

# مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية  
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 44 . العدد 1

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. درغام سلوم

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 : 963 31 2138071 ++

. 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

قيمة العدد الواحد : 100 ل.س داخل القطر العربي السوري

25 دولاراً أمريكياً خارج القطر العربي السوري

قيمة الاشتراك السنوي : 1000 ل.س للعموم

500 ل.س لأعضاء الهيئة التدريسية والطلاب

250 دولاراً أمريكياً خارج القطر العربي السوري

توجه الطلبات الخاصة بالاشتراك في المجلة إلى العنوان المبين أعلاه.

يرسل المبلغ المطلوب من خارج القطر بالدولارات الأمريكية بموجب شيكات

باسم جامعة البعث.

تضاف نسبة 50% إذا كان الاشتراك أكثر من نسخة.

## 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 ألف 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
30-11	. حسين بيدوح . د. مهند رجب	دمج الشبكات العصبية والمنطق الضبابي: استخدام نوابغ العضوية كأوزان للشبكة العصبية
50- 31	م . باسم محسن عمار	اثر التسخين المسبق وطرق التبريد اللاحقة على الخواص الميكانيكية لأجزاء من حديد الصب الملحومة بالكترودات اللحام ( %58 Ni ) ( ) و ( %97.6 Ni )
64-51	م . باسم محسن عمار	دراسة تأثير نوع قطب اللحام على مقاومة شد ملحومات الفولاذ السبائكي العالي المقاومة
102-65	الدكتورة: أمينة فارس	تقييم التبريد الهوائي للمجمعات الشمسية لحل مشكلة الركود تجريبيا
142-103	. د. أحمد صقر أحمد حازم ديب	تحسين أداء الشبكات المعرفة برمجياً ذات المتحكمات المتعددة من خلال خوارزمية موازنة الحمل







## دمج الشبكات العصبية والمنطق الضبابي: استخدام توابع العضوية كأوزان للشبكة العصبية

م. حسين بيدوح\*

إشراف: د. مهند رجب

### الملخص

يلعب المنطق الضبابي الذي يدعم الاستدلال الاستقرائي والسببية الرمزية، دوراً مركزياً في النظم المعرفية البشرية الحديثة، مثلاً في مهمات تصنيف الأنماط، والتفكير النوعي، والتفكير التاطري، والنمذجة العصبية، وغيرها من المجالات. وتعد شبكات بيرسيبترون (Perceptron) إحدى أبسط أنواع الشبكات العصبونية أمامية التغذية Feed-Forward، حيث لا يحتوي على طبقة عصبونات خفية بل تنتقل المعلومات المدخلة من الطبقة الأمامية إلى النهائية مباشرة وبسبب القيود الكبيرة على هذه الشبكات، سرعان ما ظهرت الأنظمة الخبيرة لتحل محلها كفرع رئيسي للذكاء الاصطناعي مما وفر حافزاً قوياً لتطوير منهجيات التحليل السببي خصوصاً بعد وضع نظرية المجموعات الضبابية الأولى وتوزيعات الاحتمال المرتبطة بها. ومنذ ذلك الحين، أظهرت الأنظمة الخبيرة بعض نقاط الضعف، على سبيل المثال في عملية استخلاص المعرفة من مصادر الخبرة (مصادر المعلومات)، أو في قدرتها على التعلم وفي بعض الأحيان فإنها حققت نتائج سيئة في حدود مجال خبرة النظام نفسه. بينما تقدم الشبكات العصبية مساهمات ملحوظة للأنظمة الخبيرة، على سبيل المثال في مجال التدريب باستخدام الأمثلة الجاهزة، والتعديل الديناميكي للتغيرات في البيئة، والتعميم، والتعامل مع شذوذ البيانات واكتشاف علاقات جديدة بين المتغيرات. سنطرح خلال هذه البحث فكرة لدمج الشبكات العصبية مع أنظمة المنطق الضبابي ونقدم أمثلة تطبيقية على ذلك.

الكلمات المفتاحية: ذكاء اصطناعي، شبكة عصبية اصطناعية، منطق ضبابي

\* طالب دراسات عليا في قسم هندسة البرمجيات - كلية الهندسة المعلوماتية - جامعة البعث

# **Fusion of Neural Networks and Fuzzy Logic: Using Membership Functions as Weights for Neural Network**

Eng. Hussain Biedouh\*

Supervisor: Dr. Mouhannad Rajab

## **Abstract**

Fuzzy logic that supports inductive reasoning and symbolic causation plays a central role in modern human cognitive systems, for example in tasks of pattern classification, qualitative thinking, analog reasoning, neural modeling, and other areas. Perceptron networks are one of the simplest types of feed-forward neural networks, as they do not contain a hidden layer of neurons. A major for artificial intelligence, which provided a strong incentive to develop methodologies for causal analysis, especially after developing the theory of the first fuzzy groups and the associated probability distributions. Since then, expert systems have shown some weaknesses, for example in the process of extracting knowledge from sources of expertise (information sources), or in their ability to learn and in some cases, they have achieved poor results within the limits of the system's own field of expertise. While neural networks make remarkable contributions to expert systems, for example in the field of training using ready examples, dynamic modification of changes in the environment, generalization, dealing with data anomalies and discovering new relationships between variables. During this research, we will present an idea to integrate neural networks with fuzzy logic systems and provide practical examples of that.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Artificial Neural Network, Fuzzy Logic

---

\* Post graduate student in Software engineering department – Information Technology faculty – AL Baath University

## 1- مقدمة

الرموز او الأشكال الرمزية هي عبارة عن انماط بصرية، على سبيل المثال، حرف أو سلسلة من الحروف المتتالية. وتكون هذه الأنماط البصرية تتطوي على معنى مضمن فيها بحيث يشير هذا الرمز إلى شيء آخر قد يكون غرض موجود فيزيائياً أو فكرة أو حدث ما [11] ، مثلاً نحن نستخدم الرمز X للدلالة على كمية مجهولة القيمة في معادلة رياضية، أو كلمة (تفاحة) للدلالة على مادة عضوية شبه كروية الشكل ذات لون احمر ويمكن أكلها. وبالتالي يمكن القول ان الرموز تضغط وتختصر كميات كبيرة من المعلومات بشكل يمكن للعقل البشري التعامل معه بسهولة. يمكن ان تستخدم الرموز بطريقة مركبة للمساهمة في نقل كميات كبيرة من المعلومات بشكل مختصر (ضغط المعلومات) والتعامل مع هذه الرموز يكون عن طريق وضع قواعد تربطها ببعضها ونتائج تطبيق هذه القواعد هي أيضاً رموز تشير إلى نتائج حقيقية في العالم الفعلي. نقوم في معظم حالات الاستخدام بتجميع عدد من الرموز لإظهار العلاقات الداخلية بينها وهذا ما نسميه بال (السببية الرمزية). والسببية الرمزية تطلق على اي نوع من التراكيب الرمزية التي تظهر علاقة بين الرموز سواء بالطريقة المجردة البحتة كالمعادلات الرياضية أو بالكلام العادي على سبيل المثال إذا قلنا (كل الأشجار خضراء، السرو شجرة، السرو اخضر).

تسمى التطبيقات التي تعتمد على السببية الرمزية بمحركات القواعد أو الأنظمة الخبيرة أو الرسوم البيانية المعرفية. ومن أشهر التطبيقات الحالية لهذه الانظمة هي الاجوبة التي تقدمها غوغل مباشرةً تحت نتيجة البحث، مثلاً عند البحث عن ( what are the names of Uranus moons ) يظهر الجواب بشكل مباشر قبل نتائج البحث في الويب [4].

الفرق الأساسي بين تعلم الآلة والسببية الرمزية يكمن في طريقة التعلم [6]. حيث انه في تعلم الآلة والتعلم العميق الخوارزميات تتعلم القواعد وهي في طور تأسيس علاقات بين

الدخل والخرج. بينما في السببية الرمزية، فيتم وضع القواعد من قبل المبرمج بحيث أننا عند بناء نظام سببية رمزية على المبرمج أولاً تحديد القواعد التي تربط ظاهرتين على الأقل معاً وثم التعبير عن هذه القواعد برمجياً بشكل ثابت (hard-coded) [14]. هذه الطريقة تعتمد على تشكيل تصور مسبق عن العلاقات وهي فعالة في نطاقات عمل واختبار ضمن نطاق محدد معروف مسبقاً، أما التعلم العميق والشبكات العصبية فتتضمن بنية مختلفة لتشكيل التصورات وبناء الافتراضات بحيث تكون القواعد المسبقة فيها هي عن كيفية تعلمها وبناء قواعدها الخاصة بدلاً عن ماهية النتيجة المطلوب التوصل إليها [6].

باستخدام تقنيات المنطق الضبابي، يمكن دمج الشبكات العصبية مع السببية الرمزية والهدف من ذلك حل مشاكل أكثر تعقيداً في العالم الحقيقي، مثل مسائل التعرف على الأنماط أو الانحدار أو تقدير الكثافة وذلك عند استخدام بيانات ذات احجام كبيرة أو أبعاد متعددة، على سبيل المثال لا الحصر، يتم استخدام الشبكات العصبية في أنظمة الملاحة الرقمية، وتحتاج عمليات اتخاذ القرار في هذه الأنظمة الى معالجة عدد كبير من الاحتمالات الحتمية (Cirsp) في فترة زمنية ضيقة جداً، فيمكن تحويل هذا العدد الكبير من الاحتمالات الحتمية إلى مجال ضبابي، يكون أكثر مرونة عند معالجته، مع تعديل الية عمل الشبكة العصبية بحيث تكون قادرة على التعامل مع الدخل الضبابي لتوليد نتائج حتمية. فعند النظر إلى الشبكات العصبية والأنظمة الخبيرة والمنطق الضبابي، من منظور السببية الرمزية، نجد أنها تشترك بالكثير من الميزات الداخلية والتقنيات الحسابية. سيتم تقدم نموذج يعتمد على المنطق الضبابي، حيث تم تصميم شبكة عصبية اصطناعية من أجل بناء قاعدة المعرفة الخاصة بالنظام الخبير عن طريق امثلة التدريب.

في الشبكات العصبية، يرتبط نوعان من الأوزان بالوصلات المشبكية في بنية AND-OR: الأوزان اللغوية الأولية، التي يتم تفسيرها على أنها تسميات للمجموعات الضبابية، والأوزان العددية الثانوية. يتم حساب القيمة التي يتم عندها تنشيط الخلية من خلال

معادلات الاوزان الضبابية min-max. تقوم عملية التعلم على إيجاد الأوزان (العديدية) وتحديد مسارات الشبكة، وقد تم بدايةً تسمية هذه الشبكات بالشبكات ذات التغذية الأمامية، وأول مجالات استخدامها في التطبيقات التي تساعد في التشخيص الطبي [10].

سنقوم تالياً بتطبيق الطريقة لتوضيح كيف يمكننا استخدامها للتعرف على الكتابة بخط اليد. حيث انه في الخلية العصبية الضبابية التي تصف رقماً على سبيل المثال، تمثل الأوزان اللغوية مجموعات ضبابية على خطوط كشف التقاطعات والأوزان الرقمية تعكس أهمية الروابط بين خطوط كشف التقاطعات والأحرف.

## 2- الدراسة المرجعية: Reference Study

يوجد عدد من الابحاث التي قامت بدراسة أنظمة تتضمن المنطق الضبابي والشبكات العصبية معاً، ففي عام 2007 نشر الباحثان شيتول وزهران بحثاً بعنوان Combining fuzzy logic and neural networks in classification of weld defects using ultrasonic time-of-flight diffraction [9] درسا فيه أعطاب الالتحام باستخدام الأمواج فوق الصوتية، في هذا البحث تم ادخال مجموعة بيانات التدريب الى الشبكات العصبية مع تحديد عدد كبير من احتمالات الخرج (الصفوف)، بحيث يكون خرج الشبكة العصبية هو مجال (شعاع) يحوي صفوف العطب الأكثر احتمالاً، ليتم تمرير هذا الشعاع على نظام ضبابي يحوله لقيمة حتمية (صف واحد). وفي عام 2019 نجد دراسة بعنوان Hybrid model based on neural networks, type-1 and type-2 fuzzy systems for 2-lead cardiac arrhythmia classification [3] للباحثين ي. راميريز، ب. ميلين، و ج. ارشيغا. تم في هذه الدراسة بناء نموذج هجين لتصنيف أنواع اضطرابات ضربات القلب، وهو عبارة عن نظام منطق ضبابي يستخدم الشبكات العصبية كمرحلة معالجة أولية

لمجموعة البيانات المؤلفة من قراءات لنتائج تخطيط القلب لمجموعة مكونة من 5233 شخص. ونجد بحثاً آخر للباحثين ب. غونزاليز و ب. ميلين، نشر عام 2015 بعنوان "Fuzzy logic in the gravitational search algorithm for the optimization of modular neural networks in pattern recognition [8]" يصف طريقة استخدام المنطق الضبابي ضمن خوارزمية البحث الجاذبية (GSA) بهدف تحسين نتائج الوحدات العصبية المسؤولة عن تمييز الأنماط، والوحدات العصبية هي عبارة عن عدة شبكات عصبية صغيرة نسبياً تعمل بشكل منفصل ويتم تجميع نتائجها باستخدام طرق رياضية محددة، حيث تم التنبؤ بمتوسط القيمة الخاصة بكل نمط باستخدام المنطق الضبابي ومقارنة هذه القيمة مع نتائج كل وحدة من الوحدات العصبية.

### 3- هدف البحث: Aim of research

نجد أن أغلب محاولات الدمج بين الشبكات العصبية والمنطق الضبابي كانت على مستوى البيانات ومعالجتها، ولكن بمقارنة المنهجيات المتبعة في بناء الأنظمة الخبيرة، نجد أن الشبكات العصبية والمنطق الضبابي تشترك في عدد من الميزات والتقنيات، على سبيل المثال لا الحصر، بنية مجموعات البيانات، والمعادلات والطرق الرياضية. ويمكن أن يؤدي الجمع بين المنطق الضبابي والشبكات العصبية على المستوى الرياضي والبنوي (Structural)، إلى تعزيز قدرة الأنظمة الذكية على التعلم من التجربة والتكيف مع التغييرات في بيئة ذات معلومات نوعية أو غير دقيقة أو غير مؤكدة أو غير كاملة أو تحوي أي شكل من أشكال شذوذ البيانات.

ويمكن تحقيق ذلك عن طريق الوصول لطريقة تحدد الية تشكيل بنية هجينة تربط فيها الشبكات العصبية والأنظمة الخبيرة بحيث يشكل احدهما مرحلة معالجة أولية للآخر، حيث يمكن للشبكة العصبية أن تعمل كمعالج أولي يقوم بمعالجة المعلومات منخفضة المستوى، أو كنظام فرعي داخلي لمهام التعلم أو التعميم والتصنيف. مثلاً يمكن استخدام

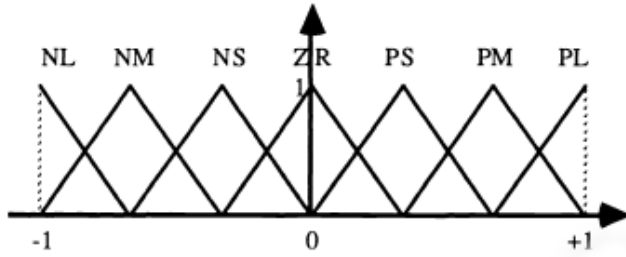


الشبكات العصبية لتولد قواعد باستخدام بيانات التدريب ثم تقديم هذه القواعد ليتم استخدامها من قبل نظام ضبابي لإعطاء النتائج النهائية.

### 3- البيانات والطرق المستخدمة Data and Methods

#### 3-1- المنطق الضبابي والشبكات العصبية

في الشبكات العصبية، تعكس الأوزان سلوك النظام. في الأنظمة الضبابية، يتم التعبير عن المعلومات عادةً باستخدام مصطلحات لغوية بعد تحويلها إلى مجموعات ضبابية، وبالتالي للاستفادة من الشكلين، سنقدم أوزان لغوية بشكل نموذج عصبي ضبابي [5]. نعتبر الأوزان نوعين: أوزان أولية، تليها أوزان ثانوية. تعبر الأوزان الأولية عن المعلومات الرئيسية للمعرفة، ولها شكل لغوي ويتم تفسيرها على أنها تسميات لمجموعات ضبابية، وبهذا نعطيها قيم كالتالي (زيادة، نقصان، زيادة كبيرة، قيمة عادية، مستقرة، إلخ..). ويختلف ذلك حسب الغاية التطبيق، يتم تعريف هذه المجموعات الضبابية بالاعتماد على مجموعة من المصطلحات المتعلقة بطبيعة خلايا الإدخال أو كما هو الحال في وحدات التحكم المنطقي الضبابي، يمكن أن تكون قيم من المجال  $[-1, +1]$ ، مع تابع عضوية يمكن ان نعطيها التسميات التالية: كبير سلبى (NL)، متوسط سلبى (NM)، صغير سلبى (NS)، مقارب للصفر (ZR)، إيجابى صغير (PS)، متوسط إيجابى (PM)، إيجابى كبير (PL)، وبالقيام باختصار القيم السابقة يمكننا الإبقاء على التالي منها (انخفاض، استقرار، ازدياد) في قسم مكون من 3 مجموعات ضبابية. ونرى في (الشكل 1) المخطط المقابل لتابع عضوية مثلثي يحوي التسميات السابقة.



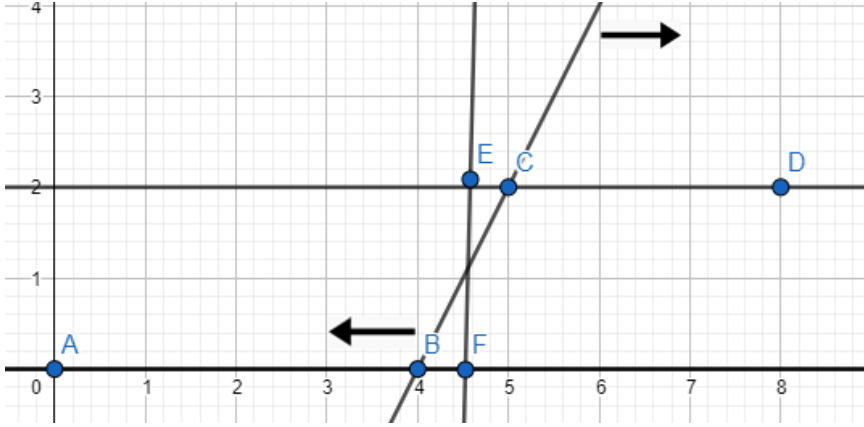
الشكل (1)

الأوزان الثانوية هي أرقام ضمن المجال  $[0,1]$ ، وتعكس درجة ضعف الاتصال المقابل لها (كلما كان الاتصال أضعف، كلما اقترب وزنه من 1) ولا يتم ربطها بالضرورة بالوصلات ولكن عند فعل ذلك، فإنها تتبع الوزن الأولي الذي يتم دمجهما معه.

النظام العصبي الضبابي هو عبارة عن شبكة تغذية امامية بدون قيم عتبة وذلك لأن المجموعات الضبابية لا تحوي عتبات بل يتم اخذ مجموعة من التحولات المتدرجة من حالة إلى أخرى. وفي هذا النظام لا توجد دورات تكرارية، بحيث دورة واحدة تكون كافية للوصول الى نتيجة الاستدلال. ولا يتم في مرحلة التدريب استخدام طرق تتضمن مجاميع مرجحة للمدخلات بل من المعادلات الضبابية الحاوية على قيم (أدنى) و (أعلى). تتكون هذه المرحلة من إيجاد الأوزان العددية من أمثلة التدريب ولا يوجد ضرورة لتحديد توابع العضوية للأوزان الأولية في هذه المرحلة حيث من المفترض أن يكون لدى الخبير البشري فكرة تقريبية عن الأشكال وعليه يمكنه ضبط المنحنيات وفقاً للمعلومات المقدمة من أمثلة المدخلات والمخرجات.

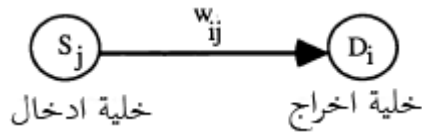
يتكون التعلم بشكل أساسي من إيجاد الأوزان الثانوية العددية وبنية التوصيلات للشبكة، فالأوزان العددية (الثانوية) القريبة من "1" ستشير إلى عدم وجود الوزن الأساسي المقابل، في حين أن الأوزان العددية (الثانوية) القريبة من "0" لن تؤثر على الإطلاق على الوزن

الأساسي المقابل. ويمكن دوماً تعديل الأوزان اللغوية الأساسية عند الحاجة عن طريق تغيير المنحنيات كما في (الشكل 2) في المنطقة الضبابية (تختلف درجات العضوية عن 0 و 1).



الشكل (2)

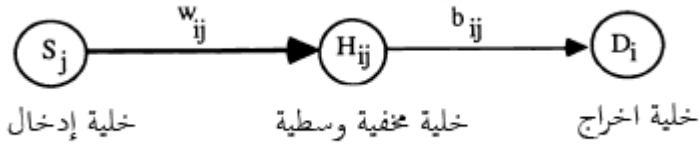
تتكون الشبكة العصبية الضبابية من اتصالات بين خلايا الإدخال ( $S_j$ ) وخلايا الإخراج ( $D_i$ ) (الشكل 3) ويمكن ان تحتوي على خلايا مخفية ( $H_{ij}$ ). أما الأوزان الأولية ( $w_{ij}$ ) فهي تسميات لغوية للمجموعات الضبابية تميز اختلافات خلايا الإدخال وعلاقتها بخلايا الإخراج [10].



الشكل (3)

نفترض أن  $w_{ij}$  يعبر عن وزن لغوي (أو المجموعة الضبابية المرتبطة بهذا الوزن).

والأوزان الثانوية ( $b_j$ ) هي أرقام من ضمن مجال القيم. في الشبكة العصبية، تحتوي خلايا الإدخال على اتصالات تشير إما إلى الخلايا المخفية وتتبعها اتصالات نحو خلايا الإخراج (الشكل 4)، أو وصلات مباشرة من خلايا الإدخال إلى خلايا الإخراج (تتوافق هذه الحالة مع وزن رقمي يساوي 0)، ولكن ليس بالضرورة وجود اتصال مع جميع خلايا الإخراج (عدم وجود اتصال على الإطلاق يتوافق مع وزن عددي يساوي 1) [2]. بمجرد إصدار تنبيه من خلية إدخال، يتم تحديد وزن لغوي ولا يوجد بالضرورة وزن رقمي في حالة عدم وجود خلية مخفية. وتحتوي الخلايا المخفية على أوزان عددية فقط مرتبطة بالوصلات نحو خلايا الإخراج [1].



الشكل (4)

يمكن أن تأخذ خلايا الدخل قيماً عددية أو أرقاماً ضبابية (مجالات)، نستخدم  $S_j$  للإشارة إلى القيمة العددية (الضبابية) المخصصة لتلك الخلية. عندما يتم تعيين خلايا الإدخال  $S_j$ ، يتم إضافة مجموعة من الأوزان التي تستخدم للاستدلال من أجل حساب خلايا الإخراج  $D_i$ ، وفقاً للصيغة التالية:

$$D_i = \min_j [b_{ij} \vee \mu_{w_{ij}}(S_j)] \dots\dots\dots(1) \text{العادلة}$$

$$D_i = \min_j [b_{ij} \vee \pi(w_{ij}, S_j)]$$

حيث  $\mu_{w_{ij}}(S_j)$  هو تابع درجة عضوية  $S_j$  في  $W_{ij}$  و  $S_j$  رقم ضبابي (مجال)

الضبابية  $W_{ij}$  و  $S_j$  . حيث نلاحظ انه عندما نعطي  $S_j$  قيمة ثابتة غير ضبابية  $\pi(w_{ij}, S_j)$  تصبح قيمته  $\mu_{w_{ij}}(S_j)$ .

في المعادلة (1) نفترض أن  $w_{ij}$  معروف كقيمة تقريبية، وتكون القيم غير المعروفة هي قيم  $b_{ij}$ ، يمكن حل هذه المعادلات حسب طريقة برويريان حيث نضع مجموعة قيم  $x$  بحيث تحتوي  $a \vee x \geq b$  على عنصر أصغري ويقع في المجال  $[0,1]$  في حال عدم الوصول لحلول بنسبة نجاح عالية، يمكن تعديل توابع العضوية في  $w_{ij}$  عن طريق تغيير المنحدرات أو إعادة ضبطها. وفي حال كنا لا نعرف قيم  $w_{ij}$  ولا  $b_{ij}$  في المعادلة الأولى، لكن نعلم أن  $w_{ij}$ 's تقع ضمن مجال ضبابي منتهي محدد من  $[-1,1]$  كما في الشكل 1. أيضاً عندها يمكن حل المعادلة (1) من اجل كل  $w_{ij}$  من المجال الضبابي المذكور.

### 3-2- التطبيق على الطفرات والكروموسومات المسببة لها:

سيتم الآن تمثيل شبكة الاتصال الضبابية بين مجموعة من الكروموسومات والطفرات حيث تكون الكروموسومات كالتالي:  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$  ويقابلها أربع طفرات جينية  $M_1, M_2, M_3, M_4$

يوضح (الشكل 5) العلاقة، حيث تتوافق الكروموسومات الخمسة مع خلايا الإدخال  $X_i$ ، والمجموعات الأربع لخلايا الإخراج  $M_i, \dots, M_4$ . هناك سبع خلايا مخفية مرتبطة بأوزان عددية. الأوزان اللغوية لها المعنى التالي:

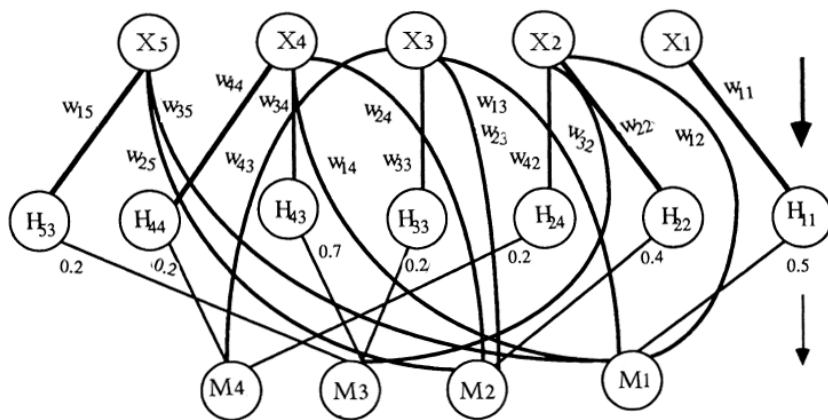
$w_{11}$ : متوسط.

$w_{12}$ : متوسط ،  $w_{22}$ : مرتفع،  $w_{32}$ : منخفض أو عادي،  $w_{42}$ : منخفض أو متوسط.

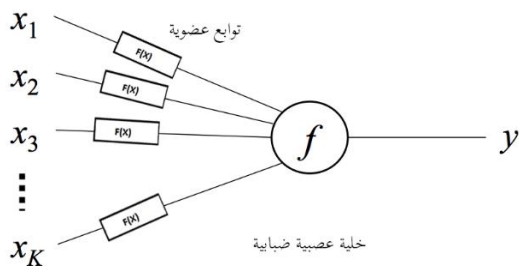
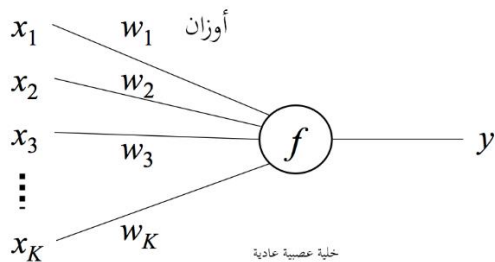
$w_{13}$ : متوسط ،  $w_{23}$ : مرتفع ،  $w_{33}$ : مرتفع ،  $w_{43}$ : منخفض أو متوسط.

$w_{14}$ : متوسط ،  $w_{24}$ : مرتفع ،  $w_{34}$ : مرتفع كثيراً ،  $w_{44}$ : مرتفع أو مرتفع قليلاً.

دمج الشبكات العصبية والمنطق الضبابي: استخدام توابع العضوية كأوزان للشبكة العصبية



الشكل (5)



الشكل (6)

لنأخذ الطفرة (M3) كمثال:

- ترتبط الطفرة (M3) بالكروموسوم (X2) وفق الاتصال (w32) ذي الوزن اللغوي (منخفض أو عادي) حسب ما وضحنا سابقاً.
- ترتبط الطفرة (M3) بالكروموسوم (X3): وفق الاتصال (w33) ذو الوزن اللغوي (مرتفع) والقيمة الوزنية 0.2.
- ترتبط الطفرة (M3) بالكروموسوم (X4) وفق الاتصال (w34) ذو الوزن اللغوي (مرتفع كثيراً) والقيمة الوزنية 0.7.
- ترتبط الطفرة (M3) بالكروموسوم (X5) وفق الاتصال (w35) ذو الوزن اللغوي (مرتفع كثيراً) والقيمة الوزنية 0.2.

### 3-3- تحويل خط اليد الى نص

تم تقديم النموذج الأولي لتمييز خط اليد باستخدام الشبكات العصبية الضبابية من قبل الباحث تاكيشي ياماكاوا [12] [13] وفق التالي:

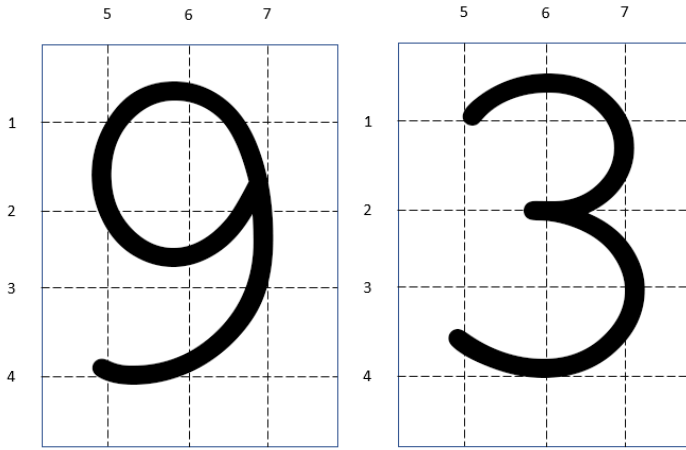
- 1- يتم استبدال عوامل الترجيح بوظائف العضوية.
- 2- يتم تمثيل الاتصالات المحفزة من خلال عمليات MIN والتوصيلات المثبطة بواسطة المتممات المنطقية الضبابية متبوعة بعمليات MIN.
- 3- لا يتم تعيين مستوى عتبة

سنحاول تطبيق الطريقة السابقة بشكل مشابه للنهج الذي اتبعناه في اكتشاف الطفرات انطلاقاً من الكروموسومات.

حيث أن الأحرف المكتوبة بخط اليد (Ci) تحل محل الطفرات، ويتم كتابة الحرف ضمن مساحة محددة الابعاد ومعروفة مسبقاً، يتم وضع مجموعة من الخطوط المرجعية ضمن

هذه المساحة ويمكن ان تكون هذه الخطوط متقاطعة ويتم تحديد شكل الحرف اعتماداً على الأوزان العددية التي ستربط مع الخطوط المرجعية [7].

نحدد مجموعات  $W_{ij}$  وهي مجموعات ضبابية في خطوط التقاطع المرجعية. تحدد مناطق التقاطع، اي تحدد المناطق الضبابية في الخطوط المرجعية حيث يجب أن تتقاطع المحارف، والمناطق المحظورة، حيث لا يجب أن تتقاطع المحارف، تظهر هذه الخطوط في (الشكل 7)



الشكل (7)

مثلاً تسمح المنطقة الضبابية عند الخط 5 بتمييز الرقم 9 عن الرقم 3



وتكون معادلة حساب الخرج كالتالي

$$\mu_{C_i} = \min_j [b_{ij} \vee CDL_j]$$

حيث  $C_i$  هي حرف (على سبيل المثال "9")،  $CDL_j$  هي درجة للخبط المرجعي رقم  $j$ ، و  $b_{ij}$  هي أوزان رقمية ذات أهمية نسبية للخبط المرجعي  $j$  في التعرف على  $C_i$ :

$b_{ji}=1$  يعني أن الخبط المرجعي  $j$  ليس له فائدة في  $C_j$

$b_{ij}=0$  يعني أنه ليست هناك حاجة لوزن الخبط المرجعي  $j$  في  $C_i$

$b_{ij} \in [0,1]$  تعكس الأهمية النسبية للخبط المرجعي المتقاطع  $j$  في  $C_i$

كلما ارتفع  $b_{ij}$ ، كلما كان الخبط المرجعي المقابل اقل تأثيراً.

باتباع التعلم الخاضع للإشراف يمكن إيجاد قيم  $b_{ij}$  عن طريق حل معادلات min-max الضبابية. تسمح التفسيرات أعلاه لـ  $b_{ij}$  بتعديل عدد الخطوط المرجعية في نمط ما، ويمكن تعديل أهميتها النسبية فيما يتعلق بـ  $C_i$  عن طريق  $b_{ij}$  نفسه.

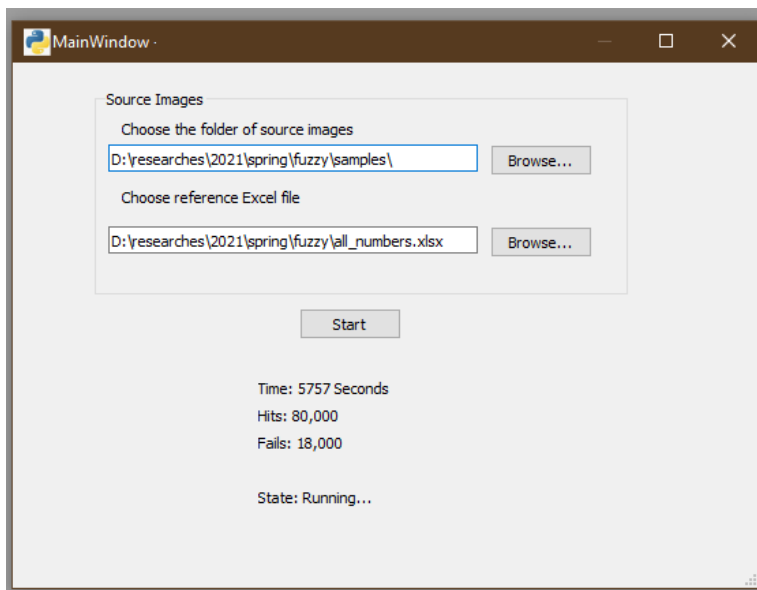
#### 4- التطبيق العملي:

باستخدام لغة البرمجة Python وبالاعتماد على المكتبات التالية:

Fuzzylogic 1.0.1 -1

PyLearn2 -2

PyTesseract -3



الشكل (8)

تم بناء تطبيق (الشكل 8) يعتمد على المعادلات السابقة وإجراء اختبارات لتمييز مجموعة من الأرقام بعد تدريبه على مجموعة بيانات تم صنعها خصيصاً لهذا الغرض باستخدام دالة توليد الأرقام العشوائية في برنامج Microsoft Excel وباستخدام خط قريب لخط اليد العادي واسمه Segoe Print ومن ثم قمنا باستخدام نفس الطريقة لتحديد مجموعة من الأرقام العشوائية المأخوذة من المجال [0,9] وتحويل كل خلية الي صورة بحيث يكون اسم الملف هو نفس رقم السطر في ملف Excel ومن ثم يقوم التطبيق بمحاولة الكشف عن الرقم في الصورة ومقارنة النتيجة مع السطر الخاص بالصورة في ملف Excel لمعرفة النتائج الصائبة والنتائج الخاطئة، وبعد 50 الف محاولة كانت نسبة الأجوبة الصحيحة 68.2%، وبعد 100000 محاولة كانت نسبة الأجوبة الصحيحة 72.2%، وبعد 200000 محاولة كانت نسبة الأجوبة الصحيحة 71.9%.

عدد عينات التجربة	نسبة الإجابات الصحيحة	الوقت المستغرق للإتمام
50,000	70.2%	2000 ثانية
100,000	72.2%	4550 ثانية
200,000	71.9%	9000 ثانية

### 5- النتائج والمناقشة:

تم تصميم شبكة عصبية ضبابية لبناء قاعدة معرفية لنظام تصنيف باستخدام أمثلة التدريب. اثنان من خصائصه الرئيسية هي:

1- استخدام الأوزان اللغوية.

2- تفعيل الخلايا العصبية هو مسألة درجة، وفقاً لحد أدنى مرجح. ويمكن

استخدام هذا النموذج لتوصيف القواعد في المنطقي الضبابي.

وتبين لدينا انه يمكن الاعتماد على المنطق الضبابي لتوليد مجموعات تدريب تكون دخلاً للشبكات العصبية المستخدمة في أنظمة الذكاء الاصطناعي والتعلم العميق بحيث تكون قيم بيانات التدريب هذه مشابهة لقيم بيانات تدريب مأخوذة من العالم الحقيقي كونها ليست قيم حتمية بل قيم ضبابية ضمن مجال يحوي جميع احتمالات قيمة الخاصية الهدف. وتم اختبار هذه الطريقة في التعرف على الأرقام المكتوبة بخط اليد وتحويلها الى نص رقمي، وأعطت نتائج جيدة جداً حيث انه عند 100,000 عينة اختبار، حصلنا على 72.2% من حالات الخرج الصحيح.

إلا أن استخدام المنطق الضبابي لتوليد بيانات تدريب للشبكات العصبونية يحتاج مزيداً من البحث والتطبيق على حالات دراسة أخرى للتأكد من فعاليته في جميع الحالات، حيث أنه قد نجد حالات لا يمكن فيها استخدام القيم الضبابية حتى، او حالات يجب ان تكون

فيها النتائج دقيقة جداً حتى باستخدام المنطق الضبابي، مثل التطبيقات الطبية أو الحالات التي تحتاج تقديم معلومات دقيقة جداً وبسرعة عالية جداً، مثل تطبيقات الملاحة والخرائط. وهذه جميعها حالات يجب دراستها بشكل مخصص من حيث إمكانية توليد بيانات تدريب للشبكات العصبية الخاصة بها عن طريق المنطق الضبابي.

## 6-الاستنتاجات

من خلال هذا البحث الذي تمت فيه دراسة سبل استخدام المنطق الضبابي والشبكات العصبية معاً، توصلنا الى الاستنتاجات العلمية الآتية:

- يمكن استخدام الشبكات العصبية والمنطق الضبابي بشكل متداخل على المستوى البنوي (بنية الشبكة العصبية أو بنية النظام الضبابي).
- يمكن توليد قواعد المنطق الضبابي لنظام ضبابي ما، باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية.
- غالباً ما يحتاج خرج الشبكة العصبية الى عملية تعديل (باستخدام تعديل المنحدرات) قبل استخدامه في توابع العضوية في المنطق الضبابي.
- عند بناء نظام عصبي ضبابي يجب الاستغناء عن قيم العتبة لأن المجموعات الضبابية لا تحوي عتبات بل يتم اخذ مجموعة من التحولات المتدرجة ويتم التعبير عنها كمجال عددي.
- جعل اوزان الشبكة العصبية تأخذ مجالاً ضبابياً، يمكن تمييز الأرقام المكتوبة بخط اليد حسب قواعد الخطوط المرجعية بنسبة نجاح مرتفعة تخطت 70%.
- يمكن في حالات معينة توليد بيانات التدريب الخاصة بالشبكات العصبية عن طريق المنطق الضبابي.

7- المراجع العلمية:

- [1] AGGARWAL C, 2018 - Neural networks and deep learning. SPRINGER Vol. 10/2018. 903 – 978.
- [2] GAMA F, ISUFI E, 2020 - Graphs, convolutions, and neural networks. IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 37. 128 – 138.
- [3] GONZALEZ B, MELIN P, 2015 - Hybrid model based on neural networks, type-1 and type-2 fuzzy systems for 2-lead cardiac arrhythmia classification. Expert Systems with Applications. Vol. 126. 295 – 307.
- [4] HASIBUAN N, 2017 - Expert systems with genetics probability. International Journal of Research In Science & Engineering, Vol. 3. 42 – 54.
- [5] NAITZAT G, ZHITNIKOV A, 2020 - Topology of deep neural networks. J. Mach. Learn. Res. Vol. 184. 1 – 40.
- [6] PRENTZAS N, 2019 - Integrating machine learning with symbolic reasoning to build an explainable AI model for stroke prediction, IEEE Bioinformatics and Bioengineering (BIBE), Vol. 19. 817 - 821.
- [7] RACHMAWANTO E, ANARQI G, SARI C - 2018 Handwriting Recognition Using Eccentricity and Metric Feature Extraction Based on K-Nearest Neighbors. Application for Technology of Information and Communication. Vol.18. 411 – 416.
- [8] RAMIREZ E, MELIN P, PRADO-ARECHIGA G, 2019 - Fuzzy logic in the gravitational search algorithm for the optimization of modular neural networks in pattern recognition. Expert Systems with Applications. Vol. 42(14). 5839 – 5847.
- [9] SHITOLE C, 2007 - Combining fuzzy logic and neural networks in classification of weld defects using ultrasonic time-of-flight diffraction. Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring. Vol. 49. 79 – 89.
- [10] VAN GERVEN M, 2017 - Artificial neural networks as models of neural information processing, Frontiers in Computational Neuroscience, Vol. 11.

114 – 121.

- [11] XIAOYAN W, 2019 - The Study of Visual Symbols in Digital Media Technology. Semantics Scholar, 30 – 47.
- [12] YAMAKAWA T, 1991 - A fuzzy neuron and its application to pattern recognition. IEEE International Sympoisum on Circuits and Systems, Vol.91. 1369 – 1372.
- [13] YAMAKAWA T, 1993 - A fuzzy inference engine in nonlinear analog mode and its application to a fuzzy logic control. *IEEE transactions on Neural Networks* , 496– 522.

# اثر التسخين المسبق وطرق التبريد اللاحقة على الخواص الميكانيكية لأجزاء من حديد الصب الملحومة بالكترودات اللحام ( Ni 58% ) و ( Ni 97.6% )

الباحث: م . باسم محسن عمار

قسم هندسة المواد التطبيقية في كلية الهندسة التقنية في جامعة طرطوس

## المخلص :

يتضمن هذا البحث دراسة عينات من حديد الصب المرن تعرضت للتشققات حيث تم تحليلها كيميائياً وتحديد خواصها الميكانيكية الأولية ثم إجراء عملية اللحام بالقوس الكهربائية واختيار نوعين من إلكترودات اللحام ( Ni 58% , Ni 97.6% ) وتمت دراسة تغيرات عملية اللحام للعينات مثل التسخين المسبق وسرعات التبريد اللاحقة على الخواص الميكانيكية لمنطقة الانصهار ومنطقة التأثير الحراري في الوصلة اللحامية وقد اظهرت النتائج انخفاض بالقساوة ومقاومة الشد عندما يقل معدل التبريد لجميع انواع العينات والسبب في ذلك انه عند زيادة سرعة التبريد تتحول بنية سطح العينة في المنطقة المصهورة كلياً الى طور المارتنزيت نتيجة التبريد السريع للسطح اما عندما يقل معدل التبريد فان قيمة الصلادة تقل وذلك نتيجة التبريد الابطأ والتي عندها لا تحدث تغيرات كبيرة في البنية وبالتالي تكون أقل الصلادة كذلك وجد انخفاض في قيم الصلادة وزيادة مقاومة الشد عند اجراء معاملة التسخين المسبق وذلك لأنه يؤدي إلى تفادي النمو الحبيبي والذي يحدث نتيجة التحلل الجزئي للبرلايت تم التوصل من خلال هذا البحث إلى وصلة لحامية جيدة أعطت أفضل الخواص ,حيث لحمت بنوع الإلكترود ( Ni 97.6% ) مع تسخين مسبق مستمر

الكلمات المفتاحية: حديد الصب المرن - خواص ميكانيكية - لحام - الكترودات لحام - تسخين مسبق - اختبار القساوة - اختبار الصدم - اختبار الشد

# **The effect of preheating and subsequent cooling methods on the mechanical properties of ductile cast iron parts welded by (Inconel 625) and (Ni 97.6%) electrodes**

**Eng. Basem Muhsen Ammar**  
**master student in Applied Materials Engineering**  
**Department, Faculty of Technical Engineering, Tartous**  
**University**

## **Summary**

This research includes the study of samples of ductile cast iron subjected to cracks that they were analyzed chemically and determine its primary mechanical properties and then weld it by arc electric welding and the choice of two types of welding electrodes (Inconel 625, Ni 97.6%) and studied the changes of the welding process of samples ,as preheating subsequent cooling velocities on the mechanical properties of the heat affect zone and the fusion zone of the welding part. The results showed a decrease in hardness and tensile strength when the cooling rate of all types of samples decreased. The structure of the sample surface in the molten zone is completely transformed into the martensite phase due to the rapid cooling of the surface. When the cooling rate decreases, the hardness is reduced due to the slower cooling, which does not induce large changes in the structure and thus less hardness. When preheating is done, led to obviation growth in grain size resultant partial decomposing for perlite. A good welded part was obtained through this research , which gave the best properties, with the type of electrode (Ni 97.6%) with previous and Continuous preheating

**key words:**

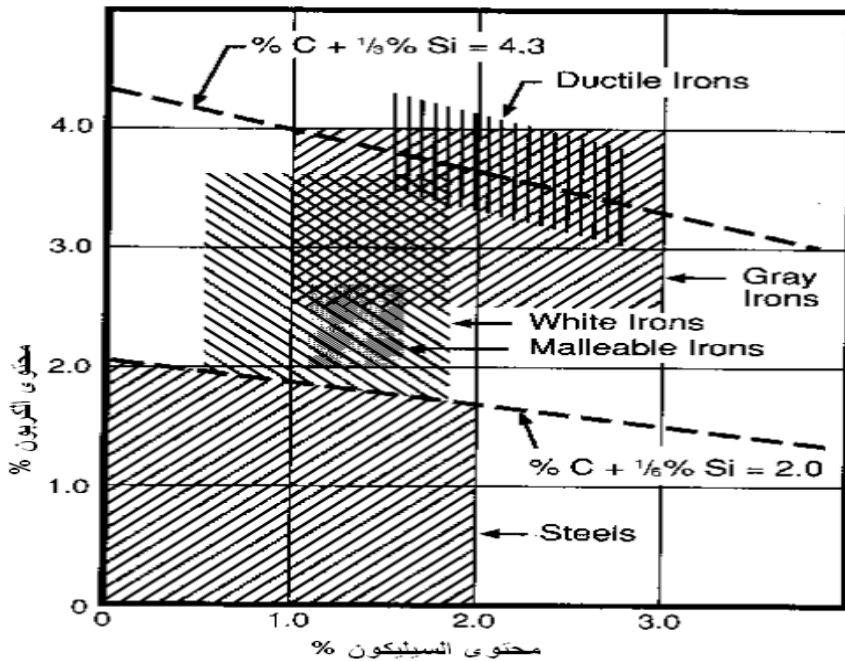


ductile cast iron - Mechanical properties - Welding - Welding electrodes - Preheating - Hardness test - Impact test - Tensile test

مقدمة :

تعد المعادن عصب الصناعة قديمها وحديثها، ومع تطور العلوم وازدياد المعرفة بهذه المعادن أمكن فتح آفاق صناعية جديدة وتحقيق الكثير من الأفكار والنظريات العلمية، وأمکن استخدامها بشكل علمي. وقد تميز القرن الحادي والعشرين مع أواخر القرن العشرين بطفرة ملحوظة في مجال الفلزات أدت إلى الكثير من التطورات في المجالات العلمية والصناعية المختلفة، وأدت هذه التطورات إلى ظهور حديد الصب المرن الذي يملك مزايا واستخدامات كثيرة في وقتنا الحالي مثل (صناعة السيارات - حاوية نفايات نووية) وهو ما يعد مثلاً إضافياً عن مقدرة حديد الصب المرن على التفوق على أكثر الاختبارات صعوبة لأداء المواد في العالم.

لا تشير عبارة حديد الصب إلى مادة واحدة بل إلى ثلة من المواد والتي يكون الحديد الجزء الأكبر من تركيبها، وكميات معينة من الكربون والسيليكون (خلأئط حديدية تحتوي على أكثر من 2% كربون، و 3% سيليكون وحتى 1% من المنغنيز ) [ 1 ] .



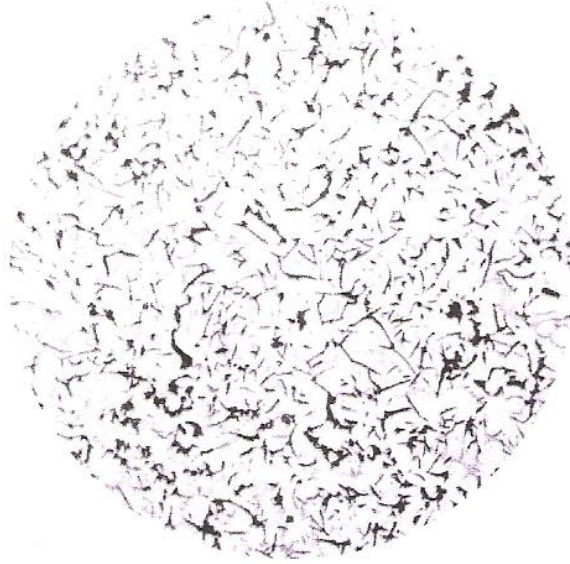
الشكل (1-1) المجالات التقريبية للكربون و السيليكون في الفولاذ والأنواع المختلفة لحديد

### الصب

. كما يرى من الشكل فإن عائلة حديد الصب هي مواد مركبة طبيعية تتحدد خواصها من خلال بنيتها البلورية - الأطوار المتوازنة وغير المتوازنة المتشكلة من خلال التجمد أو المعالجات الحرارية اللاحقة [ 2 ] . هناك طرق عدة لتغيير البنية البلورية لحدي الصب للحصول على الخواص الميكانيكية المرغوب بها، وقد يتم ذلك بإضافة العناصر الخلائطية، أو بتعديل سلوك التجمد، أو عن طريق المعالجة الحرارية بعد التجمد [2] . وفيما يأتي نتحدث عن الأنواع الشائعة لحديد الصب:

**حديد الصب الأبيض (white cast iron):** حديد الصب الأبيض في شكله النهائي ممتلئ بالكربيد الناتجة عن العناصر الخلائطية مما يجعله قاسياً جداً ومقاوماً للاهتراء بالتحاك ولكنه قصف [3].

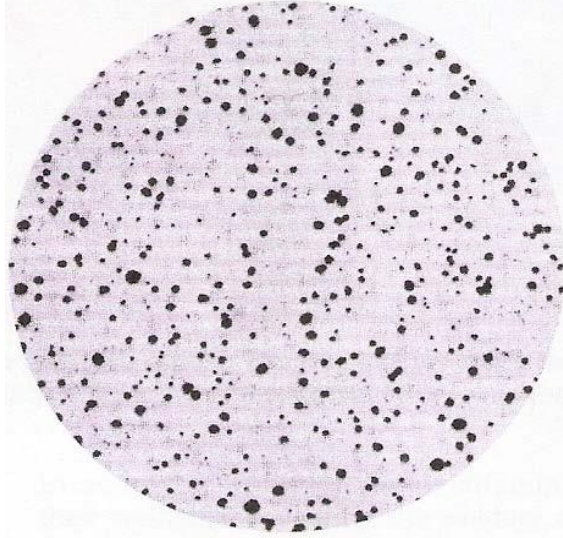
**حديد الصب الرمادي (Gray iron):** يعد حديد الصب الرمادي الشرائحي أقدم أنواع حديد الصب وأكثرها شيوعاً، لذا فإن عبارة حديد الصب وحديد الصب الرمادي قابلتان للتبادل. سمي حديد الصب الرمادي بهذا الاسم لأن مكسره ذو لون رمادي، وتتألف بنيته من شرائح الغرافيت الموزعة على الأرضية المؤلفة من الفيريت أو البرليت أو مزيج من كليهما، وإن سيولة حديد الصب الرمادي العالية يجعل هذا المعدن مثالياً للإنتاج في عملية السباكة، ولا سيما المسبوكات معقدة الشكل. إن شكل الغرافيت الشرائحي في حديد الصب الرمادي الشكل له تأثير كبير على خواصه الميكانيكية حيث تسبب شرائح الغرافيت تشكل إجهادات تسبب أحياناً تمزقات. يبدي حديد الصب الرمادي سلوكاً قصفاً، وينهار عند الشد من دون تشوه ملحوظ، ويعطي وجود الغرافيت لحديد الصب الرمادي قابلية تشغيل ممتازة، وصفات تخميد، وخواص تزييت ذاتية [3].



الشكل (1-2) حديد الصب الرمادي

**حديد الصب المطاوع (Malleable Cast Iron):** حيد الصب المطاوع هو حديد صب أبيض يخضع لمعالجة حرارية على شكل تخمير لتحويل السمنتيت إلى غرافيت. تتألف البنية البلورية لحديد الصب المطاوع من غرافيت عقدي غير منتظم الشكل يدعى بالكربون المراجع موزع على أرضية من الفيريت أو البيرليت أو كليهما معاً. إن وجود الغرافيت على شكل مضغوط أكثر أو على شكل كروي يعطي الحديد المطاوع المرونة والمقاومة المساوية تقريباً لفولاذ منخفض الكربون [4].

**حديد الصب المرن (DUCTILE CAST IRON):** هو عبارة عن حديد صب رمادي، يتم تحويل الغرافيت فيه إلى شكل كروي وذلك بإضافة نسبة معينة من المغنزيوم او السيريوم في أثناء السكب ومن ثم تتحسن خواصه الميكانيكية بشكل كبير حيث أنه يسلك سلوكاً قريباً من الفولاذ [5].



الشكل (1-3) حديد الصب المرن

تاريخ تطور حديد الصب المرن (History of ductile cast iron development):  
على الرغم من التقدم المنجز في النصف الأول من القرن الماضي لحديد الصب إلا أن المهندسين استمروا في البحث من أجل إيجاد حديد صب مثالي ذي خواص ميكانيكية جيدة. تحدث J.W.Bolten عام 1943 م في مؤتمر مجتمع رجال المسابك الأمريكيان (AFS): إن جهودنا تتطلب الإجابة على سؤال واحد، ألا وهو: هل سيتحقق التحكم بشكل الغرافيت الموجود في حديد الصب الرمادي؟ تخيل مادة، تملك في أثناء الصب رقائق من الغرافيت أو تجمعات مشابهة لتلك الموجودة في حديد الصب المطاوع بدلاً من الشرائح المتطاولة. بعد مضي اسبوع، وفي الشركة العالمية للنيكول للبحث والتطوير Keith Dwight Millis أضافت كميات من المغنزيوم على شكل خليطة (نحاس-مغنزيوم) إلى حديد الصب، وحقق أمل Bolten، ولم تحتوي هذه المسبوكات المتصلبة على الشرائح بل على كرات كاملة تقريباً من الغرافيت، وكانت ولادة حديد الصب المرن. بعد خمس سنوات أخرى، في عام 1948م وضمن مؤتمر AFS أعلن HoltenMorrogh عضو أبحاث حديد الصب البريطانية الإنتاج الناجح للغرافيت الكروي في حديد الصب الرمادي بإضافة كميات قليلة من السيريوم. وفي عام 1943م نشرت الشركة العالمية للنيكول تطورها في الوقت نفسه إعلان Morrogh، ابتداءً من اكتشاف

Millis المغنزيوم كمكور للغرافيت، وفي 25/11/1949 منحت الشركة العالمية للنيكل براءة اختراع رقم 2486760، ونسبت إلى: Norman B.Pilling – Albert P.Gegiebn – KrithD.Millis هؤلاء كانوا مهندسي ولادة الحديد المرن [5]. ويعود نجاح حديد الصب المرن إلى تعدد استعمالاته وأدائه العالي وكلفته المنخفضة [6].

### لحام حديد الصب المرن:

تتوقف قابلية اللحام على البنية المجهرية والخواص الميكانيكية، فعلى سبيل المثال حديد الصب الرمادي هو قصف، ولا يتحمل في الغالب الضغط الناتج عن عملية اللحام والتبريد اللاحق، أما حديد الصب المطاوع وحديد الصب المرن فهما يشكلان مارتنيسيت بمقدار أقل، فهما يبديان قابلية لحام أكبر، وخصوصاً عندما يكون محتوى الفيريت عالياً (تعطى مجموعات الغرافيت في حديد المطاوع وحديد الصب المرن مطيلية أكبر الأمر الذي يحسن قابلية اللحام) [5]. أما حديد الصب الأبيض والذي يكون قاسياً جداً ويحتوي على كربيدات الحديد يعد عادةً غير قابل للحام [7]. ونظراً لنسبة الكربون العالية، فإن أنواع حديد الصب كلها لها عامل مشترك يؤثر على قابلية لحامها، وفي أثناء لحام حديد الصب تصبح المنطقة المجاورة مباشرة لمنطقة اللحام ساخنة إلى درجة الالتحام أو الانصهار، وبعد عملية اللحام تبرد كامل المنطقة التي تأثرت بالحرارة بسرعة كبيرة جداً، وفي أثناء عمليتي التسخين والتبريد فإن بعض الكربون ينحل وينتشر في الأرضية المعدنية، ونتيجة لذلك فإن الكربيدات تميل إلى تشكيل حافة لمنطقة الالتحام، والمارتنيزيت والبينييت العالي الكربون يميلان إلى تشكيل ما تبقى من المنطقة المتأثرة بالحرارة، وإن تشكيل هذه الأجزاء الدقيقة القاسية الهشة يزيد من العرضة للتصدع، وكذلك نتيجة طبيعته الموضوعية، فإن اللحام يؤدي إلى إجهادات حرارية في منطقة اللحام [8]. لذا فإن اللحام الناجح يمكن أن يتم من خلال تقليل الإجهادات الحرارية إلى الحد الأدنى عند تقلص المعدن الملحوم في أثناء التبريد، والتقاط الكربون من قبل المعدن الملحوم، وذلك من خلال التحكم بمعدل التبريد [8]. وللتحكم في معدل التبريد فمن الأفضل إجراء تسخين مسبق لمنطقة اللحام [7,8]

### الكترودات اللحام لحديد الصب المرن :

لقد تم تجريب اللحام على البارد لحديد الصب المرن باستخدام الكترودات منخفضة الكربون (Est) فكانت النتيجة سلبية ، ولم تعط نتائج جيدة بسبب تشكل عيوب كثيرة لطريقة اللحام هذه . وباستخدام الكترودات من السبائك ذات الاساس النحاسي او من مركب النحاس والحديد او النحاس والفولاذ فكانت النتيجة افضل منها في استخدام الكترودات منخفضة الكربون. اما عند استخدام الكترودات من السبائك ذات الاساس النيكلي مثلا نيكل نقي (ENi-CI) او نيكل حديد (E Ni Fe-CL) او نيكل نحاس (ENI-CU) وهي الكترودات شائعة الاستعمال بسبب مزاياها الا انها عالية الكلفة [3].

ان الوصلات للحماية المنجزة باستخدام الكترودات النيكل هي لحامات مطيلية وسهلة سهلة التشغيل حتى لو طبقت على مقاطع رقيقة ، لكنها عرضة للتشريح عند تواجد الفوسفور. وكلما كانت نسبة الفوسفور اقل تكون الكترودات النيكل اكثر ملائمة واقل كلفة واقل عرضة للتشريح [3].

### الدراسات المرجعية:

الدراسة المرجعية الاولى

R.K.Wilson and T.J. Kelly,R.A.Bishel: ,Company research

CenterTexas , dallas USA 1984

عالجت هذه الدراسة مسائل لحام الفونت الذى له اجهاد المتانة يتعدى 550Mpa بدون تسخين مسبق اذا استخدمت قضبان لحام Ni-Fe-Mn بانواع الثلاث وفق ما هو مبين بالجدول وقد استنتج الباحث ان استخدام قضبان الملء 65-45-12L بنسبة الكربون 2,9% C كانت مقاومة الشد 481 Mpa بينما عند استخدام القضبان 80-55-06 ادت الى زيادة في مقاومة الشد لتصبح 693 Mpa كذلك الامر بالنسبة للخواص الميكانيكية من اجهاد خضوع واجهاد المتانة والاستطالة النسبية والقساوة

الدراسة المرجعية الثانية:

Sachin B.sutar,Dr.K.H.Inamdas: Analysis of Mechanical properties for welded Gast iron. Department of Mechanical Engineering Walchand College of Engineering, Sangli IndianVolume2,issue 6 June 2015

عالج هذا المرجع عملية لحام الفونت واستنتج انه بالإمكان الحصول على وصلات لحامية جيدة اذا كانت سرعة اللحام مراقبة ومستمرة اثناء عملية اللحام وبعد العملية. ان قابلية اللحام لحديد الفونت الرمادي اقل من قابلية اللحام للفولاذ بسبب وجود نسبة عالية من الكربون وبحضور السيليكون الامر الذي يجعل الوصلات اللحامية اقل مطواعيه بسبب منطقة التأثير الحراري. اثناء عملية التبريد تتشكل شرائح الكرافيت حيث يصعب لحامها، وقد وجد حلا للحام الحديد الفونت بالطريقة اليدوية باستخدام اللحام الاوكسياستلين ضمن غاز خامل واقى باستخدام قضبان من النيكل اوقضبان من حديد الصب. قد يستخدم التسخين المسبق لدرجة حرارة 350 C يحسن من الخواص الميكانيكية للوصلة اللحامية.

الدراسة المرجعية الثالثة:

Samuel D> Kiser,P.E.,FAWS,and Michael Northy:Welding Gast iron : Canain Welding Associaty Journal,6(2015)

يتطرق هذا البحث على صعوبة لحام حديد الصب بشكل عام وذلك نتيجة زيادة نسبة الكربون الذي يتدخل في بنية الحديد والتي يقلل من قابلية لحام حديد الصب. ويذكر الباحث ان هناك طريقتين للحام حديد الصب وهي طريقة الحام على البارد وطريقة اللحام على الساخن وذل طبقا لدرجات حرارة التسخين. في اللحام على البارد تكون درجة حرارة التسخين المسبق غير كافية وتتشكل طبقات من المارتنيسيت والكربيد التي لا يمكن مراقبتها . في هذه الحالة يجب استخدام قضبان اساسها النيكل مما يمتنع تشكل الكربيد.

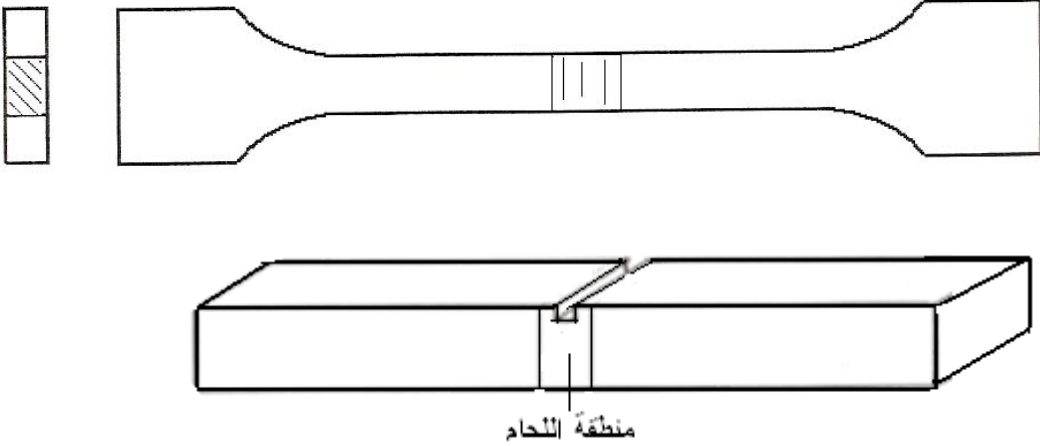
هدف البحث :

- 1 - دراسة قابلية حديد الصب المرن للحام
- 2- تحديد وتقييم جودة اللحام.

اثر التسخين المسبق وطرق التبريد اللاحقة على الخواص الميكانيكية لأجزاء من حديد الصب  
الملحومة بالكترودات اللحام ( Ni 58% ) و ( Ni 97.6% )

3- دراسة مدى تأثير سرعات التبريد اللاحقة لمنطقة اللحام على الخواص الميكانيكية  
لملحومات حديد الصب المرن  
طرائق البحث ومواده :

اجري هذا البحث على عينات من حديد الصب المرن ما خوذة من مخبر مقاومة المواد  
في كلية الهندسة التقنية حيث تم تجهيز عينات الشد وفق المواصفات الدولية وذلك وفق  
الأشكال (5-15) ، (5-14)، وقد تم تحديد طول القياس (LO) لعينات الشد وفق  
المقاييس الدولية  $LO = 5,65\sqrt{A_0}$  حيث  $A_0$  هي مساحة المقطع الأولية للعينة [2].



المعدات والتجهيزات التي تم استخدامها:

جهاز التحليل الطيفي:

لقد تم إجراء كافة التحاليل الكيميائية كلها عليه لمعرفة التركيب الكيميائي للعينات  
المحضرة، وهو نوع (spark) الموجود في كلية الهندسة التقنية كما هو مبين في الشكل  
جهاز اختبار الشد:

ولقد تم استخدام جهاز شد هيدروليكي باستطاعة مقدارها 60 طنًا -إيطالي المنشأ-  
مبرمجًا .والهدف من اختبار الشد هو التعرف على سلوك العينة في أثناء هذا الاختبار ،  
وذلك بدراسة مخطط (الحمولة - استطالة ) او (اجهاد - انفعال)

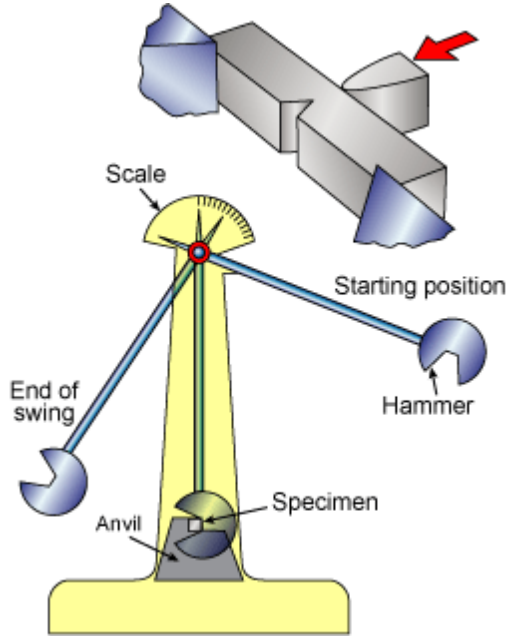


### جهاز اختبار القساوة:

لقد تم استخدام جهاز قساوة يستطيع قياس قساوة برينل وفيكرز وركويل، أما في هذا البحث فقد تم استخدام مقياس برينل باستخدام رأس ضاغط عبارة عن كرة فولاذية بقطر 2.5 مم ويحمل 187.5 كغ. ولقد تم استخدام قساوة العينات الأولية قبل اللحام وبعد اللحام وبعد كل طريقة تبريد

### جهاز الصدم :

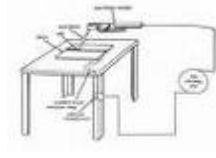
استخدم لقياس مقاومة الصدم للعينات المختبرة، حيث تم استخدام جهاز شاربي الموجود في مخبر مقاومة المواد حيث تم استخدام عينات صدم نظامية بابعاد (10\*55) مم وحز منتصف العينة على شكل حرف V وبعمق 1.5 مم



### جهاز لحام القوس الكهربائي:

استخدم هذا الجهاز لإجراء عمليات اللحام التي أجريت في هذا البحث. كما هو موضح بالشكل

اثر التسخين المسبق وطرق التبريد اللاحقة على الخواص الميكانيكية لأجزاء من حديد الصب  
الملحومة بالكتروودات اللحام ( Ni 58% ) و ( Ni 97.6% )



الاجراءات العملية الرئيسية في هذا البحث:

اولا: اجراء تحليل طيفي للعينات المأخوذة لتحديد التركيب الكيميائي للمعدن المدروس  
فكانت النتيجة كالتالي

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al
%	%	%	%	%	%	%	%	%
3.5	1.66	0.256	<0.00020	0.0287	0.0757	0.0157	0.0093	0.0133

Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Mg	As
%	%	%	%	%	%	%	%	%
0.0026	1.05466	0.0076	0.0154	0.0052	0.0021	0.0032	0.0595	0.111

Zr	Bi	Ca	Ce	B	Zn	Sn	Fe
%	%	%	%	%	%	%	%
<0.00050	0.256	>0.0048	<0.00050	<0.00010	0.0018	0.0093	Reem

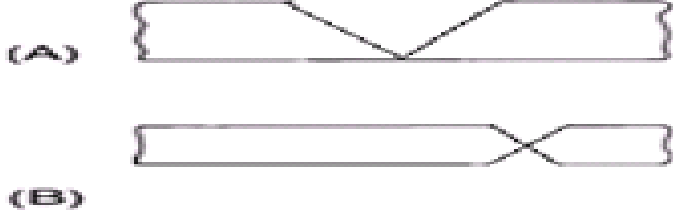
كما ان التركيب الكيميائي لالكتروودات اللحام هو كالتالي:

Fe	Mo	Ta	Nb	Cr	Ni	Mn	si	Ni 58%
other	8-10	4.5	3.5	25-20	58	0.5	0.5	
			Fe	Ni	Mn	si	c	Ni 97,6%
			other	97.61	0.2	0.4	0.1	

كما يلاحظ من نتائج التحليل الطيفي بأن التركيب الكيميائي هو التركيب المميز لحديد الصب المرين من حيث نسبة الكربون والسيلكون وجود نسبة منخفضة من المغنزيوم (0.0595%) مما يدل على أنه قد تم استخدام المغنزيوم في عملية التكرور

### ثانيا : اجراء عملية اللحام:

تحضير العينات لاجراء عملية اللحام: تم تحضير العينات المراد لحامها من خامتها الاولية بواسطة المنشار القرصي بعدا تمت قص العينات من المنتصف وشطف حواف العينات وذلك حسب السماكة كما هو موضح بالشكل



ثم اجراء عملية اللحام بطريقة القوس الكهربائي باستعمال تيار لحام مقداره ( 110 A )  
لأربع نماذج من العينات

النموذج الاول لحمت عيناته بشكل مباشر بدون تسخين اولي وباستخدام الكترود لحام  
من نوع **Ni 58%**

النموذج الثاني اجري التسخين المسبق لعيناته لدرجة حرارة ( 500 C ) ايضا بنفس  
نوع الالكترود **Ni 58%**

النموذج الثالث لحمت عيناته باستخدام الكترود لحام نوع **Ni 97.6%** بشكل مباشر بدون  
تسخين اولي

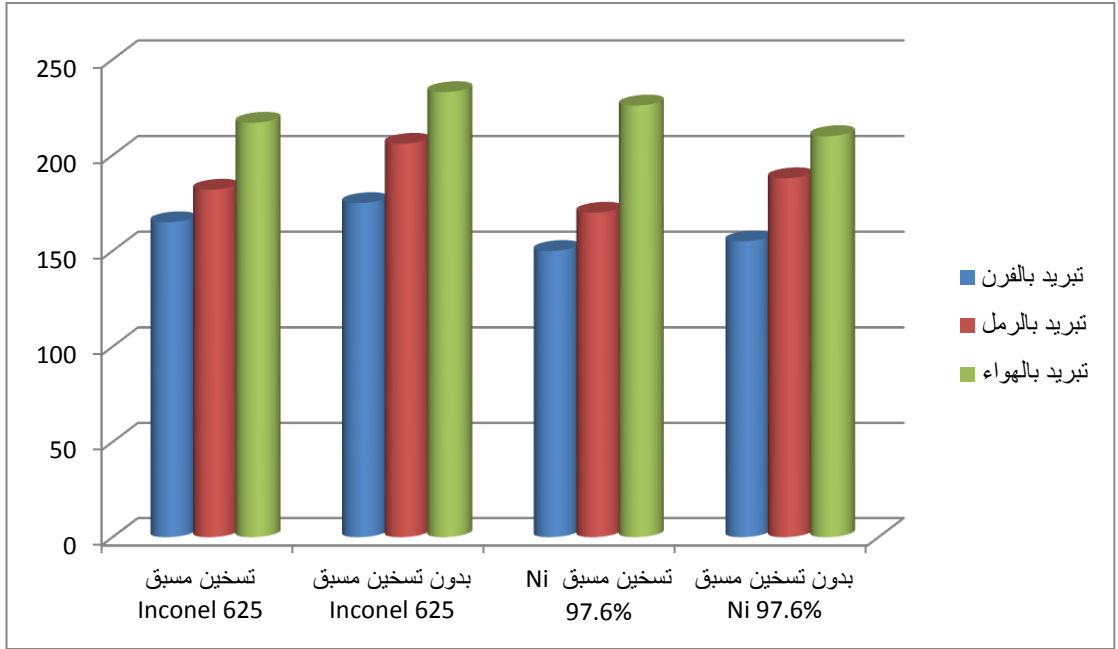
النموذج الرابع فلحمت عيناته ايضا بالكترود لحام نوع **Ni 97.6%** بعد ان اجري لها  
تسخين مسبق مستمر لدرجة حرارة ( 500 C )

ثم تم التبريد بسرعات مختلفة ( تبريد سريع بالهواء الجاف - تبريد بطئ باستخدام الرمل  
الجاف - تبريد بطئ جدا عبر وضعها بالفرن وتركها لتبرد ببطيء )

### النتائج والمناقشة :

نتائج اختبار القساوة: تم استخدام مقياس برينل باستخدام رأس ضاغط عبارة عن كرة  
فولاذية بقطر 2.5 مم ويحمل 187.5 كغ. ولقد تم استخدام قساوة العينات الأولية قبل  
اللحام وبعد اللحام وبعد كل طريقة تبريد وبين الشكل نتائج الاختبارات

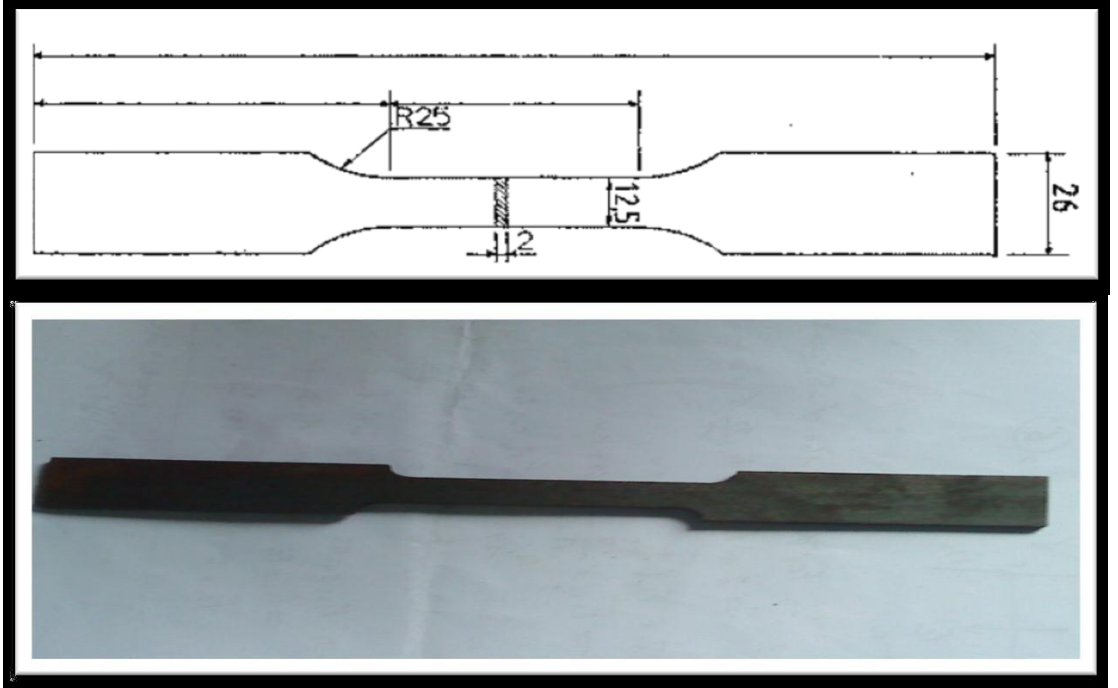
اثر التسخين المسبق وطرق التبريد اللاحقة على الخواص الميكانيكية لأجزاء من حديد الصب  
الملحومة بالكترودات اللحام ( Ni 58% ) و ( Ni 97.6% )



نلاحظ اختلاف قيم الصلادة لكل نموذج من العينات وسبب ذلك هو نتيجة التبريد في اوساط مختلفة وبالتالي سرعات تبريد مختلفة فعند التبريد في الهواء تتحول بنية سطح العينة في المنطقة المصهورة كلياً (منطقة اللحام) الى طور المارتنيسيت نتيجة التبريد السريع [8]. أما بالنسبة للعينة التي تم تبريدها في الرمل الجاف فنلاحظ أن قيم الصلادة أقل وذلك نتيجة التبريد الأبطأ من حالة الهواء والتي عندها لا تحدث تغيرات كبيرة في البنية وبالتالي تكون الصلادة أقل [8]. أما عند التبريد في الفرن فتكون التغيرات في البنية قليلة جداً حيث ان التبريد بالفرن يتضمن عملية تخمير للعينات والتي يحدث خلالها تعميم البنية المجهرية [5]. اما التسخين المسبق للعينات فانه يؤدي إلى تفادي النمو الحبيبي والذي يحدث نتيجة التحلل الجزئي للبرليت هذا التحلل يتضمن انفصال السمنتيت (C3Fe) الموجود في البرليت ويترسب على الحدود البلورية وهذا ما يعطي الليونة للعينات المسخنة مسبقاً وانخفاض قساوتها [7]. كما اننا نلاحظ من الشكل السابق ان استخدام الكترود لحام Ni 97.6% اعطى نتائج افضل من الكترود اللحام Inconel 625 من حيث انخفاض القساوة ويعود السبب في ذلك الى وجود معدن النيكل الموجود

في قضبان اللحام حيث ينحل في منطقة الانصهار والذي يؤدي إلى تخفيض إمكانية تشكل الأطوار القاسية (كربيدات او مارتنيسيت)[5]. والفرق في نسبة تخفيض القساوة بين النماذج التي تم لحامها بقضبان لحام Inconel 625 و النماذج التي تم لحامها بقضبان لحام Ni 97.6% مرتبط بمقدار نسبة النيكل المنحلة في كل حالة

نتائج اختبار الشد : قمنا بتحضير عينات الشد وفق المواصفات القياسية DIN 17600 كما هو موضح بالشكل



ثم اجري اختبار الشد على العينات وسجلت النتائج وبيين الشكل نتائج الاختبارات للعينات بتسخين مسبق وبدون تسخين مسبق وبقضبان لحام مختلفة والتبريد بسرعات مختلفة

اثر التسخين المسبق وطرق التبريد اللاحقة على الخواص الميكانيكية لأجزاء من حديد الصب  
الملحومة بالكترودات اللحام ( Ni 58% ) و ( Ni 97.6% )



نلاحظ من الشكل اختلاف قيمة مقاومة الشد لكل نموذج من العينات حيث يلاحظ ان اكبر قيمة لمقاومة الشد قد حصل في العينات الملحومة بالكترودات Ni 97.6% والمسخنة تسخيناً مسبقاً ثم المبردة تبريداً بطيئاً في الفرن ويعود السبب في ذلك لانه عند التسخين المسبق للعينات ثم التبريد البطيء يؤدي إلى تفادي النمو الحبيبي والذي يحدث نتيجة التحلل الجزئي للبرلايت إن هذا التحلل يتضمن انفصال السمنتايت الموجود في البرلايت ويترسب على الحدود البلورية وهذا يزيد من مقاومة الشد كذلك فانه عند التبريد البطيء فان الغرافيت الموجود في البنية يتحول الى غرافيت حر وهذا يعد كافياً لتجنب تشكيل الكرييدات الاضافية او المارتزيت [7]. كما ان الزيادة في مقاومة الشد تكون ملحوظة اكثر اثناء استخدام قضبان Ni 97.6% في اللحام وذلك بسبب احتوائها على نسبة اعلى من النيكل الذي ينحل في الفريت كما انه يلعب دور في تعميم الحبيبات [10].

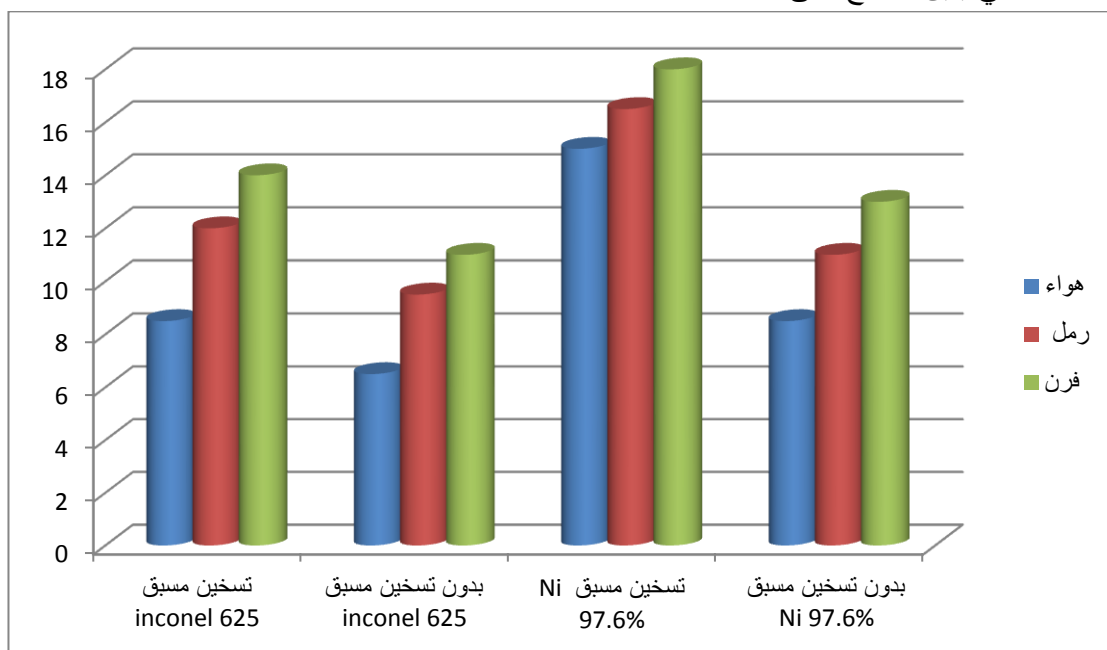
#### نتائج اختبار الصدم :

تم استخدام عينات صدم نظامية بابعاد (10\*55) مم وحز منتصف العينة على شكل حرف V وبعمق 1.5 مم واختبارها على جهاز الصدم نوع شاربي الموجود في مخبر مقاومة المواد في كلية الهندسة التقنية الموضح بالشكل

وكانت النتائج على الشكل التالي :

Ni 97.6%						Inconel 625						قضايا اللحام
بدون تسخين مسبق			تسخين مسبق			بدون تسخين مسبق			تسخين مسبق			اجراءات اللحام
فرن	رمل	هواء	فرن	رمل	هواء	فرن	رمل	هواء	فرن	رمل	هواء	وسط التبريد اللاحق
13	11	8.5	18	16	15	11	9.5	6.5	14	12	8.5	مقاومة الصدم

والشكل التالي يبين النتائج على شكل مخطط :



نلاحظ انه كلما كان التسخين ابطا كلما اعطى مقاومة صدم اعلى وكذلك التسخين المسبق قد حسن من قيمة مقاومة الصدم ويعود السبب في ذلك لأن عملية التسخين المسبق إلى درجة حرارة محددة تؤدي إلى تخفيض سرعة التبريد لمنطقة اللحام وللمعدن الأساس وكذلك الامر بالتبريد البطيء اللاحق الذي بدوره يؤدي إلى تشكل بنية ميتالورجية لدنة ذات مقاومة أكبر للتمزق [5]. وكلما إنخفضت سرعة التبريد كانت الفرصة الأكبر لأن ينتشر الهيدرجين خارج المعدن [1]. مما يقلل كذلك من إمكانية حدوث التمزقات،

اثر التسخين المسبق وطرق التبريد اللاحقة على الخواص الميكانيكية لأجزاء من حديد الصب  
الملحومة بالكترودات اللحام ( Ni 58% ) و ( Ni 97.6% )

وكذلك يخفض التسخين المسبق الإجهادات التي تتشكل نتيجة حدوث التقلص بين منطقة اللحام والمعدن الأساس مما يؤدي إلى تسخين خواص ميكانيكية معينة من مثل مقاومة الصدم وكما يلاحظ من الشكل بأن استخدام الكترودات Ni 97.6% مقاومة صدم أفضل من الإلكترودات (Inconel 625) حيث أن ارتفاع نسبة النيكل تحسن من إنحلالية الغرافيت ، وهذا ناتج عن قدرة النيكل على الإنحلال في الأوستنيت، وفي أثناء عملية التبريد يبقى النيكل منحللاً في الأوستنيت مانعاً من تشكل السمنتيت القاسي، علاوةً على ذلك عوضاً أن يتشكل الكربون سمنتيت ينمو على شكل غرافيت كروي مما يؤدي إلى تحسن اللدونة ومن ثم مقاومة الصدم [5].

الاستنتاجات والتوصيات :

- 1- انخفاض الصلادة وزيادة في مقاومة الشد عندما يقل معدل التبريد
- 2- انفاض الصلادة وزيادة في مقاومة الشد عند اجراء معاملة التسخين المسبق
- 3- اعطى استخدام قضبان لحام نوع ( Ni 97.6% ) نتائج افضل من استخدام قضبان ( Inconel 625 ) في تحسين جميع الخواص الميكانيكية وهذا يعود الى ارتفاع نسبة النيكل التي تحسن من انحلال الغرافيت ومنعه من تشكيل اطوار قاسية (كربيدات ومارتنسيت)
- 4- نوصي بدراسة اثر المعالجة الحرارية اللاحقة على الخواص الميكانيكية لملحومات حديد الصب
- 5- نوصي بدراسة اثر التبريد باستخدام الماء والزيت على الخواص الميكانيكية لملحومات حديد الصب



المراجع :

المراجع الاجنبية

- 1- Mehmet ,Simsir " " Effect of heat treatment on fracture behavior gray cast iron" Springer Science Business Media B.V. 2008
- 2- K.B. Rundman, J.R. Parolini, D.J. Moore "Relationship Between Tensile Properties and Matrix Microstructure in Austempered Gray Iron" Michigan Technological University ,Houghton, Michigan, Copyright 2005 American Foundry Society
- 3- S. D. Kaiser, P. E. Faws and M. Northey, "Welding Cast Iron, Canadian Welding Journal" ,Fall (2005), pp.1-4
- 4- G. Marahleh, A. R. I. Kheder and S. Al-Goussous, "Fatigue Crack Propagation in SGI and CGI", J. Applied Sci. 5 (6).(2005), pp.1004-1011
- 5- J.Francisco Carcel-Carrasco(2016) An Analysis of Weld ability of Ductile Cast Iron using Inconel 625 for the Root Weld and Electrodes Coated in 97,6% Nickel for the Filler Welds ,ITM , Universitat politecnica de Valencia>
- 6- V.E.Bouchanan,P.H Shipway and D.G.Cartney,Wear 263(2007)
- 7- Bipin Kumar Srivastava, S.P.Tewari and Jyoti Prakash, "A Review on Effect of Preheating and/or Post Weld Heat Treatment on Mechanical Behaviour of Ferrous Metals",International Journal of Engineering Science and Technology,vol. 2(4),2010

### المراجع العربية:

- 8- مجموعة مؤلفون. تقانة اللحام المؤسسة العامة للتدريب المهني والتقني .السعودية  
1429هـ
- 9- جديد علي :تصنيع الفونت المرن في الجمهورية العربية السورية: رسالة  
ماجستير في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة تشرين 2005 .
- 10- ج. عبد السميع عبد الزهرة الكلابي (2011): دراسة تأثير نوع قضيب  
اللحام على مقاومة شد الملحومات الصلب الواطئ السبائك العالي المقاومة.مجلة  
جامعة بابل - كلية الهندسة.

## دراسة تأثير نوع قطب اللحام على مقاومة شد

### ملحومات الفولاذ السبائكي العالي المقاومة

الباحث: م . باسم محسن عمار

قسم هندسة المواد التطبيقية في كلية الهندسة التقنية في جامعة طرطوس

#### الملخص:

أستحدث الفولاذ السبائكي بعد أن أصبح الفولاذ الكربوني لا يفي بمتطلبات الصناعة الهندسية، فلا يمكن الحصول من الفولاذ الكربوني على مقاومة شد أعلى من (700MPa)، إذا ما أريد الاحتفاظ بمتانة ومطيلية مقبولتين في الوقت نفسه. كما انه معرض لظاهرة تأثير الكتلة (mass effect). إضافة إلى مقاومته الضعيفة للتآكل والتأكسد وغيرها.

ويدخل الفولاذ السبائكي السبائك في صناعة الكثير من أجزاء المعدات الهندسية الثقيلة والقوالب والمعدات الزراعية وغيرها. والتي قد تتعرض للفشل أثناء الخدمة، مما قد يستوجب إعادتها إلى العمل، القيام بتصليحها أو صيانتها بإحدى طرق اللحام المتوفرة. وتتحدد قابلية لحام الفولاذ من خلال تحسسه للتشققات، والتي يمكن الحد منها بعدة طرق غالباً ما تكون مكلفة وصعبة التطبيق، بل قد يتعذر تطبيقها أحياناً. ولعل التحكم باختيار نوع قطب اللحام المستخدم، هي من أسهل الطرق تطبيقاً وأقلها كلفة.

وقد تم لحام الفولاذ السبائكي السبائك العالي المقاومة بطريقة القوس المعدني اليدوي (MMA)، باستخدام مجموعة من أقطاب اللحام المتفاوتة في تركيبها الكيميائي وفي أسعارها أيضاً، واختبار تأثيرها على مقاومة الشد.

وقد بينت النتائج ارتفاع قيمة مقاومة الشد وكفاءة وصلة اللحام، عند استخدام أقطاب اللحام المحتوية أغلفتها على نسبة عالية من مسحوق الحديد والمنخفض الهيدروجين. حيث بلغت مقاومة الشد (484MPa) وكفاءة وصلة اللحام (56.9%)، عند استخدام قطب اللحام (OK 48.04). وارتفعت مقاومة الشد إلى (720MPa) وكفاءة وصلة اللحام إلى (84.7%)، عند استخدام القطب (OK 76.18). كما بلغت كفاءة وصلة اللحام عند استخدام القطب (OK 63.34) (72%). في حين لم تتجاوز (24.2%) عند استخدام قطب اللحام الأرخص ثمناً (OK 46.00)، و (38.1%) عند استخدام القطب الأعلى ثمناً (OK 92.18).

### **Abstract**

Alloy steel is used today instead of carbon steel for achieving of engineering industries requirements. Where in carbon steel, a tensile strength higher than (700MPa) with a suitable toughness and ductility, can't be obtained. It is also susceptible to "mass effect". In addition to its low resistance to corrosion and oxidation ...etc.

Low alloy steel is employed in fabrication many parts of heavy engineering industries, dies, agricultural equipment and so on, which may fail during service. Hence, they may need to repair with one of the available welding processes.

Weldability of steel relates to sensitivity to cracks, which can be prevented by much care and special procedure that often is cost and difficult in application. Even it may sometimes inapplicable. Perhaps, the suitable electrode choice for welding is the easiest application and the lowest costs.

The manual metal arc welding of low alloy high strength steel was done using some of electrodes which are different in their chemical composition and price. As well as test their effects on tensile strengths.

Results showed that the tensile strength and the weld joint efficiency increased when iron powder low hydrogen covering electrodes were used. The tensile strength was (484MPa) and the weld joint efficiency was (56.9%), when (OK 48.04) electrode was used. Also, the tensile strength increased to (720MPa) and the weld joint efficiency to (84.7%), when (OK 76.18) electrode was used. And the efficiency of weld joint when (OK 63.34) electrode was used, reached to (72%), whereas it didn't exceed (24.2%) when using the cheapest electrode (OK 46.00), and (38.1%) when using the most expensive electrode (OK 92.18).

## مقدمة

تضاف عادة العديد من العناصر السبائكية إلى الفولاذ، وينسب متباينة، كالكروم والنيكل والفناديوم والمولبدنيوم والتتستن والكوبلت. كما تضاف عناصر المنغنيز والسليكون والفسفور والكبريت بنسب أكبر مما هي عليه في الفولاذ الكربوني. وذلك لزيادة المقاومة الميكانيكية والحرارية، ومقاومة التآكل، وتحسين قابلية الاصلاح وقابلية التشغيل والمطيلية... الخ [Khanna,1980].

ويكون الفولاذ السبائكي السبائك العالي المقاومة أقوى من الفولاذ الكربوني، إلا انه أكثر كلفة بقليل. ولهذا النوع من الفولاذ تطبيقات كثيرة جداً، فهو يدخل في صناعة التروس (gears) وأعمدة الدوران (spindles) والقضبان الرابطة (connecting rods) والأعمدة المرفقية (crankshafts) ومحاور العجلات (axles). ويدخل في صناعة النوابض (springs) والمحامل (bearings) والدرافيل (rollers). وفي صناعة القوالب (dies) والكثير من أجزاء المعدات الزراعية [Khanna,1980;Bailey,1985].

وقد تتعرض هذه الأجزاء إلى الفشل أثناء الخدمة، مما قد يتطلب إعادتها إلى العمل، القيام بتصليحها أو صيانتها بإحدى طرق اللحام المتوفرة.

وتعتمد قابلية لحام (weldability) الفولاذ السبائكي على التركيب الكيماوي (نسبة الكربون والعناصر السبائكية) وقابلية الاصلاح (hardenability). فمع زيادة نسبة الكربون والعناصر السبائكية، تزداد قابلية الاصلاح، وتزداد صعوبة لحام هذا الفولاذ، فتزداد الحاجة إلى العناية والحذر، وإلى استعمال أساليب خاصة للحامه، وذلك لتجنب حدوث تشققات اللحام (بنوعيهما الساخنة والباردة) في منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بحرارة اللحام (HAZ)، والتي تعتبر أكثر عيوب اللحام أهمية وخطورة، حيث تتحدد قابلية لحام الفولاذ من خلال تحسنه لهذه التشققات

[Khanna,1980;Lancaster,1987;Stuart,1997].

ويمكن منع أو تلافي حدوث تشققات اللحام بعدة طرق، كالتسخين الأولي (preheating) والتسخين اللاحق (postheating) وإجراء طريقة التبريد (buttering) والتحكم بمعدل التبريد (cooling rate) من خلال التحكم بحجم خرزة اللحام أو حوض اللحام وغيرها. ويعتبر في استخدام هذه الطرق خسارة بالوقت والجهد والمال، علاوة على

صعوبة تطبيقها. بل قد يتعذر تطبيقها أحياناً، حسب حجم الملحومة وشكلها ووضع اللحام (welding position)

[WTC,1983;Davies,1989;Marcheako,1983;Sacks,1981].

ويمكن الحد من تشققات اللحام أو التقليل منها بسهولة، وبكف أقل بكثير، عن طريق اختيار نوع قطب اللحام الملائم. وتوجد العشرات من أنواع أقطاب اللحام المصنعة خصيصاً للحام الفولاذ السبائكي العالي المقاومة، والمتفاوتة في التركيب الكيميائي لسلك اللحام وغلاف القطب، وفي أسعارها، تفاوتاً كبيراً. لذا تصبح دراستها واختيار المناسب منها، حسب نوع المعدن وسمكه ووضع اللحام وتيار اللحام المتوفر، أمراً ضرورياً [ESAB,2007;ESAB,2001;Oerlikon,2002;Stuart,1997].

فيمكن لحام المقاطع بسمك (6mm) أو أقل باستخدام قطب لحام مصنوع من

الفولاذ الطري

(mild steel) والحصول على مقاومة لوصلة اللحام مقاربة لمقاومة المعدن الأساس (base metal). والسبائك ذات المقاومة الأعلى تحتاج إلى معادن مألوفة بخواص ميكانيكية مماثلة للمعدن الأساس. كما يمكن التقليل من حدوث التشققات الباردة عند لحام الفولاذ السبائكي العالي المقاومة، باستعمال أقطاب منخفضة الهيدروجين (المصنوعة من الفولاذ الطري أو السبائكي) ومعدلات تبريد منخفضة [Khanna,1980].

يهدف البحث إلى دراسة تأثير استخدام مجموعة من أقطاب اللحام المتفاوتة في تركيبها الكيميائي وأسعارها، على مقاومة شد ملحومات من الفولاذ السبائكي العالي المقاومة. خاصة وإن اختبار الشد يعتبر أهم اختبارات اللحام الاتلافية على الإطلاق. فعلاوة على مقاومة الشد، يمكن من خلاله معرفة مقاومة خضوع ومعامل مرونة ومتانة الملحومات.

## الجزء العملي

### 1. المعدن الأساس

يبين الجدول (1) التركيب الكيميائي للمعدن الأساس، حسب المواصفات الروسية (GOST)، المعتمدة في الشركة العامة للصناعات الميكانيكية / الإسكندرية، موقع تنفيذ البحث [ (MH),1978;(MIR),1968].

الجدول (1) التركيب الكيميائي للمعدن الأساس

التركيب الكيميائي						شكل وأبعاد مقطع المادة الخام الأولية (ملدنة)(mm)	رمز الموصفة	المعدن الأساس
C%	Mn%	Si%	Cr%	Ni%	Mo%			
0.36- 0.44	0.5- 0.8	0.15- 0.3	0.6- 0.9	1.25- 1.75	0.15- 0.25	صفيحة معدنية (20*100)	40XHM	صلب واطئ السيانك عالي المقاومة

2. أقطاب اللحام

يبين الجدول (2) أقطاب اللحام المستخدمة كمعدن مالى، وبعض خواصها،

حسب المواصفات السويدية (OK)

[ESAB,2007;ESAB,2001;Oerlikon,2002].

الجدول (2) مواصفات أقطاب اللحام المستخدمة

نوع معدن السلك	نوع الغلاف	مقاومة شد معدن اللحام (MPa)	قطب اللحام
صلب طري	تيتانيا - بوتاسيوم	510	OK 46.00
صلب طري	مسحوق الحديد - منخفض الهيدروجين	560	OK 48.04
صلب واطئ السيانك 1.3%Cr, 0.5%Mo	مسحوق الحديد - منخفض الهيدروجين	620	OK 76.18
صلب مقاوم للصدأ اوستنايتي 19%Cr, 12%Ni, 2.8%Mo	----	600	OK 63.34
نيكل	----	300 عند لحام حديد الزهر	OK 92.18

### 3. لحام الفولاذ السبائكي العالي المقاومة

يبين الجدول (3) لحام الفولاذ السبائكي العالي المقاومة (الجدول 1) بالقوس الكهربائي المعدني اليدوي (MMA) باستخدام أقطاب لحام مختلفة (الجدول 2)، مع بعض متغيرات اللحام.

الجدول (3) لحام الفولاذ السبائكي السبائك العالي المقاومة مع بعض متغيرات اللحام

OK 92.18	OK 63.34	OK 76.18	OK 48.04	OK 46.00	اللحام باستخدام القطب
300 (2)	300 (2)	350 (2)	350 (2)	110 (1)	درجة حرارة وزمن إعادة تجفيف الأقطاب C°(hr)
120	130	130	140	125	مقدار تيار اللحام (A)
3.2					حجم قطب اللحام (القطر) (mm)
DCRP					نوع تيار اللحام

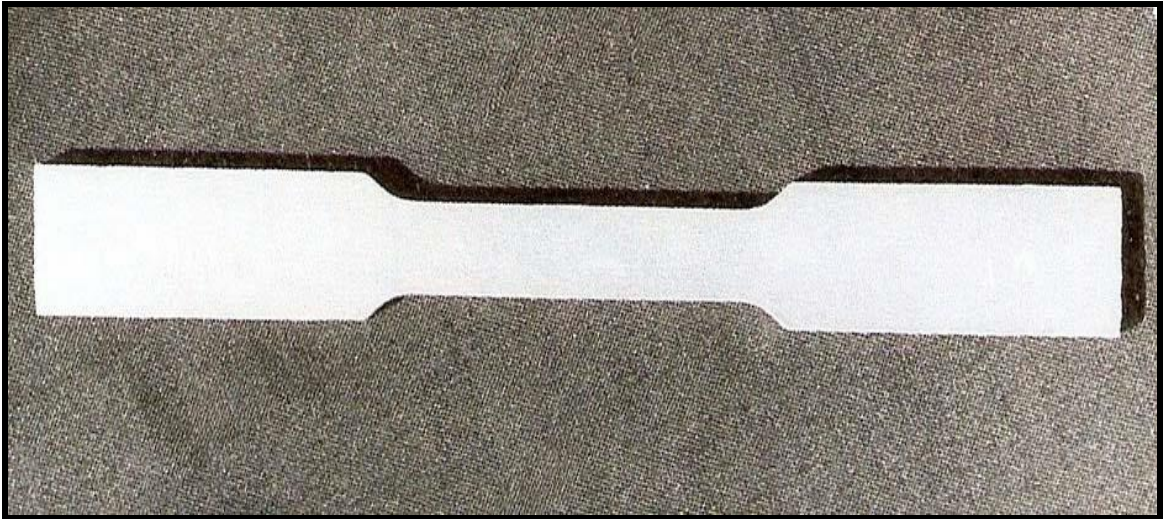
وقد تم أخذ الأمور التالية بنظر الاعتبار:

1. إزالة الصدأ من سطوح القطع المراد لحامها، وتنظيفها من الزيوت والدهون وزوائد التشغيل والشوائب الأخرى.
2. ضبط المسافة بين القطعتين المراد لحامهما بالقياس المطلوب (3.2mm).
3. ضبط قيمة تيار اللحام، حسب نوع القطب المستعمل وحجمه ووضع اللحام (الجدول 3)، وهو ضمن المدى الموصى به من قبل الشركات المصنعة لهذه الأقطاب.
4. ربط القطعتين المراد لحامهما من نهايتي وصلة اللحام، بنقاط لحام صغيرة، وبنفس نوع القطب المستعمل في اللحام. ثم إزالة الخبث الناتج عن هذه العملية.
5. لحام إحدى جهتي الوصلة وإزالة الخبث الناتج، ثم الجهة الأخرى بنفس الطريقة.



#### 4. اختبار الشد

تم تصنيع ثلاث عينات شد من كل ملحومة، إضافة إلى ثلاث عينات من المعدن الأساس، حسب المواصفات الأمريكية للاختبارات (ASTM) [ASTM,1989]. ليكون مجموع العينات (18) عينة. والشكل (1) يبين إحدى هذه العينات، والتي تم اختبارها باستخدام جهاز اختبار الشد (موديل YMM20) في الشركة العامة للصناعات الميكانيكية / الإسكندرية. وأخذ معدل نتائج اختبار العينات الثلاث لكل ملحومة، ليمثل مقاومة شد تلك الملحومة.



الشكل (1) إحدى عينات اختبار الشد

#### النتائج والمناقشة

تم اختيار هذا النوع من الفولاذ، كونه احد أصعب أنواع الفولاذ السبائكي العالي المقاومة لحاماً، وذلك لارتفاع قابلية اصلاده، نتيجة لارتفاع نسب الكربون والعناصر السبائكية فيه نسبياً [Khanna,1980;Lancaster,1987]. والجدول (4) يبين نتائج اختبار الشد لمعلومات هذا الفولاذ.

الجدول (4) نتائج اختبار الشد

OK	OK	OK	OK	OK	اللحام باستخدام القطب
92.18	63.34	76.18	48.04	46.00	
324	612	720	484	206	مقاومة الشد (MPa)

وكان الكسر في جميع عينات الاختبار في منطقة اللحام، لذا فقيم مقاومة الشد في الجدول (4) تمثل قيم مقاومة شد معدن اللحام في هذه الملحومات. أما نتيجة اختبار الشد لعينات المعدن الأساس فكانت (850MPa).

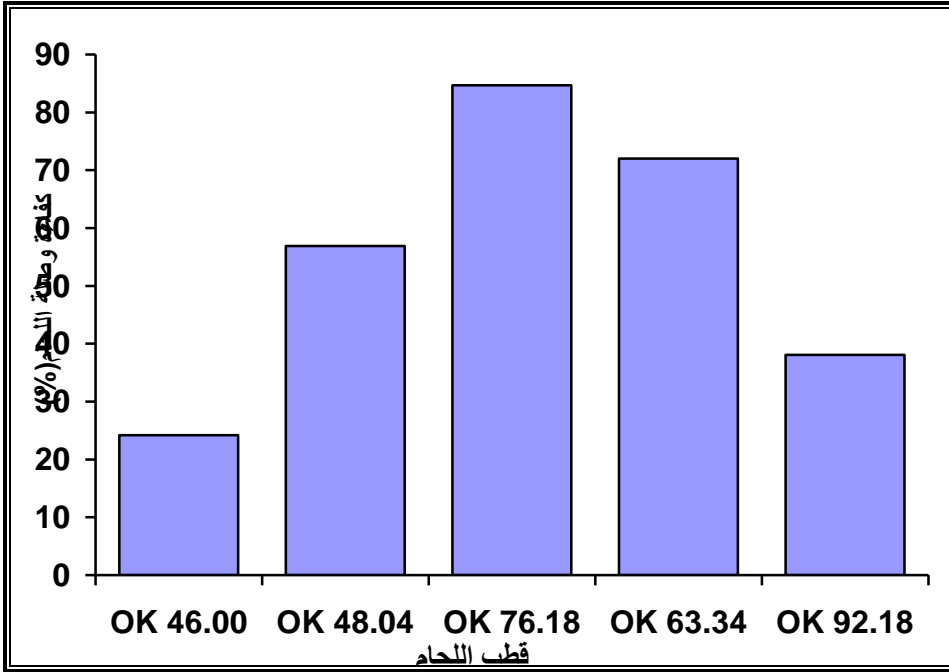
وبهذا يمكن حساب كفاءة وصلة اللحام لكل ملحومة من العلاقة التالية [Khanna,1980].

$$\text{كفاءة وصلة اللحام (\%)} = 100 \times \frac{\text{مقاومة شد معدن اللحام}}{\text{مقاومة شد المعدن الأساس}}$$

والجدول (5) والشكل (2) يبينان كفاءة وصلة اللحام لكل ملحومة

الجدول (5) كفاءة وصلة اللحام لكل ملحومة

OK	OK	OK	OK	OK	اللحام باستخدام القطب
92.18	63.34	76.18	48.04	46.00	
38.1	72	84.7	56.9	24.2	كفاءة وصلة اللحام (%)



### الشكل (2) كفاءة وصلة اللحام لكل ملحومة

ويتضح من الجدول (4) ان مقاومة شد الملحومة الناتجة عن لحام الفولاذ السبائكي السبائك العالي المقاومة باستخدام قطب اللحام (OK46.00)، والتي تمثل مقاومة الشد الفعلية لمعدن اللحام، كانت (206MPa)، وهي أدنى من مقاومة شد معدن اللحام عند استخدام هذا القطب، والتي تبلغ (510MPa) (الجدول 2). كما يبين الجدول (5) والشكل (2) ان كفاءة وصلة اللحام لهذه الملحومة منخفضة ايضاً (24.2%). ويعود السبب في ذلك، إلى ان قطب اللحام (OK46.00) مصنّع خصيصاً للحام الفولاذ الطري، وليس للحام الفولاذ السبائكي العالي المقاومة، كونه قطب سليلوزي (عالي الهيدروجين)، مما يعرض ملحومات الفولاذ القابل للاصلاذ إلى تشققات اللحام بنوعها الساخنة والباردة، فيخفض بذلك من مقاومة شد الملحومات. إضافة الى تسببه في المسامية كونه عالي الهيدروجين [ESAB,2007;Stuart,1997;Gray,1982].

وقد تم استخدامه في البحث للمقارنة، كونه أرخص أقطاب اللحام ثمناً، وأكثرها شيوعاً وانتشاراً، لاحتواء غلافه على نسبة عالية من التيتانيا واليوتاسيوم (الجدول 2)، وهي من المواد التي تتأين بسهولة عندما تسخن بحرارة القوس الكهربائي، فتعمل على استقرارية القوس أثناء اللحام وسهولة إشعاله [ASM,1971].

ويتضح من الجدول (4) كذلك، ان مقاومة شد الملحومة الناتجة عن استخدام قطب اللحام (OK 48.04) كانت (484MPa)، وهي أدنى بقليل من مقاومة شد معدن اللحام عند استخدام هذا القطب، والتي تبلغ (560MPa) (الجدول 2). كما ان كفاءة وصلة اللحام لم تتجاوز (56.9%) (الجدول 5)، وذلك لان سلك قطب اللحام هو من الفولاذ الطري وليس من الفولاذ العالي المقاومة (الجدول 2). أما الارتفاع النسبي في قيمة مقاومة الشد، فكان بسبب احتواء غلاف القطب على نسبة عالية من مسحوق الحديد ومنخفض الهيدروجين أيضاً (الجدول 2). وهذه النسبة العالية من مسحوق الحديد (والتي قد تصل إلى 40%)، تزيد من معدلات الترسيب (deposition rates)، وتقلل من نسبة التخفيف (dilution ratio)، مما يجنب الملحومة التشققات الساخنة. إضافة إلى كونه منخفض الهيدروجين، مما يمنع حدوث التشققات الباردة، وكذلك المسامية في معدن اللحام.

كما ان معدن اللحام الناتج عن استخدام هذا القطب، يحتوي على ما يقارب (1.1%Mn)، والتي من شأنها أيضاً زيادة مقاومة معدن اللحام [Sacks,1981;Stuart,1997;Gray,1982;ESAB,2007].

أما عند استخدام قطب اللحام (OK 76.18)، فيتضح من خلال الجدول (4) ان مقاومة شد الملحومة قد ارتفعت قيمتها إلى (720MPa)، وهي أعلى من مقاومة شد معدن اللحام عند استخدام هذا القطب، والبالغة (620MPa) (الجدول 2). كما يوضح الجدول (5) والشكل (2) ارتفاع كفاءة وصلة اللحام أيضاً إلى (84.7%). ويعود السبب في ذلك إلى احتواء غلاف هذا القطب (المخصص للحام الفولاذ السبائكي السبائك) على نسبة عالية من مسحوق الحديد ومنخفض الهيدروجين (الجدول 2)، والتي من شأنها ان تحد من تشققات اللحام بنوعيتها الساخنة والباردة، والمسامية كذلك (كما هو مذكور أعلاه).

بالإضافة إلى ان معدن اللحام الناتج عن استخدام هذا القطب يحتوي على (1.3%Cr, 0.5%Mo) (الجدول 2). وهذه العناصر السبائكية (كما هو معروف) تزيد من مقاومة شد معدن اللحام [ESAB,2007;Bailey,1985].

وعند استخدام قطب اللحام (OK 63.34)، المخصص للحام الفولاذ المقاوم للصدأ، كانت مقاومة الشد (612MPa)، وهي أعلى بقليل من مقاومة شد معدن اللحام (600MPa) (الجدول 2). وهذه المقاومة العالية نسبياً، كانت لان هذا القطب مصنوع من الفولاذ المقاوم للصدأ الاوستنايتي (الجدول 2). والاوستنايت بنية مطيلية، تزيد من مطيلية معدن اللحام وتقلل هشاشيته، فتحد بذلك من التشققات في معدن اللحام [ESAB,2007;ASM,1975].

أما قطب اللحام (OK 92.18)، فهو قطب نيكلي (سلك القطب من النيكل الخالص)، مخصص للحام حديد الزهر (الجدول 2)، وتصليح الأجزاء المكسورة منه، وربط الأجزاء المصنوعة من الفولاذ أو النحاس أو النيكل مع المسبوكات. ومعدن اللحام الناتج عن استخدام هذا القطب يحتوي على (Ni≥94%) [ESAB,2007;Oerlikon,2002]. مما يزيد من مطيلية معدن اللحام ويقلل هشاشيته إلى حد كبير، فيعمل بذلك على تلافي حصول التشققات في حديد الزهر.

أما عند استخدام هذا القطب في لحام الفولاذ السبائكي العالي المقاومة، فكانت مقاومة الشد (324MPa) (الجدول 4)، وكفاءة وصلة اللحام (38.1%) (الجدول 5). ويعود السبب في هذه النتائج المنخفضة نسبياً، إلى ان زيادة نسبة النيكل بهذا المقدار، يزيد من مطيلية معدن اللحام إلى حد كبير جداً، مما يؤدي إلى انخفاض مقاومة خضوع ومقاومة شد معدن اللحام. وقد اتضح ذلك في منطقة الكسر، حيث حصلت استطالة كبيرة جداً في منطقة اللحام قبل حدوث الكسر.

ومن الجدير بالذكر، ان أسعار أقطاب اللحام المستعملة في البحث تتزايد ابتداءً من قطب اللحام (OK 46.00) وصولاً إلى القطب الأعلى ثمناً (OK 92.18).

### الاستنتاجات

1. قطب اللحام السليلوزي (العالي الهيدروجين) الشائع الاستخدام الرخيص الثمن (OK 46.00)، غير ملائم للحام الفولاذ السبائكي العالي المقاومة.
2. تزداد مقاومة شد معدن اللحام عند استخدام أقطاب اللحام المحتوية أغلفتها نسبة عالية من مسحوق الحديد والمنخفض الهيدروجين كالقطب (OK 48.04) والقطب (OK 76.18).
3. أعلى مقاومة شد من بين الأقطاب المستخدمة في البحث، كانت عند استخدام قطب اللحام المخصص للحام الفولاذ السبائكي (OK 76.18).
4. القطب النيكلني الباهض الثمن (OK 92.18)، غير ملائم للحام الفولاذ السبائكي العالي المقاومة.

### المصادر

- "Metallurgy Handbook"(MH), Prom Import Raw Material, USSR, 1978.
- (MIR) Publishers, "Metallurgists Handbook" , Moscow, 2<sup>nd</sup> ed. 1968.
- ASM, Metals Handbook, (1971). "Welding and Brazing", 8<sup>th</sup> ed.
- ASM, Metals Handbook, (1975). "Failure Analysis and Prevention" , 18<sup>th</sup> ed.
- ASTM, (1989.). "Metals Test Method and Analytical Procedures" , vol . 03.01,
- Bailey, F.W.J. (1985). "Fundamentals of Engineering Metallurgy and Materials", 1985.
- Davies, A. (1989). "Science and Practice of Welding" .
- ESAB, (2001). "Welding Handbook Consumables for Manual and Automatic Welding", Sweden, 6<sup>th</sup> ed.
- ESAB, (2007). "Product Catalogue" , Sweden.
- Gray, T. G. F. (1982). "Rational Welding Design".
- Khanna, O.P. (1980) . "Welding Technology": A text Book for Engineering Students, Dhanpat Rai and Sons.
- Lancaster, J. (1987). "Metallurgy of Welding".
- Marcheako, A. (1983). "Metallurgical Processes in Arc Welding".
- Oerlikon, (2002). "Handbook of Welding Consumables" , COBISA GmbH Germany,.
- Sacks, R. (1981). "Welding: Principles and Practices".
- Stuart, W. G. (1997). "Advanced Welding".
- Welding Training Centre (WTC), (1983). "Metallurgical Processes of Arc Welding".





## تحسين أداء الشبكات المعرفة برمجياً ذات

### المتحكمات المتعددة من خلال خوارزمية

#### موازنة الحمل

د. أحمد صقر أحمد \* حازم ديب \*\*

##### ملخص البحث:

تم اقتراح الشبكات المعرفة برمجياً (SDN) Software Defined Network كحل لمعالجة المشاكل التي تعاني منها الشبكات التقليدية، ولكن النموذج الأولي المقترح لشبكات SDN، والذي يعتمد على وجود متحكم مركزي وحيد، عانى من مشكلة رئيسية هي مشكلة نقطة الفشل الوحيدة، هذا الأمر دفعنا إلى الانتقال إلى بنية شبكات SDN بمتحكمات متعددة، وقد واجهت هذه البنية الجديدة تحديات عديدة أهمها هي عملية موازنة الحمل بين المتحكمات المتعددة الموجودة في الشبكة، بحيث لا يتعرض أحد هذه المتحكمات إلى حمل زائد بشكل يجعله يتوقف عن العمل، لذا فقد كان لعملية اختيار خوارزمية موازنة حمل مناسبة دور كبير في أداء الشبكة.

تم التطرق في هذا البحث إلى الحاجة إلى الشبكات المعرفة برمجياً وبنيتها، والحاجة إلى الانتقال من البنية المركزية إلى البنية الموزعة، مع ذكر فوائد البنية الموزعة والتحديات التي تتعرض لها، والنماذج المختلفة منها، كما تم أيضاً تعريف عملية موازنة الحمل، والتعرف على آليتها، والعوامل التي تلعب دوراً في هذه العملية، بالإضافة إلى أنه تم ذكر أهم خوارزميات موازنة الحمل المستخدمة في وقتنا الحالي.

وفي الجانب العملي، تم اقتراح خوارزمية جديدة لموازنة الحمل وقد تمت تسميتها بخوارزمية الترحيل باستخدام العتبات الثلاث، حيث تمت مقارنة هذه الخوارزمية مع مجموعة من خوارزميات موازنة الحمل المستخدمة سابقاً، من خلال ثلاثة عوامل هي: إنتاجية الشبكة، معدل استخدام الموارد، واحتمال فشل المتحكم، وقد بينت نتائج التجارب التي تم إجراؤها أن الخوارزمية المقترحة تعطي نتائج أفضل من الخوارزميات السابقة،

وتقدم تحسیناً مقبولاً على جميع الخوارزميات الأخرى وفقاً لجميع العوامل والسيناريوهات التي تمت دراستها في هذا البحث.

**الكلمات المفتاحية:** الشبكات المعرفة برمجياً، موازنة الحمل، إنتاجية الشبكة، معدل استخدام الموارد.

---

\*أستاذ-قسم النظم والشبكات الحاسوبية-كلية الهندسة المعلوماتية-جامعة تشرين-اللاذقية-سوريا.

Email: [ahmad.s.ahmad@tishreen.edu.sy](mailto:ahmad.s.ahmad@tishreen.edu.sy)

\*\*طالب دكتوراه-قسم النظم والشبكات الحاسوبية-كلية الهندسة المعلوماتية-جامعة تشرين-اللاذقية-

سوريا. Email: [hazem.deeb@tishreen.edu.sy](mailto:hazem.deeb@tishreen.edu.sy)

## **Improvement of Multiple Software Defined Networks Controllers with Load Balancing Algorithm**

**\*Dr. Ahmad Saker Ahmad**

**\*\*Hazem Deeb**

### **Abstract**

Software Defined Networks were proposed as a solution for the problems that traditional networks suffer from. But the first proposed SDN prototype which depends on having a single main controller suffered from a main problem of having single point of failure, which is what force us to go with multiple controllers SDN, this new architecture faced multiple challenges such as load balancing between the different controllers in the network, so that no controller gets overloaded to the point which makes it stop working. So choosing the correct load balancing algorithm had a major rule in the performance of the network.

This research discussed the need for software defined networks, their infrastructures and the need to move from the central infrastructure to the distributed one with mentioning the benefits of distributed infrastructures, the challenges that it's facing and the different types that it takes. The load balancing process, its mechanism and the factors that play an important role in this process were introduced. In addition to that, the most common load balancing algorithms used nowadays were also mentioned in this research.

A new algorithm was proposed to balance the load, which was called "Three thresholds migration algorithm", this algorithm was compared to multiple previously used load balancing

algorithms by using three factors: network throughput, resource utilization, and controller failure probability. The experiments results show decent improvement over the other algorithms based on the different factors and scenarios studied in this research.

**Keywords:** SDN, Load balancing, Throughput, Resource Utilization.

---

**\*Professor, Department of Computer Networks & Systems, Faculty of Informatics Engineering Faculty, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

**Email: [ahmad.s.ahmad@tishreen.edu.sy](mailto:ahmad.s.ahmad@tishreen.edu.sy)**

**\*\* PhD Student, Department of Computer Networks & Systems, Faculty of Informatics Engineering Faculty, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

**Email: [hazem.deeb@tishreen.edu.sy](mailto:hazem.deeb@tishreen.edu.sy)**

## 1- مقدمة:

كانت الفكرة الأساسية من شبكات SDN هي معالجة المشكلات التي تعاني منها الشبكات التقليدية، فقد اتسمت الشبكات التقليدية بقلّة المرونة وعدم القدرة على التكيف عند ازدياد حجم الشبكة بشكل كبير، وذلك لأنها تعتمد على عملية إدخال الإعدادات يدوياً لكل جهاز شبكي موجود في الشبكة، وعند حصول تعديل على بنية الشبكة مثل إضافة جهاز جديد وجب إدخال كم كبير من الإعدادات، وهذا يعتبر عملية معقدة للغاية وخاصةً في الشبكات الكبيرة، لذا تم اقتراح الانتقال إلى شبكات SDN والتي تهدف إلى جعل الشبكات أكثر مرونة، وتسهيل عملية الإدارة بفصل مستوي التحكم عن مستوي البيانات، وجعل مستوي التحكم موجود في جهاز واحد هو متحكم SDN المركزي الموجود في الشبكة. بدأت بنية شبكات SDN بوجود عدد من الأجهزة الشبكية مع متحكم SDN مركزي وحيد للشبكة ككل، وتتم جميع عمليات التحكم واتخاذ القرارات في هذا المتحكم، ولكن مع مرور الوقت وزيادة حجم الشبكات أصبح هذا المتحكم الوحيد يتعرض لحمل زائد، مما قد يسبب في توقفه عن العمل، وبما أنه لا يوجد بديل لهذا المتحكم سوف تظهر مشكلة نقطة الفشل الوحيدة في هذا النوع من الشبكات، وقد كان هذا الدافع الرئيسي للانتقال إلى بنية شبكات SDN موزعة بمتحكمات متعددة، حيث أتاحت هذه البنية تجنب المشاكل الحاصلة في الشبكات ذات المتحكم الوحيد.

## 2- أهمية البحث وأهدافه:

لقد برزت الحاجة الملحة للانتقال من بنية شبكات SDN ذات المتحكم المركزي إلى بنية ذات متحكمات متعددة، وذلك لمعالجة المشاكل التي واجهتها شبكات النوع الأول، ولكن هذا الانتقال لم يكن سهلاً، فعند محاولة الانتقال إلى البنية ذات المتحكمات المتعددة برزت مجموعة من المشاكل والتحديات من أهمها: عدد المتحكمات اللازمة لإعطاء أحسن أداء في الشبكة، وأماكن توضع هذه المتحكمات، بالإضافة إلى ضرورة وجود آلية فعالة لتوزيع الحمل بين هذه المتحكمات، أي طريقة تخصيص المهام الواردة إلى الموارد الموجودة بالشكل الذي يضمن أكبر فعالية في آلية عمل الشبكة، لذا حاولنا التطرق في هذا البحث إلى خوارزميات موازنة الحمل المستخدمة حالياً في بيئات SDN ذات

المتحكمات المتعددة، مع محاولة دراسة إيجابيات وسلبيات كل من الخوارزميات السابقة، والاستفادة من هذه الدراسة لاقتراح خوارزمية موازنة حمل جديدة، ومقارنتها مع الخوارزميات المستخدمة سابقاً، بهدف تحسين أداء الشبكة من ناحية ثلاثة عوامل رئيسية تمت دراستها في هذا البحث هي: إنتاجية الشبكة، معدل استخدام الموارد، واحتمال فشل المتحكم.

### 3- طرائق البحث ومواده:

يتطرق هذا البحث إلى الحاجة إلى الانتقال من الشبكات التقليدية إلى شبكات SDN، وبنية شبكات SDN، وعدم مواكبة البنية التقليدية المركزية لشبكات SDN للتطور الحاصل في عالم الشبكات، والحاجة إلى الانتقال إلى شبكات SDN بمتحكمات متعددة، مع ذكر الفوائد التي تحققها هذه البنية الموزعة، بالإضافة إلى أهم التحديات التي تتعرض لها، والنماذج المختلفة لشبكات SDN ذات المتحكمات المتعددة، كما تم التطرق إلى تعريف آلية موازنة الحمل، والعوامل التي تؤثر على هذه الآلية، وذكر أهم الخوارزميات المستخدمة في موازنة الحمل في الوقت الراهن، وأخيراً تم اقتراح آلية موازنة حمل جديدة ومقارنتها مع الخوارزميات المستخدمة سابقاً، وتم التطرق إلى التجارب التي أجريناها، والنتائج التي حصلنا عليها، وتوضيح التحسين الذي قدمته هذه الخوارزمية المقترحة على أداء الشبكة .

### 4- الحاجة إلى الشبكات المعرفة برمجياً:

برزت الحاجة في السنوات الأخيرة إلى مفهوم جديد للشبكات التقليدية بهدف معالجة المشاكل التي تعاني منها، كان الهدف الأساسي لشبكات SDN هو تبسيط عملية إدارة الشبكة وإضافة المزيد من المرونة إليها بالمقارنة مع الشبكات التقليدية. وقد تمت ملاحظة أربع مشاكل أساسية تعاني منها الشبكات التقليدية يمكن تلخيصها في:

1. **التعقيد وإدخال الإعدادات الشبكية بشكل يدوي:** تعتبر عملية إدخال الإعدادات الشبكية هي عملية معقدة في الشبكات التقليدية، حيث إن كل جهاز شبكي يتم إدخال الإعدادات إليه بشكل يدوي وبالطريقة التي تناسب الشركة المصنعة لهذا الجهاز، وقد تختلف هذه العملية بين جهاز وآخر على نفس الشبكة تبعاً للشركة المصنعة له،

بالإضافة إلى أن بنية الشبكة تتغير بشكل متكرر، فمن الممكن أن تتعرض إحدى الوصلات للفشل، أو أن نضطر إلى إضافة أو إزالة بعض الأجهزة الشبكية، كل هذه الحالات تضطرننا إلى إدخال الكثير من الإعدادات الشبكية بشكل يدوي وهو ما يعتبر عملية معقدة ستقودنا إلى حدوث مزيد من الأخطاء في إعدادات الشبكة [1].

**2. الحالة الديناميكية للشبكة:** يزداد حجم الشبكات بشكل مطرد يوماً بعد يوم، مما يزيد من تعقيد عمليات إدارة الشبكات، علاوةً على ذلك فإن ظهور تقنيات حوسبة جديدة مثل الحوسبة السحابية والضبابية وغيرها، بالإضافة إلى تقنيات الشبكات الافتراضية جعل الشبكات تصبح أكثر ديناميكية لأن المضيفين يتحركون باستمرار ويتصلون ويغادرون بشكل متكرر، هذا جعل حركة المرور وظروف الشبكة تتغير بشكل أسرع وبطريقة ملحوظة [2].

**3. اختلاف مستويات التعقيد:** تتطلب الشبكات الكبيرة في يومنا الحالي القيام بالعديد من المهام ذات مستوى تعقيد عالٍ، وهذه المهام يتم تنفيذها في الشبكات التقليدية عن طريق واجهات ذات مستوى تعقيد منخفض وميزات أقل، وهذا بسبب الترابط الوثيق بين طبقة الإدارة وطبقة البيانات، حيث تكون العديد من مزايا الإدارة متضمنة في عتاديات الأجهزة الشبكية.

**4. عدم التجانس في أجهزة الشبكة:** تتكون الشبكات الحالية من عدد كبير من الأجهزة غير المتجانسة مثل الموجهات والمبدلات وغيرها، ويملك كل جهاز من هذه الأجهزة تكوينها الخاص وإعداداتها الخاصة وكل منها يعمل وفقاً لبروتوكولات محددة قد تختلف من جهاز إلى آخر، مما يزيد من تعقيد إدارة الشبكة ويظهر عدم كفاءة هذه العملية.

أوضحت هذه الأسباب جميعها أن إدارة الشبكة عملية تزداد تعقيداً يوماً بعد آخر، وخاصةً في الشبكات التقليدية التي لا تتسم بالمرونة الكافية للتعامل مع الحاجات المتزايدة للشبكات في الوقت الحالي والتي يجب أن تتصف بالديناميكية العالية. هذا الأمر دفع بمنظمة ONF لاقتراح نموذج جديد هو نموذج الشبكات القابلة للبرمجة SDN [3].

## 5- بنية الشبكات المعرفة برمجياً:

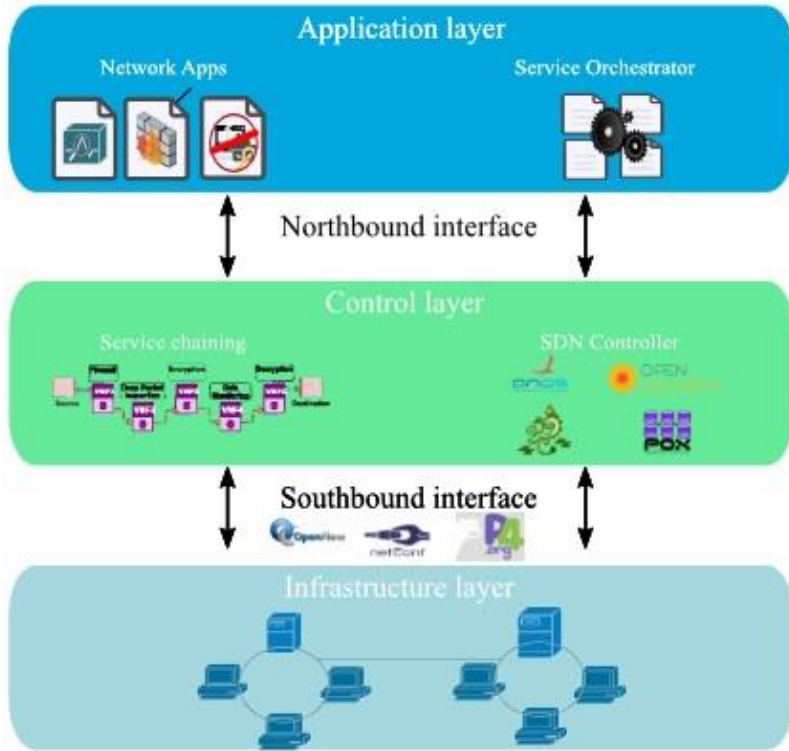
تعتمد شبكات SDN بشكل رئيسي على فصل طبقة التحكم عن طبقة البيانات، أي بشكل أساسي نقل عمليات اتخاذ القرار من العناصر الشبكية والتي هي عتاديات وتجميعها في عنصر مركزي وحيد هو المتحكم المبني على أساس برمجي، يتم اتخاذ كافة القرارات في المتحكم المركزي مما يجعل عملية إدارة الشبكة أكثر سهولة.

تتألف بنية شبكات SDN من ثلاث طبقات رئيسية و 3 مكونات فرعية:

- **طبقة التطبيقات:** تحوي العديد من البرامج المسؤولة عن عمليات إدارة الشبكة وتهدف هذه الطبقة إلى تطوير العديد من التطبيقات وذلك من خلال الاستفادة من المعلومات المتوافرة كحالة الشبكة والمعلومات والإحصائيات المتوافرة حولها.
- **طبقة التحكم:** هي الطبقة الأذكى والأكثر أهمية في شبكات SDN والتي تحوي المتحكم الوحيد أو مجموعة المتحكمات الموجودة في شبكات SDN وهي التي تقوم باتخاذ القرارات في الشبكة.
- **طبقة البيانات أو طبقة البنية التحتية:** هي التي تحوي عدة أنواع من الأجهزة الشبكية من موجّهات ومبدلات وغيرها وظيفتها الأساسية هي المساعدة في تمرير التدفقات وتنفيذ القرارات المتخذة في طبقة التحكم [4].
- ✓ **الجسر الشمالي:** هو صلة الاتصال بين طبقة التحكم وطبقة الإدارة والذي تكون عادة مجموعة من واجهات برمجة التطبيقات API.
- ✓ **الجسر الجنوبي:** هو صلة الاتصال بين طبقة التحكم وطبقة البيانات والذي يكون عادةً عبارة عن بروتوكول يتم به التخاطب وهو في أغلب الأحيان بروتوكول OpenFlow
- ✓ **الجسرين الشرقي والغربي:** هما صلة الاتصال التي يتم فيها التخاطب بين المتحكمات المتعددة في طبقة التحكم وعادة تكون عبارة عن بروتوكولات شبكية لتبادل الرسائل مثل Border Gateway Protocol (BGP) و Open Shortest Path First (OSPF) [5].

حيث يبين الشكل (1) بنية الشبكات المعرفة برمجياً:





الشكل (1) بنية الشبكات المعرفة برمجياً.

## 6- الحاجة إلى البنية الموزعة بمتحكمات متعددة:

تطبق هيكلية شبكات SDN مبدأ التحكم المركزي من الأعلى إلى الأسفل، في هذه الحالة فإن متحكم SDN مع تطبيقات SDN المثبتة تعمل معاً لتتحكم وتنظم عمل المبدلات في الشبكة. عند تطبيق التحكم المركزي فإن هذا التصميم يعطينا العديد من الفوائد مثل إمكانية إدارة الشبكة بكفاءة والتعامل مع التغيرات الديناميكية في بنية الشبكة بشكل سهل وسريع. هناك تحقيقان ممكنان للوصول إلى تصميم التحكم المركزي، أولهما من خلال متحكم وحيد في بنية مركزية، والثاني من خلال عدة متحكمات في بنية موزعة. عند وجود متحكم وحيد في بنية مركزية يوجد متحكم SDN وحيد في الشبكة ككل، يقوم هذا المتحكم بجميع عمليات اتخاذ القرارات في الشبكة ويتحكم بطريقة مركزية بجميع المبدلات

في الشبكة بما أنها جميعها متصلة به. العديد من تطبيقات SDN سابقاً استخدمت هذا النموذج ولكنه للأسف عانى من مشكلتين أساسيتين لا يمكن إغفالهما وهما:

❖ **قابلية التوسع:** تعرف قابلية التوسع بأنها قدرة الشبكة على النمو بشكل يليبي الازدياد المطرد في أعداد المستخدمين وطلباتهم، وتعرف قابلية التوسع في شبكات SDN بأنها قدرة المتحكم على معالجة الطلبات الواردة من المبدلات المتصلة فيه. تملك متحكمات SDN موارد محدودة عند معالجة أعداد كبيرة من الطلبات مما يمنع من معالجة جميع الطلبات الواردة. حاول الباحثون حل هذه المشكلة من خلال تقييد عدد الطلبات الواردة إلى المتحكم، ولكن هذه الاستراتيجية لم تعمل بشكل جيد وخاصةً أنها تعتمد على منع خروج الطلبات من المبدلات، مما يعني أن جزءاً من عملية اتخاذ القرار عاد إلى المبدلات، وهذا الأمر كان ضد الفكرة الأساسية من شبكات SDN والتي تقوم على نقل جميع عمليات اتخاذ القرارات إلى المتحكم، لذا كان لا بد من وجود حل آخر وقد كان الحل الوحيد هو إضافة عدد من المتحكمات إلى الشبكة مما دفعنا بالحاجة للانتقال إلى البنية الموزعة بمتحكمات متعددة.

❖ **نقطة الفشل الوحيدة:** عند وجود متحكم SDN مركزي وحيد سوف يعاني من نقطة الفشل الوحيدة، وفي حال فشل المتحكم المركزي فإن جميع المبدلات سوف تفقد القدرة على تمرير الحزم الجديدة الواردة، وفي النهاية سوف تتعطل الشبكة بشكل كامل. وقد تم اقتراح حلين، كان الحل الأول يعتمد على أنه في حال حصول نقطة الفشل الوحيدة يعود اتخاذ القرارات إلى المبدلات، وتنتقل الشبكة من شبكة SDN لتعود إلى شبكة تقليدية، ولكن هذا الحل كان مكلفاً لأنه في حال العودة إلى الشبكة التقليدية فإن المشاكل المتعلقة بمثل هذا النوع من الشبكات، والتي ذكرناها سابقاً سوف تعود إلى الواجهة. بينما يتمثل الحل الثاني باعتماد شبكات SDN ذات بنية موزعة مع متحكمات متعددة وقد كان هذا الحل هو الحل الأفضل [6].

## 7- فوائد البنية الموزعة:

في شبكات SDN الكبيرة يمكن أن نحتاج إلى تقسيم الشبكة إلى مجالات مختلفة أصغر، عندها يحتاج كل مجال من هذه المجالات إلى متحكم واحد على الأقل ليشرف عليه، في هذا السيناريو فإننا نحتاج إلى عدة متحكمات لإدارة الشبكة بشكل كامل. إن وجود عدة متحكمات في الشبكة يساهم في زيادة استقرار الشبكة حيث إن المبدلات من الممكن أن تستمر بالعمل حتى في حال فشل أحد المتحكمات أو إحدى الوصلات إلى هذه المتحكمات، يمكن تحقيق البنية الموزعة بحيث يكون التحكم مركزي بشكل منطقي ولكنه موزع بشكل فيزيائي [7]، وهناك مجموعة من الفوائد الإضافية تتلخص في:

أ. **سهولة الإدارة:** تعتبر الإدارة الفعالة عاملاً مهماً لاستخدام متحكمات متعددة، حيث إن قدرات المتحكم الوحيد تعتبر محدودة بالمقارنة مع وجود متحكمات متعددة، حيث إنه من الصعب على متحكم وحيد معالجة جميع الطلبات الواردة في الشبكات الكبيرة ذات المجالات المختلفة، بالنظر إلى الميزات المختلفة الموجودة في عدة متحكمات، فإن وجود عدد من المتحكمات يمكن أن يطور من كفاءة إدارة الشبكة وخاصة في الشبكات الكبيرة ذات المجالات المتعددة [8].

ب. **قابلية التوسع:** إن نهج OpenFlow الحالي سوف يؤدي إلى زيادة الحمل بشكل كبير في حال وجود متحكم وحيد، مما يقلل من قابلية التوسع في الشبكة، بينما البنية الموزعة في حال وجود متحكمات متعددة يمكن أن تكون حلاً مثالياً، حيث يمكن إزالة وإضافة المتحكمات من وإلى الشبكة بسهولة كبيرة وبشكل ديناميكي، بالإضافة إلى أنه يمكن أن نقوم بتوزيع الحمل بين المتحكمات المختلفة لتجنب مشكلة عنق الزجاجة الموجودة في المتحكم المركزي الوحيد. كما أن الهيكلية الموزعة يمكن أن تكون تصميمياً مناسباً لدعم عدد أكبر من المستخدمين.

ج. **تقليل زمن الاستجابة:** هناك العديد من التطبيقات الحساسة لزمن الاستجابة، فإذا تمت معالجة جميع الطلبات من قبل متحكم وحيد، هذا سوف يؤدي إلى زيادة الحمل

على هذا المتحكم وسوف تتم معالجة الطلبات بشكل متسلسل الواحد تلو الآخر، مما سيؤدي إلى زيادة زمن استجابة هذه الطلبات بشكل كبير، وعند وجود متحكمات متعددة يمكن توزيع الحمل بينها أو تمرير الطلبات إلى المتحكم الأكثر ملاءمة مما يقلل من زمن الاستجابة للطلبات بشكل ملحوظ.

د . **المثانة:** إن بنية شبكات SDN بمتحكمات متعددة توفر العديد من نقاط الاستعادة والنسخ الاحتياطي من أجل تجنب مشكلة نقطة الفشل الوحيدة الموجودة في شبكات SDN ذات المتحكم الوحيد، وهذا سوف يزيد بالضرورة من مثانة الشبكة، عند فشل أحد المتحكمات يمكن للمتحكمات الباقية معالجة هذه المشكلة بتحمل العبء الناتج عن فشل هذا المتحكم من خلال توزيع حمله على باقي المتحكمات، حيث تتم معالجة هذه المشكلة بزيادة طفيفة على أحمال باقي المتحكمات، بالشكل الذي يسمح بالحفاظ على استقرار الشبكة. إن المتحكمات المتعددة يمكن أن تقلل بشكل كبير من احتمالية فشل الشبكة وخاصة في حال الأخطاء الناتجة عن فشل المتحكمات [9].

#### 8- تحديات البنية الموزعة:

في بيئة SDN تعمل المتحكمات مع المبدلات جنباً إلى جنب لرفع مستوى أداء الشبكة، وخاصة الشبكات الكبيرة، ولرفع هذا المستوى كان من الأهمية بمكان تحديد تصميم مناسب لأماكن توضع المتحكمات المتعددة في الشبكة، والذي يعتبر من أهم القضايا الشائكة في شبكات SDN ذات المتحكمات المتعددة إلى يومنا هذا، بالإضافة إلى أماكن توضع المتحكمات يوجد قضايا أخرى مثل: المرونة وقابلية التوسع والأمن والثبات وتقليل زمن الاستجابة، وتعتبر هذه القضايا هي الأخرى قضايا مهمة لرفع مستوى أداء الشبكة [10].

يمكن تلخيص أهم التحديات بالنقاط التالية:

أ . الإدارة المركزية: تم تطوير المتحكمات المتعددة في شبكات SDN الكبيرة لموازنة الحمل في الشبكات، وعند زيادة عدد المتحكمات في الشبكة سوف يختلف مفهوم الإدارة المركزية، يجب استخدام متحكمات متعددة لتحقيق جودة خدمة عالية ، وذلك لأن سعة المتحكمات المتعددة تكون أكبر من سعة متحكم واحد، ولكن بالمقابل فإن المتحكمات المتعددة تملك مزايا مختلفة وبالتالي تتطلب طرق متعددة للتعامل معها، الأمر الذي يعتبر تحدياً بالنسبة لمطوري الشبكات.

ب . قابلية التوسع: بالرغم من أن البنية الموزعة تسمح بإضافة المتحكمات وزيادة حجم الشبكة بسهولة، إلا أن تحقيق عملية موازنة الحمل بين هذه المتحكمات تعتبر تحدياً مهماً لتحقيق جودة خدمة عالية.

ج . الاختلاف بين المتحكمات المتعددة: بسبب وجود عدد من المتحكمات فإن المشكلة الرئيسية هي عملية المزامنة بين هذه المتحكمات، ولذلك فإن عملية تصميم المتحكمات ومزامنتها تعتبر عملية معقدة [11].

د . توضع المتحكمات: إن وجود متحكم واحد في الشبكة له العديد من الميزات كسهولة الإدارة والتحكم ومراقبة الشبكة بشكل كامل من قبل نقطة وحيدة هي المتحكم المركزي. ولكن في نفس الوقت توجد مشاكل بالمقابل تتعلق بالثبات وقابلية التوسع، وبالتالي كلما زاد حجم الشبكة كلما أصبح الأداء أسوأ. ولكن عند حل هذه المشكلة باعتماد بنية SDN موزعة بوجود متحكمات متعددة تبرز مشكلة رئيسية هي اختيار عدد المتحكمات المطلوب وضعها في الشبكة، بالإضافة إلى اختيار أماكن توضع هذه المتحكمات والمسافة بين كل منها، ويمكن اعتبار المشكلتين الرئيسيتين في شبكات SDN ذات المتحكمات المتعددة تتلخص في سؤالين: الأول هو كم عدد المتحكمات المطلوبة في الشبكة لتحقيق أفضل أداء؟ والثاني هو في أي موضع من

الشبكة يجب وضع هذه المتحكمات؟ هذه المشاكل تعتبر معقدة جداً ومن الصعب الإجابة عليها، وهي تأخذ الحيز الأكبر من وقت الباحثين في وقتنا الراهن [12].

هـ . بروتوكولات الاتصال المختلفة: إن وجود عدة متحكمات مطلوب في البنية الموزعة ويؤثر بشكل رئيسي على جودة الخدمة في شبكات SDN، لحل مشكلة الاتصال بين هذه المتحكمات تم تطوير واجهات تدعى بالواجهات الشرقية والغربية والتي تتضمن مجموعة من البروتوكولات المستخدمة في عملية التخابط بين المتحكمات، لذا فإن إيجاد لغة برمجة وبروتوكولات مشتركة بين المتحكمات يعتبر تحدياً إضافياً في شبكات SDN.

و . عملية الجدولة بين المتحكمات المختلفة: تتحسن جودة الخدمة بوجود متحكمات متعددة، ولكن التحدي هنا هو عملية جدولة الطلبات بين هذه المتحكمات بالشكل الذي يعطي أفضل أداء للشبكة، ودون وجود حمل زائد على أي من المتحكمات في الشبكة. وكلما كانت عملية اتخاذ قرار الجدولة أسرع زادت جودة الخدمة [13].

### 9- نماذج الشبكات المعرفة برمجياً ذات المتحكمات المتعددة:

من الناحية النظرية في حال وجود متحكم وحيد في شبكة SDN يمكن لهذا المتحكم أن يتحكم بجميع المبدلات الموجودة في الشبكة فجميعها متصلة به، كما أنه يملك رؤية عامة للشبكة ككل، لذا في حالة المتحكمات المتعددة وللحصول على تحكم مركزي منطقياً لا بد من وجود متحكم واحد على الأقل يملك رؤية عامة للشبكة ككل في كل مجال من مجالات الشبكة، لذا فإن تبادل معلومات الشبكة المحلية بين متحكمات SDN المختلفة يعتبر أمراً لا مفر منه. يوجد نموذجان مستخدمان لتبادل معلومات الشبكة بين متحكمات SDN، وكل نموذج يقوم بتبادل هذه المعلومات بطريقة مختلفة عن الآخر.

❖ النموذج الهرمي: في هذا النموذج يكون أحد أو بعض المتحكمات (ولكن بالضرورة ليس جميع المتحكمات) في المجال تملك رؤية عامة للشبكة ككل. ويعرف هذا

النموذج أيضاً بالنموذج العمودي لأن عمليات التحكم تتم من أعلى إلى أسفل عبر متحكمات SDN، يوضح الشكل (2) هذا النموذج، حيث يوجد متحكمي SDN محليين في كل مجال، بينما يوجد متحكم جذر هو المسؤول عن عمليات التنسيق بين المتحكمات المحلية. تكون معلومات الشبكة الكاملة مخزنة في المتحكم الجذر، لذا يجب على المتحكمات المحلية أن تطلب استعلام من المتحكم الجذر للحصول على المعلومات اللازمة قبل أي عملية اتخاذ قرار داخل مجالها المحلي، بسبب هذه الفكرة يمكن أن يدعى هذا النموذج بنموذج مخدم-زبون، حيث يعمل المتحكم الجذر كمخدم، وتعمل المتحكمات المحلية كزبائن. يمكن وضع أكثر من متحكم جذر وذلك لتجنب نقطة الفشل الوحيدة في المتحكم الجذر. لا تملك المتحكمات المحلية في هذا النموذج جسراً شرقياً وغربياً، أي أنها لا تملك وصلات مع باقي المتحكمات المحلية، ولكنها تملك وصلة واحدة فقط مع المتحكم الجذر الذي يقوم بعمليات التنسيق فيما بينها، ويحتفظ المتحكم الجذر بنسخة أو رؤية عامة عن بيانات الشبكة بشكل كامل، بينما تملك المتحكمات المحلية رؤية محلية للشبكة من منظورها الخاص فقط.

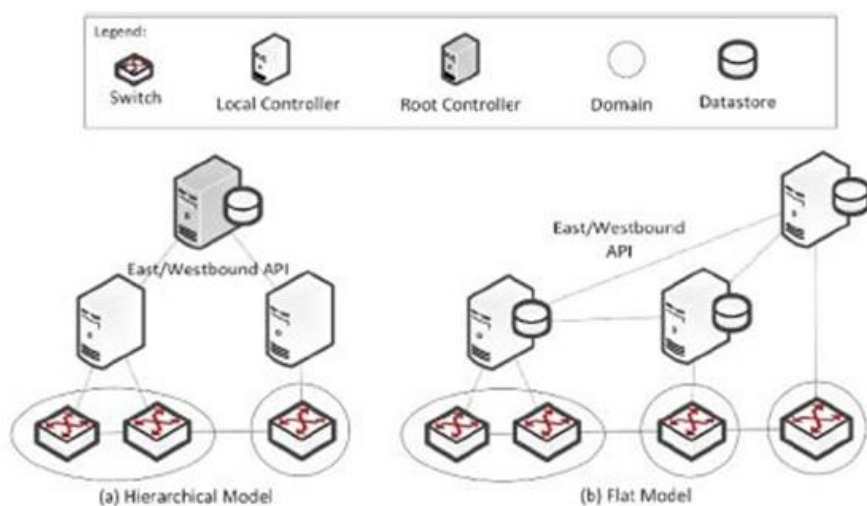
❖ **النموذج المسطح:** في هذا النموذج تملك جميع المتحكمات في المجال رؤية عامة عن حالة الشبكة، يعرف هذا النموذج أيضاً بالنموذج المسطح بما أنه لا يوجد معمارية هرمية بين متحكمات SDN، يوضح الشكل (2) هذا المبدأ حيث نلاحظ وجود ثلاث متحكمات SDN في المجال، هذه المتحكمات الثلاث تتحكم بالمبدلات، وتملك جميعها رؤية عامة عن حالة الشبكة، كما تملك هذه المتحكمات جسرين شرقي وغربي مما يسمح بعملية الاتصال فيما بينها بشكل مباشر. يجب على أي متحكم قبل البدء بعملية إنشاء حالة الشبكة من استقبال المعلومات عن حالة الشبكة من جميع المتحكمات الموجودة في المجال، وعند حصول أي تغيير في مجال أحد المتحكمات يجب أن تتم مشاركة هذا التغيير إلى جميع المتحكمات الباقية بالشكل

الذي يسمح لهذه المتحكمات بتحديث معلومات الشبكة لديهم وملاحظة هذه التغيرات، إذا تمت هذه العملية بشكل صحيح وبدون حدوث مشاكل هذا سوف يؤدي بالضرورة إلى أن جميع المتحكمات في الشبكة تملك نفس الرؤية العامة عن حالة الشبكة. بسبب هذه الفكرة يمكن أن يدعى هذا النموذج أيضاً بنموذج الند للند حيث يمكن لكل متحكم الوصول إلى المتحكمات الأخرى بشكل مباشر أثناء مشاركة معلومات الشبكة.

هناك طريقتان لتبادل معلومات الشبكة بين متحكمات SDN المختلفة في الشبكة، وهاتان الطريقتان هما:

- **الطلب الدوري:** في هذه الحالة يقوم كل متحكم بطلب المعلومات بشكل دوري من باقي المتحكمات في الشبكة، على سبيل المثال يقوم المتحكم بطلب معلومات جديدة عن حالة الشبكة من باقي المتحكمات كل 10 دقائق، سوف تتم عملية الطلب هذه بشكل دوري حتى لو لم يطرأ أي تغيير على الشبكة، هذا الأمر قد يؤدي إلى استلام نفس المعلومات أكثر من مرة مما يجعل هذه الطريقة غير فعالة بشكل كافي.
- **النشر والاشتراك:** حيث يقوم كل متحكم SDN بعملية نشر المعلومات الموجودة لديه إلى المشتركين، وعملية الاشتراك بالحصول على المعلومات من باقي المتحكمات في الشبكة، على سبيل المثال إذا كان أحد المتحكمات وليكن C1 يحتاج إلى معلومات من متحكم جار هو C2، عندها يجب على المتحكم C1 الاشتراك بنشرة المعلومات الصادرة عن C2، في هذه الحالة يعتبر C1 كمشارك و يعتبر C2 كناشر، وفي وقت لاحق سوف يقوم C2 بإعلام C1 عند حصول تغييرات في مجال C2، هذا يعني أن C2 يقوم بإعلام C1 فقط في حال حدوث تغييرات وليس بشكل دوري، مما يوضح أن هذه الطريقة أكثر فعالية من الطريقة الأولى [14].





الشكل (2) النموذج الهرمي و النموذج المسطح

### 10- موازنة الحمل:

تعرف موازنة الحمل بأنها العملية التي يتم توزيع مجموعة من المهام على مجموعة من الموارد وذلك بهدف جعل عملية معالجة هذه المهام أكثر كفاءة، حيث يمكن لهذه العملية أن تقلل من زمن الاستجابة للطلبات الواردة وتجنب الحالات التي تتعرض فيها بعض العقد في الشبكة إلى حمل زائد، بينما تكون هناك عقد أخرى في حالة سكون ( Idle State).

### 10-1 آلية موازنة الحمل:

كما ذكرنا سابقاً يمكن تعريف موازنة الحمل بأنها العملية التي يتم توزيع وتخصيص الطلبات والمهام الواردة من الزبائن على الموارد المتاحة في الشبكة بفعالية وبالشكل الذي يضمن تخديم هذه الطلبات بأسرع طريقة ممكنة. تهدف عملية موازنة الحمل إلى تحسين نسبة استخدام الموارد لتجنب حدوث مشاكل الازدحام وفقدان البيانات. يمكن تطبيق عملية موازنة الحمل على الأجهزة العتادية، ويمكن تطبيقها أيضاً على البرمجيات. كما يجب على الجهاز الذي يقوم بموازنة الحمل أن يكون له بديل لتجنب نقطة الفشل الوحيدة. يوجد العديد من خوارزميات موازنة الحمل، قد يكون بعضها ستاتيكي والبعض

الآخر ديناميكي، النوع الأول يناسب البيئات التي تتسم بالثبات والاستقرار بما أنه يفقد المرونة وسرعة التكيف في حال حصول تغيرات ديناميكية في بنية الشبكة، في جميع الأحوال ويسبب أن سلوك المستخدمين لا يمكن التنبؤ به تتجه الخوارزميات الستاتيكية في توزيع الحمل بالفشل في أغلب الحالات. إن خوارزميات موازنة الحمل الديناميكية أكثر فعالية، لأن الطلبات يتم توزيعها على الموارد المتاحة تبعاً لحالة الشبكة في الوقت الراهن، وتبعاً للقواعد البرمجية المدخلة والتي تكون ديناميكية في هذه الحالة [15].

### 10-2- موازنة الحمل في شبكات SDN:

من ميزات شبكات SDN هي قدرتها على المحافظة على رؤية عامة للشبكة ككل، ولكن من جانب آخر فإن جميع عمليات اتخاذ القرارات تتم في المتحكم، مما سيسبب في زيادة الحمل على المتحكمات وزيادة تأخير زمن الاستجابة، لهذه الأسباب ظهرت الحاجة الماسة إلى تطبيق تكنولوجيا موازنة الحمل في شبكات SDN، مما سيسمح لعناصر الشبكة من تجنب مشاكل الازدحام ومعالجتها في حال حدوث حمل زائد على الشبكة. يجب على متحكم شبكة SDN تحسين معدل استخدام الموارد من خلال برمجيات معينة، هذا سيؤدي بالضرورة إلى زيادة الإتاحة في الشبكة وتحسن أدائها. إنتاجية الشبكة أيضاً سوف تتحسن عندما نقوم بتقليل زمن استجابة العناصر المشكلة للشبكة بالشكل الذي سوف يزيد من رضا الزبائن.

بروتوكول OpenFlow الذي يضمن عمليات إدارة الشبكة يعتبر العامل الأساسي في عمليات موازنة الحمل في شبكات SDN، حيث يعتبر هذا البروتوكول هو المسؤول عن تخزين جدول التدفقات، وكل مدخل في هذا الجدول يتألف من مجموعة من الحقول والعدادات، ويقابلها اتخاذ مجموعة من التعليمات والإجراءات الواجب تنفيذها في حال حدثت المطابقة مع أحد هذه المداخل في الجدول. باستخدام بروتوكول OpenFlow يمكن التحكم بالمداخل في جدول التدفق والحصول على الإحصائيات الخاصة بالشبكة وبكل مبدل وفقاً للقواعد والسياسات المطبقة في المتحكم الذي يستخدم هذا البروتوكول [16].

### 10-3- عوامل موازنة الحمل:

يمكن أخذ العديد من العوامل لتقييم نجاح آلية موازنة الحمل، ولكن أهم هذه العوامل التي أجمع عليها الباحثون يتلخص في أربع نقاط رئيسية هي:

1. **قابلية التوسع:** لا يمكن للآلية المركزية أن تتجح في الشبكات كبيرة الحجم والتي تنمو باستمرار لأنها تفتقر إلى المرونة، ولذلك كان لابد من استخدام بنية موزعة بوجود عدة مجالات وعدة متحكمات في الشبكة، وذلك من أجل الحفاظ على الإنتاجية في الشبكة. أحد أهم المعايير المستخدمة في التقييم هي إنتاجية الشبكة والتي يمكن حسابه بالقانون [17]:

$$F(N) = \emptyset(N) * T(N)/C(N) \quad (1)$$

حيث  $F(N)$  تمثل إنتاجية الشبكة،  $\emptyset(N)$  تمثل إنتاجية طبقة التحكم،  $T(N)$  تمثل متوسط زمن الاستجابة للطلبات في الشبكة،  $C(N)$  هي كلفة التطوير لطبقة التحكم.

2. **المرونة:** يقصد بهذا المعيار هو حالة الفشل التي يتعرض لها المتحكم، وهو من أهم المعايير في تقييم أداء آلية موازنة الحمل، حيث لا بد من ضمان عملية الانتقال إلى متحكم احتياطي في حالات فشل المتحكم الرئيسي، كما من الممكن أن تتأثر الشبكة في حال فشل أحد العقد أو الوصلات، يجب أن تضمن آلية موازنة الحمل تخصيص عادل للعقد على المتحكمات بالشكل الذي تقوم فيه هذه المتحكمات بمعالجة الأخطاء الناتجة عن الفشل في أحد الوصلات أو العقد بشكل سهل، وبدون أن تسبب زيادة في الحمل على أحد المتحكمات، كما يجب أن يتم أخذ المسافة والكلفة إلى المتحكم الاحتياطي في حال حدوث فشل في المتحكم الرئيسي بعين الاعتبار [18].

3. **معدل استخدام الموارد:** تم اقتراح عدة معايير من أجل قياس تأثير عملية موازنة الحمل على معدل استخدام الموارد ومن أهمها: معدل استخدام عرض الحزمة، حيث

يقوم هذا المقياس بقياس معدل النقل في الشبكة، ويعكس الحمل على الوصلات. يقوم المتحكم بحساب عدد البايتات المرسلة خلال فترتين متتاليتين وحساب المعدل في هاتين الفترتين، ثم يتم تقسيم هذا المعدل على العرض الأعظمي للحزمة ، وبالتالي نحصل على معدل استخدام عرض الحزمة، أو يمكن كفكرة عامة حساب معدل استخدام الموارد مثل الذاكرة وعرض الحزمة أو موارد أخرى مستخدمة في نقل المعلومات في الشبكة، من خلال حساب نسبة استخدام هذا النوع من الموارد خلال فترة معينة وتقسيمه على السعة الأعظمية لهذا المورد، وكلما زادت هذه النسبة زاد معدل استخدام المورد، وبالتالي فإن الشبكة تصبح تعمل بكفاءة أعلى [19].

**4. جودة الخدمة:** يوجد العديد من العوامل المهمة في حساب عامل جودة الخدمة، ولكن يمكن تلخيص أهم هذه العوامل في النقاط التالية:

✓ **زمن التأخير:** وهو الزمن الذي تحتاجه الحزمة للوصول من المصدر إلى الهدف عبر الشبكة، وهو يعتمد على الزمن الذي يستغرقه المبدل في تمرير الحزمة الواردة إليه بالإضافة إلى حالة الازدحام في الشبكة، وحجم البيانات المرسلة. لحساب زمن التأخير في مسار ما يجب حساب مجموع التأخيرات في كل وصلة من الوصلات الموجودة على طول هذا المسار، ويعكس هذا الزمن حالة الشبكة، ويحدد إذا كانت مزدحمة ام لا، كما يوجد زمن آخر يدعى زمن الإنهاء وهو الزمن المستغرق في عملية اتخاذ القرارات في المتحكم بالشبكة، والذي قد يختلف تبعاً لخوارزمية موازنة الحمل المتبعة.

✓ **زمن الاستجابة:** يعرف بأنه الزمن المستغرق بين الطلب وحدث الاستجابة، عندما تكون الشبكة مزدحمة، أو عند وجود آلية ضعيفة لموازنة الحمل سيتجاوز معدل إنشاء الحزم السعة العظمى لموارد الشبكة، مما سيزيد من أرتال الانتظار وبالتالي سوف يزيد حكماً زمن الاستجابة. يوجد عامل مهم يؤثر على زمن

الاستجابة وهو درجة انشغال المتحكم والتي يمكن حسابها من خلال حساب الفرق بين زمن استجابة المتحكم في الوقت الراهن مع معدل استجابته العام. إن حساب زمن الاستجابة يعطي انطباعاً واضحاً عن مدى فعالية آلية موازنة الحمل المطبقة.

✓ **معدل فقدان الحزم:** يشير هذا العامل إلى عدد الحزم المفقودة خلال فترة الإرسال، ويعكس مقدار ازدحام المبدلات والوصلات في الشبكة، حيث إن المبدلات يمكن أن تكون مشغولة بشكل كبير وأن تعاني من حمل زائد، الأمر الذي يضطرها إلى تجاهل ورمي بعض الحزم الواردة. يمكن حساب عدد الحزم المفقودة في مسار ما من خلال طرح عدد الحزم المرسل من عدد الحزم المستقبل، كما يمكن حساب معدل فقدان الحزم لمسار ما من خلال تقسيم عدد الحزم المفقودة على عدد الحزم الكلي المستقبل في هذا المسار.

✓ **الخرج:** يعرف بأنه سرعة معالجة البيانات في عقد الشبكة، ويمكن حسابه من خلال حساب كمية أو حجم البيانات المرسل من المصدر إلى الهدف خلال واحدة مختارة من الزمن، وإن اختيار آلية موازنة حمل ناجحة سوف تؤدي إلى زيادة هذا العامل إلى أكبر رقم ممكن [20].

#### 10-4- خوارزميات موازنة الحمل:

تلعب خوارزمية موازنة الحمل المستخدمة دوراً رئيسياً في أداء الشبكة، حيث إن اختيار خوارزمية موازنة حمل مناسبة وفعالة سوف يؤدي بالضرورة إلى تحسين أداء الشبكة، من خلال تقليل زمن الاستجابة للطلبات الواردة، وزيادة عدد الطلبات التي تتم معالجتها في الشبكة دون فشل، وتخفيض نسبة احتمال فشل أحد المتحكمات نتيجةً لتعرضه إلى حمل زائد، وبعض من أهم خوارزميات موازنة الحمل المستخدمة في وقتنا الحالي هي:

➤ **الخوارزمية العشوائية:** تقوم هذه الخوارزمية بتوزيع الحمل على المتحكمات بغض النظر عن حالة الشبكة، حيث تقوم بتوزيع الحمل بشكل عشوائي على الموارد المتوفرة بشكل عشوائي. تسند هذه الخوارزمية الطلبات القادمة إلى أحد الموارد وليكن  $i$  بشكل عشوائي و باحتمال  $1/N$ ، حيث  $N$  هو عدد الموارد الموجودة في الشبكة، خلال هذه العملية لا يملك المتحكم المسؤول عن عملية موازنة الحمل أي معلومات عن حالة الشبكة والحمل الموجود عليها، وقد بينت الدراسات أن هذه الخوارزمية تعطي النتيجة الأسوأ من بين خوارزميات موازنة الحمل الأخرى وخاصة من ناحية زمن الاستجابة.

➤ **خوارزمية القادم أولاً يخدم أولاً:** تقوم هذه الخوارزمية على مبدأ أن الطلب الوارد أولاً يعطى إلى المورد الأكبر سعة، حيث يتم تخزين رتل للطلبات الواردة ريثما يتم إسنادها إلى موارد الشبكة في حال عدم توافر موارد متاحة. بالرغم من سرعة وبساطة خوارزمية موازنة الحمل هذه، إلا أنها أعطت نتائج سيئة بالنسبة لزمن الاستجابة، وذلك لأنها لا تأخذ بعين الاعتبار حجم المهمة الواردة ولا أولويتها [21].

➤ **الخوارزمية الدائرية:** تقوم هذه الخوارزمية بتوزيع الطلبات الواردة إلى الموارد المتاحة بشكل متساوٍ ووفقاً لخوارزمية جدولة دائرية. عند وصول أول طلب يقوم المتحكم المسؤول عن عملية موازنة الحمل بإسناد هذا الطلب إلى المورد الأول في قائمته، ويتم إسناد الطلب الثاني إلى المورد الثاني وهكذا حتى يصل إلى المورد  $N$ ، حيث  $N$  تمثل عدد الموارد المتاحة، في حال ورود طلب جديد  $N+1$  يقوم بإسناده إلى المورد الأول، وتتكرر العملية إلى النهاية. تملك جميع الموارد في هذه الخوارزمية أولوية متساوية بغض النظر عن الحزم والطلبات الواردة،

وبغض النظر عن الزمن الذي تستغرقه الموارد في الاستجابة، هذا ما يفسر زمن الانتظار الكبير الذي تعاني منه المهمات الواردة.

➤ **الخوارزمية الدائرية مع أوزان:** تعتبر هذه الخوارزمية هي تطوير للخوارزمية الدائرية، حيث تختلف عنها بأن يوجد لكل مورد وزن في البداية، ويحدد هذا الوزن حجم الحمل الذي يجب تخصيصه لكل مورد، أي عدد المداخل التي سوف يملكها كل مورد في رتل الانتظار الدائري، أي أنه إذا كان وزن المورد الأول 2 ووزن المورد الثاني 3 ، فإنه سوف يتم تخصيص أول طلبين إلى المورد الأول، والطلبات الثلاث التالية إلى المورد الثاني وهكذا. تعتبر هذه الخوارزمية خوارزمية ستاتيكية، فهي لا تأخذ بعين الاعتبار تطور الأحمال في الشبكة أو حدوث أي تغييرات على بنيتها. لا تراعي هذه الخوارزمية عمليات البعد الجغرافي حيث من الممكن إسناد طلب وارد من مبدل ما إلى أبعد مورد عن هذا المبدل مما قد يسبب بمرور هذا الطلب بعدد كبير من العقد للوصول إلى الهدف وهذا يؤثر بشكل كبير على زمن الاستجابة.

➤ **خوارزمية الحمل الأقل:** تعتبر هذه الخوارزمية هي خوارزمية ديناميكية، حيث يقوم المتحكم المسؤول عن عملية موازنة الحمل بحساب عدد الطلبات في كل مورد، حيث يقوم بإسناد الطلب الوارد إلى المورد الأقل حملاً، أي المورد الذي يملك أقل عدد من الطلبات، قد يتغير الحمل في كل مورد عند تخصيص طلب جديد إليه، أو عند الانتهاء من تنفيذ طلب أو تجاوزه للمهلة المحددة. تعتبر هذه الخوارزمية هي خوارزمية ديناميكية، إذ أنها توزع الطلبات بناءً على أحمال الموارد في الزمن الحقيقي، ولكن من سلبياتها أنها لا تأخذ بعين الاعتبار الاختلاف في السعة بين الموارد، مما يؤثر على أداء الشبكة بشكل عام. تعتبر

هذه الخوارزمية مناسبة للشبكات المؤلفة من مجموعة موارد متساوية السعة  
[22].

### 11-النتائج والمناقشة:

تم اقتراح خوارزمية جديدة لموازنة الحمل وقد اقترحنا تسميتها بخوارزمية الترحيل باستخدام العتبات الثلاث، وتمت مقارنة هذه الخوارزمية الجديدة مع خمس خوارزميات لموازنة الحمل والمستخدمة في الوقت الراهن، تمت عمليات مقارنة هذه الخوارزميات وفقاً لثلاثة عوامل وهي: إنتاجية الشبكة، معدل استخدام الموارد، واحتمال فشل المتحكم، وقد أثبتت التجارب إن الخوارزمية المقترحة تقدم تحسناً ملحوظاً على الخوارزميات السابقة من ناحية العوامل الثلاثة المدروسة.

### 11-1- السيناريو المقترح:

تمت مقارنة ست خوارزميات لموازنة الحمل وهي: الخوارزمية العشوائية، خوارزمية القدام أولاً يخدم أولاً، الخوارزمية الدائرية، الخوارزمية الدائرية مع أوزان، خوارزمية الحمل الأقل، والخوارزمية الأخيرة التي اقترحناها والتي اقترحنا تسميتها بخوارزمية الترحيل باستخدام العتبات الثلاث، وقد تم استخدام متحكم OpenDayLight المكتوب بلغة Java.

تمت عمليات المقارنة وفقاً لثلاثة عوامل وهي: إنتاجية الشبكة، معدل استخدام الموارد، واحتمال فشل المتحكم. الأداة التي قمنا باختبار التجارب عليها تمتلك معالج Intel® Core™ i9 [8-core@2.3](#) GHz 9th generation Processor و ذواكر GB 16 من نوع 2666MHz DDR4، و قرص صلب بسعة 1 TB SSD بنظام تشغيل MacOS مع أداة افتراضية على برنامج Virtual Box تم عليها تنصيب نظام تشغيل Linux 22.04 – 64 bit.

تمت عمليات المقارنة باستخدام المحاكي الشبكي Mininet والذي تم تنصيبه على الأداة الافتراضية المذكورة سابقاً.

### 11-2- الخوارزمية المقترحة:



تم اقتراح الخوارزمية التي تمت تسميتها خوارزمية الترحيل باستخدام العتبات الثلاث، حيث تحدد هذه الخوارزمية ثلاث عتبات لتحديد حالة المتحكم، هذه العتبات هي:  $T_{min}$ ,  $T_{med}$ ,  $T_{max}$  حيث يتم إدخالها يدوياً وفقاً لسعة المتحكم، وتكون  $T_{med} = T_{max} + T_{min} / 2$ ، باستخدام هذه العتبات الثلاث يصبح لدينا أربع حالات لحمل المتحكم أ وهي:

إذا كان حمل المتحكم  $i$ :  $L(i) < T_{min}$  يكون المتحكم ذا حمل قليل.

أما إذا كان حمل المتحكم  $i$ :  $T_{min} < L(i) < T_{med}$  يكون المتحكم ذا حمل عادي.

أما إذا كان حمل المتحكم  $i$ :  $T_{med} < L(i) < T_{max}$  يكون المتحكم ذا حمل عالٍ.

أما إذا كان حمل المتحكم  $i$ :  $T_{max} < L(i)$  يكون المتحكم ذا حمل مفرط.

يمكن حساب حمل المتحكم  $i$  من خلال العلاقة:  $L(i) = L_c(i) + L_m(i)$

حيث:  $L_c(i)$  تمثل مقدار استهلاك وحدة التحكم المركزية في المتحكم  $i$ ,

$L_m(i)$  تمثل مقدار استهلاك الذواكر في المتحكم  $i$ .

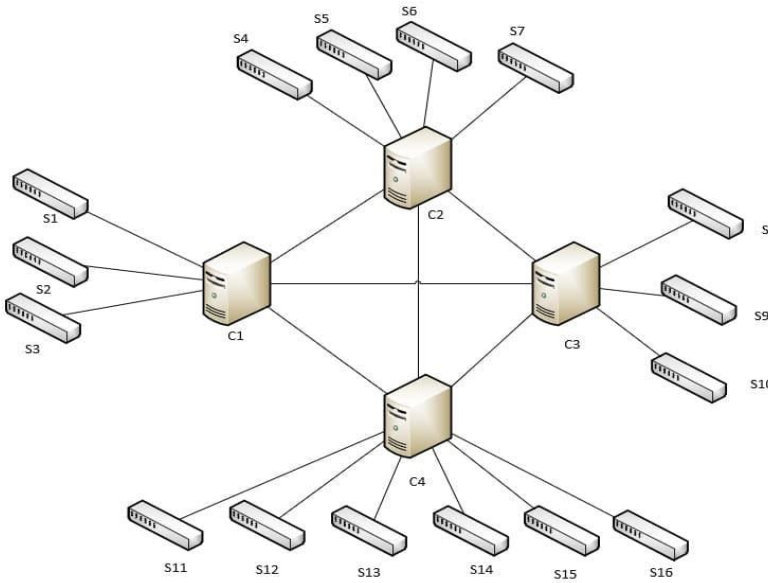
تتم عملية حساب حمل المتحكمات بشكل دوري، وإذا ظهرت حالة حمل مفرط أو عالٍ في أحد المتحكمات، يتم إطلاق عملية الترحيل، حيث يجب أن يتم ترحيل جزء من حمل المتحكم المفرط الحمل إلى المتحكم الأقل حملاً بين المتحكمات المتوافرة، عن طريق اختيار أحد المبدلات المتصلة بالمتحكم المفرط الحمل ونقل حمل هذا المبدل إلى المتحكم الذي تم اختياره، يتم اختيار المبدل الأقل حملاً في المتحكم المفرط الحمل، ليتم نقله إلى المتحكم المختار، وبعدها يتم تكرار العملية حتى نصل إلى حالة الاستقرار في الشبكة، بحيث تصبح جميع المتحكمات في حالة أحمال متقاربة. وفي حالة وجود أكثر من متحكم يعاني من نفس حالة الحمل المفرط أو العالي تكون الأولوية للمتحكم ذي الحمل الأعلى.

### 11-3- تحليل النتائج:

تم اقتراح بنية مؤلفة من 4 متحكمات هي المتحكمات C1,C2,C3,C4 متصلة مع 16 ميدل هي : S1,S2,...,S16.

في خوارزمية الترحيل باستخدام العتبات تم اقتراح حالة ابتدائية، حيث المتحكم C1 يتصل بالمبدلات S1,S2,S3 والمتحكم C2 يتصل بالمبدلات S4,S5,S6,S7 والمتحكم C3 يتصل بالمبدلات S8,S9,S10 بينما المتحكم الأخير C4 يتصل بالمبدلات S11,S12,S13,S14,S15,S16. تم توضيح البنية في الشكل (3):

باختيار عتبة  $T_{min}=10\%$  و  $T_{max}=90\%$  و بحساب  $T_{med}$  تنتج  $T_{med}=50\%$ .

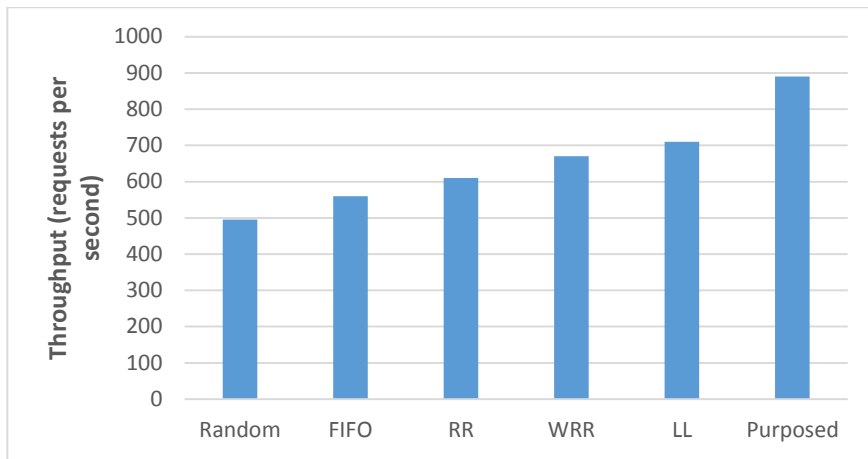


الشكل (3) البنية المقترحة.

### 11-3-1- السيناريو الأول: دراسة تأثير الخوارزميات المختلفة على إنتاجية الشبكة:

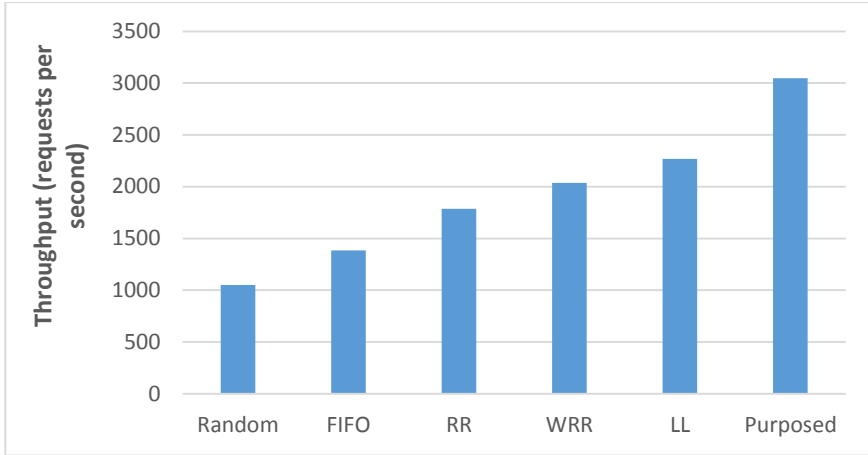
تعرف إنتاجية الشبكة بأنها عدد الطلبات التي تمت معالجتها خلال واحدة الزمن وقد اخترنا أن تكون ثانية واحدة، وكلما زادت إنتاجية الشبكة، كلما زاد عدد الطلبات التي تمت

معالجتها في الشبكة دون فشل، وبالتالي تحسن أداء الشبكة بشكل عام، وإن استخدام خوارزمية موازنة حمل فعالة سوف يؤدي بالضرورة إلى رفع إنتاجية الشبكة. تمت دراسة كل من الخوارزميات الستة في أربع حالات هي حالة ورود 1000,4000,8000,16000 طلب في كل ثانية على التوالي وتم حساب إنتاجية الشبكة في كل من الحالات الأربعة كما بينت الأشكال (4,5,6,7). حيث يوضح الشكل (4) إنتاجية الشبكة في حالة ورود 1000 طلب كل ثانية:



الشكل (4) إنتاجية الشبكة في حالة ورود 1000 طلب كل ثانية.

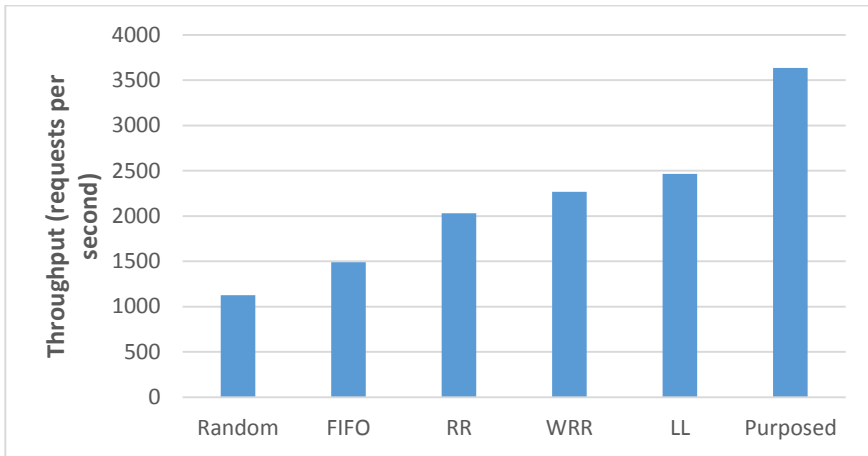
بالنظر إلى الشكل (4) وهي حالة ورود 1000 طلب كل ثانية نجد أن الخوارزميتين العشوائية والقادم أولاً يخدم أولاً تعالج حوالي نصف الطلبات الواردة، أي أنها تعطي خرجاً يتراوح بين 50-60%، بينما تعالج الخوارزميات الدائرية، والدائرية بأوزان، وخوارزمية الحمل الأقل حوالي 60-70% من الطلبات الواردة، بينما الخوارزمية المقترحة تعالج حوالي 90% من الطلبات التي ترد إلى الشبكة. ومع زيادة عدد الطلبات الواردة خلال واحدة الزمن، والتي يوضحها الشكل (5) والذي يعبر عن إنتاجية الشبكة في حالة ورود 4000 طلب كل ثانية:



الشكل (5) إنتاجية الشبكة في حالة ورود 4000 طلب كل ثانية.

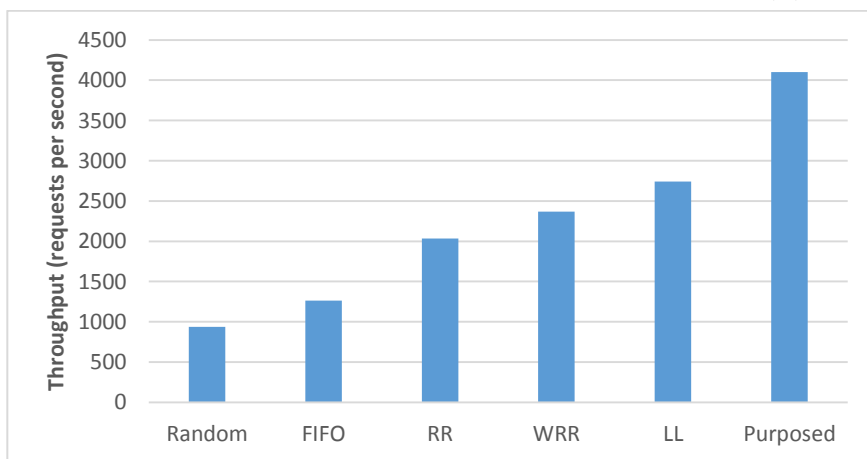
نستنتج من الشكل (5) وهي حالة ورود 4000 طلب كل ثانية نلاحظ انخفاض أداء الخوارزميات بشكل عام، حيث إن الخوارزمية العشوائية تعالج 25% من الطلبات الواردة، وخوارزمية لقادم أولاً يخدم أولاً تعالج حوالي 35% من الطلبات الواردة، بينما تعالج الخوارزميتان الدائرية والدائرية مع أوزان وخوارزمية الحمل الأقل حوالي 45% و 51% و 56% على التوالي، وتبقى الخوارزمية المقترحة هي الأفضل بنسبة معالجة 76% من الطلبات التي ترد إلى الشبكة.

و باستمرار زيادة الطلبات الواردة، تصبح إنتاجية الشبكة في حالة ورود 8000 طلب كل ثانية كما هو موضح في الشكل (6):



الشكل (6) إنتاجية الشبكة في حالة ورود 8000 طلب كل ثانية.

بالنظر إلى الشكل (6) وهي حالة ورود 8000 طلب كل ثانية، يستمر أداء الخوارزميات بالانخفاض، حيث إن الخوارزمية العشوائية تعالج 14% من الطلبات الواردة، وينخفض أداء خوارزمية القادم أولاً يخدم أولاً بشكل أكبر حيث تعالج حوالي 18% من الطلبات الواردة، بينما تعالج الخوارزميتان الدائرية والدائرية مع أوزان وخوارزمية الحمل الأقل حوالي 25% و 28% و 30% على التوالي، وتبقى الخوارزمية المقترحة هي الأفضل ولكن مع انخفاض بالإنتاجية، حيث تعالج بنسبة معالجة 45% من الطلبات الواردة. ومع الوصول إلى حالة 16000 طلب في الثانية تصبح إنتاجية الشبكة كما هي موضحة في الشكل (7):



الشكل (7) إنتاجية الشبكة في حالة ورود 16000 طلب كل ثانية.

من الشكل (7) نجد أن الخوارزميتين العشوائية والقادم أولاً يخدم أولاً تخدم عدداً أقل من الطلبات التي كانت تخدمها عند معدل ورود 8000 طلب في كل ثانية، وينخفض أداؤها حيث تعطي نسبة معالجة 6% و 8% على التوالي، وتحافظ الخوارزميتان الدائرية والدائرية مع أوزان على عدد الطلبات التي كانت تعالجها في حال ورود 8000 طلب، ولكن النسبة تتخفف بسبب أنها تعالج نفس العدد رغم زيادة المعدل من 8000 طلب إلى 16000 طلب كل ثانية، وهذا يعني انخفاض الإنتاجية إلى النصف، وتعطي نسبة

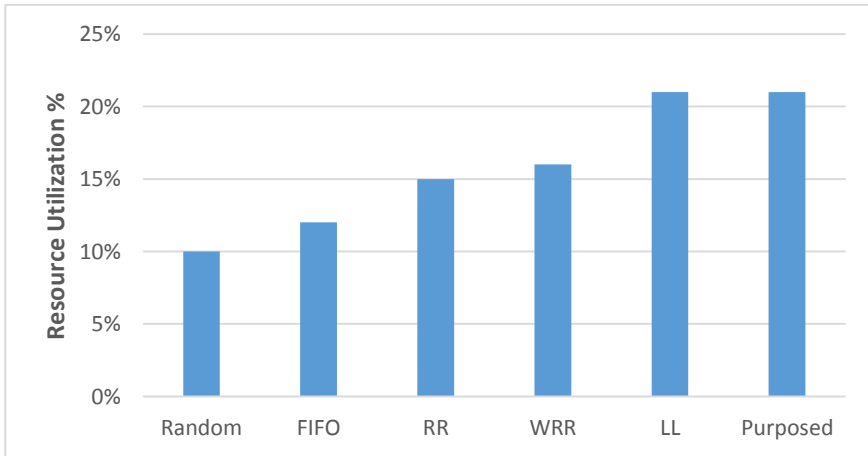
معالجة قدرها 12% و 14% على التوالي، كما تعطي خوارزمية الحمل الأقل 17% من الطلبات الواردة، بينما تعطي الخوارزمية المقترحة زيادة طفيفة في عدد الطلبات المعالجة، وتعطي نسبة معالجة قدرها 25%.

### 11-3-2- السيناريو الثاني: دراسة تأثير الخوارزميات المختلفة على معدل استخدام الموارد:

يعرف معدل استخدام الموارد بأنه نسبة انشغال المورد بالنسبة إلى سعته الكلية، وكلما زادت هذه النسبة كلما تحسن أداء الشبكة بشكل عام، لأنه يعني زيادة استغلال الموارد في معالجة الطلبات الواردة، وهذا الأمر يؤثر بشكل طردي على زيادة عدد الطلبات التي تمت معالجتها بنجاح، وبالتالي على أداء الشبكة.

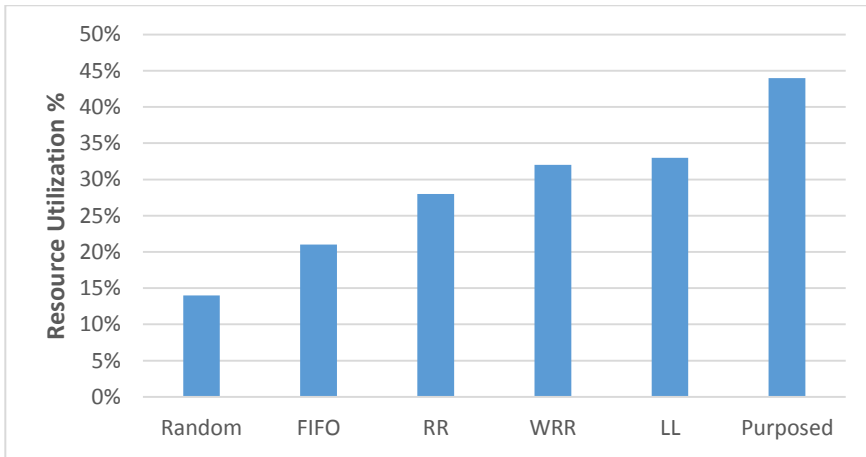
تمت دراسة كل من الخوارزميات الستة في أربع حالات هي حالة ورود 1000,4000,8000,16000 طلب في كل ثانية على التوالي وتم حساب معدل استخدام الموارد في كل من الحالات الأربعة بعد مرور 60 ثانية كما بينت الأشكال (8,9,10,11).

يوضح الشكل (8) معدل استخدام الموارد في حالة ورود 1000 طلب كل ثانية:



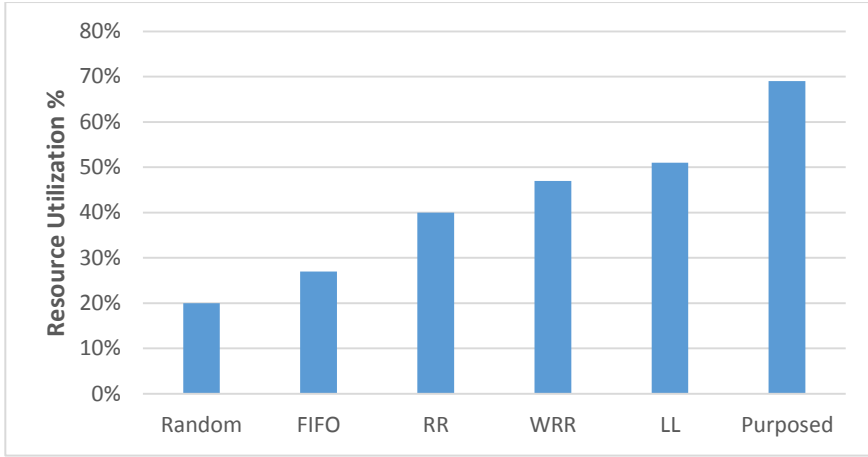
الشكل (8) معدل استخدام الموارد في حالة ورود 1000 طلب كل ثانية.

بالنظر إلى الشكل (8) وفي حال ورود 1000 طلب كل ثانية، نجد أن الخوارزميات العشوائية والقادم أولاً يخدم أولاً والدائرية والدائرية مع أوزان يكون معدل استخدام الموارد فيها متقارباً ويتراوح بين 10-15%، بينما خوارزميتي الحمل الأقل والخوارزمية المقترحة تعطي معدل استخدام متماثل بنسبة 21% من الموارد المتاحة، ونلاحظ انخفاض هذا المعدل بسبب أن عدد الطلبات وحجمها يعتبر قليلاً بالنسبة لسعة الموارد المتوفرة. ومع زيادة عدد الطلبات الواردة خلال واحدة الزمن والتي يوضحها الشكل (9) والذي يعبر عن معدل استخدام الموارد في حالة ورود 4000 طلب في الثانية الواحدة:



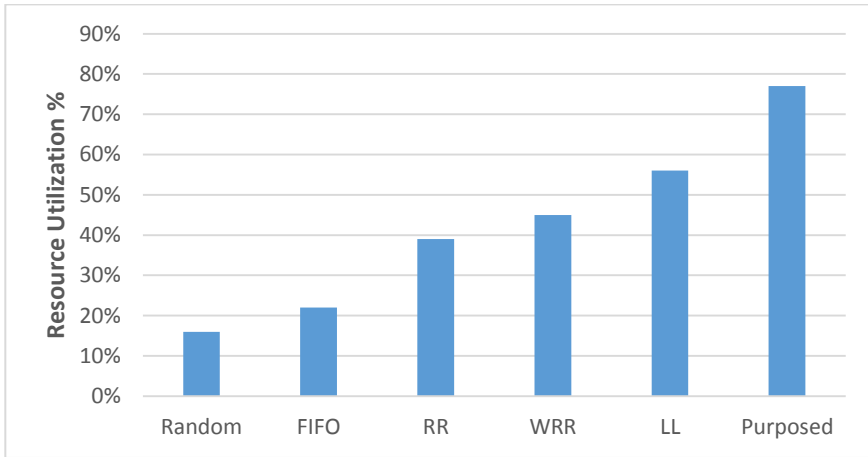
الشكل (9) معدل استخدام الموارد في حالة ورود 4000 طلب كل ثانية.

من الشكل (9) الذي يمثل حالة ورود 4000 طلب كل ثانية، نجد ارتفاع نسبة انشغال الموارد حيث تسجل الخوارزمية العشوائية، والقادم أولاً يخدم أولاً معدل استخدام قدره 14% و 21% على التوالي، بينما يتقارب أداء الخوارزمية الدائرية مع الخوارزمية الدائرية مع أوزان، وخوارزمية الحمل الأقل وتعطي نسب تتراوح بين 28-33% كمعدل استخدام، وتكون الخوارزمية المقترحة هي الأفضل مع معدل استخدام يبلغ 44%. وباستمرار زيادة الطلبات الواردة إلى 8000 طلب في الثانية، يصبح معدل استخدام الموارد كما هو موضح في الشكل (10):



الشكل (10) معدل استخدام الموارد في حالة ورود 8000 طلب كل ثانية.

بملاحظة الشكل (10) عند ورود 8000 طلب كل ثانية، نلاحظ ازدياد المعدل بشكل عام في جميع الخوارزميات المدروسة، حيث يبلغ 20% في الخوارزمية العشوائية، و27% في خوارزمية القادم أولاً يخدم أولاً، و40% في الخوارزمية الدائرية، كما تتشابه خوارزمتنا الدائرية مع أوزان، والحمل الأقل في النتائج، حيث يعطيان معدل استخدام 47% للأولى و51% للثانية، ويكون أداء الخوارزمية المقترحة أفضل من الخوارزميات الباقية من حيث هذا العامل بمعدل 69%. ومع الوصول إلى حالة 16000 طلب في الثانية يصبح معدل استخدام الموارد كما هو موضح في الشكل (11):



الشكل (11) معدل استخدام الموارد في حالة ورود 16000 طلب كل ثانية.

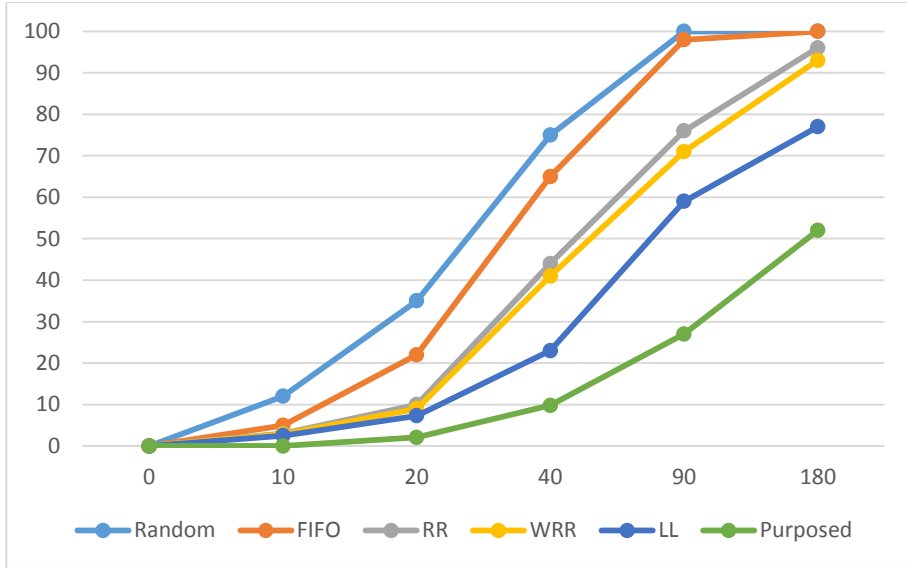


بقراءة النتائج من الشكل (11) في حال ورود 16000 طلب كل ثانية، نلاحظ انخفاض في معدل استخدام الموارد للخوارزميتين العشوائية والقادم أولاً يخدم أولاً، رغم زيادة عدد الطلبات الواردة، ويعود ذلك إلى حالة الفشل التي قد تصيب بعض المتحكمات وخروجها عن الخدمة، وتعطيان معدلات قدرها 16% و 22% للخوارزميتين السابقتين، كما نلاحظ أن الخوارزميتين الدائرية، والدائرية مع أوزان تحافظان على نفس المعدل تقريباً وتعطيان نتائج 39% و 45% على التوالي، بينما تظهر خوارزمية الحمل الأقل تحسناً طفيفاً بمعدل استخدام يبلغ 56%، و تظهر الخوارزمية المقترحة تحسناً أفضل وتعطي معدلاً قدره 77% من الموارد المتاحة.

### 11-3-3- السيناريو الثالث: دراسة تأثير الخوارزميات المختلفة على احتمال فشل المتحكم:

يعرف هذا العامل بأنه النسبة المئوية المتوقعة لاحتمال فشل أحد المتحكمات، وكلما زادت هذه النسبة زادت احتمالات فشل المتحكمات وبالتالي زادت احتمالات انهيار الشبكة ككل، ومن الضروري مراعاة جعل أحمال المتحكمات متقاربة قدر الإمكان، وذلك لتجنب حالات فشل أحد المتحكمات بسبب الحمل الزائد، في حين وجود متحكمات أخرى بأحمال منخفضة.

تمت دراسة كل من الخوارزميات الستة في حال ورود 2000 طلب في كل ثانية، وتمت عملية الدراسة حتى 180 ثانية، وتم حساب احتمال فشل المتحكم تجريبياً، حيث تم إعادة التجربة 3 مرات لكل خوارزمية، وكانت النتائج مبينة في الشكل (12):



الشكل (12) احتمال فشل المتحكمات في الخوارزميات المختلفة.

من الشكل (12) نجد أن الخوارزميتين العشوائيتين، والقادم أولاً يخدم أولاً تعطيان أسوأ نتائج حيث إنه بعد مرور 20 ثانية يعطيان احتمالات فشل تتراوح بين 20-35%، وبعد مرور 40 ثانية ترتفع احتمالات الفشل إلى حوالي 60-70%، وبعد مرور 90 ثانية تصبح نسبة الفشل حوالي 100%، وذلك لأن كلتا الخوارزميتين لا تراعيان الأحمال الحالية للمتحكمات عند إسناد طلبات إليها، بينما تعطي الخوارزميتان الدائرية، والدائرية مع أوزان نتائج متقاربة، مع أفضلية طفيفة للخوارزمية الدائرية مع أوزان، وباحتمالات فشل تتراوح بين 40-44% في الثانية 40، وبين 70-75% في الثانية 90، ولكن كليهما تبلغ احتمالات الفشل فوق 90% عند الوصول إلى الثانية 180، ونلاحظ من الشكل أيضاً أن خوارزمية الحمل الأقل تعطي نتائج أفضل من الخوارزميات المذكورة السابقة وذلك لأنها تراعي الأحمال الحالية للمتحكمات، وتعطي احتمالات فشل لا تتجاوز 8% في الثانية 20، ولا تتجاوز 25% في الثانية 40، ولكن احتمال الفشل يرتفع إلى حوالي 59% في الثانية 90، ويبلغ 77% بعد مرور 180 ثانية، وفي النهاية تبقى الخوارزمية المقترحة هي الأفضل حيث إن بعد مرور 90 ثانية يبقى احتمال الفشل حوالي 27%، ويبلغ حوالي 50% عند وصولنا للثانية 180، وذلك لأنها تعتمد على عملية توزيع الحمل بين

المتحكمات في حال وصول أحد هذه المتحكمات إلى حمل زائد على عكس الخوارزميات الخمس التي تسبقها.

#### الخاتمة:

قمنا في هذا البحث بتوضيح الحاجة للانتقال من الشبكات التقليدية إلى شبكات SDN، وأيضاً الحاجة إلى استبدال نموذج شبكات SDN بمتحكم مركزي إلى شبكات SDN بمتحكمات متعددة، والفوائد المرجوة من استخدام البنية ذات المتحكمات المتعددة، كما تعرضنا إلى التحديات التي تواجهها هذه البنية الجديدة وكان أهمها: أماكن توضع المتحكمات، وخوارزميات موازنة الحمل المستخدمة لتحسين أداء الشبكة بشكل عام.

كما قمنا في هذا البحث بالاهتمام بخوارزميات موازنة الحمل، وذلك عن طريق اقتراح خوارزمية جديدة لموازنة الحمل في شبكات SDN ذات المتحكمات المتعددة، وقمنا بمقارنة هذه الخوارزمية مع مجموعة من الخوارزميات المستخدمة سابقاً. تمت عملية الدراسة من خلال ثلاثة عوامل هي: إنتاجية الشبكة، ومعدل استخدام الموارد، واحتمال فشل المتحكم، وقد أثبتت الخوارزمية المقترحة تفوقها على الخوارزميات المستخدمة سابقاً من ناحية العوامل المدروسة.

فمن ناحية إنتاجية الشبكة، عالجت الخوارزمية المقترحة حوالي 90% من الطلبات الواردة عند ورود 1000 طلب في الثانية، وأعطت تحسناً قدره 20% عن أفضل الخوارزميات الأخرى في حالتها و 1000 و 4000 طلب في الثانية الواحدة، كما أعطت تحسناً قدره 15% في حالة ورود 8000 طلب في الثانية، وتحسناً قدره 8% في حالة ورود 16000 طلب في الثانية، وذلك بالمقارنة مع أفضل الخوارزميات الأخرى المدروسة.

أما بالنسبة لمعدل استخدام الموارد، وفي حالة ورود 1000 طلب في الثانية تعطي الخوارزمية المقترحة نتائج متقاربة مع خوارزمية الحمل الأقل، ولكنها أفضل من جميع الخوارزميات الباقية، أما في حالات ورود 4000 و 8000 و 16000 طلب في الثانية

الواحدة، فقد أعطت الخوارزمية المقترحة تحسناً ملحوظاً بنتائج تحسين تقدر بـ 11%، 18%، 21% على التوالي، مقارنةً مع أفضل الخوارزميات الأخرى. أما بالنسبة للعامل الأخير وهو احتمال فشل المتحكم، نجد أنه بعد مرور 180 ثانية فإن الخوارزمية المقترحة تعطي تحسناً قدره حوالي 27% عن خوارزمية الحمل الأقل، وتحسيناً يقترب من 50% بالنسبة للخوارزميات الباقية. من جهة أخرى لا نستطيع إغفال أهمية عامل توازن المتحكمات في تحسين أداء الشبكة، و يلعب دوراً متكاملاً مع خوارزمية موازنة الحمل المستخدمة، لذا كان لابد من التوجه لدراسة هذا العامل مستقبلاً، وهذا هو موضع بحثنا في الوقت الحالي بعد الانتهاء من دراسة خوارزميات موازنة الحمل.

### المراجع

- [1] HYOJOON KIM, NICK FEAMSTER; *Improving Network Management with software Defined Networking*; IEEE Communications Magazine, February 2013.
- [2] M. ABU SHARKH, M. JAMMAL, A. SHAMI, and A. OUDA; *Resource Allocation in a Network Based Cloud Computing Environment: Design Challenges*; IEEE Communications Magazine, September 2013, DOI: 10.1109/MCOM.2013.6658651.
- [3] FETIA BANNOUR, SAMI SOUIHI, and ABDELHAMID MELLOUK; *Distributed SDN Control: Survey, Taxonomy and Challenges*; *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, December 2017, DOI: 10.1109/COMST.2017.2782482.
- [4] WENJUAN LIAB, YU WANGA, ZHIPING JIN, KEPING YUD, JIN LIA, and YANG XIANGA; *Challenge-based Collaborative Intrusion Detection in Software Defined Networking: An Evaluation*; *Digital Communications and Networks*, 9 September 2020, <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2020.09.003>.
- [5] JUAN CAMILO CORREA CHICA, JENNY CUATINDIOY IMBACHI, and JUAN FELIPE BOTERO VEGA; *Security in SDN: A comprehensive survey*; *Journal of Network and Computer Applications*, 19 March 2020, <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102595>.
- [6] ESMAEIL AMIRI, EMAD ALIZADEH, and KHALILOLLAH RAEISI; *An Efficient Hierarchical Distributed SDN Controller Model*; 5th Conference on Knowledge-Based Engineering and Innovation, September 2019.
- [7] STEFAN SCHMID, JUKKA SUOMELA; *Exploiting Locality in Distributed SDN Control*; *Proceedings of the second ACM SIGCOMM workshop on Hot topics in software defined networking*, ACM, 2013, pp. 121–126.
- [8] T. FRATCZAK, M. BROADBENT, P. GEORGOPOULOS, and N. RACE; *Homevisor: Adapting home network environments*, in: *Software Defined Networks*, 2013 Second European Workshop on, IEEE, 2013, pp. 32–37.
- [9] YUAN ZHANGA, LIN CUIA,B, WEIWANGC, and YUXIANG ZHANGA; *A Survey on Software Defined Networking with Multiple Controllers*; *Journal of Network and Computer Applications*, December 7, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2017.11.015>.

- [10] RAHIM MASOUDI, ALI GHAFARI; *Software defined networks: A survey*; Journal of Network and Computer Applications 67 (2016) 1–25, 26 March 2016, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnca.2016.03.016>.
- [11] MURAT KARAKUSA, ARJAN DURRESIA; *A Survey: Control Plane Scalability Issues and Approaches in Software-Defined Networking (SDN)*; Computer Networks November 10, 2016.
- [12] ASHUTOSH KUMAR SINGH, SHASHANK SRIVASTAVA; *A survey and classification of controller placement problem in SDN*; International Journal of Network Management · March 2018, DOI: 10.1002/nem.2018
- [13] SURENDRA KUMAR KESHARI, VINEET KANSAL, and SUMIT KUMAR; *A Systematic Review of Quality of Services (QoS) in Software Defined Networking (SDN)*; Springer Science+Business Media, 24 September 2020, <https://doi.org/10.1007/s11277-020-07812-2>.
- [14] YUSTUS EKO OKTIAN, SANGGON LEE, HOONJAE LEE, and JUNHUY LAM; *Distributed SDN controller system: A survey on design choice*; Computer Networks 121 (2017) 100–111, 11 April 2017, <http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2017.04.038>.
- [15] AMIT S HANAMAKKANAVA, VIDYA S.HANDUR; *Load Balancing in Distributed Systems: A survey*; International Journal of Emerging Technology in Computer Science & Electronics(IJETCSE) ISSN: 0976-1353 Volume 14 Issue 2 –APRIL 2015.
- [16] JACOB H. COX, JR.1, JOAQUIN CHUNG, SEAN DONOVAN, JARED IVEY, RUSSELL J. CLARK, GEORGE RILEY, and HENRY L. OWEN; *Advancing Software-Defined Networks: A Survey*; IEEE Access, October 12, 2017, DOI: 10.1109/ACCESS.2017.276229.
- [17] JIE HU, CHUANG LIN, XIANGYANG LI, JIWEI HUANG; *Scalability of control planes for Software defined networks: modeling and evaluation*; IEEE 22nd international symposium of quality of service (IWQoS), Hong Kong. 2014. p. 147–52.  
<https://doi.org/10.1109/IWQoS.2014.6914314>
- [18] SOUKAINA BOUZGHIBA, HAMZA DAHMOUNI, ANOUAR RACHDI, AND JEAN-MARIE GARCIA; *Towards an Autonomic Approach for Software Defined Networks: An Overview*; <https://www.researchgate.net/publication/309693700>, November 2017, DOI: 10.1007/978-981-10-1627-1\_12.
- [19] YANING ZHOU, YING WANG, JINKE YU, JUNHUA BA, and SHILEI ZHANG; *Load Balancing for Multiple Controllers in SDN Based on Switches Group*; APNOM2017. IEEE. 2017.

- [20] YING-DAR LIN, CHIH CHIANG WANG, YI-JEN LU, YUAN-CHENG LAI, and HSICHANG YANG; *Two-tier dynamic load balancing in SDN-enabled Wi-Fi networks*; Springer Science+Business Media New York 2017, 9 April 2017, DOI 10.1007/s11276-017-1504-3.
- [21] GUDU BEKAMA HAILE, JIANXUN ZHANG; *Dynamic Load Balancing Algorithm in SDN-based Data Center Networks*; International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT); ISSN: 2278-0181, Vol. 10 Issue 03, March-2021.
- [22] VIVEK SRIVASTAVA, RAVI SHANKAR PANDEY; *Load balancing for software-defined network: a review*; International Journal of Computers and Applications, 27 April 2021, <https://doi.org/10.1080/1206212X.2021.1919835>.





## تقييم التبريد الهوائي للمجمعات الشمسية لحل مشكلة الركود تجريبياً

الدكتورة: أمينة فارس<sup>1</sup>

كلية: الهمك جامعة: دمشق

### الملخص:

بسبب الطلب المتزايد على الطاقة واستخدام الوقود الأحفوري وصلت نسبة تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون إلى أعلى مستوياتها، مما أسفر عن تغير مناخي حاد ألقى بظلاله السلبية على العديد من المناطق حول العالم. تستخدم أنظمة الطاقة الشمسية لتأمين التدفئة والتكييف والمياه الساخنة وتطبيقات أخرى ويمكن أن تصل مجمعات الطاقة الشمسية لدرجات حرارة عالية عند توقف مضخة النظام عن العمل وعدم جريان الوسيط الناقل للحرارة مع استمرار ورود الإشعاع الشمسي وهذا ما يعرف بظاهرة الركود تؤدي لحدوث أعطال داخل دارة المجمع لذلك بدأت عملية البحث في سبل خفض درجات الحرارة وإزالة الحرارة الزائدة. تم في هذا البحث إيجاد حل تجريبي لمعالجة الركود في مجمع شمسي مسطح بحيث يتم خفض درجات الحرارة لتحت درجة حرارة الركود عن طريق تركيب قنوات للتبريد أسفل السطح الماص توصل هذه القنوات مع مروحة تبريد لدخول هواء التبريد وإزالة الحرارة. تم إجراء عدة تجارب مختلفة خلال أيام من شهر تشرين الثاني وثبت في هذه التجارب أن المبادل الحراري المتعاكس هو الأفضل حيث أن الزمن اللازم للتبريد بحدود 4:50 min وهو أقل تكلفة اقتصادية، بينما الزمن اللازم للتبريد في حالة المبادل الحراري الموازي بحدود 7min أما في حالة المبادل المتعاكس مع خفض غزارة المروحة فإنه يحتاج زمن أطول مقارنةً بالحالات السابقة يصل إلى 15min.

كلمات مفتاحية: المجمعات الشمسية-نظام تسخين شمسي-ركود المجمعات-التبريد.

<sup>1</sup> أستاذ مساعد في قسم الميكانيك العام - كلية الهمك - جامعة دمشق

# EXPERIMENTAL EVALUATION OF AIR COOLING FOR SOLAR COLLECTORS TO SOLVE THE STAGNATION PROBLEM

Amina Fares<sup>1</sup>

## Abstract:

Due to the increasing demand for energy and the use of fossil fuels, the concentration of carbon dioxide has reached its highest levels, resulting in severe climate change that has cast negative shadows on many regions around the world. Solar energy systems are used to provide heating, air conditioning, hot water and other applications. Solar collectors can reach high temperatures when a system pump stops working and the heat carrier does not flow with the continued arrival of solar radiation. The process of searching for ways to reduce temperatures and remove excess heat. In this paper, an experimental solution was found to treat stagnation in a flat solar collector so that the temperatures are lowered to below the stagnation temperature by installing cooling channels under the absorbing surface. These channels connect with a cooling fan to enter the cooling air and remove heat. Several different experiments were conducted during the days of November, and it was proved in these experiments that the opposite heat exchanger is the best, as the time required for cooling is about 4:50 min, which is the least economical cost, while the time required for cooling in the case of the parallel heat exchanger is about 7 min. The inverted exchanger, while reducing the fan intensity, needs a longer time compared to the previous cases, up to 15min.

**Key words:** solar collectors, solar heating system, stagnation of collectors, cooling.

---

<sup>1</sup> Ass. Prof. General Mechanics , Damascus University

## 1. مقدمة

تمثل الطاقة شريان الحياة لاقتصاديات الدول في جميع أنحاء العالم، ويزداد الطلب عليها كل يوم نظراً لتزايد النشاط الصناعي والاقتصادي والنمو السكاني. يعد الوقود الأحفوري من بترول ومشتقاته وفحم وغاز طبيعي، المصدر الأساسي للطاقة، ونتيجة للاعتماد المكثف عليه في مختلف الصناعات، برز الاختلال في مكونات الغلاف الجوي حيث وصلت نسبة تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون إلى أعلى مستوياتها، مما أسفر عن تغير مناخي حاد ألقى بظلاله السلبية على العديد من المناطق حول العالم مثل موجات الحرارة العالية وحرائق الغابات والعواصف والفيضانات التي خلفت كما كبيراً من الدمار. برز استخدام المجمعات الشمسية للتدفئة وتسخين المياه وتطبيقات أخرى للطاقة الشمسية، وأخذ مكانه، ولكن في جميع الأنظمة الشمسية هناك إمكانية أن تصل درجات حرارة المجمعات الشمسية إلى قيم عالية خصوصاً عند حالات انقطاع التيار الكهربائي أو في الحالات التي تكون عندها الحاجة إلى الطاقة أقل ما يمكن أو عندما ينعدم الاستهلاك الحراري كما في فصل الصيف.

تتعرض المجمعات لفترات ركود عندما تتوقف مضخة المجمع عن العمل والسبب في ذلك أن الخزّان يكون قد شحّن بشكل تام. وهذا يحدث في الأنظمة المركبة أكثر ممّا يحدث في أنظمة تسخين الماء المنزلي بالطاقة الشمسية فقط [1]. يبقى الضغط في حالة الركود في دارة المجمع تحت ضغط 3 bar في العديد من الأنظمة و يتبخّر الوسيط الناقل للحرارة ويتحرّك باتجاه خزّان التمدّد. يحدث الركود في المجمعات لعدة أسباب منها:

- تمّ تأمين الحرارة المطلوبة من الدارة بشكل كافٍ.
- انقطاع التيار الكهربائي مع استمرار وجود الأشعاع الشمسي.
- دارات بعض المجمعات أنابيبها مربوطة على التفرع لا تعمل بسبب الهواء العائق.
- متابعة حالات الصيانة وإصلاح النظام بشكل دوري.

- تجمد المياه داخل الأنابيب في المناطق الباردة وتوقف السائل عن الدوران في الدارة الشمسية.
  - عدم تصريف الحمل الحراري المطلوب في أيام العطل والاجازات الصيفية.
- تحت هذه الظروف فإن المجمعات الشمسية (ومنها المسطحة) قد تصل إلى درجات حرارة تزيد عن  $170^{\circ}\text{C}$ ، وإذا تعرضت المجمعات إلى هذه الحرارة العالية فإنه من المحتمل أن ينقص السائل الناقل للحرارة بسرعة و تزداد وبشكل كبير الضغوط في دارة نقل حرارة المجمع الشمسي مما دفع الباحثين للبحث في سبل لخفض درجات الحرارة العالية داخل المجمع للمحافظة على كفاءة أداء المجمع.
- قام Pedro وآخرون (2013) [4] في إسبانيا بدراسة تحليلية عن ارتفاع درجة الحرارة ومشكلة الركود على المجمعات الشمسية الحرارية مخبرياً وأثبتت صحة هذه البيانات تجريبياً على نظام شمسي مصمم لتسخين المياه في مستشفى تقع جنوب إسبانيا. وتبين مخبرياً أن درجة حرارة السائل الناقل للحرارة أثناء الركود في شهر نيسان يمكن أن تصل إلى ما بعد  $180^{\circ}\text{C}$ .
- عند توقف المضخة عن العمل، تزداد درجة حرارة الماء في الجزء العلوي من المجمعات بحوالي ( $4^{\circ}\text{C}$ - $6^{\circ}\text{C}$ ) في الدقيقة. لذلك في جميع الانظمة الشمسية يصل الجزء العلوي من المجمعات إلى  $180^{\circ}\text{C}$  في غضون 10-15 min وتظهر فقاعات البخار في المجمع. عندما تكون المضخة في وضع التشغيل، تكون درجة الحرارة في خزان الطاقة الشمسية  $60^{\circ}\text{C}$ ، ودرجة حرارة خط التغذية عند  $64^{\circ}\text{C}$  ودرجة حرارة خط الراجع عند  $70^{\circ}\text{C}$ .
- عندما تكون المضخة في وضع التوقف، يكون الإشعاع الشمسي الوارد على المجمع بحدود  $970\text{ W/m}^2$ ، وبعد 10 min يزداد الضغط ويبلغ متوسط درجة الحرارة في قمة المجمعات  $110^{\circ}\text{C}$  وعند مرور 30 min يصل الضغط 4.2 bar ودرجة الحرارة  $144^{\circ}\text{C}$ . خلال فترة الركود، تكون درجة الحرارة في الأنبوب بين المجمعات والخزان التي تحتوي على البخار هي  $150^{\circ}\text{C}$ ، يدفع البخار في المجمعات الماء خلال أنبوب الماء البارد، في نهاية حالة الركود يتحول تقريباً 85-90% من السائل الناقل للحرارة إلى بخار ويتبقى 10-15% من السائل.

قام (MARTINEZ - 2013) [5] بتقديم دراسة نظام تبريد ذاتي حراري كهربائي مصمم لتبديد الحرارة الزائدة من نظام تجميع شمسي ومنع ارتفاع درجة حرارة السائل الداخلي. التبريد الذاتي الكهروحراري Thermoelectric self-cooling (TSC) هو تطبيق حراري كهربائي جديد، ثبت أنه يعزز تبريد أي جهاز لتوليد الحرارة دون استهلاك الكهرباء. قدم هذا البحث تصميم ودراسة حسابية لنظام TSC، مشيرة إلى أن أهم البارامترات هي المقاومة الحرارية للمبادلات الحرارية، وأن تخفيضها يحسن بشكل كبير من أداء النظام الكهروحراري. يتفوق التصميم النهائي على المبددات الثابتة والديناميكية المستخدمة حالياً، مما يزيد من معامل انتقال الحرارة بأكثر من 50% ولا يتطلب أي كهرباء، مما يمثل بديلاً واعداً لمنع ارتفاع درجة حرارة المجمعات الشمسية.

يتكون نظام TSC المقترح من: مصدر الحرارة ومائع حراري، يعمل عند  $90^{\circ}\text{C}$  ، والذي يبرد حتى  $78.3^{\circ}\text{C}$  حيث تتم إزالة  $2760\text{ W}$  من معدل تدفق الحرارة، عندما تصل درجة حرارة السوائل عند مخرج المجمعات إلى  $90^{\circ}\text{C}$ ، يضطر السائل إلى التدفق عبر القنوات، مما يؤدي إلى فرق في درجة الحرارة بين نهاية الوحدات الكهروحرارية، والتي توفر الطاقة الكهربائية للمراوح. وبالتالي يتم الحصول على الحمل الحراري القسري للمبددات، مما يعزز نقل الحرارة دون استهلاك إضافي للكهرباء. يزيد هذا التصميم لنظام التبريد الذاتي الكهروحراري من معامل انتقال الحرارة العام أكثر من 50% مقارنة بأجهزة تبديد الحرارة المستخدمة حالياً في أنظمة مجمعات الطاقة الشمسية والذي يصل إلى  $9\text{W}/\text{m}^2.\text{k}$ . تشير جميع هذه العوامل إلى أن استخدام أنظمة التبريد الذاتي الكهروحرارية يبرز كبديل واعد لمنع ارتفاع درجة حرارة المجمعات الشمسية.

قام Frank وآخرون (2015) [6] في وكالة الطاقة العالمية بدراسة الحد من ارتفاع درجات الحرارة ومعالجة الركود في تطبيقات الأنظمة الحرارية الشمسية وتم حساب درجة حرارة الركود لبعض أنواع المجمعات الشمسية باستخدام معادلة الكفاءة للمجمع. ويظهر من الدراسة أن المجمعات الشمسية من النوع المسطح والمزود بعازل شفاف تصل لنقطة الركود بشكل أسرع من غيرها وعند فرق درجات الحرارة أقل بين مائع التسخين والمحيط. وأن المجمعات الشمسية ذات الأنابيب المفرغة تصل لنقطة الركود عند درجات تسخين

مرتفعة بدون أن يحصل لها ضرر. وعليه فإن درجات الحرارة القصوى للمجمع الشمسي تعتمد بشكل كبير على تقنية المجمع الحراري الشمسي المستخدمة. حتى بالنسبة إلى المجمعات غير المركزة قد تصل درجات حرارة الركود إلى قيم حوالي  $300^{\circ}\text{C}$ . قام Kizildag وآخرون (2017) [7] من تونس بدراسة تطوير وتحسين واختبار أداء مجمع شمسي مسطح ذو كفاءة عالية مع العزل الشفاف والحماية من فرط التسخين. تناول البحث مجمعاً شمسياً ذو لوح مسطح مزود بمواد عازلة شفافة (TIM) ونظام حماية من فرط التسخين. يتم اختبار ثلاثة أنواع من التصميمات أولاً تحت ظروف المختبر، ثم بعد ذلك تركيب هذه المجمعات على سطح مبنى مستشفى. تم استخدام مواد العزل الشفاف (TIM) بين غطاءين شفافين أو بين السطح الماص والزجاج الخارجي، العيب الرئيسي هو ضعفها تحت ظروف الركود. وللتغلب على هذه المشكلة، تم اقتراح حلول مختلفة. منها نظام تبريد ذاتي حراري مصمم لتبديد الحرارة الزائدة، مما يعطي أداءً حرارياً جيداً.

## 2. هدف البحث

تقييم التبريد الهوائي للمجمعات الشمسية المسطحة تجريبياً للتغلب على مشكلة الركود في المجمعات الشمسية. حيث تم تركيب قنوات تبريد تكون على تلامس مباشر مع السطح الماص تعمل على تبريد السطح الماص عند ارتفاع درجة حرارته فوق درجة حرارة التشغيل وبالتالي خفض درجات الحرارة تحت درجة حرارة الركود، للمحافظة على المجمع الشمسي وتجهيزات النظام من الأعطال الناتجة من ارتفاع الضغط الشديد نتيجة ارتفاع درجات الحرارة مما يؤدي لانفجار الأنابيب أو التسرب أو نقص في كمية السائل الناقل للحرارة نتيجة التبخر أو التآكل.

## 3 - مواد وطرق البحث

### 3.1. تقدير درجة حرارة الركود

في الوقت الذي يسعى إليه المصنعون لزيادة الكفاءة الحرارية للمجمع عن طريق تقليل الفقد الحراري من المجمعات الشمسية فإن النتيجة المعاكسة هي زيادة درجة حرارة

الركود. تعتمد درجة حرارة الركود على تصميم وبناء المجمع الشمسي. فالمجمعات الشمسية المفرغة يكون فيها معامل الفقد الحراري منخفضاً وبالتالي تكون درجة حرارة الركود عالية، بينما للمجمعات الشمسية المصممة بمعامل فقد حراري عالي تكون درجة حرارة الركود لها منخفضة مثل أحواض السباحة غير المغطاة بالزجاج.

في حالات التشغيل الطبيعية. إن قيمة الطاقة الفعالة المستفاد منها بالنظام  $Q_{del}$  هي عبارة عن الفرق بين نسبة الطاقة الشمسية الممتصة في المجمع الشمسي  $Q_{abs}$  و نسبة

كمية الحرارة الضائعة عن طريق غلاف المجمع الشمسي  $Q_{loss}$

$$Q_{del} = Q_{abs} - Q_{loss} \quad [W] \quad (1)$$

حيث  $Q_{abs}$  : تحدد من حاصل جداء مساحة المجمع الشمسي  $A_c$  بمعامل النفوذية الغطاء الزجاجي ( $\tau$ ) بمعامل امتصاص اللوح الماص ( $\alpha$ ) والاشعاع الشمسي ( $G$ ).

$$Q_{abs} = A_c (\tau \alpha) G \quad [W] \quad (2)$$

$Q_{loss}$ : تحدد الضياعات الحرارية من المجمع الشمسي بالحمل والاشعاع والانعكاس والتوصيل من حاصل جداء معامل فقد الحرارة ( $U_L$ ) الكلي بالفرق بين درجة حرارة السطح الماص للمجمع الشمسي و درجة حرارة الجو المحيط .

$$Q_{loss} = U_L A_c (T_p - T_a) \quad [W] \quad (3)$$

لا يوجد أي حرارة مستفاد منها ومعهما للحمل في حالات الركود لذلك  $Q_{del} = 0$ . ومن أجل التحكم بدرجة حرارة المجمع "في حالة الركود" فيجب على المجمع أن يكون قادراً على تبديد كل الطاقة الممتصة. وفي الواقع ستزداد درجة الحرارة السطح الماص في المجمع الشمسي حتى:

$$Q_{loss} = Q_{abs} \quad [W] \quad (4)$$

$$U_L (T_p - T_a) = (\tau \alpha) G \quad [W/m^2] \quad (5) \quad \text{أو}$$

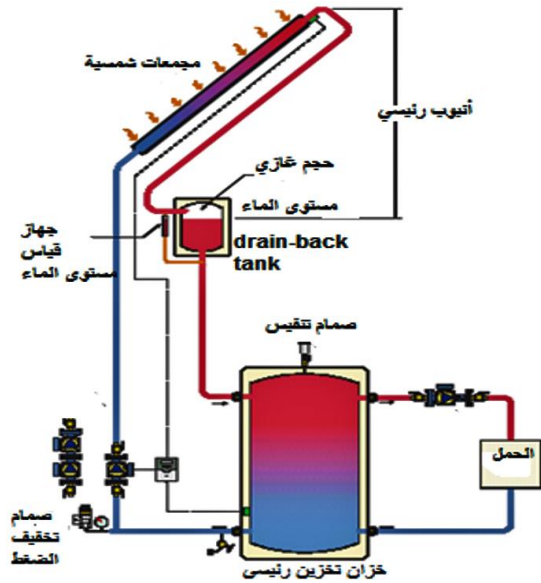
يمكن استنتاج درجة حرارة السطح الماص خلال الركود عن طريق حل المعادلة بدلالة  $T_p$ :

$$T_p = T_a + \frac{(\tau \alpha)G}{U_L} \quad [^{\circ}C] \quad (6)$$

### 3. 2. طرق لمعالجة ظاهرة الركود [1]

#### 1. أنظمة التصريف الخلفي لدارة مغلقة (Drain back system)

يحلّ نظام التصريف الخلفي من المجمع مشكلة التوقف التام لاحتواء الدارة من المجمع الى الخزان على حجم غازي (نتروجين أو هواء) إمّا في الخزان نفسه أو في خزان مدمج وسيط. يبين الشكل (1) رسم تخطيطي لدارة تعمل بنظام تصريف خلفي.



الشكل (1) دارة تعمل بنظام التصريف الخلفي [1]

عند توقف المجمع بشكل تام، يتحرك الحجم الغازي إلى المجمع ويملاً سائل المجمع الفراغ المملوء بالحجم الغازي سابقاً في الخزان. هذه العملية لا تحتاج إلى طاقة إضافية، بل تحتاج إلى قابلية من المجمع لإفراغ نفسه. يستطيع الغاز في المجمع أن يسخن نفسه إلى درجة حرارة التوقف التام دون أن يتبخّر السائل الناقل للحرارة. عندما يتحرّك ثانية،



تضغط مضخة التوزيع الحجم الغازي من المجمع إلى الخزان المقصود ثانيةً. وهكذا تحتاج المضخة أن يكون عندها قيم ضغط أكبر من مضخات التوزيع العادية. إذا صمّم الحجم الغازي بطريقة ما بحيث تكون كل مكونات النظام المعرّضة لدرجة حرارة الوسط المحيط مملوءة بالغاز عند التوقف التام، فإنّ دارة المجمع تعمل بدون إضافة مانع تجمد.

## 2. التبريد ليلاً [1]

يمكن استخدام دارة المجمع أيضاً لتبريد الخزان بتشغيل مضخة الدوران خلال الليل. بما أن الضياعات الحرارية من دارة المجمع هي أعلى بكثير من الخزان، تنخفض درجة حرارة الخزان إلى حد أخفض من الدرجة المقرّرة خلال الليل. درجة الحرارة هذه ستكون عند المستوى الذي يمنع المجمع من رفع درجة حرارة الخزان فوق الدرجة المحددة العظمى إذا كان اليوم التالي دافئاً ومشمساً. سيئات هذا النوع من التبريد أنه يعتمد على استعمال الطاقة الإضافية. بالإضافة لذلك، فإن كمية التبريد اللازمة في الخزان خلال الليل تعتمد على معلومات الطقس لليوم التالي.

## 3. إزالة الحرارة [1]

يكون النظام الشمسي له نظام خاص لإزالة الحرارة مندمج معه والذي يعمل بإشارة من جهاز التحكم حسب الطلب (مثلاً، برك السباحة، مبادل حراري على السقف، مرجل إضافي)، لكن المشكلة هي الحاجة لاستخدام طاقة إضافية ثانيةً.

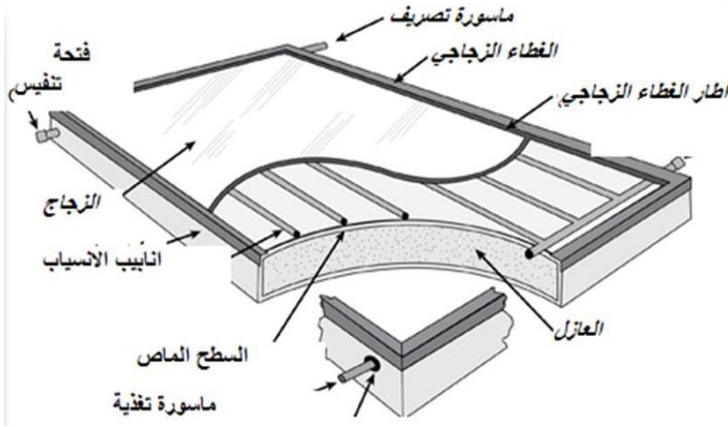
## 4. التبريد [8]

توضع قنوات التبريد تحت صفيحة السطح الماص، تستعمل هذه القنوات لإدخال الهواء الجوي بين صفيحة السطح الماص والعازل الخلفي وبذلك نسمح بالتبريد لصفائح السطح الماص للمجمع عن طريق التبادل الحراري الطبيعي. يوضع صمام عامل على الحرارة في الطرف الأعلى للمجمع يفتح في حالات الركود سامحاً بانطلاق الهواء الساخن من أعلى المجمع ودخول الهواء الجوي البارد من أسفل المجمع. إنّ الهواء المسخن ضمن قنوات التصريف الموجودة خلف السطح الماص للمجمع بهذه الطريقة سوف يزيل الحرارة الزائدة من خلف ألواح السطح الماص. يتم التحكم بحركة الهواء هذه بشكل مباشر عن طريق تدرج كثافة الحرارة المنتجة في الهواء الموجود ضمن قنوات التصريف. ويُغلق

الصمام العامل بالحرارة عندما تصبح درجات حرارة المجمع تحت درجة نقطة التحكم المحددة مُقيداً بذلك دوران الهواء ضمن المجمع الشمسي فقط. وتحت هذه الشروط فإنَّ الهواء في أنبوب التصريف سوف ينضد حرارياً في طبقات (من الساخن إلى البارد) و يبقى ثابتاً فيصبح بذلك كطبقة عازلة للمجمع الشمسي من الخلف لمنع الضياع الحراري.

### 3.3. المجمع الشمسي المسطح نوع سائل [1]

يبين الشكل (2) المكونات الرئيسية للمجمع المسطح من النوع السائل. يتألف المجمع من السطح الماص والغطاء الشفاف والإطار والعازل الحراري بالإضافة لمدخل المائع الناقل للحرارة ومخرجه مضافاً إليها طرق التثبيت. يتضمن السطح الماص خطوط الأنابيب المناسبة للمائع الناقل للحرارة وهو جزء أساسي في معظم التصميمات.



الشكل (2) المكونات الرئيسية والمواد التي تكون لاقط شمسي مسطح نوع سائل

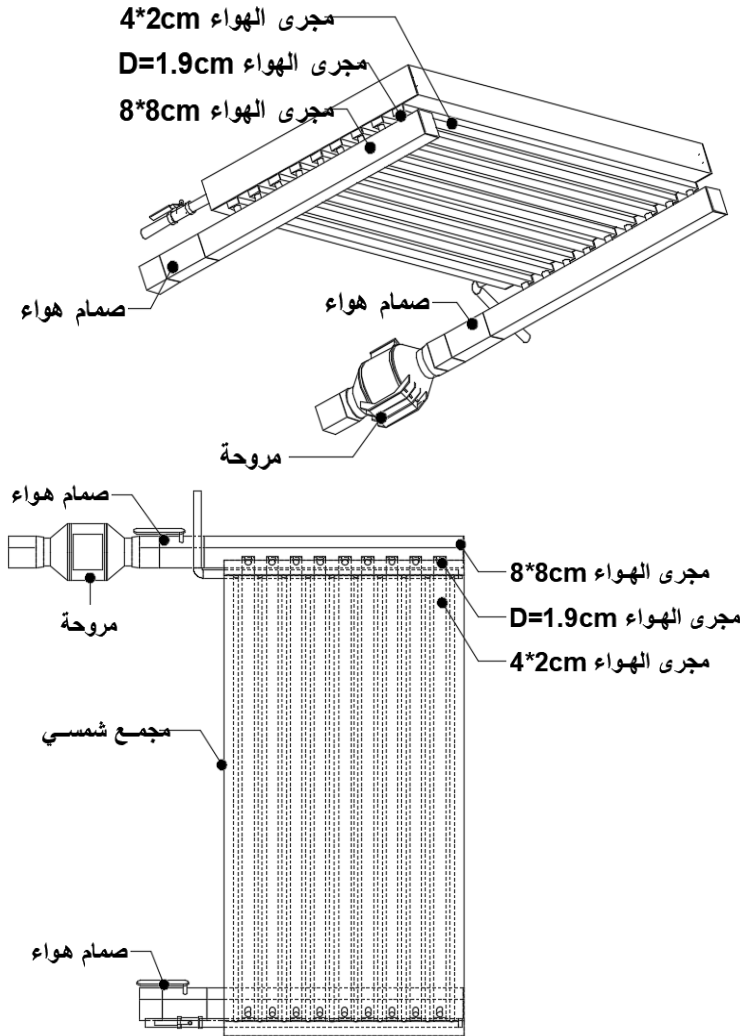
### 3.4. الدراسة التحليلية لمعالجة الركود في المجمع الشمسي المدروس

عندما يرد الإشعاع الشمسي قصير الموجه  $G$  على سطح المجمع فإن جزء قليل من هذا الإشعاع ينعكس عن الغلاف الشفاف وجزء قليل أيضاً يمتص من قبل الغلاف الشفاف والجزء المتبقي ينفذ منه ليصل الى السطح الماص حيث يقوم السطح الماص بتحويل الإشعاع الشمسي قصير الموجه الى حرارة يمتص جزء كبير منها وجزء من هذه الحرارة تضيع الى الوسط المحيط بالحمل والإشعاع والانعكاس. يقوم السطح الماص بنقل هذه الحرارة الممتصة الى الوسيط الناقل للحرارة الموجود ضمن الأنابيب المتضمنة في السطح

الماس. وفي حالة الركود يكون هذا الوسيط الناقل للحرارة متوقفاً في هذه الأنابيب توقف تام ومع وجود الاشعاع الشمسي فإن درجة حرارة هذا الوسيط تستمر بالازدياد لتصل الى حالة الغليان فالتبخر ولتفادي هذه المشكلة تم إضافة قنوات تبريد تحت السطح الماس لمنع الوصول لحالة الغليان والمحافظة على المجمع الشمسي.

وصف المجمع المدروس :

يبين الشكل (3) المجمع المسطح المدروس والذي يتألف من :

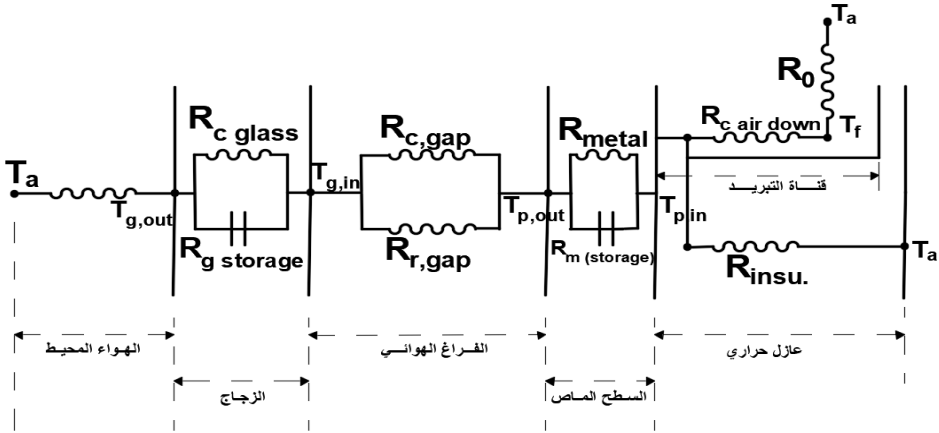


الشكل (3) نموذج المجمع المسطح المدروس مع قنوات التبريد

هيكل معدني حامل، لوح زجاجي عادي أبعاده (2m\*1m) سماكته (5mm)، فراغ هوائي بين اللوح الزجاجي والسطح الماص (8 cm)، سطح ماص من النحاس بسماكة (0.5 mm)، يحتوي عشرة أنابيب للماء الناقل للحرارة قطر كل منها (0.5 in) ، وأنبوب موزع للماء أسفل السطح الماص وآخر مجمع أعلى السطح الماص قطر كل منهم (0.75 in)، وعازل حراري من الصوف الزجاجي (5 cm)، سعته الحجمية (3.4 L).

### 3.4. التوازنات الحرارية ضمن طبقات المجمع المدروس:

يبين الشكل (4) التوازنات الحرارية ضمن طبقات المجمع الشمسي مع قنوات التبريد.



الشكل (4) التوازنات الحرارية ضمن طبقات المجمع الشمسي مع قنوات التبريد

تعطى كمية الحرارة الواصلة للسطح الماص بالعلاقة (7): [2]

$$G \cdot A_{ap} \cdot \tau_{cov} \cdot \alpha_{abs} = G \cdot A_{ap} - Q_{loss} \quad (7)$$

$$q_{useful} = q_{in} - q_{loss} \quad [W / m^2] \quad (8)$$

تعطى كمية الحرارة الضائعة بالعلاقة [3]: (9)

$$q_{Loss} = h_{conv,gap} (t_p - t_{g_{in}}) + h_{rad,gap} (T_p^4 - T_{g_{in}}^4)$$

$$= h_{cond,g} (t_{g_{in}} - t_{g_{out}}) = h_{conv,rad,w} (t_{g_{out}} - t_a) \quad [W / m^2] \quad (9)$$

تعطى كمية الحرارة المفيدة الداخلة للنظام (الرياح) بالعلاقة (10): [3]

$$q_{useful} = h_{cond,p} (t_{p_{in}} - t_{p_{out}})$$

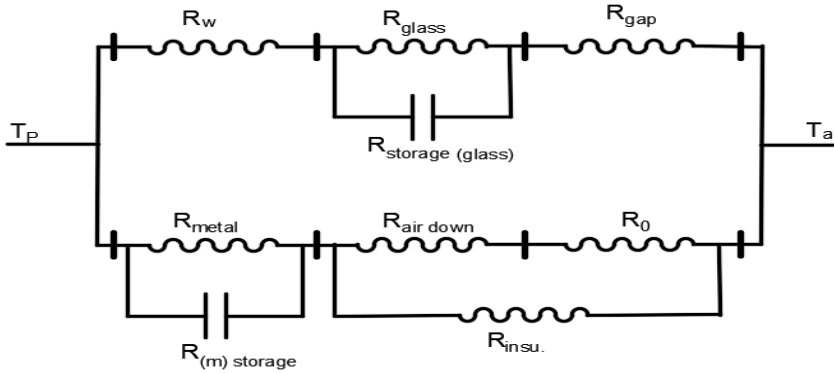
$$= h_{c,airdown} (t_p - t_{fluid})$$

$$= h_{cond,insu} (t_{fluid} - t_a) \quad [W / m^2] \quad (10)$$

### حساب المقاومات الحرارية

نظراً لصعوبة الدراسة في الحالة المتعددة الأبعاد. يمكننا حل هذا النوع من مسائل انتقال الحرارة من خلال استخدام الدارات الحرارية المكافئة، والتي تشبه إلى حد كبير الدارات الكهربائية. حيث أن المقاومة الحرارية للنظام تقابل المقاومة الكهربائية، وفرق درجات الحرارة يقابل فرق الكمون، ومعدل انتقال الحرارة يقابل التيار الكهربائي كما هو مبين بالشكل (5).

$$I = \frac{\Delta V}{R} \quad (11)$$



الشكل (5) المقاومات الحرارية بالمجمع المدروس

الدراسة التجريبية للمجمع المدروس:

يبين الشكل (6) المجمع الذي أجريت عليه التجارب.



الشكل (6) المجمع الشمسي المسطح المختبر

#### مراحل العمل

انطلاقاً من الحسابات النظرية التصميمية للمجمع المعدل مع وضع قنوات التبريد كانت أول مرحلة في العمل هي تحديد أبعاد قنوات التبريد وحسب المواد والأبعاد المتوفرة بالسوق المحلية تم استخدام الألمنيوم للتبريد نظراً لناقليته الحرارية العالية وقدرته على التبريد.



الشكل (7) قنوات الألمنيوم ذات الأبعاد (2cm\*4cm)

تم استخدام قنوات من الألمنيوم ذات الأبعاد (2cm\*4cm) كما هو موضح بالشكل (7) لتتوضع بين أنابيب الماء الساخن وعلى تماس مباشر بالسطح الماص ودكت مجمع وآخر موزع لهواء التبريد ذات الأبعاد (8cm\*8cm) كما موضح بالشكل (8) وتم توصيل القنوات مع الدكتات باستخدام أنابيب بلاستيكية مدعمة بالألمنيوم قطرها 19 mm حيث أنها مصنعة لتحتمل درجات حرارة أعلى من 90°C.



الشكل (8) دكت ذات الأبعاد (8cm\*8cm) مع أنابيب بيكس



الشكل (9) تثبيت قنوات التبريد خلف السطح الماص

بعد اختيار قنوات التبريد بدأت عملية فك وتركيب القنوات ضمن المجمع تم تنقيب قنوات الألمنيوم بقطر (20 cm) من الأعلى والأسفل. تم تثبيت القنوات على السطح الماص من الخلف على بعد ثلثي الطول من الثقوب باستخدام البراغي والرنديلات لضمان تماس مباشر مع السطح الماص كما هو موضح بالشكل (9)

تم دهان السطح الماص من الأمام باللون الأسود لضمان الامتصاصية العالية، وتثبيت أنابيب البلاستيك (البكس) مع القنوات من الأعلى والأسفل باستخدام معجونة بولاد كما بالشكل (10)



الشكل (10) تثبيت انابيب البلاستيك مع القنوات

وتم توصيل الأنابيب بالقنوات باستخدام معجونة البولاد أيضاً وتثبيت الدكاتات الخارجية بجسم الهيكل المعدني باستخدام مسامير الربط كما هو موضح بالشكل (11).



الشكل (11) الدكاتات الموصولة مع جسم الهيكل المعدني و قنوات التبريد

وتم عزل المجمع من الخلف والجوانب باستخدام عازل من الصوف الزجاجي بسماكة 10 cm وإغلاقه بسطح من الألمنيوم وتثبيته باستخدام لاصق ألومنيوم، وأخيراً تم تركيب اللوح



الزجاجي وتثبيتته من الأمام وتوجيه المجمع للجنوب بزاوية ميل  $45^\circ$  ليصبح المجمع جاهزاً للتجريب كما هو موضح بالشكل (12).



الشكل (12) المجمع جاهزاً للتجريب

#### أجهزة القياس المستخدمة

حساسات الحرارة:

تم استخدام 6 حساسات حرارة (ثيرموكبل) تتوضع كالتالي:

- حساس لقياس درجة الحرارة أعلى السطح الماص

- حساس لقياس درجة الحرارة أسفل السطح الماص

- حساس لقياس درجة حرارة الماء عند نقطة التوزيع

- حساس لقياس درجة حرارة السطح الزجاجي

- حساس لقياس درجة حرارة خروج الهواء

- حساس لقياس درجة حرارة دخول الهواء (الهواء المحيط)

توصل الحساسات المبيّنة بالشكل (13) مع جهاز الثيرمو متر الرياعي المبيّن بالشكل

(14) لقراءة درجات الحرارة من الحساسات لبيان قيمتها.

مقياس سرعة الهواء:

يستخدم مقياس سرعة الهواء الموضح بالشكل (15) ذات درجة دقة (0.1).

مقياس شدة الاشعاع الشمسي:

تم استخدام جهاز لقياس شدة الاشعاع الشمسي المبين في الشكل (16)، لكل ساعة من ساعات إجراء التجربة.



الشكل (14) جهاز الثيرمو متر الرباعي لقراءة درجات الحرارة من الحساسات



الشكل (13) نوع الحساس المستخدم في قياس درجات الحرارة (ثيرموكبل نوع k)



الشكل (16) جهاز قياس شدة الاشعاع الشمسي



الشكل (15) مقياس سرعة الهواء

مروحة التبريد:

تم دراسة الفوائد الهيدروليكية للمجمع من أجل تأمين تدفق هواء مناسب (جدول 1)

جدول (1) نتائج حسابات فواقد الضغط الهيدروستاتيكية ضمن قنوات التبريد

رقم المجرى	طول المجرى	التدفق	السرعة m	عناصر المقاومة	عامل المقاومة الميكانيكية	$\Delta p$	انخفاض الضغط بالاحتكاك $\Delta p1$	انخفاض الضغط المكاني $\Delta p2$	انخفاض الضغط الكلي $\Delta p$ total
-	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	m/s	-	-	(pa/m)	(pa)	(pa)	(pa)
1	0.8	0.042	5.6	كوع 8+تية	4.3	5.4	4.32	74.17	78.4864
2	1.8	0.004	1.6	2تية	1	1	1.8	1.408	3.208
3	1.8	0.004	1.6	2تية	1	1	1.8	1.408	3.208
4	1.8	0.004	1.6	2تية	1	1	1.8	1.408	3.208
5	1.8	0.004	1.6	2تية	1	1	1.8	1.408	3.208
6	1.8	0.004	1.6	2تية	1	1	1.8	1.408	3.208
7	1.8	0.004	1.6	2تية	1	1	1.8	1.408	3.208
8	1.8	0.004	1.6	2تية	1	1	1.8	1.408	3.208
9	1.8	0.004	1.6	2تية	1	1	1.8	1.408	3.208
10	1.8	0.004	1.6	كوع 2	0.8	1	1.8	1.126	2.9264
11	0.8	0.042	5.6	كوع 8+تية	4.3	5.4	4.32	67.42	71.744

طول المجرى الأبعد = 10.44 m  
انخفاض الضغط للدائرة الأبعد = 153.2 Pa

المروحة المستخدمة ذات ضاغط 153 pa وتدفق 0.042 m<sup>3</sup>/s

#### 4- النتائج ومناقشتها .

أجريت التجربة على سطح مبنى الإدارة في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية (جامعة دمشق) ونظراً للأجهزة المتوفرة تمت عملية التحكم بشكل يدوي، وتم إجراء عدة تجارب في أيام مشمسة من شهر تشرين الثاني تم اختيار ثلاث تجارب نموذجية منها ويعتمد مبدأ العمل على خفض درجة حرارة الماء من 100°C الى 80°C.

التجربة الأولى:

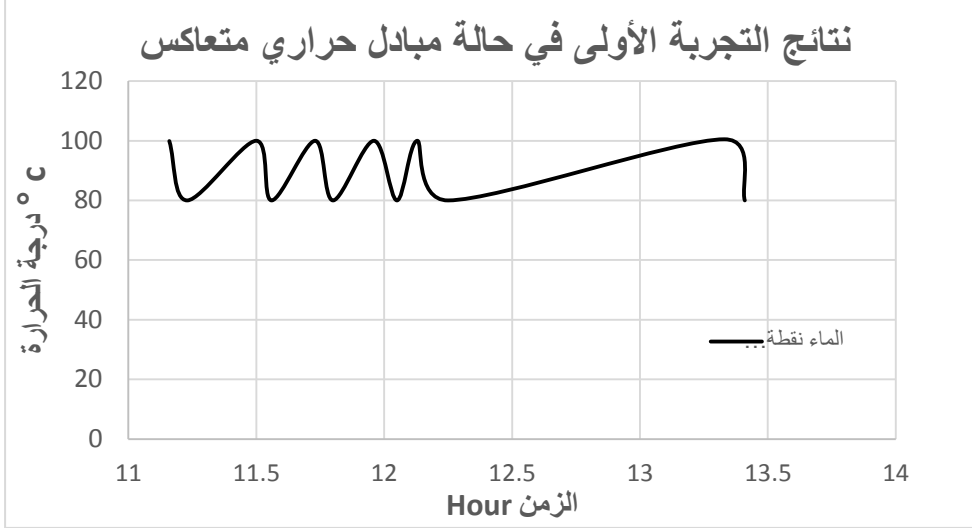
تم وضع مبادل حراري متعاكس (جريان الهواء يعاكس جريان الماء) حيث تم تركيب مروحة التبريد على الدكت أعلى المجمع ليكون دخول الهواء من الأعلى وخروجه من الدكت أسفل المجمع بينما حركة الماء داخل الأنابيب من الأسفل للأعلى بالتناقل (الماء الساخن أعلى المجمع والبارد أسفله)

يبين الجدول التالي (2) نتائج قياس درجات الحرارة: أعلى السطح الماص، أسفل السطح الماص، الماء عند نقطة التوزيع، الزجاج، الهواء المحيط (دخول الهواء)، (خروج الهواء)، قياس شدة الاشعاع الشمسي، زمن اللازم لخفض درجة الحرارة، قياس سرعة دخول الهواء، زمن انخفاض الحرارة بعد اطفاء المروحة.

جدول (2) نتائج التجربة الأولى في حالة مبادل حراري متعاكس في يوم 9/11/2020

الزمن	درجة حرارة أعلى الماص	درجة حرارة اسفل الماص	درجة حرارة الماء	درجة حرارة الزجاج	الاشعاع الشمسي	سرعة دخول الهواء	درجة حرارة دخول الهواء	درجة حرارة خروج الهواء	on/off
Time	$T_{p_{up}}$	$T_{p_{down}}$	$T_{H_2O}$	$T_{glass}$	$I_{in}$	V	$T_{in}$	$T_{out}$	-
hour	°C	°C	°C	°C	W/m <sup>2</sup>	m/sec	°C	°C	-
11:10	101	75	99.9	56.1	304.3	4	27.6	57.4	on
11:14	82	58	80	54	304.2	4	28.2	53	off
11:30	103	63	100	61	308.8	4	31	54.7	on
11:34	83	43	80	58	308.8	4	30	54	off
11:44	104	66	100	60	310.1	4	29	52	on
11:48	85	48	80	58	310	4	28.5	52	off
11:58	104	69	100	60	341	4	30	57.4	on
12:03	81	49	80	57	343	4	31	59.7	off
12:08	104	68	100	58	363.6	4	29	57.4	on
12:15	82	48	80	56	363.3	4	28	59.7	off
12:19	94	63.5	70	61.4	-	-	-	-	غيوم

1:15	105	66	96	66.2	-	-	-	-	غيوم
13:20	105	66.5	100.5	66.3	310.	4	32	57	on
13:25	85	49	80	63	310	4	31	57	off

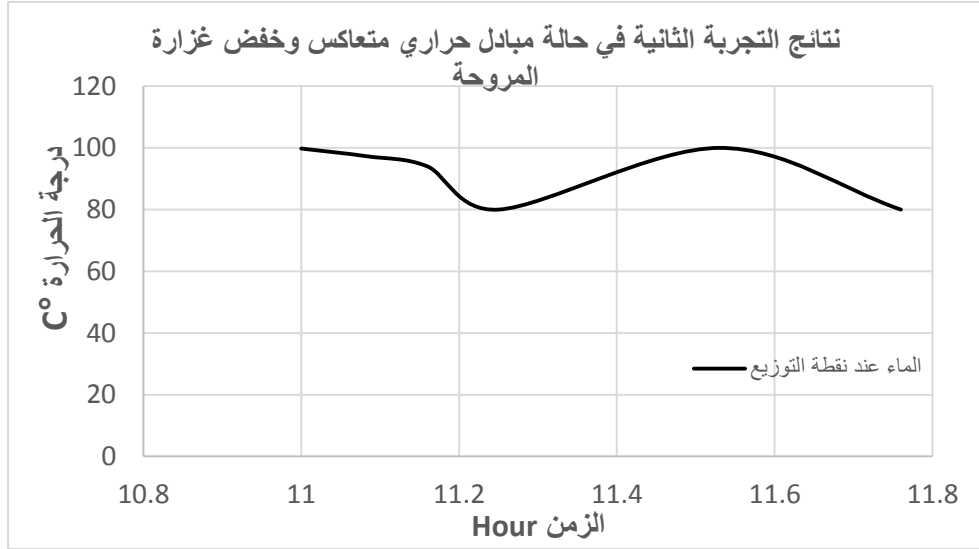


الشكل (18) نتائج التجربة الأولى في حالة مبادل حراري متعاكس في يوم 9/11/2020 نلاحظ من الجدول (2) عندما ترتفع درجة حرارة الماء لـ  $100^{\circ}\text{C}$  تعمل المروحة لخفض درجة حرارة الماء وخلال زمن 4min تنخفض درجات الحرارة بمقدار  $20^{\circ}\text{C}$  لتصل لـ  $80^{\circ}\text{C}$ . تنخفض درجة حرارة السطح الماص بعد إطفاء المروحة لتصل لـ  $70^{\circ}\text{C}$  خلال دقيقتين ونصف نتيجة العطالة الحرارية ومن بعدها تبدأ بالارتفاع حيث تستغرق زمناً يتراوح بين (5-17 min) لتسخن من جديد وذلك حسب شدة الإشعاع الشمسي الوارد على سطح المجمع ودرجة الحرارة الخارجية. عند الساعة 13:25 تنخفض درجات الحرارة لأقل من  $69^{\circ}\text{C}$  بسبب تظليل الشجرة الموجودة قرب التجربة وكذلك بسبب انخفاض شدة الإشعاع الشمسي.

#### التجربة الثانية:

حالة مبادل حراري متعاكس مع تغيير غزارة تدفق الهواء حيث أصبحت  $0.021\text{m}^3/\text{sec}$  يبين الجدول التالي (3) نتائج قياس درجات الحرارة: أعلى السطح الماص، أسفل السطح الماص، الماء عند نقطة التوزيع، الزجاج، الهواء المحيط (دخول الهواء)، (خروج

الهواء)، قياس شدة الاشعاع الشمسي، الزمن اللازم لخفض درجة الحرارة، قياس سرعة دخول الهواء، زمن انخفاض الحرارة بعد اطفاء المروحة.



الشكل (19) نتائج التجربة الثانية في حالة مبادل حراري متعاكس في يوم 10/11/2020

جدول (3) نتائج التجربة الثانية في حالة مبادل حراري متعاكس وخفض غزارة المروحة

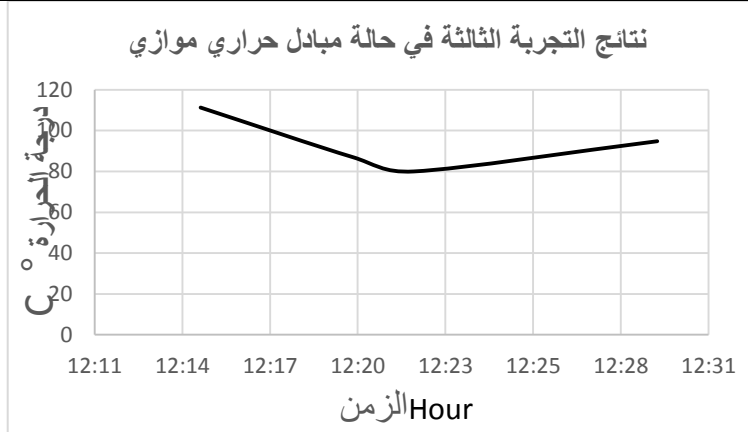
الزمن	درجة حرارة اعلى الماص	درجة حرارة اسفل الماص	درجة حرارة الماء	درجة حرارة الزجاج	الاشعاع الشمسي	سرعة دخول الهواء	درجة حرارة دخول الهواء	درجة حرارة خروج الهواء	on/off
Time	T <sub>sup</sub>	T <sub>sdown</sub>	T <sub>H2o</sub>	T <sub>glass</sub>	I <sub>in</sub>	V	T <sub>in</sub>	T <sub>out</sub>	-
hour	°C	°C	°C	°C	W/m <sup>2</sup>	m/sec	°C	°C	-
11:00	104.4	76.6	99.8	63	503.6	3.4	25		on
11:05	88.7	65	97.3	62	503.6	3.4			
11:10	85.7	63	94	60	503.6	3.4			
11:15	79	58	80	58	510.	3.4		62.8	off
11:19	93.8	56	73	57.8	510	3.4			
11:32	102	80	100	65	545.7	3.4	27		on
11::46	82	49	80	59	545.7	3.4		59	off

نلاحظ من هذه التجربة عندما تصل درجة حرارة الماء لـ  $100^{\circ}\text{C}$  تعمل المروحة على خفض درجة حرارة الماء لـ  $80^{\circ}\text{C}$  خلال زمن 15 min . وبعد توقف المروحة تستمر درجات الحرارة بالهبوط لتصل لـ  $73^{\circ}\text{C}$  خلال زمن 4 min . تعود بعد ذلك درجات الحرارة للارتفاع بعد 13 min حسب شدة الاشعاع الشمسي ودرجة الحرارة المحيطة.  
التجربة الثالثة:

حالة مبادل حراري موازي (جريان الهواء موازي جريان الماء) حيث تم تركيب مروحة التبريد على الدكت أسفل المجمع ليكون دخول الهواء من الاسفل وخروجه من الدكت اعلى المجمع بينما حركة الماء داخل الأنابيب من الاسفل للأعلى بالتناقل (الماء الساخن اعلى المجمع والبارد اسفله)

جدول (4) نتائج التجربة الثالثة في حالة مبادل حراري موازي في يوم 11/11/2020

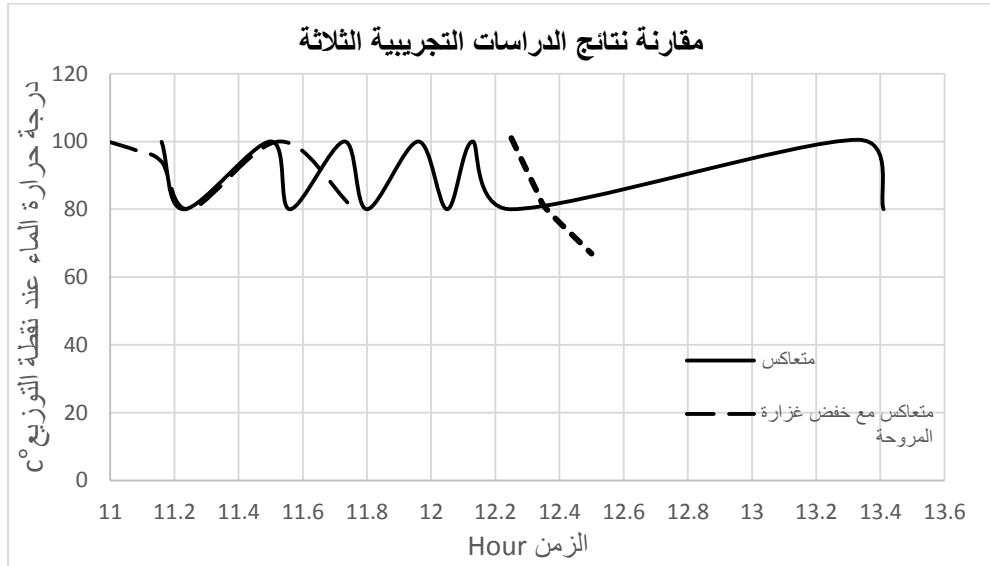
الزمن	درجة حرارة اعلى الماص	حرارة اسفل الماص	حرارة الماء	حرارة الزجاج	الاشعاع الشمسي	سرعة دخول الهواء	حرارة دخول الهواء	حرارة خروج الهواء	on/off
Time	$T_{\text{sup}}$	$T_{\text{sdown}}$	$T_{\text{H}_2\text{o}}$	$T_{\text{glass}}$	$I_{\text{in}}$	V	$T_{\text{in}}$	$T_{\text{out}}$	-
hour	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$\text{W}/\text{m}^2$	m/sec	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	-
12:15	111.3	66.6	103.8	63.8	364.2	4	27.6	57.4	On
12:20	87	48.5	85.2	61.8	310	4	28	54	
12:22	80	46.8	80	57	293.4	4	28.2	53	Off
12:30	94.8	56.5	66.9	56.8	283	-	-	-	



الشكل (20) نتائج التجربة الثالثة في حالة مبادل حراري موازي في يوم 11/11/2020

يبين الجدول التالي (4) نتائج درجات الحرارة: اعلى السطح الماص، أسفل السطح الماص، الماء عند نقطة التوزيع، الزجاج، الهواء المحيط (دخول الهواء)، (خروج الهواء)، قياس شدة الاشعاع الشمسي، زمن اللازم لخفض درجة الحرارة، قياس سرعة دخول الهواء، زمن انخفاض الحرارة بعد اطفاء المروحة.

نلاحظ من التجربة في حالة مبادل حراري موازي عند وصول درجة حرارة الماء لـ  $100^{\circ}\text{C}$  تعمل المروحة على خفض درجة حرارة الماء لـ  $80^{\circ}\text{C}$  خلال زمن 7min وبعد توقف المروحة تستمر درجات الحرارة بالهبوط لتصل لـ  $66.9^{\circ}\text{C}$  خلال زمن 7 min.



الشكل (21) مقارنة نتائج الدراسات التجريبية الثلاثة

لوحظ من التجارب السابقة من الشكل (21) أن المبادل الحراري المتعاكس هو الأفضل حيث أن الزمن اللازم للتبريد بحدود 4:50min ، بينما الزمن اللازم للتبريد في حالة المبادل الحراري الموازي بحدود 7 min أما في حالة المبادل المتعاكس مع خفض غزارة المروحة فإنه يحتاج زمن أطول مقارنةً بالحالات السابقة يصل الى 15min

كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة :

تحسب استطاعة المروحة بالعلاقة (12):



$$POWER = \frac{\rho \cdot g \cdot \Delta p \cdot m}{\eta} \quad (12)$$

$$POWER = \frac{1.2 \times 9.81 \times 153 \times 0.042}{0.5} = 151.2 [W]$$

حيث:

$\rho$ : كثافة الهواء [kg/m<sup>3</sup>]

$g$ : الجاذبية الأرضية [m/sec<sup>2</sup>]

$\Delta p$ : ضاغط المروحة [Pa]

$m$ : تدفق الهواء [m<sup>3</sup>/sec]

$\eta$ : كفاءة المروحة تجريبياً

تجريبياً: احتاجت التجربة الاولى الى 6 مرات تبريد خلال زمن 4min، تعطى الطاقة الكهربائية المستهلكة بالعلاقة (14):

$$P = 151.2 \times 1440 = 217440 \quad [J]$$

$$P = \frac{217440}{1000 \times 3600} = 0.0604 [kWh] \quad (13)$$

التكلفة الاقتصادية لتشغيل المروحة:

$$Cost = 0.072(\$) * 0.06(KWh) = 0.0051 \$$$

تحليلياً:

كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة شهرياً: خلال شهر أب مثلاً تعطى بالعلاقة (14):

$$P = 151.2 \times 223200 = 33737840 \quad [J]$$

$$P = \frac{33737840}{1000 \times 3600} = 9.4 [kWh] \quad (14)$$

التكلفة الاقتصادية شهرياً:

$$Cost = 0.072(\$) * 9.4(kWh) = 0.67 \$$$

كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة سنوياً: تعطى بالعلاقة (15):

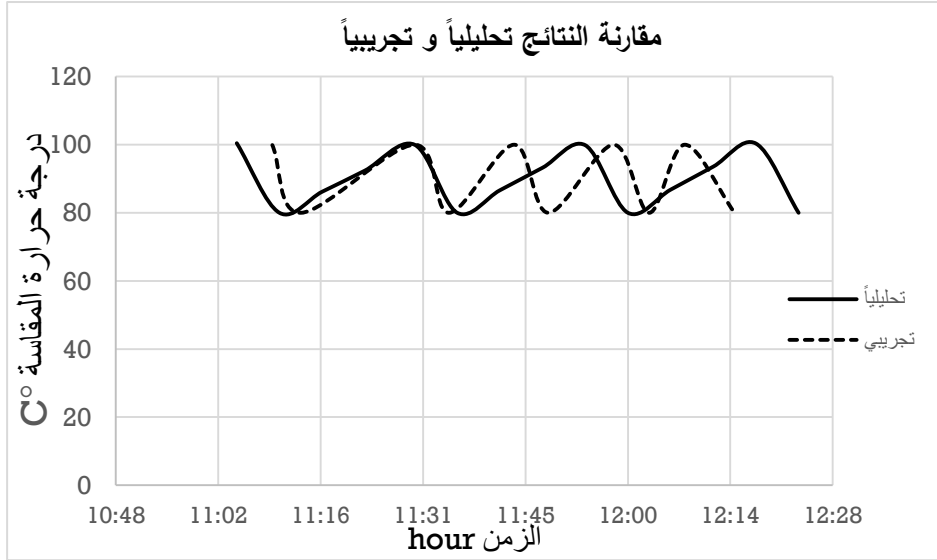
$$P = 151.2 \times 873720 = 132106464 \quad [J]$$

$$P = \frac{132106464}{1000 \times 3600} = 36.7 [kWh] \quad (15)$$

التكلفة الاقتصادية سنوياً:

$$Cost = 0.072(\$) * 36.7(KWh) = 2.64 \$$$

عند حساب تكلفة تركيب قنوات التبريد وجد أنها تقدر  $70 \$/m^2$ ، التكلفة التشغيلية للمروحة  $1.3 \$/m^2$



الشكل (25) مقارنة النتائج تحليلياً و تجريبياً

##### 5- الاستنتاجات والتوصيات:

يلاحظ ان المبادل الحراري المتعاكس هو الأفضل لأن الزمن اللازم للتبريد كان بحدود  $4:50[min]$ ، بينما في حالة المبادل الحراري الموازي كان الزمن اللازم للتبريد بحدود  $7 [min]$ ، أما في حالة المبادل المتعاكس مع خفض غزارة المروحة فقد احتاج زمن أطول مقارنةً بالحالات السابقة وصل إلى  $15[min]$ .

يوصى بالاستفادة من الهواء الساخن الناتج عن التبريد باستخدامه في التطبيقات الشمسية كالمجففات. باعتبار أن الطاقة الكهربائية المستخدمة في تشغيل المراوح منخفضة يوصى باستعمال هذه الطريقة في تبريد الخلايا الشمسية حيث يمكن أن تكون مفيدة بعد دراسة

الأداء على خلية شمسية. يوصى بدراسة هذه الحالة تحكيمياً. يوصى بدراسة الطرق المذكورة في الدراسات المرجعية (التصريف الخلفي، التبريد الكهروحراري) لمعالجة الركود ومقارنة النتائج مع النتائج التي تم التوصل إليها في هذا البحث.

## 6- المراجع.

- [1]FARES. A, 2016- Solar Heating Systems, university of Damascus, 305P . first edition, In Arabic
- [2] Duffie & Beckman,2013-Solar Engineering Of Thermal Processes, 928P
- [3] G.N.Tiwari,Arvind Tiiwari, Shyam 2016- handbook of solar Energy Bird, John. Engineering mathematics. Routledge,( 2003).7][
- [4]Quiles, Pedro V., Francisco J. Aguilar, and Simón Aledo. 2014- "Analysis of the overheating and stagnation problems of solar thermal installations." Energy Procedia 48 ,172-180.
- [5] Martínez, A., D. Astrain, A. Rodríguez, and P. Aranguren. 2014- "Thermoelectric self-cooling system to protect solar collectors from overheating." Journal of electronic materials 43, no. 6
- [6]Frank, E, Franz M, and Stephan F, 2015 "Overheating prevention and stagnation handling in solar process heat applications." International Energy Agency-Solar Heating and Cooling, Task 49 .
- [7] Kizildag, D, Jesús C, González, Hamdi K, Joaquim R, S, and Asensio O. L. "Development, optimization and test performance of highly efficient flat plate solar collector with transparent insulation and low-cost overheating protection." In ISES Solar World Congress , IEA SHC International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry 2017: proceedings, pp. 2031-2042. International Solar Energy Society,
- [8] Botpaev, R, Janybek O, and Klaus Vajen. 2014- "Experimental investigation of the filling and draining processes of the drainback system (Part 1)." Energy Procedia 57 .