminium Ltd., Australia.(2000)
4. A.F.M. Arif , A. K. Sheikh , S.Z. Qamar , M.K. Raza , K.M. Al-Fuhaid, Product Defects in Aluminum Extrusion And Their Impact On Operational Cost, The 6th Saudi Engineering Conference, KFUPM, Dhahran, December (2002).
5. Dr Paul Cooper and Allan Barber, REVIEW OF THE LATEST DEVELOPMENTS AND BEST USE OF GRAIN REFINERS, Presented at the 2nd International Melt Quality Workshop, Prague, Czech Republic, 16-17th October (2003).
6. Qamar, S.Z.: Modeling and analysis of extrusion pressure and die life for complex aluminium profiles. Ph.D. thesis, King Fahd University of Petroleum & Minerals, pp. 250–277 (2004)
7. Birol,Y:The effect of homogenization practice on the microstructure of AA6063 billets. J. Mater. Process. Technol. 148, 250–258 (2004)
- 8- G. KUGLER et al.: WEAR BEHAVIOUR OF NITRIDED, WEAR BEHAVIOUR OF NITRIDED MICROSTRUCTURES OF AISI H13 DIES FOR HOT EXTRUSION OF ALUMINIUM, ISSN 0543-5846, M ETABK 45 (1) 21-29 (2006)
9. Hai Hao, Xingguo Zhang, Shan Yao and Junze Jin, improvement of Casting Speed and Billet Quality of Direct Chill Cast Aluminum Wrought Alloy with Combination of Slit Mold and Electromagnetic Coil, Materials Transactions, Vol. 48, No. 8 pp. 2194 to 2201, The Japan Institute of Metals (2007)
10. S. S. Akhtar A. F. M. Arif B. S. Yilbas, Performance of Al-6063 Primary and Secondary Billets Used in Hot Aluminum Extrusion, Journal of Manufacturing Science and Engineering Vol 131 (2009)

11. A. F. M. Arif S. S. Akhtar A. K. Sheikh, Effect of Al-6063 Billet Quality on the Service Life of Hot Extrusion Die: Metallurgical and Statistical Investigation, J Fail. Anal. and Preven. 9:253–26 (2009)
12. L. ZHANG, D.G. ESKIN, A. MIROUX, T. SUBROTO, and L. KATGERMAN, Influence of Melt Feeding Scheme and Casting Parameters During Direct-Chill Casting on Microstructure of an AA7050 Billet, The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International (2012)
13. C. Mapelli , A. Gruttadauriaa, M. Peroni , Application of electromagnetic stirring for the homogenization of aluminium billet cast in a semi-continuous machine, Journal of Materials Processing Technology 210 306–314 (2010)
14. Koray TURBALIOĞLU and Yavuz SUN, The improvement of the mechanical properties of AA 6063 aluminum alloys produced by changing the continuous casting parameters, scientific Research and Essays Vol. 6(13), pp. 2832-2840, 4 July, (2011).
15. Samson O. Adeosun & Emmanuel I. Akpan 2013, Pouring Temperature Effects on Mechanical and Electrical Responses of Cast 6063 Aluminum Alloy, The Journal of the Association of Professional Engineers of Trinidad and Tobago, Vol.41, No.1, pp.4-10, (2013)
16. Juan Asensio-Lozano, Beatriz Suárez-Peña and George F. Vander Voort , Effect of Processing Steps on the Mechanical Properties and Surface Appearance of 6063 Aluminium Extruded Products, Materials, 7, 4224-4242; (2014)
17. Shadi Al Khateeb, Amin Al robaidi, Radwan Dweiri, Ahmad Lebzo, and Mahmood Al-Sawa'adeh, Mechanical Failure Study of Aluminum Extrusion Dies as Affected by the Quality of the Billets, Journal of Testing and Evaluatio, Vol.42, No.4, pp. 1016–1024, (2014)
18. Ajide O.O., Oyedele J.O., Salau T.A.O. and Abu R., Investigating the Influence of Casting Parameters on the Mechanical and Microstructural Characteristics of Grade Al6063 Alloy, American Journal of Engineering Research (AJER) e-ISSN: 2320-0847 p-ISSN : 2320-0936 Volume-6, Issue-7, pp-181-190 (2017)

19. Senthil Murugan Subramanian, Maheswaran Karuppaiah, Hardness Property Measurement, Grain Size Reduction and Heat Treatment of AA6061+CuO Composite with and without TiB2 Addition, International Information and Engineering Technology Association, Composites et des Materiaux Avances Vol. 29, No. 1, February, pp. 33-37, (2019)
20. [https://en.wikipedia.org/wiki/6063\\_aluminium\\_alloy](https://en.wikipedia.org/wiki/6063_aluminium_alloy)
21. [https://www.tppinfo.com/metallurgical\\_lab/etchant.html](https://www.tppinfo.com/metallurgical_lab/etchant.html)

ملحق

Measure Window - Elements: Concentration

File Edit Measure Program Instrument Extras Help

Sample No: \_\_\_\_\_ Quality: \_\_\_\_\_

Sample Id: \_\_\_\_\_

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni
1	0.4563	0.742	0.2125	0.2056	0.650	0.3207	0.0096
2	0.4460	0.731	0.1810	0.2067	0.651	0.3273	0.0091
3	0.4411	0.718	0.1805	0.2056	0.653	0.3283	0.0088

	Cr	Pb	Sn	Ti	Ag	Be	Bi
1	0.0085	0.0926	0.0037	0.0076	0.0009	0.0001	<0.0010
2	0.0081	0.0899	0.0035	0.0079	0.0009	0.0001	<0.0010
3	0.0080	0.0880	<0.0030	0.0088	0.0009	0.0001	<0.0010

	Ca	P	Sb	V	Bg	Al
1	0.0014	<0.0010	<0.0001	0.0042	97.3	97.3
2	0.0015	<0.0010	<0.0001	0.0042	97.3	97.3
3	0.0025	<0.0010	<0.0001	0.0042	97.3	97.3

الشكل 23. نتائج التحليل الطيفي لأماكن مختلفة من قرص البيليت

1- عند الحافة

2- عند الوسط

3- عند المركز

Measure Window - Elements: Concentration

File Edit Measure Program Instrument Extras Help

Sample No: \_\_\_\_\_ Quality: \_\_\_\_\_

Sample Id: \_\_\_\_\_

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni
1	0.535	0.2202	0.0324	0.0034	0.5297	0.0078	0.0043

	Cr	Pb	Sn	Ti	Ag	Be	Bi
1	0.0023	0.0024	<0.0030	0.0177	0.0006	0.0001	<0.0010

الشكل 24. تحليل عينات ألمنيوم بجهاز التحليل الطيفي  
 عينة ألمنيوم من بيليت أساسي مجانس مصبوب من الفلز

Sample No:	Quality:	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Zn %	Ni %
1		0.4923	0.366	50770	0.1531	0.576	0.1913	0.0102
Sample No:	Quality:	Cr %	Pb %	Sn %	Ti %	Ag %	Be %	Bi %
1		0.0136	0.0292	0.0092	0.0152	0.0009	0.0001	<0.0010
Sample No:	Quality:	Ca %	P %	Sb %	V %	Bi %	Al %	
1		0.0067	<0.0010	0.0107	0.0073	97.9	97.9	

(a)

Sample No:	Quality:	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Zn %
1		0.4802	0.3536	0.1211	0.1246	0.705	0.1173
2		0.4975	0.3319	0.1731	0.1170	0.703	0.1290
Sample No:	Quality:	Cr %	Pb %	Sn %	Ti %	Ag %	Be %
1		0.0198	0.0591	0.0092	0.0108	0.0013	0.0002
2		0.0118	0.0694	0.0047	0.0109	0.0009	0.0002
Sample No:	Quality:	Ca %	P %	Sb %	V %	Bi %	Al %
1		0.0152	<0.0010	0.0109	0.0056	97.9	97.9
2		0.0025	0.0056	0.0053	0.0053	97.9	97.9

(b)

الشكل 25. تحليل عينات ألنيوم بجهاز التحليل الطيفي  
a,b. عينات ألنيوم من بيليت ثانوي مصبوب من التالف



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

الشكل 26. قساوة فيكرز لعينات بيليت ألومنيوم



## تحليل العوامل الفاعلة في تشكيل الغيمة الإلكترونية ومساحة مقطعها الراداري

محمد أسعد، محمد نجيب صلاحو\*، غزوان الخوري\*\*، يحيى فريد\*\*\*  
طالب دكتوراه قسم هندسة الاتصالات، كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية، جامعة حلب  
\* أستاذ في قسم هندسة الاتصالات، كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية، جامعة حلب  
\*\* أستاذ مساعد في فرع هندسة اللاسلكي والرادار، أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية  
\*\*\* أستاذ في قسم هندسة الاتصالات، كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية، جامعة حلب

### الملخص

تعتبر الغيمة الإلكترونية من وسائل الدفاع والتمويه الناجحة في التكتيكات العسكرية منذ أمد بعيد، لذلك تمت دراستها وتطوير تقنيات تصنيعها بشكل موسع، كما تم تقديم العديد من النماذج والمعادلات الرياضية التي توصف طبيعة عمل هذه الغيمة، وذلك لتقييم الأداء وتحليله قبل اطلاقها في الميدان مباشرة.

تُطلق الغيمة الإلكترونية في الجو ضمن ظروف طبيعية يصعب محاكاتها مخبرياً وبالتالي يصعب التنبؤ بسلوك هذه الغيمة وحساب قيمة مساحة المقطع الراداري الخاص بها RCS (Radar Cross Section) تم اختيار مجموعة من المعاملات التي تعتبر من أكثر المعاملات تأثير على شكلها وسلوكها وهي: أثر الرياح وسرعتها - ظاهرة دوبلر - وزن وعدد الديبولات المكونة للغيمة وفقاً للمادة المصنوعة منها، ومن ثم تقديم مجموعة من المعادلات الرياضية ونمذجتها باستخدام لغة برمجية عالية المستوى مع واجهة تخاطبية بسيطة.

الكلمات المفتاحية: الغيمة الإلكترونية، أثر دوبلر، RCS، التشويش والتمويه.

## Analyzing of the Impact Factors on the Chaff Cloud Formation and Its RCS

Mohammad Asaad, M.Najib Salaho\*, Ghazwan Alkhoury\*\*, Yahia Fareed\*\*\*

Postgraduate Student (PhD) Telecommunication Engineering Dep., Faculty of Electrical & Electronic Engineering, University of Aleppo

\*Professor in Telecommunication Engineering Dep., Faculty of Electrical & Electronic Engineering, University of Aleppo

\*\*Assistant Professor in Wireless and Radar Engineering Branch, Al-Assad Academy of Military Engineering

\*\*\*Professor in Telecommunication Engineering Dep., Faculty of Electrical & Electronic Engineering, University of Aleppo

### Abstract

Chaff cloud has been considered a successful defense and camouflage tools in military tactics for a long time, which used in military radar applications by generate false targets and produce Radar Cross Section (RCS) similar to the object to be camouflaged, so it has been studied and developed extensively especially in manufacturing techniques.

Many models and mathematical equations describing the nature of the chaff cloud had presented, in order to evaluate and analyze performance before launching it in the field directly. Chaff cloud is released into the atmosphere under natural conditions that are difficult to simulate and study in laboratory environment, and therefore it is difficult to predict the behavior of this cloud and estimate RCS value.

A set of an impact factors have been choesn that directly affect the chaff cloud shape and behavior: Wind speed and turbulence - Doppler phenomenon - material of dipoles – number of cuts – the general weight of cloud, and then presenting a set of mathematical equations using a high-level programming language with a user friendly interface which model that impact.

**Keywords:** Chaff cloud, Radar Cross Section, Passive jamming

## 1- مقدمة:

تُعرف الغيمة على أنها مجموعة من الرقائق أو القطع المعدنية التي تنتشر بكميات كبيرة على هيئة حزم، والتي تعكس اشارات الرادار التي تصطدم بها لتحاكي هدف ما، وعادة ما تكون الرقائق من الألمنيوم أو الألياف الزجاجية المطلية بمعدن ما، وتحوي كل حزمة على آلاف العواكس التي يحدد طولها وفقاً لطول موجة الرادار ولهذا تسمى الغيوم المستخدمة في الحزمة الترددية HF والحزمة VHF بغيمة الحبال بسبب الطول الكبير لطول موجة الإشارة. [1]

تستخدم الغيوم الإلكترونية عموماً في ثلاثة تطبيقات أساسية:

1- يمكن أن تحاكي الغيمة الثابتة هدف حقيقي وبالتالي تصبح بمثابة فخ للرادارات التي لا تمتلك القدرة على ترشيح اثر دوبلر.

2- يمكن أن تخفي هدف حقيقي ضمنها أو خلفها كطائرة مثلاً.

3- يمكن نشر عدد كبير من الغيوم الإلكترونية على مساحة جغرافية كبيرة، وبالتالي تؤمن التشويش على الرادارات قبل البدء بغارة أو أن تكون مجرد عملية إرباك للدعوى.

تكون العواكس عادة من رتبة طول موجة الرادار المراد التشويش عليه ومن الممكن استخدام عدد من الأطوال المختلفة وبالتالي تغطية مجال ترددي أكبر والحصول على قيمة كبيرة لسطح المقطع الراداري (RCS (Radar Cross Section). يتم إطلاق هذه الغيوم عبر الألعاب النارية أو الصواريخ أو قذائف الهاون وعادة يتم النشر بطريقة ميكانيكية أو نارية، حيث يستخدم الطرد الميكانيكي رقائق صغيرة من الورق المقوى التي تفتح اثناء الاطلاق. ويبين الشكل (1) أحد أشكال الغيوم الإلكترونية، كما يمكن استخدام القذف الناري وذلك من خلال الغازات الساخنة المتولدة في حجرة الانفجار التي تدفع مكبساً بلاستيكيّاً صغيراً لأسفل أنبوب مملوء بالعواكس الذي يكون بطول 8 بوصات وبمقطع عرضي 1 بوصة مربعة، مما يؤدي إلى إخراج الغطاء البلاستيكي لتتبعه ألياف الغيمة. [2]

تعتبر هذه الطريقة في التمويه من طرق التشويش السلبي المصطنع ويهدف التشويش عموماً إلى تقليل فعالية الوسائط الإلكترونية ويمكن تنفيذه بعدة أشكال منها:

- استخدام مشعات خاصة تؤثر على المستقبلات.

- استخدام أهداف كاذبة.
- استخدام إرساليات خادعة.



الشكل (1) أحد أشكال الغيوم الإلكترونية [3]

## 2- الدراسة المرجعية:

يوجد العديد من الدراسات التي قامت بنمذجة الغيمة الإلكترونية وإيجاد المعادلات الرياضية التي تصف عملها وضمن بيئات عمل مختلفة للوصول بالمحاكاة الى أقرب سلوك يحاكي سلوك الغيمة الحقيقي في الجو وتفاعلها مع البيئة من جهة والإشارة الكهربائية من جهة أخرى، حيث قدم البحث [4] نموذجاً رياضياً للغيمة الإلكترونية المنتشرة في الجو بالاعتماد على استخدام معادلة الانتشار - رد الفعل العكسي ومن ثم تطبيق نظرية نقل الشعاع (Vector Transport Theory) والحصول على بارامترات الانعكاس للغيمة الإلكترونية، وقدم البحث [5] دراسة عددية للطاقة الحركية للغيمة الإلكترونية تحت تأثير سرعة تدفق الرياح العالية وتوصل إلى أن عملية تشتت الغيمة تستغرق حتى الثبات خمسة ثواني في ظل السرعة العالية وبشكل شبه مخروطي، كما تمت دراسة تأثير التخمد الإيروديناميكي على دوران عناصر الغيمة، ومن وجهة نظر أخرى درس البحث [6] أثر سماكة الطلاء المعدني المغلف لألياف الغيمة الإلكترونية على مساحة السطح العاكس الراداري باستخدام برنامج

Ansyst HFSS حيث وجد الباحثون بأنه كلما تمت زيادة سماكة المادة الناقلة المغلفة كلما زاد الانعكاس الكهرومغناطيسي الناتج عن الغيمة، وذلك حتى قيم معينة بحيث لا تتجاوز عمق القشرة للمعدن المستخدم عند التردد المدروس لأن الزيادة لن تكون مجدية حينئذ وبالتالي بعد تلك القيمة لن يكون هنالك أي تأثير ملحوظ في زيادة قيمة السطح العاكس الراداري بل على العكس سيكون له تأثيراً سلبياً من خلال إضافة وزن زائد لجملة وزن الغيمة الإلكترونية ولكن لم يتم التطرق إلى ماهية الطلاء (الألياف) وإنما كانت دراسة تحليلية تجريدية، أما البحث [7] فتطرق إلى عملية تشكل الغيمة وفق مرحلتين: مرحلة التشتت السريع ومرحلة الانتشار المستقر وتمت دراسة الخواص الكهرومغناطيسية من خلال نظرية الامتصاص ونظرية الإشعاع الديبولي، وبينت الدراسة [8] خاصية جديدة لاستقطاب الغيمة تفيد بتغير الانعكاسية التفاضلية مع الارتفاع خلال عملية التشتت وقدمت نموذجاً رياضياً يصف هذه الظاهرة. وبالنسبة للبحث [9] فكان عبارة عن دراسة قدرة الغيمة الإلكترونية على التموهية في الأيام الماطرة، وذلك من خلال دراسة تأثير المطر على تخميد إشارة الرادار في عدة درجات من المطر، والتي أظهرت بأن كفاءة التشويش ازدادت مع المطر وفي السياق ذاته قدم البحث [10] دراسة عن خصائص انتشار الغيوم الإلكترونية في الغلاف الجوي، حيث تم الحصول على قيم مختلفة للتخميد في عدد من الشروط الحدية من خلال دراسة معاملات الانعكاس، وبالتالي دراسة خصائص الغيمة.

مما سبق يُلاحظ بأن الأبحاث السابقة لم تناقش تأثير سرعة الرياح على خصائص الغيمة وسلوكها أو نوع المادة المعدنية المستخدمة مع وزنها وعددها وبالتالي تميز بحثنا هذا بدراسة معامل الانعكاس على الديبولات المكونة للغيمة الإلكترونية واستخدام المعدن المناسب من حيث الكلفة والوزن والأداء، وكذلك توضيح علاقة الحزمة الترددية المستخدمة على عدد العواكس ووزن الغيمة العام للحصول على قيمة مقطع راداري معين بالإضافة إلى دراسة تأثير الرياح واضطراباتها على تابع كثافة الطاقة للإشارة المنعكسة عن الغيمة ضمن مجال انزياح دوبلري معين ودراسة تأثير سرعة

الرياح على تابع الكثافة، وبالتالي يُعتبر هذا البحث من الأبحاث القيمة التي يمكن أن تُساهم في تحسين أداء المحطات الرادارية في ظروف التشويش السلبي بكافة أنواعه.

### 3- أهمية البحث وأهدافه:

تتجلى أهمية البحث في دراسة العوامل المؤثرة على قيمة المقطع الراداري للغيمة الإلكترونية من عدة جوانب، وهي:

1- دراسة معامل الانعكاس على الديبولات المكونة للغيمة الإلكترونية واستخدام المعدن المناسب من حيث الكلفة والوزن والأداء.

2- دراسة علاقة الحزمة الترددية المستخدمة على عدد العواكس ووزن الغيمة العام للحصول على قيمة مقطع راداري معين.

3- دراسة تأثير الرياح واضطراباتها على تابع كثافة الطاقة للإشارة المنعكسة عن الغيمة ضمن مجال انزياح دوبلري معين.

4- دراسة تأثير سرعة الرياح على تابع الكثافة.

### 4- بنية الغيمة الإلكترونية:

غالباً ما تستخدم القصاصات المعدنية (الديبولات) العاكسة المولدة للتشويش السلبي المصطنع، ويتم اختيار طول وسماكة الديبولات بشكل يؤمن انعكاس كافة الأمواج تقريباً عن هذه الديبولات مما يؤدي إلى ظهور بقعة مضيئة للتشويش السلبي على شاشات جميع المحطات الرادارية بمختلف أطوال أمواجها، وكقاعدة يجب أن يختار طول الديبول مساوياً لعدد صحيح من أنصاف طول الموجة للمحطة الرادارية المراد التشويش عليها بهدف زيادة استطاعة التشويش السلبي.

يتم تمويه إشارة الأهداف الحقيقية والتأثير على عمل محطة الرادار باستخدام التشويش السلبي بطريقتين:

1- رمي القصاصات المعدنية.

2- رمي العواكس الديبولية.

بالنسبة للقصاصات المعدنية والتي هي شرائح معدنية مصنوعة من معدن خفيف مثلاً الألمنيوم (ممكن أن تكون كذلك أوراق قصدير) تُرمى من الطائرات بأعداد كبيرة على شكل حزم تحوي كل منها آلاف الشرائح بأطوال موجية قريبة، وأحياناً مساوية تماماً طول الموجة العاملة للرادار وتقوم بتمويه الأهداف ضمن منطقة الكشف الراداري ويمكن أن تظهر في بعض الأحيان كأهداف كاذبة على الشاشة، ويسمى التشويش السلبي باستخدام القصاصات ضمن مجال الترددات (VHF، HF) بالتشويش المقيد rope chaff ويرمى هذا النوع من التشويش بثلاثة أشكال هي:

أولاً- مَرَكز بحيث تقلد الهدف الحقيقي.

ثانياً- يُشكل ممر خلف الطائرات المشاركة بالهجوم لإخفائها وتضليل صواريخ الدفاع الجوي عنها.

ثالثاً- يُشكل غيمة منتشرة على مجال واسع تخفي الممر الحقيقي للهجوم والأهداف المهاجمة.

أما الديبولات العاكسة فهي عناصر مصنوعة من معدن خفيف مثل الألمنيوم أو من الزجاج المكسو بالألمنيوم ترمى في الجو لتعكس طاقة الرادار مقلدةً بذلك إشارة منعكسة عن هدف حقيقي ذي سطح عاكس فعال كبير وغالباً ما يتم رميها برزم تحوي ديبولات مختلفة الأطوال لتؤثر على مجموعة من الرادارات بأن واحد. تتمتع العواكس الديبولية بسطح عاكس فعال كبير نسبياً، تفوق شدة إشارات التشويش السلبي أحياناً مستوى الضجيج الداخلي للمستقبل بمقدار  $(30 \div 80)dB$  مما يؤدي إلى إشباع مستقبل المحطة الرادارية وضياح الإشارات المفيدة كذلك يمكن أن تصل الإشارات المفيدة مع إشارات التشويش السلبي في آن واحد وهنا يصعب تمييز إشارة الهدف الحقيقي عن التشويش وبالتالي عدم الكشف.

إن إشارات الأهداف الثابتة هي إشارات الأصداء الثابتة المنعكسة عن أجسام واقعة ضمن حجم نبضي لمخطط الإشعاع الهوائي.

إن جميع أنواع الأصداء الثابتة أو المتحركة بشكل بطيء مثل التضاريس الأرضية أو الغيوم أو مجموعات كبيرة من الطيور أو حتى رقائق التشويش السلبي تعطي إشارات انعكاس غير مرغوبة تدعى ضوضاء (Cluter) والتي تملأ شاشة الرادار. يُشكل

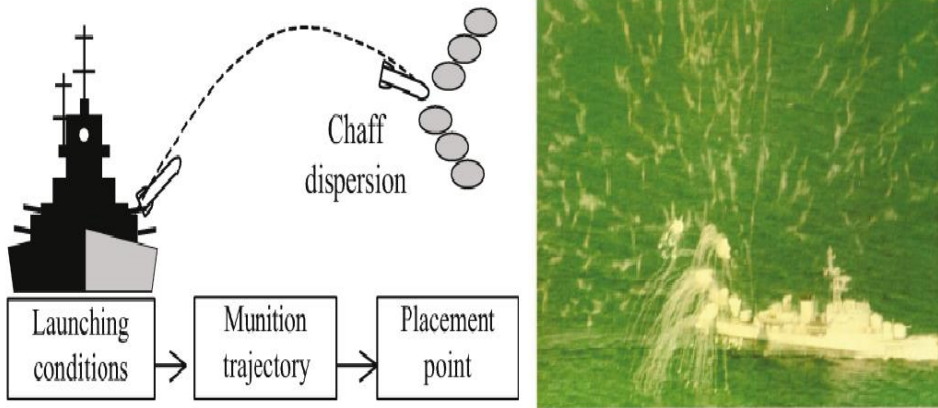
التشويش السلبي خطراً كبيراً على الوسائط اللاسلكية وخاصة الرادارية منها وذلك لأنه موجود في زمن الحرب والسلام، وأهم الاختلافات الأساسية بين الأهداف ومنابع التشويش السلبي هي:

1- إن الطائرات والصواريخ والأهداف الأخرى كقاعدة تعتبر أهداف نقطية، حيث تعتبر أبعاد الهدف الحقيقي أصغر من الحجم النبضي، بينما يكون التشويش السلبي أهدافاً منتشرة.

2- في أغلب الحالات تكون سرعة الأهداف الحقيقية أكبر بكثير من سرعة منابع التشويش. فمثلاً تكون سرعة الغيوم الديبولية أو ظرف الطقس (غيوم، تلوج، أمطار) مساوية لسرعة الريح وتصل إلى عشرات الكيلومترات في الساعة، وتكون سرعة الأجسام الثابتة مساوية للصفر، أما سرعة الطائرات والصواريخ فتصل إلى مئات وآلاف الكيلومترات في الساعة، إن الاختلاف بالسرعة يؤدي إلى اختلاف بتردد الإشارة المنعكسة عن الهدف عن تردد إشارة التشويش السلبي.

3- إن منابع التشويش السلبي الناتجة عن ظروف الطقس تكون ذات شكل أقرب إلى الكروي، بينما تكون الأهداف الحقيقية على الغالب ذات شكل يفنقر إلى التناظر المركزي، وهذا يؤدي إلى وجود اختلافات في استقطاب الإشارات المنعكسة عن الأهداف والإشارات المنعكسة عن ظروف الطقس. [2].

عند نشر محتويات الحاوية في الجو تشكل سحابة (قطاع) من الديبولات ذات التوضع الفراغي النسبي العشوائي، الشكل (2).





الشكل (2) أحد أشكال الغيوم الإلكترونية [11]

لدراسة وتقييم نوعية العواكس الديبولية والأسلاك الطويلة تستخدم البارامترات التالية [11]:

- 1- السطح العاكس الفعال ( $\sigma$ )
- 2- مواصفات السحابة وزمن تشكيلها.
- 3- طيف وتابع ارتباط الإشارة المنعكسة عن السحابة الديبولية.

### 5- النتائج والمناقشة:

تم الاعتماد على مجموعة من النماذج الرياضية لمحاكاة عمل الغيمة الإلكترونية باستخدام برنامج MATLAB كبيئة برمجية (تم اعتماد المرجع [12] كدليل برمجي)، وقد تم برمجة النماذج الرياضية وحساب قيم RCS (Radar Cross Section) ومحاكاة أثر الانعكاس وعدد ووزن الديبولات وسرعة الرياح باستخدام واجهات برمجية GUI لكل واحدة منها موضحة في الشكل (5) حيث يتم ضبط البارامترات العامة للغيمة والموضوع المدروس وإظهار النتيجة على الواجهة. عادة ما يتم تحديد السطح العاكس الفعال لديبول بتوضع واحد عشوائي وفق العلاقة (1):

$$\sigma_{\pi} = 0.85 \cdot \lambda^2 \cdot \cos^4 \theta \quad (1)$$

$\theta$ : الزاوية بين محور العاكس وشعاع الحقل الكهربائي  $\vec{E}$ .

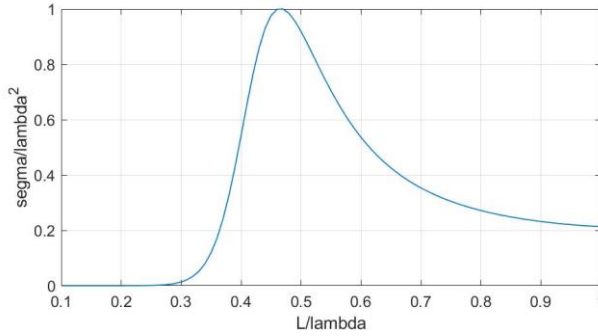
بفرض أن التوضع يخضع لقانون التوزيع الطبيعي فتحدد القيمة المتوسطة للسطح العاكس الفعال لديبول واحد وفق العلاقة (2):

$$\bar{\sigma} = 0.17 \cdot \lambda^2 \quad (2)$$

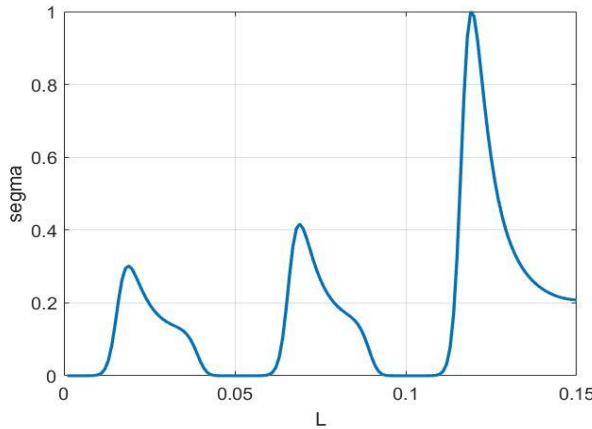
يتم اختيار طول وسماكة العاكس، بحيث يؤمن انعكاس فعال للأمواج من أجل أبعاد صغيرة. من أجل الحصول على الحالة الطنينية يجب تصغير طول العاكس الديبولي بحيث يكون أقل بقليل من نصف طول الموجة الواردة عليه وتتعلق نسبة التصغير بالأبعاد العرضية للديبول وبالتالي لتقليل وزن وحجم حزمة الديبولات يجب أن يكون طول الديبول صغيراً. عملياً يتحدد طول الديبول ( $L = 0.47\lambda$ ) ويُلاحظ من الشكل أن الطنين

يحدث عند القيمة 0.47 . يوضح الشكل (3) علاقة السطح العاكس الفعال المنسوب إلى مربع طول الموجة.

يزداد السطح العاكس الفعال بشكل متموج بزيادة طول الكهربيائي وتكون الذروة الأولى عندما تتحقق المساواة ( $L \approx \lambda/2$ )، أما الذروات الأخرى فتوافق أطوال مساوية لمضاعفات أنصاف طول الموجة ويزداد السطح العاكس الفعال بزيادة طول العاكس. يبين الشكل (4) علاقة السطح العاكس الفعال بطول العاكس الديبولي.



الشكل (3) علاقة السطح العاكس الفعال لطول الديبول المنسوب إلى مربع طول الموجة



الشكل (4) علاقة السطح العاكس الفعال بطول العاكس الديبولي (متر)

يُلاحظ من الشكل (4) أن الذروة الأولى (1) تمثل القيمة الأعظمية للسطح العاكس الفعال عندما ( $L=0.47\lambda$ )، والذروة الثانية (2) والثالثة (3) تمثلان القيم الأعظمية للسطح العاكس الفعال من أجل مضاعفات القيمة السابقة لطول العاكس.

عادة لا تستخدم عواكس طويلة ( $L > \lambda/2$ ) وذلك لصعوبة الاستثمار وزيادة الوزن والحجم. يجب معرفة أن السطح العاكس الفعال يرتبط أيضاً بالتوضع الفراغي للعاكس واستقطاب الإشارة والمادة المصنوع منها، لذلك عملياً تستخدم عواكس بطول ( $L = 0.47\lambda$ ). تُعطى قيمة السطح العاكس الفعال لحزمة ديبولية بشكل عام بالعلاقة (3) [6]:

$$\sigma_{chaff} \approx 0.18 \cdot \lambda^2 \cdot N \quad (3)$$

حيث:  $\lambda$  طول الموجة بالمتر،  $N$  العدد الكلي للديبولات ضمن الحجم. إن قيمة هذا السطح تختلف تبعاً لنوع الاستقطاب فتعطى بالنسبة للاستقطاب الخطي LP (linear Polarization) بالعلاقة (4):

$$\sigma_{chaff} \approx 0.15 \lambda^2 N \quad (4)$$

بالنسبة للاستقطاب الدائري CP (circular polarization) بالعلاقة (5):

$$\sigma_{chaff} \approx 0.10 \lambda^2 N \quad (5)$$

تتم عملية تصميم الدارات في المجال الميكروي والراديو وفقاً لمجال العمل الترددي فمن وجهة نظر تصميمية نعتبر الغيمة الإلكترونية عبارة عن عنصر يرتبط مع المرسل (الرادار) عبر خط نقل (قناة الاتصال اللاسلكية) يعمل عند تردد معين حتى يتم تحقيق أكبر قدر ممكن من الكشف عن الغيمة من قبل الرادار يجب عكس أكبر مقدار من الاستطاعة الواردة وبالتالي التمويه عن الهدف وهذا ما يسمى بملاءمة الممانعة مع قناة النقل، أي بكلمات أخرى دراسة معامل الانعكاس ما بين عناصر هذه الغيمة وخط النقل. يمثل ضياع العودة (Return Loss) مقدار الاستطاعة المنعكسة عن الغيمة ويُعطى بالعلاقة الرياضية (6) [2]:

$$R = -20 \log |S_{11}| \quad (6)$$

ويمثل  $|S_{11}|$  معامل التوزيع عند دخل الغيمة وهو نسبة الموجة المنعكسة إلى الموجة الواردة ويمكن من خلاله معرفة الحزم الترددية التي تستجيب لها الغيمة وتعطي أكبر قيمة ممكنة للمقطع الراداري. تُعطى مساحة المقطع الراداري لغيمة

(chaff) ضمن الحجم النبضي لمحطة الرادار، دون أخذ نوع الاستقطاب بعين الاعتبار بالعلاقة (7):

$$\sigma_c = V_C \cdot \eta \quad (7)$$

حيث:  $\eta$ : معامل الانعكاس وهو ذاته  $S_{11}$  لموجة الرادار الساقية على الغيمة،  $V_C$ : الحجم النبضي.

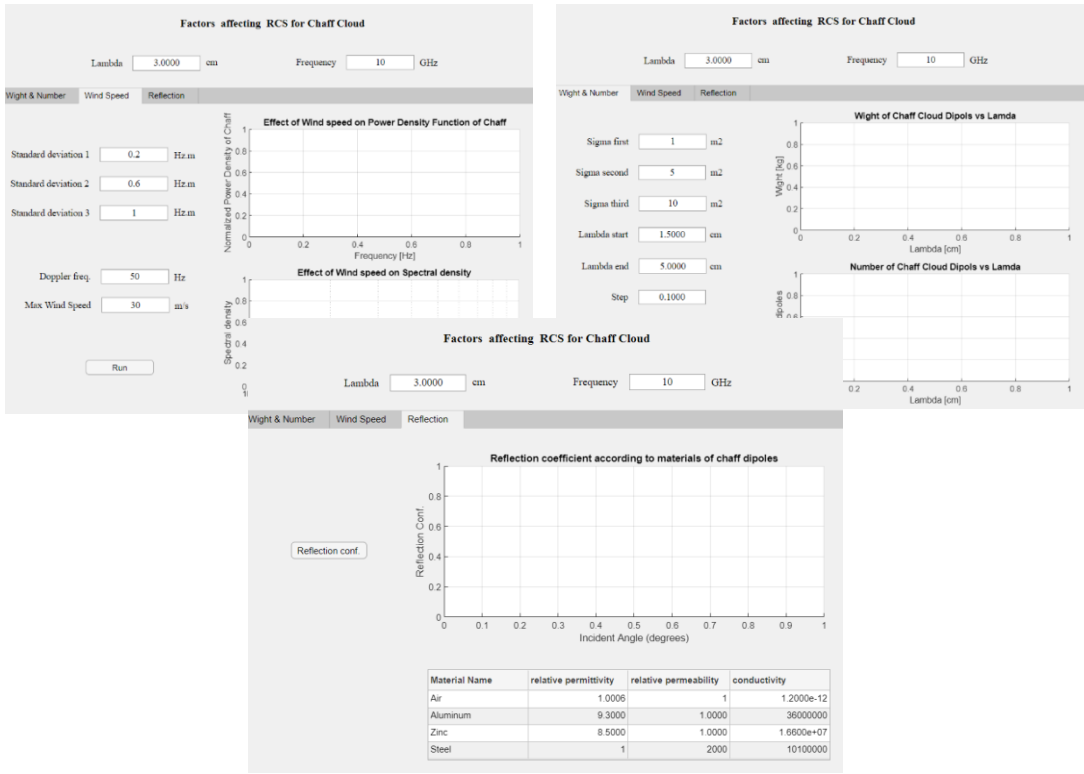
لكي يتم تحديد الكلفة الكلية والكفاءة للغيمة الإلكترونية تم دراسة الانعكاس عنها لدى استخدام ثلاثة مواد مختلفة، وهي الألمنيوم والزنك والفولاذ، حيث تم الانعكاس مع قناة النقل بوسط من الهواء، ويوضح الجدول (1) المواصفات الكهربائية والمغناطيسية لهذه المواد.

الجدول (1) العوامل الكهربائية للمواد المدروسة (مادة المنيوم - زنك - فولاذ)

اسم المادة	السماحية النسبية	النفاذية النسبية	الناقلية الكهربائية
هواء	1.0006	1.0	$1.2 \times 10^{-12}$
الومنيوم	9.3	1.0000065	$36 \times 10^6$
زنك	8.5	1.999994	$16.6 \times 10^6$
فولاذ	1	2000	$10.1 \times 10^6$

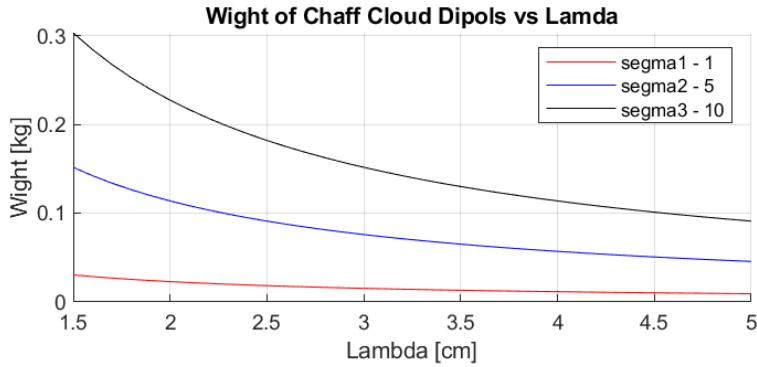
يبين الشكل (5) الواجهة البرمجية GUI المبرمجة في بيئة Matlab لمحاكاة

أثر سرعة الرياح ووزن وعدد القطع الدايبولية ومعامل الانعكاس للمواد المستخدمة.

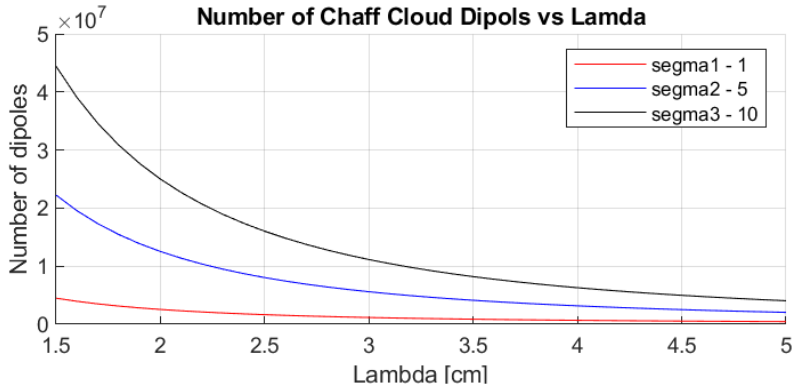


1

الشكل (5) الواجهة البرمجية GUI النمذجة للبرمترات الفاعلة في عمل الغيمة يُظهر الشكلين (6) و (7) علاقة وزن وعدد الدببولات المطلوب لتشكيل غيمة دببولات عاكسة ذات سطح عاكس فعال  $\sigma_c = (1,5,10)m^2$  عند طول موجة تقع ضمن المجال  $\lambda = (1.5 \div 5)cm$  وذلك عند المحاكاة البرمجية ببيئة الماتلاب.



الشكل (6) علاقة وزن الدببولات المطلوب لتشكيل غيمة دببولات عاكسة ذات سطح عاكس فعال



الشكل (7) علاقة عدد الدببولات المطلوب لتشكيل غيمة دببولات عاكسة ذات سطح عاكس فعال

يتعلق السطح العاكس الفعال الكلي لـ (chaff) بكتلة حزمة الديبولات العاكسة ويعطى بالنسبة للنماذج الأكثر استخداماً بالعلاقة (8) [2]:

$$\sigma_T \approx 22000\lambda.W_C \quad (8)$$

حيث:  $W_C$  كتلة حزمة الديبولات مقدرةً بـ  $kg$ . توضح المنحنيات البيانية على الشكل (6) العلاقة ما بين كلٍ من طول الموجة ( $\lambda$ ) والوزن اللازم من الديبولات، ذات الاستقطاب الدائري، لتشكيل غيمة ديبولية بسطح عاكس فعال مقداره الأرقام الثلاثة  $\sigma_C = (1,5,10)m^2$  وكذلك العلاقة وما بين طول الموجة ( $\lambda$ ) والعدد الكلي للديبولات العاكسة لتشكيل نفس تلك الغيمة.

$$\lambda = (1.5 \div 5)cm \text{ عند طول موجة تقع ضمن المجال } \sigma_C = (1,5,10)m^2$$

حيث يُلاحظ من الشكل بأنه مع زيادة طول الموجة تتناقص كتلة الغيمة الكلية من أجل مقطع راداري معين، وذلك بسبب الانخفاض الكبير في العدد حتى نحصل على ذات المقطع الراداري، كما ويُلاحظ أنه مع زيادة المقطع الراداري المطلوب تزداد كتلة الغيمة عند ذات طول الموجة كما يزداد عدد العناصر المطلوب لتأمين قيمة هذا المقطع. كما يُلاحظ من الشكل بأنه مع زيادة طول الموجة يتناقص الفرق في عدد الديبولات المستخدمة لتأمين مقاطع رادارية متفاوتة فعند طول الموجة  $5 \text{ cm}$  مثلاً يُلاحظ بأن المقاطع الرادارية الثالثة تتطلب العدد ذاته من الديبولات تقريباً.

لإظهار تأثير الرياح يُلاحظ أن رقائق الديبولات تنتشر في طبقات الجو أفقياً وتتساقط ببطء متذبذبة تبعاً لاضطرابات حركة الرياح مما يؤدي لتضخم معامل انعكاسها ( $\eta$ ) وازدياد نسبة الاستقطاب اللاخطي لها وفقاً لكثافتها وبالتالي ينخفض مدى الترابط ( $\rho$ ) فيما بينها. تتشابه من وجهة نظر الرادار خصائص التشويش الناتج عن الديبولات العاكسة مع خصائص التشويش الناتج عن الطقس إلى حد كبير باستثناء أن عرض حزمة التردد يكون قابلاً للامتداد ليصل لمجال (VHF) وكذلك يتعلق التردد الدوبلري الوسطي لطيف هذا النوع من التشويش بمتوسط سرعة الرياح أما بالنسبة لتوزعه فيتحدد بدرجة اضطراب الهواء وكما هو معلوم فإن اختلاف وتغير سرعة الرياح هو تابع للارتفاع. يشكل ضيق المجال الترددي أكبر سلبيات العواكس ذات الطول الثابت ولزيادة

عرض المجال الترددي يتم ملء الحاويات بعواكس ذات أطوال مختلفة، لكن هذا يؤدي إلى زيادة وزن وكمية العواكس المطلوبة لتشكيل سحابة ذات سطح عاكس فعال معين. عادة تستخدم وسائط قص على متن الطائرة فبعد تحديد الرادار المراد إبطاله يحدد التردد الحامل ومن ثم يتم قص العواكس بما يناسب التردد المطلوب. يتصف الانعكاس الناتج عن الغيمة الإلكترونية بعشوائية المطال والصفحة ولذلك من الممكن توصيف تابع كثافة طيف استطاعته إحصائياً بتابع توزيع احتمالي ويُعتبر النموذج الغوصي (تابع التوزيع الطبيعي) الأكثر استخداماً لتوصيف هذا النوع من التشويش ويُعطى بالعلاقة (9):

$$W(f) = 1/\sqrt{2\pi\sigma_c^2} \exp(-f^2/2\sigma_c^2) \Rightarrow W(f) = W_0 \exp(-f^2/2\sigma_c^2) \quad (9)$$

حيث:  $W_0$ : القيمة الأعظمية لتابع كثافة طيف استطاعة التشويش السليبي الناتج عن الـ chaff،  $\sigma_c^2$  هو تشتت تردد إشارة التشويش السليبي (chaff) مقدراً بالهرتز (Hz).

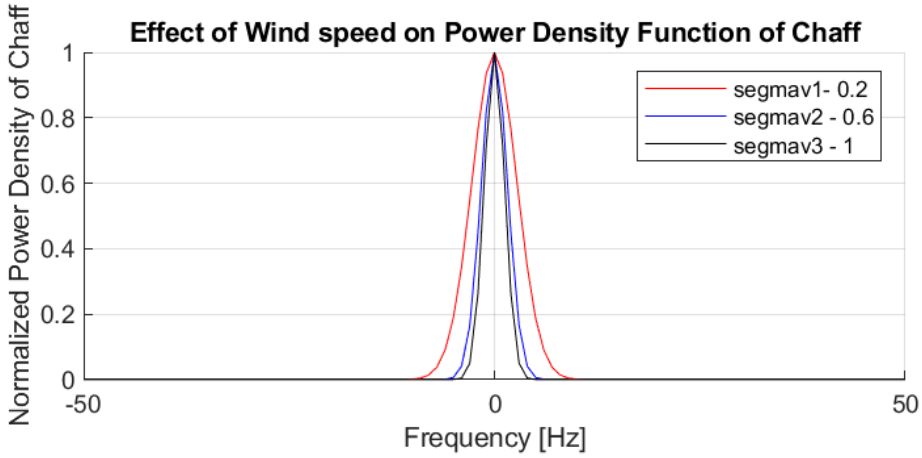
يمكن التعبير عن العلاقة السابقة في مجال السرعة بالعلاقة (10):

$$W(v) = W_0 \exp(-v^2/2\sigma_v^2) \quad (10)$$

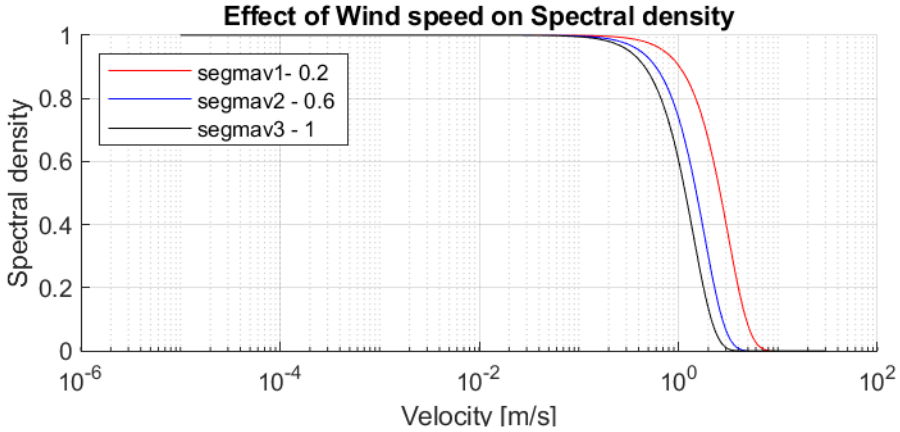
حيث:  $v$  سرعة التشويش السليبي (chaff) مقدرةً بـ  $(m/s)$ ،  $\sigma_v$  هي الانحراف المعياري لسرعة (chaff) ويُعطى بالعلاقة (11):

$$\sigma_v = \sigma_c \cdot \lambda / 2 \quad (11)$$

يوضح الشكل (8) علاقة تابع الكثافة الطيفية لـ (chaff) بالتردد عند القيم الأكثر احتمالاً لـ  $\sigma_v$  وذلك من أجل القيم  $(1-0.6-0.2)$  ويُلاحظ بأنه مع زيادة الانحراف المعياري يصبح عرض المجال أضيق، وذلك من أجل طول موجة 3 cm، كما يوضح الشكل (9) العلاقة ما بين كثافة الاستطاعة الطيفية وسرعة الريح عند قيم الانحراف المعياري الثلاثة.



الشكل (8) علاقة تابع الكثافة الطيفية لـ (chaff) بالتردد عند القيم الأكثر احتمالاً لـ  $\sigma_v$  من أجل قيم مختلفة



الشكل (9) العلاقة ما بين كثافة الاستطاعة الطيفية وسرعة الريح عند قيم الانحراف المعياري الثلاثة.

بالنسبة لنتيجة المحاكاة ببيئة الماتلاب في الشكل (10) فتوضح معامل الانعكاس لديبول عند استخدام مادة المنيوم - زينك - فولاذ ، ويلاحظ من الشكل ما يلي:

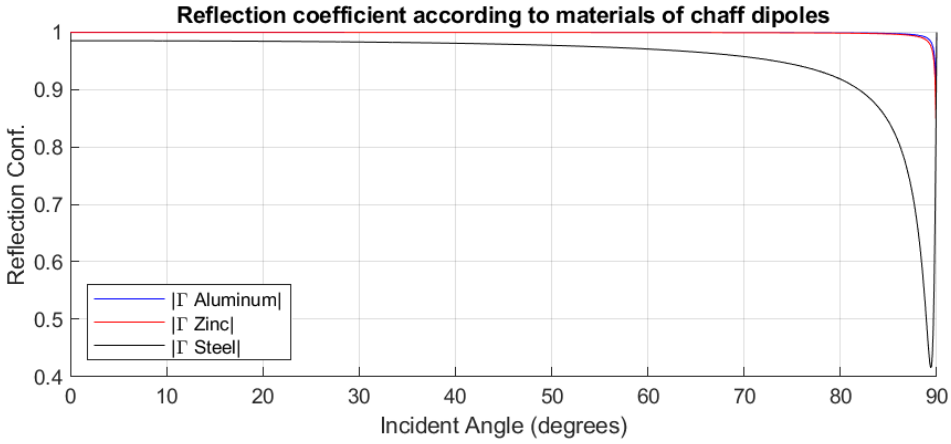
1- للفولاذ أقل معامل انعكاس إلا أنه مقبول نسبياً

2- يتطابق معاملي انعكاس الزنك والألمنيوم.

وبما أن الكثافة الحجمية عند درجة حرارة الغرفة لكل من الألمنيوم 2.375 غ/سم<sup>3</sup> وللزنك 7.14 غ/سم<sup>3</sup> وللفولاذ 7.9 غ/سم<sup>3</sup> فإن استخدام الألمنيوم من حيث الوزن هو الأخف وهنالك تقارب في الوزن ما بين الزنك والفولاذ. ومن وجهة نظر أخرى فإن



الألمنيوم أرخص من الزنك من حيث السعر العالمي إلا أن الفولاذ هو الأرخص على الإطلاق وبفارق كبير عن كلتا المادتين، ولكن من وجهة نظر ثانية فإن عملية التغطية بالزنك هي أسهل منها من باقي المواد وتتعدد تقنيات التغطية، وبالتالي في حال تم استخدام الألياف فإن الأفضل استخدام التغطية بالزنك ولكن في حال استخدام المعدن كعاكس فإنه من الأفضل استخدام الألمنيوم.



الشكل (10) معامل الانعكاس لديبول عند استخدام مادة المنيوم - زنك - فولاذ

## 6- الخلاصة

مما تقدم يمكن الاستنتاج أنه هنالك عدة أنواع للتشويش السلبي ولكل منها خصائصه المميزة وهذا يستدعي وجود عدة طرق لحذفه إلا أن التشويش السلبي المصطنع والناجم بشكل خاص عن الديبولات العاكسة (chaff) يعتبر الأعدد ومازالت مهمة التخلص من تأثيره بشكل كامل تشغل اهتمام الباحثين في علم الرادار. يمكن محاكاة العوامل المؤثرة على الغيمة الإلكترونية باستخدام نماذج رياضية والوصول إلى نتائج قريبة من الواقع العملي، حيث أن تغيير المواد المعدنية يؤثر مباشرة على أداء الغيمة من حيث الوزن والأداء والكلفة ويفضل استخدام الألمنيوم للعواكس المعدنية أو الطلاء بالزنك من أجل العواكس المصنوعة من الألياف، كما أنه يمكن دراسة علاقة الوزن وعدد العواكس المستخدمة لتأمين مقطع راداري معين يحاكي هدف معين مع دراسة أثر سرعة الرياح واضطرابها على تردد دوبلر وبالتالي الكشف.

.

## المراجع

- [1] ZAK J.; VACH M.; DVORACEK F., 2016 – **Advanced Chaff Usage in Modern EW. IEEE**, 4.
- [2] HARRISON A., 2020 - **Introduction to Radar Using Python and MATLAB**. ARTECH HOUSE, London, 491.
- [3] KNOTTE E.; SHAEFFER J.; TUELY M., 2004 - **Radar Cross Section**. SciTech Publishing, second edition, USA, 634.
- [4] LIXINEN G.; YANCHUAN Z., 2020 – **Investigation on the Electromagnetic Scattering from the Chaff Cloud in Airflow with VRT. IEEE**, 4.
- [5] HUANG H. ; TONG Z. ; CHAI S. ; ZHANG Y., 2018 - **Experimental and numerical study of chaff cloud kinetic performance under impact of high speed airflow. Chinese Journal of Aeronautics**, **31(11)**, 2080-2092.
- [6] BAJPAI V.; KUMAR V.; GADRI K.; SINGH A.; MOHAMMAD N.; CHOHAN K.; BASITA A.; VAISTHA P.; KUMAR R., 2021 - **Optimization of Coating Thickness of Conducting Material on Base Fiber to make it as a Radar Reflector. International Journal of Advances in Microwave Technology (IJAMT)**, **6(1)**, 247-253.
- [7] ZHU G.; MAN L.; CHEN Y.; YIN H., 2018 - **Approach of Electromagnetic modeling for chaff clouds formed by exploding. IEEE**, 3.
- [8] CUI G.; SHI L.; MA J.; WANG X., 2018 - **Study on Chaff Diffusion and Polarization Stratification. IEEE**, 3.
- [9] SHI F.; XU W.; YUXU C.; WENG X.; QIN L., 2012 - **The Analysis of Influence Factors of Chaff's Jamming Property in the Rainy Day. IEEE**, 5.
- [10] TAO W.; JIE X.; BING L.; JUN W., 2014– **The Propagation Properties of Chaff Clouds in Atmosphere. IEEE**, 6.
- [11] PINCHOT L.; BECHU O.; POULIGUEN P., 2005– **A chaff cloud modelisation. ANTEM**, 4.
- [12] Matlab, 2015 - **Creating Graphical User Interfaces**. The Mathworks Inc., USA, 502.

