

# مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية و  
الكهربائية و المعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 44 . العدد 14

1443 هـ . 2022 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير

أ. د. ناصر سعد الدين

رئيس التحرير

أ. د. هائل الطالب

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث

بشرى مصطفى

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

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

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

. هاتف / فاكس : 2138071 31 963 ++

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

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

**ISSN: 1022-467X**

## شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
- طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
- إذا كان الباحث طالب دراسات عليا:  
يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقة على النشر في المجلة.

• إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:

- يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.
- إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :  
يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.

• إذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :

- يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث , وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):

عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي ( كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).

- 1- مقدمة
- 2- هدف البحث
- 3- مواد وطرق البحث
- 4- النتائج ومناقشتها .
- 5- الاستنتاجات والتوصيات .
- 6- المراجع.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

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

## المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
36-11	د. الفت جولحة أحمد عيسى	نظام التحكم التكيفي بضربات القلب بالاعتماد على المتحكم <i>PD</i> المؤلف ضبابياً
62-37	د.فواز مفضي د.عبد الكريم السالم إيمان الجزائري	تطوير مرشح قابل لإعادة التشكيل في تطبيقات تقنية الراديو الإدراكي
80-63	احلام محسن عيسى	تحسين الحماية التآكلية للفولاذ باستخدام طلاءات بوليميرية مركبة نانوية <i>PJMA/TiO2</i>
114-81	د. محسن حسين د. وسيم رمضان آلاء السباعي	أنظمة تحليل بيانات الزمن الحقيقي الضخمة الناتجة عن انترنت الأشياء
150-115	بشار محسن إبراهيم د. رافة خازم د.برؤى ونوس	تحسين أداء جدولة مهام الحوسبة السحابية في الخوارزمية التنافسية <i>ICA</i> باستخدام خوارزمية الكائنات المتكافئة <i>SOS</i>





## نظام التحكم التكييفي بضربات القلب بالاعتماد

### على المتحكم PD المؤلف ضبابياً.

إعداد الباحثين

م. أحمد عيسى

د. م. الفت جولحة

استاذ مساعد في قسم هندسة الحاسبات طالب دراسات عليا (ماجستير) في قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي، اللاذقية، سوريا.  
والتحكم الآلي، اللاذقية، سوريا

#### الملخص

يتعرض نظام التوصيل الكهربائي في القلب إلى عدة أمراض تؤدي إلى خلل في إيقاع القلب أو ما يسمى "اللانظيمات"، والتي تكون في حالات شديدة منها مهددة للحياة، وبشكل خاص في حال انخفاض معدل ضربات القلب إلى ما دون القيمة اللازمة لاحتياجات الجسم من الدم؛ مما يستدعي زرع ناظم الخطى القلبي ليعيد معدل ضربات القلب إلى القيمة المطلوبة. يهدف البحث إلى تصميم متحكم الناظمة القلبية بالاعتماد على دمج المتحكم PD والمنطق الضبابي، إذ تقوم الوحدة الضبابية بضبط قيم بارامترات المتحكم PD لتكيفه مع تغيرات معدل ضربات القلب المطلوبة. تم تجربة أكثر من وحدة ضبابية ببارامترات مختلفة وهي نوع توابع العضوية، وعدد توابع العضوية لكل متحول دخل او خرج، وقد تم التوصل إلى أن توابع العضوية من النوع شبه المنحرف قد أعطت استجابة محسنة مع مختلف القيم المرجعية لمعدل ضربات القلب المطلوبة، إذ بلغت نسبة التجاوز 0.17% وبزمن استقرار مقداره 0.8 ثانية مع خطأ حالة دائمة صفري. وبذلك توصل نظام التحكم التكييفي بضربات القلب بالاعتماد على PD المؤلف ضبابياً إلى تحسين الاستجابة وتكيفها مع مطالبات مختلفة لمعدل ضربات القلب المطلوبة عند أوضاع حركية مختلفة للمريض هي: الراحة، المشي، الجري، والإجهاد.

**الكلمات المفتاحية:** المتحكم الضبابي بناظم الخطى القلبي، التحكم التكييفي بمعدل

ضربات القلب، المتحكم PD الضبابي.

# Adaptive Heart Rate Control System Based on Fuzzy Tuned PD Controller

Presented by:

Dr. Eng. OULFAT JOLAHA                      Eng. AHMED EISSA  
Assistant Professor in the                      Master student in the Department  
Department of Computer and                      of Computer and Automatic  
Automatic Control Engineering,                      Control Engineering, Latakia,  
Latakia, Syria    Syria

## Abstract

The cardiovascular conductive system is exposed to several diseases that lead to an imbalance in the heart's rhythm, or the so-called "arrhythmia", which in severe cases is life-threatening, especially if the heart rate drops below the value necessary for the body's blood needs; This requires the implantation of a pacemaker to restore the heart rate to the desired value. This paper aims to design a pacemaker controller based on the integration of the PD controller and fuzzy logic, where the fuzzy unit adjusts the parameters of the PD controller to adapt it to the required heart rate changes. five fuzzy units has been tested with different parameters, namely: the type of membership function, and the number of membership functions for each input or output variable. It was concluded that the trapezoidal-type membership functions have given an improved response with the different required heart rate reference values, as the overshoot rate was 0.17%, with a settling time of 0.8 seconds, and zero steady-state error. Thus, the adaptive heart rate control system based on the fuzzy-tuned PD optimizes the response and adapts it to different heart rate amplitudes required in different movement modes: rest, walking, running, and fatigue.

**Key Words:** Fuzzy pacemaker's controller, Adaptive Heart Rate Control, Fuzzy PD controller.

## مقدمة

تعد أمراض القلب من أهم العوامل التي تؤدي إلى الوفاة، وبشكل خاص بوجود نمط الحياة العصري الذي يعيشه الإنسان في الوقت الحالي. إحدى المشاكل الهامة التي تواجه مرضى القلب هي اختلال إيقاع القلب Arrhythmia إذ قد تؤدي في حالات شديدة منها إلى فشل القلب في تلبية احتياجات الجسم الفيزيولوجية، وفي بعض الأحيان قد تؤدي إلى السكتة القلبية heart arrest [1]. يتم ضبط إيقاع القلب عن طريق نظام توصيل كهربائي في القلب، يلعب فيه نسيج خاص يدعى "العقدة الجيبية الأذينية" Sinus Atrial node دور منظم ضربات القلب أو ناظم الخطى القلبي Pacemaker والذي ينشأ عنه معدل ضربات قلب بتردد 60-100 نبضة / الدقيقة [1]، [2]. يحدث في بعض الأحيان أن يفشل ناظم الخطى في تنظيم معدل ضربات القلب نظراً لتشوه قد يصيب النسيج الخاص به، أو أحد أجزاء نظام التوصيل الكهربائي في القلب مما يؤدي إلى حالة تعرف طبيياً بتحصّر القلب Heart Block والذي تختلف شدته تبعاً لشدة الضرر الذي أصاب جهاز التوصيل الكهربائي؛ يؤدي تحصر القلب من الدرجة الثالثة إلى انخفاض معدل ضربات القلب إلى قيم خطيرة تؤدي إلى فشل القلب في عملية تزويده لأنسجة الجسم بالطاقة التي تحتاجها [1]. يحدث التدخل الطّبي عن طريق زراعة ناظم الخطى القلبي الصناعي والذي يقوم بإعادة نظم القلب إلى طبيعته. اهتمت الأبحاث المتعلقة بتصميم متحكم ناظم الخطى القلبي بتصميم وحدات تحكم تهدف إلى تحسين استجابة نظام التحكم بضربات القلب (ناظم الخطى القلبي) من خلال تقليل زمن الاستقرار، والذي يعد عاملاً أساسياً في استعادة نظم القلب إلى طبيعته، بالإضافة إلى تقليل نسبة التجاوز إذ أنه يؤدي نظام التوصيل الكهربائي في القلب على المدى الطويل بالإضافة إلى أنه يستهلك من طاقة البطارية، إذ يعد المحافظة عليها عاملاً هاماً في تصميم ناظم الخطى القلبي الصناعي [3]. تم الاعتماد على التحكم الكلاسيكي ولاسيما استخدام PID في التحكم الذي أدى إلى استجابة سريعة إلا أن الاستجابة اتسمت بنسبة تجاوز من الممكن أن تسبب ضرراً مستقبلياً على نظام التوصيل الكهربائي

في القلب، بهدف مقارنة أداء ناظم الخطى القلبي كمتغير تابع لخوارزميات التوليف التقليدية للمتحكم PID تمت المقارنة بين عدة طرق توليف مثل Ziegler-Nichols و Tyreus-Luyben وقد تم التوصل إلى أنّ المتحكم المصمم وفق Tyreus-Luyben قد أعطى الاستجابة الأفضل من التي تم الحصول عليها باستخدام Ziegler-Nichols، إذ بلغت نسبة التجاوز 11% في حين بلغت 23% في المتحكم المصمم وفق Ziegler-Nichols مع زمن استقرار مقبول في كلا الطريقتين [3]. لذلك اتجهت بعض الدراسات الحديثة، مثل [3]، [5]، [6]، [7] و [8] إلى استخدام المنطق الضبابي في تصميم متحكمات ناظم الخطى القلبي لأن نظام القلب والأوعية الدموية يتسم باللاخطية، بالإضافة إلى التعقيدات المتعلقة بالنمذجة والغموض بين التقدير الطبيعي وغير الطبيعي للإشارات الحيوية. تم تصميم متحكم ناظم الخطى القلبي بالاعتماد على المنطق الضبابي، وقد نتج عن وحدة التحكم الضبابي نسبة تجاوز أقل من تلك الناتجة عن المتحكم PID التقليدي إذ بلغت نسبة التجاوز 2.5% وبزمن استقرار قيمته 1.01 ثانية كاستجابة لدخل قفزة مطالها 75 نبضة / دقيقة، ولم يتم مراعاة التغيرات في ضربات القلب [3]. بالنسبة إلى نواظم الخطى القلبية المعتمدة على المنطق الضبابي فقد تم في [4] تصميم وحدة ضبابية بمدخلين، كل مدخل تم تقسيمه إلى تسع مجموعات ضبابية من النوع شبه المنحرف، وبقاعدة Rule base مكونة من 81 قاعدة ضبابية، وتم التوصل باستخدام المتحكم PD إلى استجابة ذات زمن استقرار مقداره 2 ثانية، ونسبة تجاوز 0.5% [4]. في دراسة أخرى تم استخدام متحكم ضبابي قابل للتعلم باستخدام النموذج المرجعي، وذلك لتكييف قيم بارامترات المتحكم الضبابي، وقد تم التوصل إلى أن المتحكم المتعلم قد حقق أداءً أفضل، إذ بلغ زمن الاستقرار الوسطي 0.9 ثانية وبنسبة تجاوز 0.2% مع مراعاة إشارة التحكم [5]. تم استخدام الاستدلال العصبي الضبابي التكيفي ANFIS للتحكم بناظم الخطى القلبي، إذ تم استخدام الشبكة العصبية في تكييف بارامترات النظام الضبابي، وبالتالي تم التوصل إلى زمن استقرار قيمته 1.97 ثانية، ولكن نسبة التجاوز كانت عالية نسبياً فقد بلغت 1.5% [6]. في دراسة أخرى تم استخدام (ANFIS) مع وحدات ضبابية من النوع 1 والنوع 2، بعد تصميم نموذج المنطق الضبابي من النوع 1 و2، تم التحقق من استقرار النظام المصمم

في المجال الزمني (استجابة الخطوة الواحدة)، وتم استخدام طريقة Fuzzy C Means (FCM) التي تظهر نتائج أفضل في تصميم المتحكم الضبابي بالنسبة إلى نسبة التجاوز، إذ خلصت الدراسة إلى تقليل قمة التجاوز إلى قيمة مهملة، وزمن استقرار قدره 11.3 ثانية للنوع الثاني و 16.4 ثانية للنوع الأول [7]، وهي قيم مرتفعة لزمن الاستقرار وغير مناسبة.

### هدف البحث وطريقته

تصميم متحكم الناظمة القلبية بالاعتماد على دمج المتحكم PD والمنطق الضبابي من أجل تقليل نسبة التجاوز وزمن الاستقرار وخطأ الحالة الدائمة وتكييف المتحكم PD مع مختلف مطالبات إشارات الدخل المرجعية. يوضح الشكل (1) المخطط الصندوقي لنظام التحكم التكيفي بالناظمة القلبية المقترح إذ يتكون من المتحكم المقترح ثم يليه على التسلسل كل من نموذج ناظم الخطى الممثل بدالة الانتقال  $G_1$  ونموذج القلب  $G_2$  وبتغذية عكسية سالبة واحدية تمثل حساسات الناظمة التي تقوم بقياس معدل ضربات القلب الفعلي  $HR$ ، بينما تمثل  $HR_{ref}$  الإشارة المرجعية لمعدل ضربات القلب المطلوب. تم استخدام نموذج YNI (Yanagihara, Noma, and Irisawa) من أجل نمذجة ناظم الخطى القلبي، إذ أنه ومنذ أن تم وضعه أصبح النموذج الأكثر استخداماً في نمذجة سلوك العقدة الجيبية - الأذينية SA Node [8]. من خلال المقارنة مع نماذج SA الأخرى، يعد نموذج YNI نموذجاً ثابتاً ودقيقاً لتوليد ضربات القلب وأكثر ملاءمةً من الناحية الفسيولوجية من النماذج الأخرى. تعطى دالة انتقال ناظم الخطى القلبي  $G_1$  كالآتي [8]:

$$G_1 = \frac{8}{S + 8} \quad (1)$$

بينما تعطى دالة انتقال القلب  $G_2$  بالعلاقة [8]:

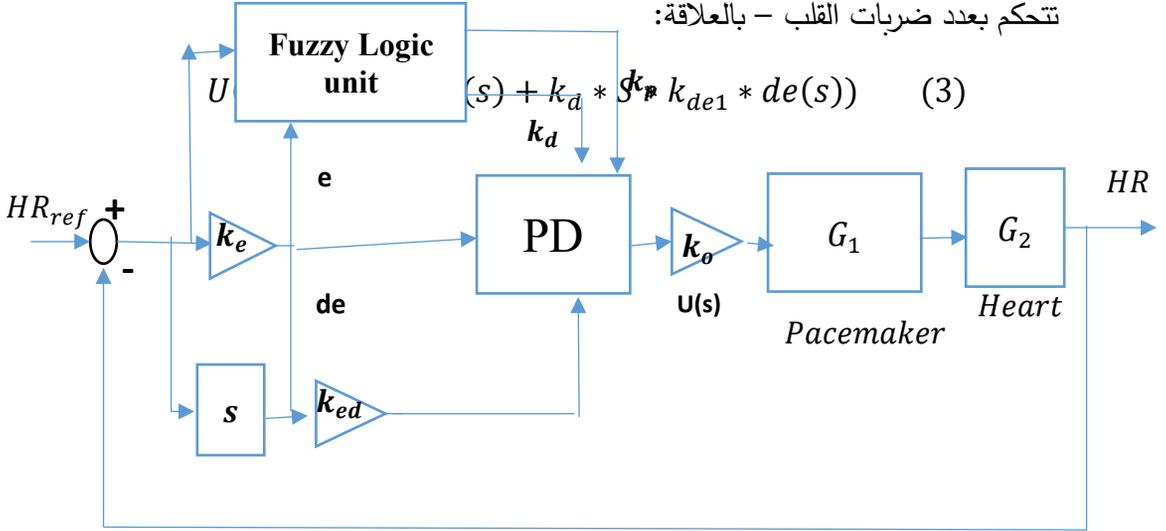
$$G_2 = \frac{169}{S^2 + 20.8 S} \quad (2)$$

تصميم نظام التحكم التكيفي المقترح للتحكم بضربات القلب

## نظام التحكم التكيفي بضربات القلب بالاعتماد على المتحكم PD المؤلف ضبابياً

تتمثل الوحدة الضبابية المقترحة لمتحكم ناظم الخطى القلبي بالدمج بين المنطق الضبابي والمتحكم PD، ويبين الشكل (2) نموذج Simulink لنظام التحكم التكيفي بضربات القلب بالاعتماد على المتحكم PD المؤلف ضبابياً بحيث تعطى إشارة التحكم  $U(s)$  التي

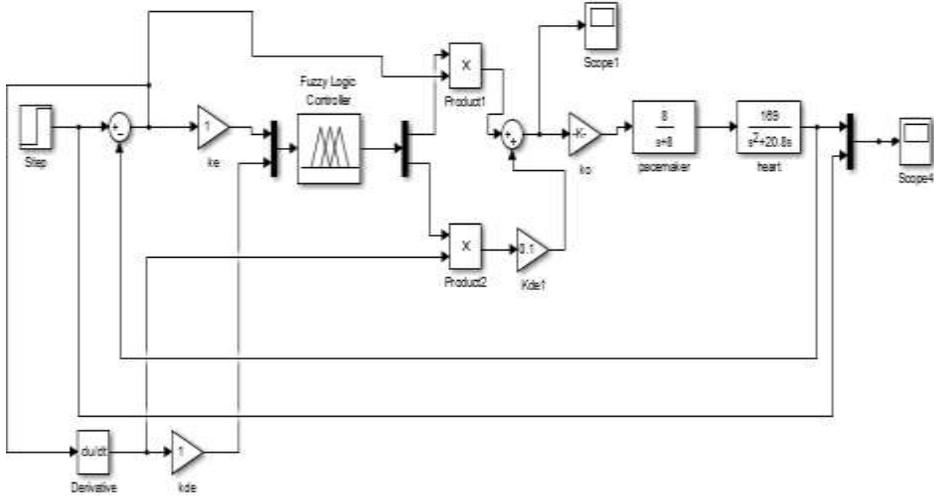
تتحكم بعدد ضربات القلب - بالعلاقة:



الشكل (1): المخطط الصندوقي لنظام التحكم التكيفي بضربات القلب بالاعتماد على المتحكم PD المؤلف ضبابياً.

حيث  $k_p$  هو ثابت الربح التناسبي للمتحكم PD،  $e(s)$  هي إشارة خرج الناظمة القلبية،  $de(s)$  هي مشتق إشارة خرج الناظمة القلبية و  $k_d$  هي ثابت الربح التفاضلي للمتحكم PD.  $K_o$  هو ثابت تجريبي لموائمة خرج النظام الضبابي، و  $k_{de1}$  هو ثابت تمت إضافته من أجل تحسين استجابة الجزء التفاضلي من المتحكم، وتمت الحصول على قيمته بالتجربة. تقوم الوحدة الضبابية بتكليف قيم بارامترات المتحكم PD لتصبح متغيرة مع حالة النظام ومعدل ضربات القلب. ولقد تم اختيار المتحكم PD لأنه ثبت أنه يعطي الاستجابة الأنسب مع أنظمة تنظيم ضربات القلب بالمقارنة مع المتحكمات P، PI،

وPID، إلا أنه لا يمكنه لوحده التكيف مع التغير في معدل ضربات القلب، بالإضافة إلى أنه يؤدي إلى تجاوز عالٍ يضر نظام التوصيل الكهربائي في القلب [4]، [9]. لذلك تم اقتراح نظام يجمع بين المنطق الضبابي والمتحكم PD.



الشكل (2): مخطط SIMULINK نظام التحكم التكيفي بضربات القلب بالاعتماد على المتحكم PD المؤلف ضبابياً.

### وحدة المنطق الضبابي Fuzzy logical Unit

للوحدة الضبابية- كما هو واضح في الشكل (1) - مدخلان الأول هو إشارة خرج الناظمة القلبية (e)، والثاني هو مشتق إشارة خرج ناظم الخطى القلبي (de) والخرج هو قيمة ربح المتحكم التناسبي ( $K_P$ ) وقيمة ربح المتحكم التفاضلي ( $K_D$ ) واللذان يتغيران تبعاً لحالة النظام ككل وإشارة الدخل المرجعية.

### التحويل إلى الضبابية Fuzzification

تقوم عملية التحويل إلى الضبابية بتحويل الدخل الواضح Crisp Input إلى دخل ضبابي بالاعتماد على تابع العضوية Membership function [10]، ويتم ذلك باستخدام طريقتين، الأولى: وهي الطريقة الأكثر دقة ولكنها تتطلب الخبرة ومعرفة النظام بشكل دقيق، وتعتمد على نقل كل نقطة (Data point) من مجال الدخل الواضح إلى القيمة

الضبابية المقابلة لها وفق قواعد معرفة يحددها المصمم وكنتيجة لذلك يتعين شكل المجموعة الضبابية [10]. الطريقة الثانية: وهي الطريقة الأكثر سهولة، إذ يتم أخذ مجال قيم الدخل ضمن مجال قياسي  $[-1 + 1]$  واختيار اشكال قياسية لشكل المجموعة الضبابية مثل المثلثي او شبه المنحرف، وغيرهم. في هذا البحث تم الاعتماد على مزيج بين الطريقتين، إذ تم استخدام الطريقة الأولى من أجل تحديد مجالات متحولات الدخل والخرج الواضح، بالنسبة للمخارج فقد تم ذلك من خلال توليف المتحكم PID دون وجود الوحدة الضبابية ومعرفة المجال التي تأخذه البارامترات  $k_p, k_d$  واعتبار القيم التي تم توليف المتحكم عليها دون وجود الوحدة الضبابية هي مراكز للمجال الذي يجب أن تأخذه هذه البارامترات في الوحدة الضبابية. أما بالنسبة إلى المداخل فقد تم اعتماد الطريقة الثانية في تحديد المجالات، فيما يتعلق بشكل المجموعات الضبابية فقد تم اختيارها بناءً على نتائج تجربة 5 سيناريوهات. تم اعتماد 9 قيم محتملة لكل دخل/ خرج ضبابي هي عبارة عن متغيرات لغوية تعبر عن شدة قيمة متحول الدخل/الخرج، وقد تم الإشارة إليها في الجدول (1). تم في هذا البحث الاعتماد على ثلاثة أنواع من توابع العضوية وهي المثلثي، شبه المنحرف والنوصي. ومن ثم المقارنة فيما بينهم من أجل اختيار تابع العضوية الذي يعطي أفضل استجابة.

### القواعد الضبابية Fuzzy rules

تقوم مجموعة القواعد الضبابية بتحديد العلاقة ما بين الدخل والخرج على شكل قواعد معرفة. ويمكن تحديدها عن طريق أخذ كافة الحالات الممكنة لتراكيب الدخل وما يقابلها من تراكيب للخرج، وبالتالي يصبح لدينا 81 قاعدة تحددان كل من  $k_p$  و  $k_d$ . تم تحديد مجموعة القواعد بالاعتماد على الخبرة في تحديد كل تركيب من تركيبات الدخل وما يجب أن يقابله كقيمة للخرج. يُظهر الجدولين (2) و(3) مجموعة القواعد المرتبطة بكل خرج على حدة. من الجدولين (2) و(3)، تُحدد القواعد المرتبطة بالخانات المظلة على النحو الآتي:

IF de is es AND e is es THEN  $k_p$  is es and  $k_d$  is es

IF de is vs AND e is es THEN kp is vs and kd is vs

IF de is ms AND e is es THEN kp is vs and kd is ms

### إزالة الضبابية Defuzzification

لا يمكن أن تكون قيم بارامترات المتحكم التناسبي التفاضلي قيم ضبابية غير محددة، إذ أن المتحكم PD يعتمد على قيم واضحة للأرباح  $k_p, k_d$ ، وبالتالي لابد من تحويل قيم الخرج الضبابية إلى قيم واضحة Crisp output، يتم ذلك عن طريق إزالة الضبابية والتي تعد الخطوة الأخيرة في بناء وحدة التحكم الضبابي. يوجد عدة طرق لإزالة الضبابية، أكثرها استخداماً هي طريقة مركز الثقل Central of Gravity، اختصاراً (COG)، تعتمد هذه الطريقة على إيجاد مركز ثقل الشكل الناتج عن عملية الاستدلال الضبابي في إزالة الضبابية، والتي تعطى صيغتها الرياضية وفق المعادلة (5) [11]. يوجد طرق أخرى لإزالة الضبابية مثل bisector التي تقوم بحساب الموضع تحت المنحنى حيث تكون المساحة على جانبي ذلك الموضع متساوية، تعطى صيغتها الرياضية وفق المعادلة (6) [11].

$$U = \frac{\sum_{x=\alpha}^{x=\beta} (x \cdot \mu(x))}{\sum_{x=\alpha}^{x=\beta} (\mu(x))} \quad (5)$$

$$\int_{\alpha}^{x^*} \mu(x) dx = \int_{x^*}^{\beta} \mu(x) dx \quad (6)$$

$U$  هي الخرج الواضح بعد إزالة الضبابية هو أحد مخارج الوحدة الضبابية،  $x$  هي قيم المحور الأفقي للمنحنى الناتج عن عملية الاستدلال،  $\alpha = \min\{x | x \in X\}$ ،  $\beta = \max\{x | x \in X\}$ . ويبين الجدول (1)، قيم جميع المتحولات الضبابية سواء كانت دخلاً أو خرجاً في السيناريوهات التي لها 9 توابع عضوية. والجدول (2) يمثل مجموعة القواعد المقابلة للخرج  $K_p$ . أما الجدول (3) فيبين مجموعة القواعد المقابلة للخرج  $K_d$  حيث أن الدخل ( $de$ ) أكثر أهمية، لأنه يعطي معلومات أوضح عن تغيرات إشارة ناظم الخطى القلبي والتي تعد ذات قيمة هامة بالنسبة للمتحكم التفاضلي؛ وبالتالي تم الاعتماد على قيمته بشكل أكبر لتحديد القواعد المرتبطة بـ  $K_d$ .

الجدول (1): المتحولات الضبابية المعتمدة.

الوصف	قيم المتحول الضبابي
أصغر ما يمكن	es
صغير جداً	vs
متوسط الصغر	ms
صغير	s
صفرى	zero
كبير	l
متوسط الكبر	ml
كبير جداً	vl
أكبر ما يمكن	el

الجدول (2): مجموعة القواعد المقابلة للخروج  $k_p$ .

Output= $k_p$		de								
		es	vs	ms	s	zero	l	ml	vl	El
e	es	es	vs	vs	ms	ms	s	s	l	L
	vs	es	vs	ms	ms	s	s	l	l	MI
	ms	ms	ms	ms	s	s	l	l	ml	VI
	s	ms	ms	s	s	zero	zero	ml	ml	VI
	zero	zero	zero	s	s	l	l	ml	ml	VI
	l	s	s	zero	zero	l	ml	vl	vl	El
	ml	s	zero	zero	l	l	ml	vl	el	El
	vl	s	zero	l	l	ml	vl	vl	el	El
	el	zero	zero	I	i	ml	vl	vl	el	El

الجدول (3) مجموعة القواعد المقابلة للخروج  $k_d$ .

Output= $k_d$		de								
		es	vs	ms	s	zero	l	ml	vl	El
e	es	es	vs	ms	ms	zero	zero	l	l	MI
	vs	es	vs	vs	ms	s	zero	l	ml	VI

ms	vs	vs	ms	ms	s	zero	l	ml	Vl
s	vs	ms	ms	s	zero	i	ml	vl	El
zero	ms	s	s	zero	l	ml	vl	el	El
l	s	s	zero	l	ml	vl	vl	el	El
ml	s	zero	zero	l	ml	vl	vl	el	El
vl	ms	s	zero	l	ml	vl	el	el	El
el	s	zero	l	ml	vl	el	el	el	El

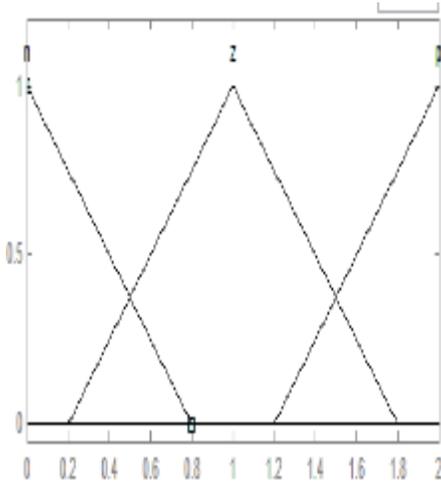
تم تصميم خمس وحدات تحكم ضبابي محتملة، كل وحدة تحكم تشكل سيناريو تجربة بهدف اختيار الوحدة التي تعطي مواصفات الاستجابة الأفضل. يمثل الجدول (4) البارامترات التي تم تصميم الوحدات المرشحة على أساسها. تم اعتماد المداخل والمخارج الضبابية لتكون بنفس الشكل لعدم وجود معلومات كافية بخصوص تمايزها عن بعضها. لذلك وفي بعض السيناريوهات سيتم الاكتفاء بعرض متغير واحد. توضّح الأشكال من (3) إلى (6) متغيرات الدخل والخرج الضبابي للوحدتين الضبابيتين الأولى والثانية، تختلف الأولى عن الثانية في أن الوحدة الضبابية الأولى تعتمد توابع عضوية من النوع المثلي، بينما تعتمد الأخرى توابع عضوية من النوع شبه المنحرف.

الجدول (4)، البارامترات التي تم تصميم وحدات المنطق الضبابي المرشحة على أساسها.

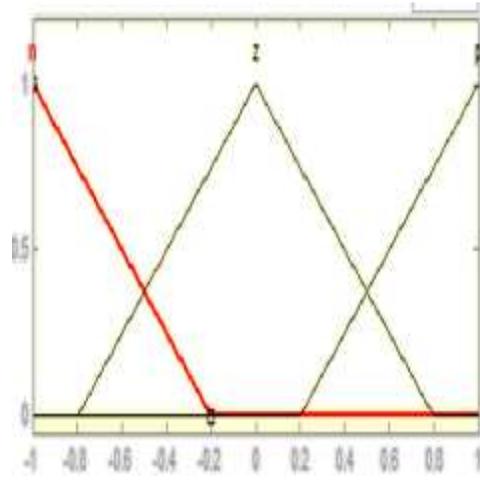
البارامتر	القيم التي تم تجربتها	وصف البارامتر
عدد المجموعات الضبابية للدخل	3 أو 9.	قيم المتحول الضبابي للدخل.
عدد المجموعات الضبابية للخروج	3 أو 9.	قيم المتحول الضبابي للخروج.
نوع التوابع العضوية	{Triangle, trapiozoid}	تؤثر توابع العضوية على الاستجابة
حجم القواعد rule base	{81, 9}	ربط المداخل بالمخارج

في السيناريو الثالث تم اعتماد توابع عضوية من النوع المثلي لمتغيرات الدخل  $e$  و  $de$  و  $k_e$  في الشكل (7)، و متغير الخرج  $k_d$  في الشكل (8). بينما في السيناريو الرابع تم اعتماد توابع عضوية من النوع شبه المنحرف (الشكل (9)) بالإضافة إلى اعتماد 9 توابع

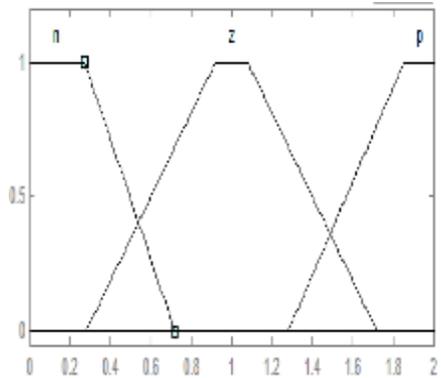
عضوية لكل من الدخل والخرج. طريقة إزالة الضبابية في السيناريوهات الخمس هي bisector. في السيناريو الخامس تم اعتماد نوعين من توابع العضوية، المثلثي لمتحولي الدخل  $e$  و  $de$  (الشكل (7))، وتم اعتماد تابع العضوية الغوسي لمتحولي الخرج  $k_a$  و  $k_p$  (الشكل (11)). بينما بقيت باقي بارامترات السيناريو الرابع نفسها.



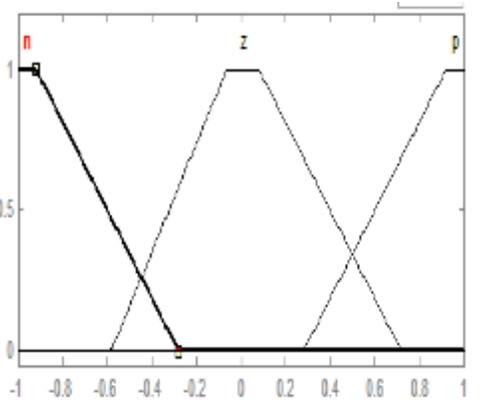
الشكل (4): متغير الخرج  $k_a$  للسيناريو الأول



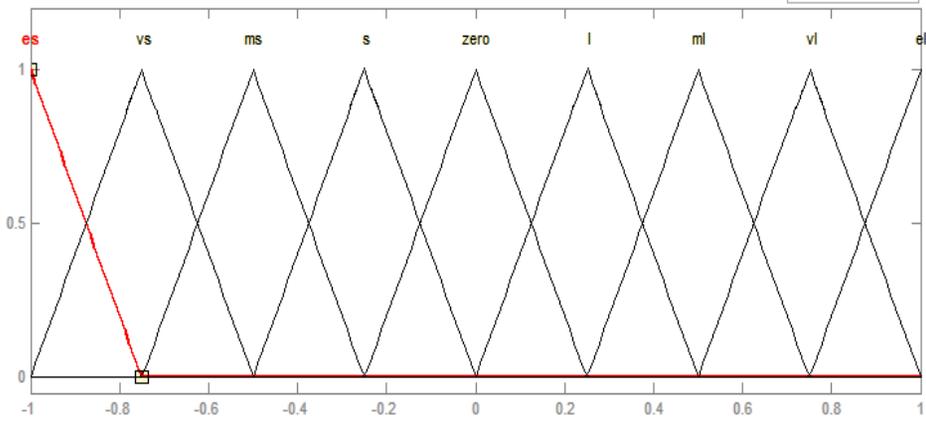
الشكل (3): متغير الدخل الضبابي  $e$  للسيناريو الأول، والشكل نفسه للمتغيرات  $de$  و  $k_p$



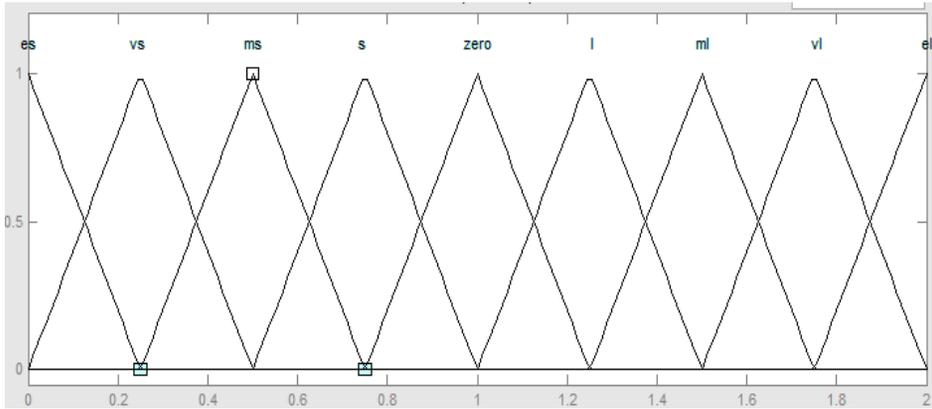
الشكل (6) متغير الخرج  $k_a$  للسيناريو الثاني.



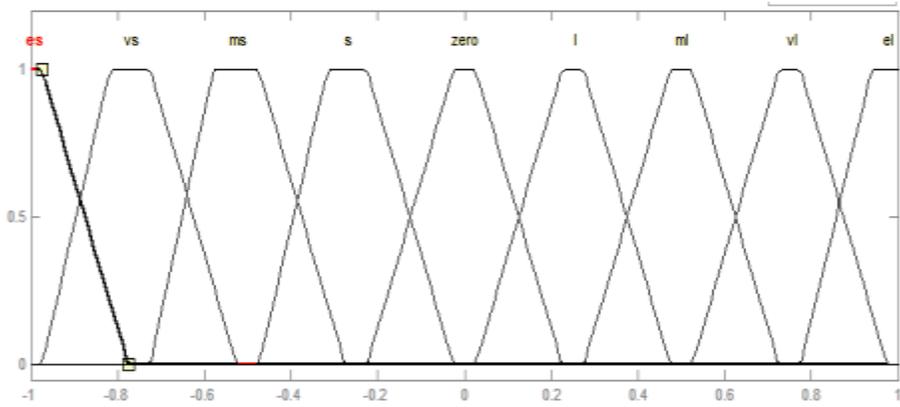
الشكل (5): متغير الدخل  $e$  للسيناريو الثاني والشكل نفسه للمتغيرين  $de$  و  $k_p$ .



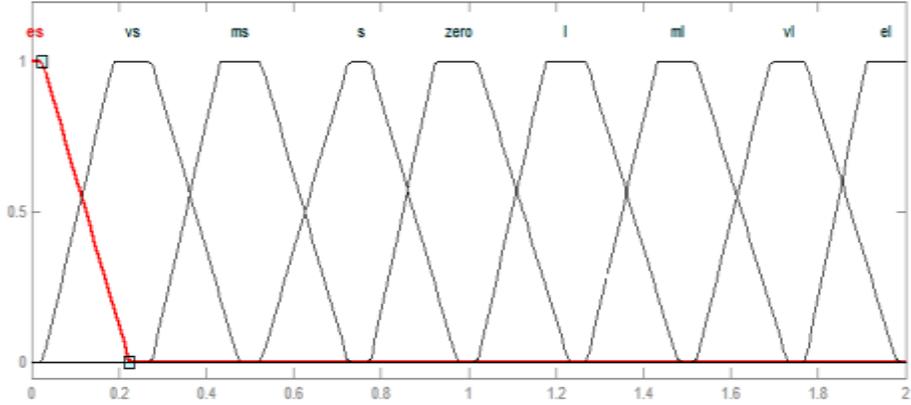
الشكل (7) متغير الدخل e للسيناريو الثالث والخامس، والشكل نفسه للمتغيرين  $k_p$  و  $de$  في السيناريو الثالث.



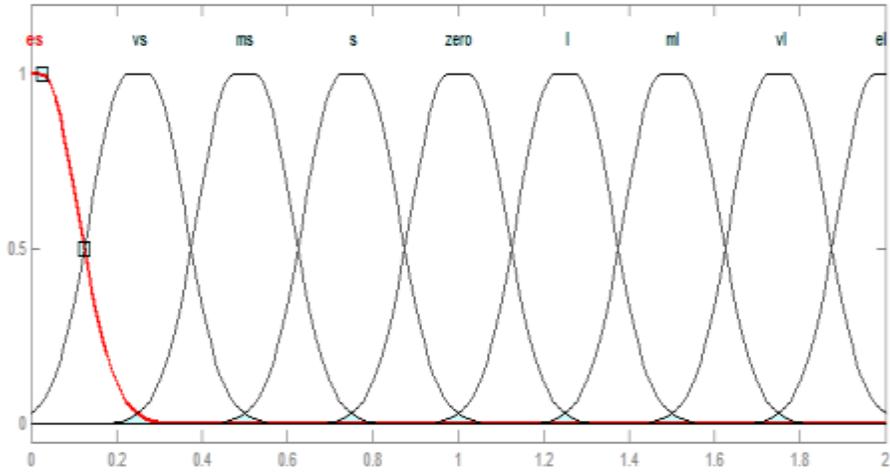
الشكل (8): متغير الخرج  $k_d$  للسيناريو الثالث.



الشكل (9): متغير الدخل e للسيناريو الرابع، والشكل نفسه للمتغيرين  $k_p$  و  $de$ .



الشكل (10): متغير الخرج  $k_d$  للسيناريو الرابع.



الشكل (11): متغير الخرج  $k_d$  في السيناريو الخامس.

## المتحكم PD

ثبت أن المتحكم PD هو الأفضل بالمقارنة مع المتحكمات PID وPI وP إذ أن استجابته مع نظام التحكم بضربات القلب قد اعطت البارامترات الأفضل بالمقارنة مع الأنواع الأخرى [4]، وبالتالي تم اختياره للتحكم بنظام ضربات القلب المقترح، إلا أنه لا يمكنه لوحده التكيف مع التغير في معدل ضربات القلب، بالإضافة إلى أنه يؤدي إلى تجاوز عالٍ يضر نظام التوصيل الكهربائي في القلب. لذلك تم اقتراح نظام يجمع بين المنطق الضبابي والمتحكم PD. تم الحصول على قيم الأرباح  $K_e, K_{de}$  المتعلقة بموائمة الدخل الواضح

مع الدخل الضبابي عن طريق التجربة. كما تم الحصول على قيمة الربح  $K_0$  باعتبار هذا الربح على أنه متحكم تناسبي وتوليفه عن طريق Nicholas-Ziegler وقيمة هذا البارامتر هي 0.65. وتُظهر الأشكال (13)، (15)، (17)، (19)، و(21) إشارة التحكم الناتجة عن كل سيناريو تجربة.

### النتائج والمناقشة.

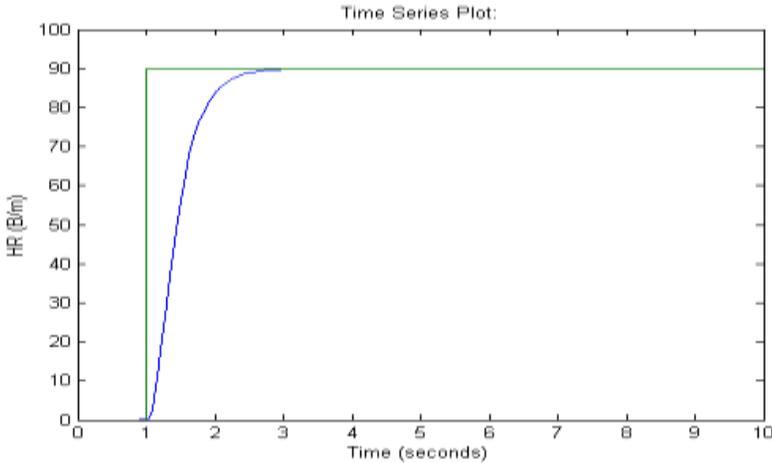
من أجل اختيار توابع العضوية الأفضل لتمثيل وحدة التحكم الضبابي، جرى اختبار النظام مع عدة أشكال لتوابع العضوية، وذلك وفق قيمة 90 نبضة/دقيقة للدخل. تم عرض السيناريوهات الخمسة بذكر توابع عضوية الدخل والخرج، وحجم القواعد لكل منها، بالنسبة إلى قيم الأرباح فقد تم الحصول عليها عن طريق محاكاة النموذج بقيم مختلفة لهذه الأرباح ضمن المجال [2 0.001]، وقد حصلنا على القيم الأفضل لهذه البارامترات وهي  $k_{de} = 0.1$ ،  $k_e = 1$ ، وقد عُرض في الجدول (5) أيضاً قيم بارامترات الاستجابة التي تتمثل بزمان الاستقرار، ونسبة التجاوز، وخطا الحالة الدائمة التي تم التوصل إليها من خلال تجربة استجابة النظام مع السيناريوهات الخمسة.

الجدول (5): السيناريوهات الخمسة للوحدات الضبابية المرشحة وتقييم ادائها.

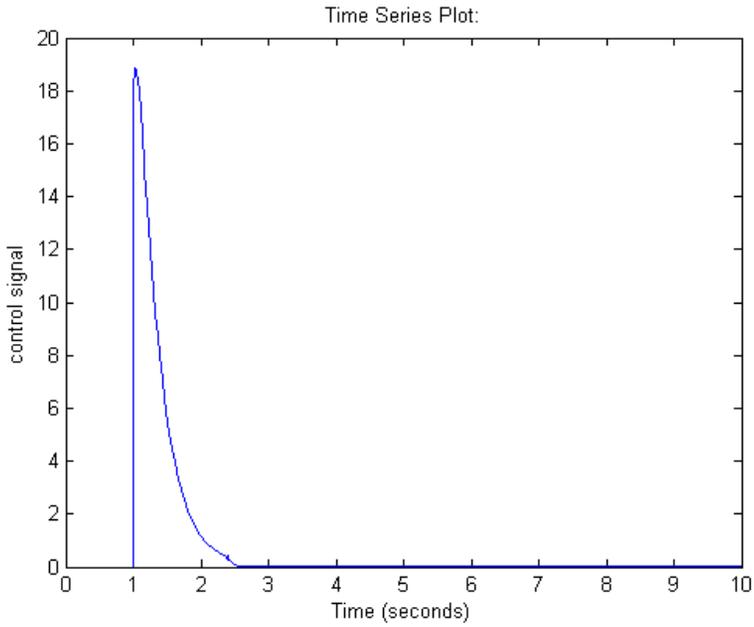
تسلسل	تابع عضوية الدخل	تابع عضوية الخرج	حجم القواعد	بارامترات الإستجابة		
				$t_s$ [ثانية]	التجاوز %	$e_{ss}$ %
1	مثلي	مثلي	9	1.7	0.01	0
2	شبه منحرف	شبه منحرف	9	1.7	0.007	0
3	مثلي	مثلي	81	0.8	0.18	0.01
4	شبه منحرف	شبه منحرف	81	0.8	0.17	0
5	مثلي	غوصي	81	0.8	0.18	0

بالنظر إلى المعلومات الواردة من الجدول (5)، نجد أن توابع العضوية من النوع شبه المنحرف قد أعطت الاستجابة الأفضل من بين باقي التوابع من ناحية نسبة التجاوز، و زمن

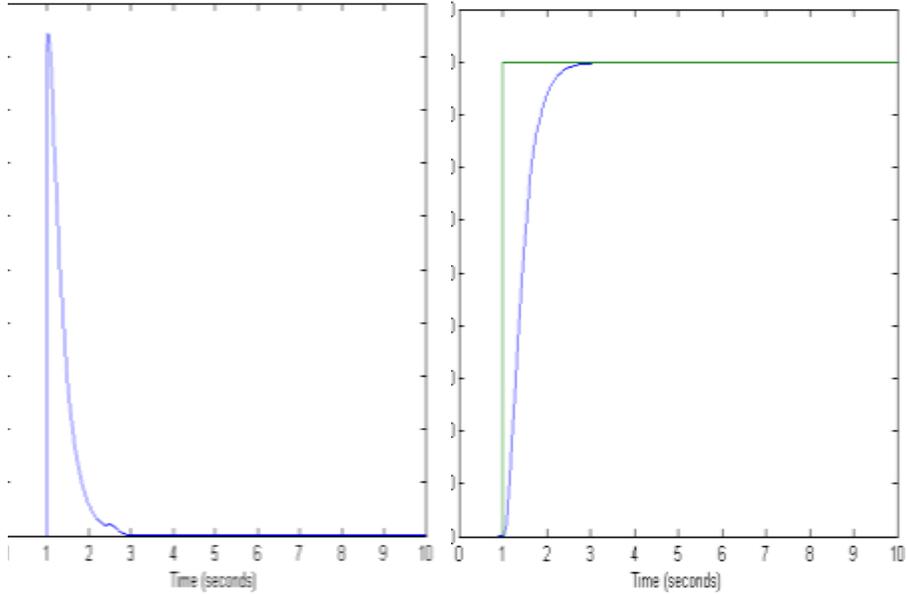
الاستقرار، ويعود ذلك لبساطة النموذج الرياضي المعبر عنها وطول المجال التي تستقر به قيمتها عند الـ 1. نستنتج من الجدول (5) أن زيادة حجم القواعد وزيادة عدد المجموعات الضبابية قد قلل بشكل كبير من زمن الاستقرار لكنه زاد التجاوز من 0.007% إلى 0.18 % والتي تعد قيمة مقبولة بالنسبة إلى نظام التحكم بضربات القلب المقترح، وبالتالي فقد تم اعتماد الوحدة الضبابية الخاصة بالسيناريو الرابع. إن معدل ضربات القلب ليس ثابتاً، إنما يتغير وفقاً للحالة الجسدية (راحة، جري، نوم، رياضة، ... والخ)، ولعوامل فيسيولوجية أخرى. من أجل التأكد من فعالية نظام التحكم المقترح وقدرته على التكيف مع تغير معدل ضربات القلب تم اختباره مع قيم مختلفة لضربات القلب من أجل المداخل الآتية: 60 BPM تكافئ وضع استرخاء كامل، 70 BPM تكافئ الوضع الطبيعي، 80 BPM تكافئ وضع المشي، 90 BPM تكافئ وضع الجري المعتدل، و 100 BPM تكافئ حالة الإجهاد. وتبين الأشكال من 17 وحتى 21، على الترتيب، استجابة النظام لدخل 90 نبضة / دقيقة والتي تكافئ حالة الجري المعتدل. يلخص الجدول (6) النتائج التي تم التوصل إليها عند اختبار نظام التحكم التكيفي بضربات القلب باستخدام المتحكم PD المولف ضبابياً مع القيم المختلفة لضربات القلب المطلوبة.



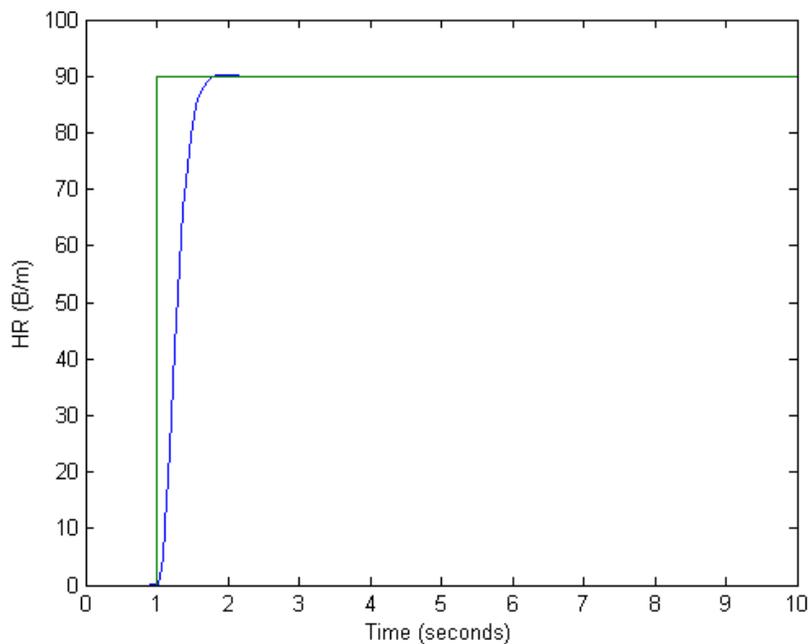
الشكل (12): استجابة النظام وفق السيناريو الأول.



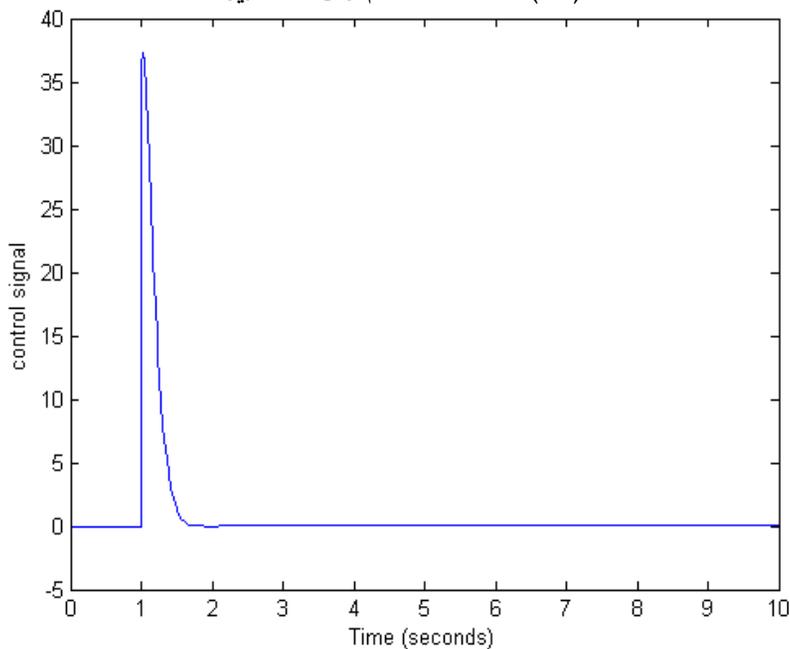
الشكل (13): إشارة التحكم في السيناريو الأول



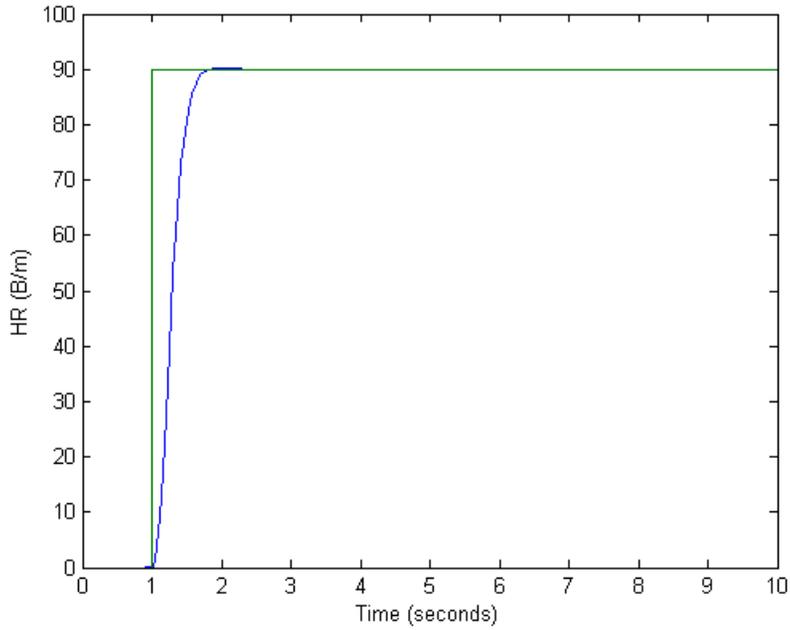
الشكل (14): استجابة النظام وفق السيناريو الثاني.  
الشكل (15): إشارة التحكم في السيناريو الثاني



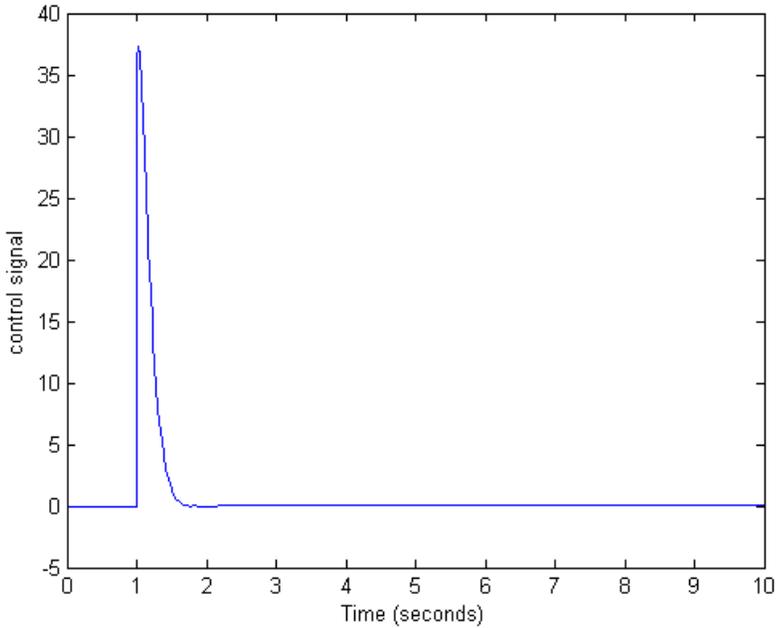
الشكل (16): استجابة النظام وفق السيناريو الثالث.



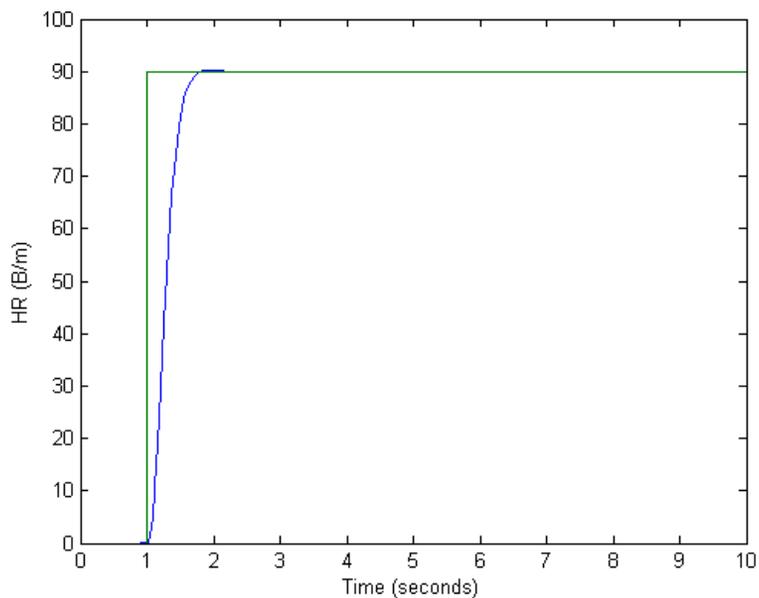
الشكل (17): إشارة التحكم في السيناريو الثالث.



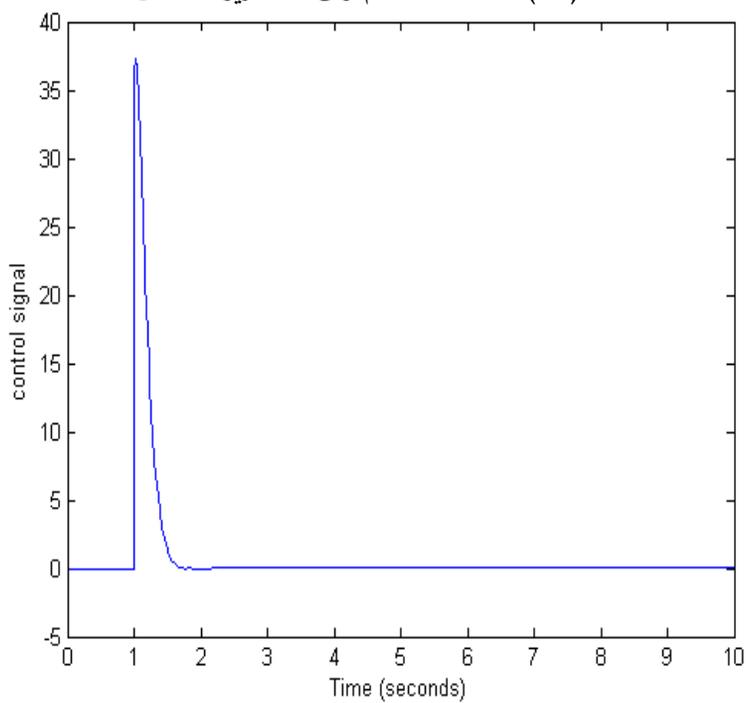
الشكل (18): استجابة النظام وفق السيناريو الرابع.



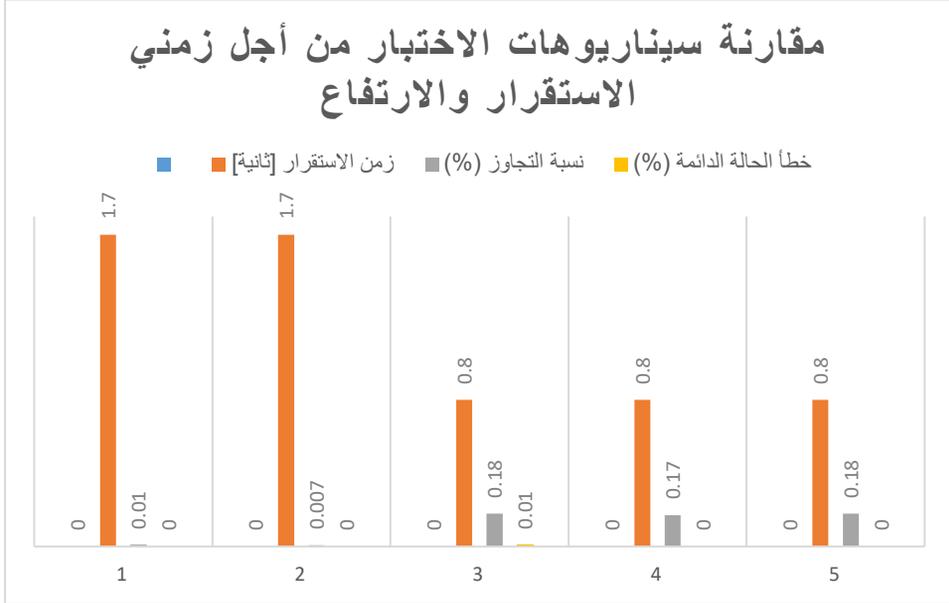
الشكل (19): إشارة التحكم في السيناريو الرابع.



الشكل (20): استجابة النظام وفق السيناريو الخامس.



الشكل (21): إشارة التحكم في السيناريو الخامس.



الشكل (22): مقارنة سيناريوهات الاختبار من أجل زمني الاستقرار والارتفاع.

الجدول (6): نتائج اختبار النظام مع حالات مختلفة لمعدل ضربات القلب.

بارامترات الاستجابة			معدل ضربات القلب [نبضة / دقيقة]	الوضع
$e_{ss}$ %	التجاوز %	$t_s$ [sec]		
0	0.18	0.8	60	وضع الاسترخاء
0	0.18	0.8	70	الوضع الطبيعي
0	0.18	0.8	80	وضع المشي
0	0.18	0.8	90	وضع الجري
0	0.18	0.8	100	وضع الإجهاد

بالنظر إلى المعلومات الواردة في الجدول (6) نجد أن نموذج التحكم التكيفي بمعدل ضربات القلب بالاعتماد على المتحكم PD المؤلف ضبابياً قد أعطى نتائج ثابتة مع

مختلف معدلات ضربات القلب المطلوبة ودون الحاجة إلى إعادة ضبط قيم أرباح الملائمة كما ورد في الدراسة [6] حيث أنه عند كل قيمة مختلفة لمعدل ضربات القلب وجب إعادة ضبط قيم الأرباح. يوضح الجدول (7) نتائج الدراسة المقترحة بالمقارنة مع الدراسات المرجعية.

الجدول (7) مقارنة نتائج الدراسة المقترحة مع الدراسات المرجعية.

ملاحظات	نسبة التجاوز %	زمن الاستقرار [ثانية]	الدراسة
-	0.4	2	[4]
-	1.5	1.97	[5]
-	0.4	2	[3]
-	0.2	0.9	[5]
خطأ حالة دائمة صفري	0.17	0.8	الدراسة المقترحة

وجد من الجدول (7)، أن نظام التحكم التكيفي بمعدل ضربات القلب المؤلف ضبابياً المقترح قد أعطى نسبة تجاوز هي الأقل بالمقارنة مع الدراسات المرجعية، بالإضافة إلى أن استجابة النظام المقترح في الحالة الدائمة كانت ذات خطأ صفري عند مختلف معدلات ضربات القلب المطلوبة. كما أن زمن الاستقرار كان الأقل بالنسبة له في الدراسات المرجعية.

### الاستنتاجات والتوصيات

إن استخدام نظام التحكم التكيفي بضربات القلب بالاعتماد على المتحكم PD المؤلف ضبابياً أعطى نتائج جيدة، ومن خلال السيناريوهات الخمس واختبار النظام المقترح من أجل معدل ضربات قلب مختلف حسب الحالة الجسدية، تم التوصل إلى الآتي:

- نسبة تجاوز مهمة مع مختلف معدلات ضربات القلب، مما يزيد من موثوقية متحكم ناظم الخطى القلبي، ويخفف ضررها على نظام التوصيل الكهربائي في القلب، ويقلل من استهلاك الطاقة في البطارية مما يزيد من عمرها.
  - زمن استقرار قليل (0.8 ثانية)، مما يعني موثوقية أعلى لمتحكم ناظم الخطى.
  - توابع العضوية من النوع شبه المنحرف هي الأفضل من بين توابع العضوية المثلي والغوسي فيما يتعلق بتصميم متحكم ناظم الخطى.
  - تكيف قيم بارامترات المتحكم PD، إذ قد أعطى استجابة أكثر استقراراً مع مختلف معدلات ضربات القلب المطلوبة.
  - زيادة حجم القواعد الضبابية قد قلل من زمن الاستقرار مع زيادة نسبة التجاوز.
  - أثبت نظام التحكم التكميلي بضربات القلب بالاعتماد على المتحكم PD المؤلف ضبابياً المقترح فعاليته من أجل التغيرات في نبضات القلب تبعاً للحالة الجسدية في حالات الاسترخاء الكامل، والوضع الطبيعي، ووضع المشي، ووضع الجري المعتدل، وأخيراً في حالة الإجهاد.
- من أجل استجابة أفضل لمتحكم ناظم الخطى القلبي فإنه يمكن مستقبلاً أمثلة قيم بارامترات الوحدة الضبابية باعتماد الخوارزميات التطورية، ودراسة الاضطراب على نظام القلب والدوران وتأثيره على أداء متحكم الناظمة القلبية.

## المراجع

- 1- BENDER. J, RUSSEL. K, ROSENFELD. L, CHAUDRY. S, 2011- Oxford American Handbook of Cardiology. Oxford University Press Inc, First Edition. USA, 708.
- 2- SAJAAN. M, 2013- Learn ECG in a Day a Systematic Approach. JAYPEE BROTHERS MEDICAL PUBLISHERS, First Edition. New Delhi, 82.
- 3- Yadav, J. Rani, A. & Girisha, 2011 Intelligent Heart Rate Controller for Cardiac Pacemaker, International Journal of Computer Applications, Vol. 36, No 7, 1- 20.
- 4- Elnaggar, M. I., Ashour, A. S., Guo, Y., El-Khobby, H. A., & Abd Elnaby, M. M. 2019 *An Optimized Mamdani FPD Controller Design of Cardiac Pacemaker*, Health Information Science and Systems, Vol. 7, No. 1, 1-18.
- 5- ALEBRAHEM. E, DIAB. J, ZOREKA. F, 2020 *Design Adaptive Controller and Learning Controller to Control the Pacemaker*, Journal of Engineering Sciences and Information Technology, Vol. 4, Issue.4, 1-17.
- 6- Aghdam. A, Dabanloo. N, Sattari. M, Attarodi. G, Hemmati. N, 2017 *Design and processing of a novel algorithm using ANFIS for new generation of cardiac pacemakers*, Computing in Cardiology (CinC), 1-4.
- 7- Asgha .D, et al, 2022 *An Interval Type-2 Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System based, Artificial Pacemaker Design and Stability Analysis*, Research square, 22- 30.

- 8- YALCINKAYA, F. 2013 Mathematical Modelling of Human Heart as a Hydroelectromechanical System , 8th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO) Nov. 2013, 28-30.
- 9- JOLAHA. O, BASHOUR. L, 2021 Prediction of the Artificial Heart Beat Using Machine Learning Algorithms. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. 43, No.5, 201-221.
- 10- D. Hooda, V. Raich, 2017 Fuzzy Logic Models and Fuzzy Control: An Introduction, Alpha Science International Ltd, UK. 1-408.
- 11- Gao. Q, 2017 Universal Fuzzy Controllers for Non-affine Nonlinear Systems. Singapore: Springer Singapore. First Edition. UK, 1 -142.
- 12- Kararm, M. 2018 *Robust RBF Neural Network-Based Backstepping Controller for Implantable Cardiac Pacemakers* Karar, International Journal of Adaptive Control and Signal Processing, vol. 32 No.7, 1040–1051.
- 13- JOLAHA. O, EISSA. A, 2021 Effect of ECG Features Extraction using Curve Fitting for the Detection of Arrhythmia in ECG, 3rd Conference for Post studies Students on Engineering Sciences, 23-24 December, Tishreen University, Latakia, Syria.
- 14- JOLAHA. O, EISSA. A, 2018 Solving the Problem of Unifying the Size of Large Squares of Grid in ECG Images. Damascus University Journal for Engineering Science, Vol. 34 No. 2, 237-249.



## تطوير مرشح قابل لإعادة التشكيل في تطبيقات تقنية الراديو الإدراكي

د.م.فواز مفضي<sup>1</sup> د.م.عبد الكريم السالم<sup>2</sup> م.إيمان محمد الجزائري<sup>3</sup>

### \*ملخص\*

يقدم هذا البحث طريقة تحليلية لتصميم مرشح تمرير حزمة عديم الإنعكاس بتردد مركزي وعرض مجال قابلين للتشكيل. تم تقديم نموذج تمرير منخفض أولي للمرشح ومن ثم إجراء تحويله إلى مرشح تمرير حزمة برنانات تفرعية وعواكس سماحيات. تُعطى جميع محددات التصميم بعلاقات مباشرة بدلالة التردد المركزي للمرشح وعرض الحزمة النسبي وممانعة مدخل الدارة وقيم العناصر المُوَسَّطة لمرشح التمرير المنخفض الأولي بحيث يمكن تصميم المرشح بطريقة تحليلية ودون اللجوء للطرق التجريبية.

يهدف البحث لتصميم مرشح قابل لإعادة التشكيل يمكن استخدامه في تطبيقات تقنية الراديو الإدراكي بالاعتماد على تقانة الخطوط الشرائحية الميكروية والحصول على أفضل أداء بتكلفة أقل.

لإثبات صحة الطريقة المقدمة تم تركيب وتصميم مرشح تمرير حزمة عديم الإنعكاس(ماص) من المرتبة الرابعة بتردد مركزي قابل للتشكيل GHz (2.9-3.4) وعرض حزمة نسبي قابل للتوليف أيضاً % (6-10) و أكد التوافق الجيد بين النتائج النظرية ونتائج محاكاة الدارة الميكروية والمحاكاة الكهرومغناطيسية صحة المنهجية والإستنتاجات المقدمة خلال البحث.

**الكلمات المفتاحية** – مرشح عديم الإنعكاس(ماص)، مرشح ببنية الخطوط الشرائحية الميكروية، مرشح قابل للتوليف، الراديو الإدراكي.

1: دكتور في قسم هندسة الالكترن والاتصالات, كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية , جامعة دمشق , سوريا.

2: دكتور في قسم هندسة الالكترن والاتصالات , كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية, جامعة البعث, سوريا.

3: طالبة ماجستير في قسم هندسة الالكترون والاتصالات , كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية, جامعة دمشق , سوريا.

## Development of Reconfigurable Filter for Cognitive Radio Applications

### \*Abstract\*

This research presents an analytical method for designing a tunable center-frequency and band-width irreversible band-pass filter. A prototype of low-pass filter is introduced and then its transformed into a parallel band-pass filter using parallel resonators and conductance inverters. All design parameters are given in direct relations depending on the central frequency of the filter, relative band-width, circuit input's resistance and averaging values of the prototype low-pass filter so that the filter can be designed analytically without resorting to the experimental methods.

This research aims to design a tunable filter that can be used in cognitive radio technology applications depending on the microstrip line technology and obtain the best performance at a lower cost.

To prove the validity of the presented method, a fourth-order absorptive band-pass filter was installed and designed with a tunable central frequency(2.9-3.4) GHz and also a tunable relative band-width of( 6-10)%. The matching between theoretical results and the results of microcircuit simulation and electromagnetic simulation confirmed the validity of the methodology and conclusions which is provided in this research.

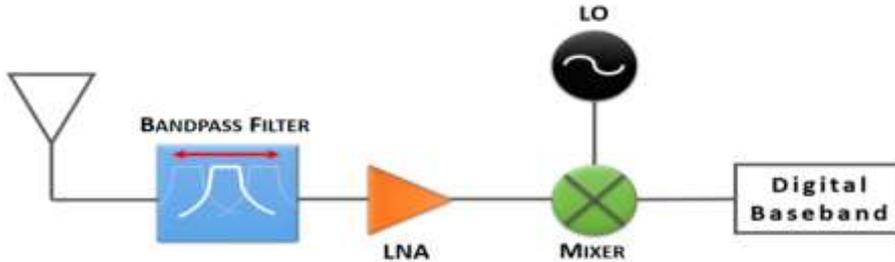
**Keywords** – absorptive filter, microslide structure filter, tuneable filter, cognitive radio(CR).

## 1- مقدمة

تزايدت في العقدین الأخيرین بشكل كبير متطلبات مستخدمي شبكات الاتصالات اللاسلكية فقد صار المستخدم يتوقع إمكانية الولوج إلى أنواع مختلفة من الأنظمة و استخدام كثير من التطبيقات التي تتطلب نقل بيانات بحجم مختلفة من الرسائل النصية إلى الفيديو عالي الجودة. انعكست هذه المتطلبات على الحاجة المتزايدة لشبكات الاتصالات إلى الموارد الترددية وبالتالي على الحاجة إلى زيادة الفعالية الطيفية من جهة، وإلى تصميم أجهزة إتصال متوافقة مع أنظمة الإتصال اللاسلكية المختلفة، الخلوية منها (GSM, 3G, LTE, ..) والمحلية ( WLAN, Bluetooth...) من جهة أخرى.

النظم الراديوية الإدراكية (CR) كانت إحدى التصورات التي وُضعت لبناء نظم راديوية تُحقق متطلبات المرونة والكفاءة الطيفية، تقوم فكرة هذا التصور على تشكيل نظم قادرة على انتقاء مجال عملها ضمن المجالات الترددية الأقل استخداماً لتحقيق استثمار أمثل للطاقم. تعتمد النظم الراديوية الإدراكية في بنائها على تشكيل واجهة أمامية لنظم إرسال/استقبال قابلة للتوليف لتعمل عند ترددات مختلفة و بعرض حزمة ترددية متغيرة. إمكانية التوليف لأجزاء الواجهة الأمامية يُفترض أن تتم بطريقة تُمكن من إعادة تشكيل هذه المكونات دون اللجوء إلى تعددية الأجزاء، ومن أهم هذه المكونات المرشحات المبروثة.

يبين الشكل (1) مرشح تمرير حزمة القابل لإعادة التشكيل ضمن الواجهة الراديوية لنظام الراديو الإدراكي.



الشكل (1) مرشح تمرير حزمة قابل لإعادة التشكيل.

## 2- أهمية البحث وأهدافه

يهدف البحث لتصميم مرشح قابل لإعادة تشكيل وذلك بتوليف تردد العمل وعرض الحزمة ليعمل بما يتوافق مع أحد المجالات الترددية المعتمدة في نظم الراديو الإدراكي بالاعتماد على تقانة الخطوط الشرائحية الميكروية وعناصر توليف (كالمكثفات متغيرة السعة).

يعتبر تصميم مرشحات قابلة لإعادة التشكيل مهماً لعدة أسباب منها:

تصغير الحجم مقارنةً باستخدام بنك مرشحات.

تخفيف الوزن والكلفة في تصميم الواجهة الأمامية للمستقبل الراديوي.

تحقيق متطلبات نظم الاتصالات الحديثة .

## 3- مواد وأجهزة البحث

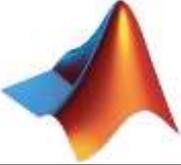
من خلال الاعتماد على المراجع العلمية الحديثة والمتخصصة ضمن المرشحات القابلة لإعادة التشكيل تم وضع نقطة البداية في هذا البحث وبالإطلاع على آخر ما توصل إليه الباحثون ضمن هذا المجال تم تحديد مشكلة البحث ووضع فرضياته والبدء من آخر ما توصلت إليه الدراسات ضمن هذا المجال.

تم مناقشة الفرضيات وإجراء المحاكاة والتصميم باستخدام الحاسب وذلك بالاعتماد على برمجيات محاكاة الدارات الميكروية و المحاكاة الكهروضوئية الموثوقة (Ansys, ADS, AWR, MATLAB).

تم إثبات الفرضيات بناءً على نتائج المحاكاة ، واعتبارها جزءاً من أدوات تحسين المرشحات القابلة لإعادة التشكيل .

بيّن الجدول (1) برمجيات المحاكاة التي تم استخدامها لتصميم ومحاكاة المرشح في هذا البحث.

الجدول (1) برمجيات المحاكاة المستخدمة.

Software	Logo	Version
Ansys		ANSYS Electromagnetics Suite Release 2020 R2
ADS		Keysight Advanced Design System (ADS) 2021
AWR		NI AWR Design Environment 14.04r
MATLAB		MATLAB R2021A

#### 4- الإجراء التجريبي ونتائج المحاكاة

4-1 تركيب مرشح تمرير حزمة قابل لإعادة التشكيل بتردد مركزي  $f_0$  (1.5)GHz وعرض مجال نسبي % (5-10)

إن الغاية من تركيب هذا المرشح هو مقارنة أداء المرشح المقترح في هذا البحث مع المرشح

المركب في المرجع [2] حيث تم تركيب وتصميم مرشح ضمن هذه المجالات  $f_0 =$

GHz [1.35 → 1.65] و  $\Delta = [5\% \rightarrow 10\%]$ . سنقارن أداء المرشحين فقط

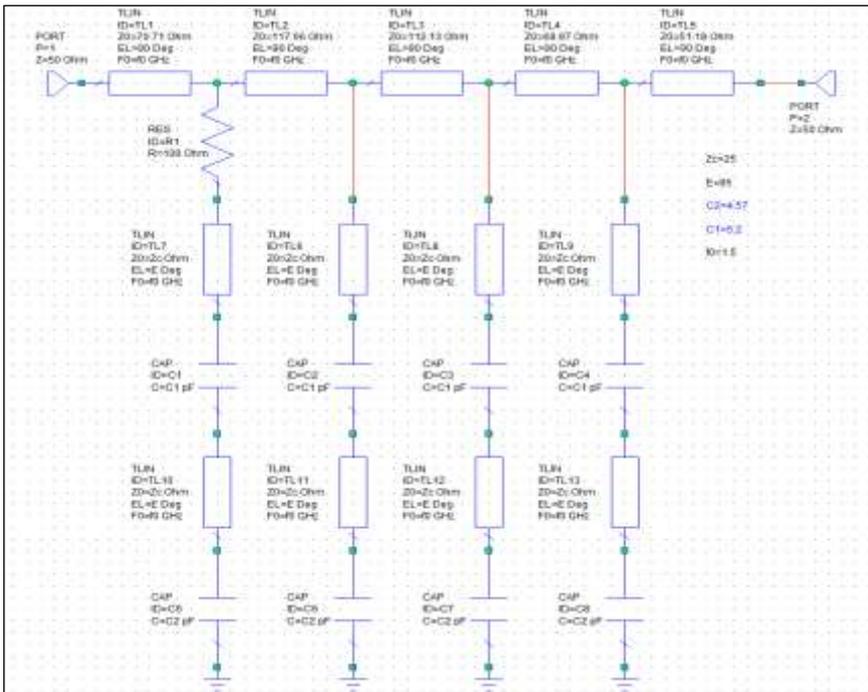
عند التردد المركزي  $f_0 = 1.5$  GHz.

يعطي المرجع [2] قيم عناصر دائرة المرشح المركب وفق الجدول(2):

الجدول(2) قيم عناصر دائرة مرشح تمرير الحزمة عديم الإنعكاس والقابل لإعادة التشكيل المركب في المرجع [2].

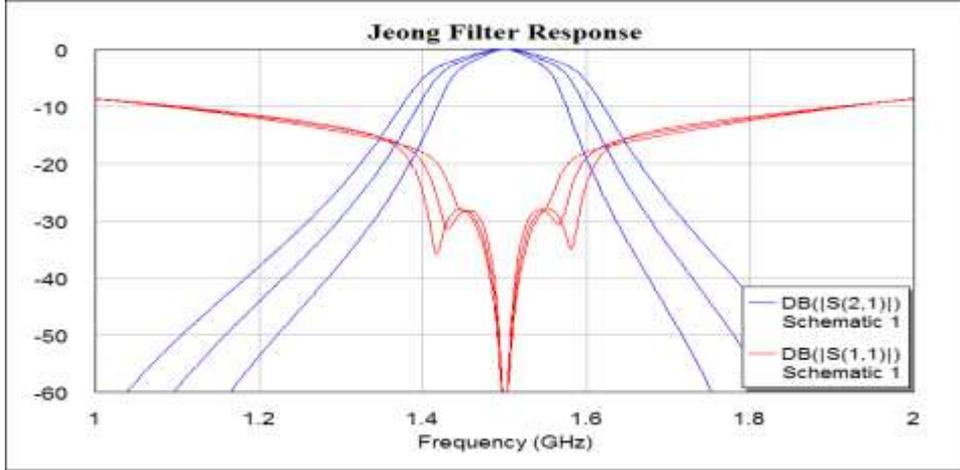
Frequency [GHz]	1.35			1.5			1.65		
Fractional Bandwidth (%)	5	7	10	5	7	10	5	7	10
B	0.223	0.159	0.111	0.223	0.159	0.111	0.223	0.159	0.111
C <sub>1</sub> [Pf]	3.87	5.78	8.72	3.49	5.2	7.85	3.18	4.73	7.12
C <sub>2</sub> [Pf]	7.42	5.07	3.57	6.66	4.57	3.21	6.04	4.15	2.91
Circuit Specification:	$Z_C = 25 [\Omega]$			$\Theta_C = 85^\circ$			$R = 100 [\Omega]$		
	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$	$Z_6$	$Z_7$	$Z_8$	$Z_9$
	70.71	117.66	112.13	68.97	51.18	-	-	-	-

قمنا بإنشاء هذا المرشح ضمن بيئة AWR Microwave Office ويبيّن الشكل (2) مخطط الدارة لهذا المرشح.



الشكل (2) مخطط دائرة المرشح المركب في المرجع [2].

وبالمحاكاة من أجل قيم السعات عند التردد 1.5GHz حصلنا على الاستجابات المبينة في الشكل(3) من أجل توليف عرض الحزمة % (5-10)



الشكل (3) استجابة المرشح في المرجع [2] كما تم محاكاتها ضمن بيئة AWR Microwave Office

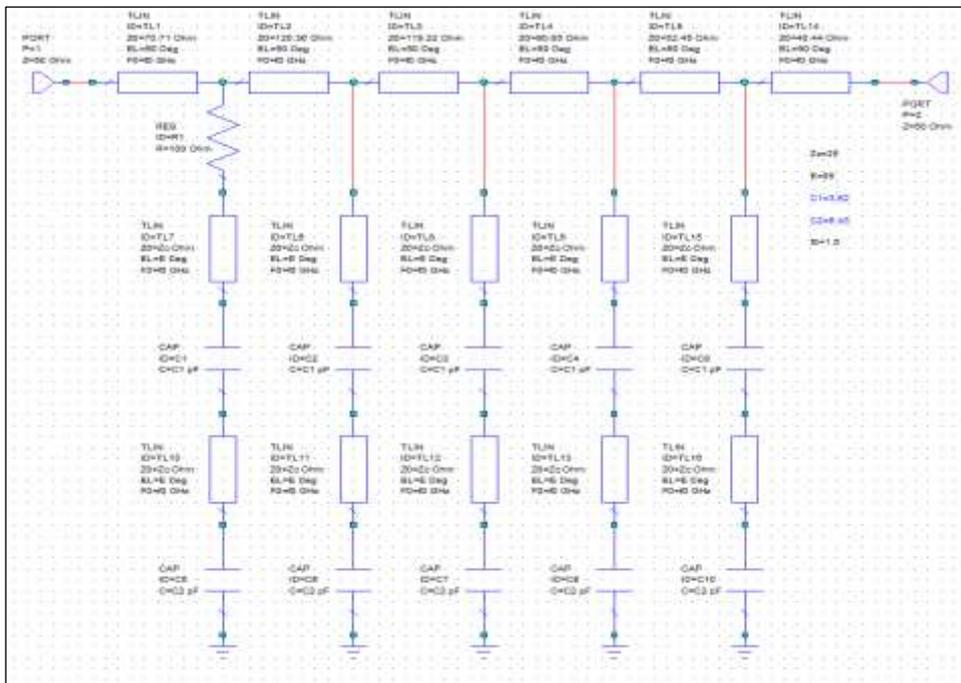
قمنا بتصميم مرشح بنفس المواصفات ضمن طريقة التركيب المستنتجة في هذا البحث وذلك باستخدام تطبيق الماتلاب الذي تمت برمجته في إطار هذا العمل والذي اعطى القيم المدرجة في الجدول (3):

جدول (3) قيم عناصر دائرة مرشح تمرير الحزمة عديم الإنعكاس والقابل للتوليف المركب حسب الطريقة المستنتجة ضمن بحثنا

Frequency [GHz]	1.35			1.5			1.65		
	5	7	10	5	7	10	5	7	10
Fractional Bandwidth (%)	5	7	10	5	7	10	5	7	10
C <sub>1</sub> [Pf]	2.82	4.02	6.79	2.54	3.62	6.11	2.3	3.3	5.5

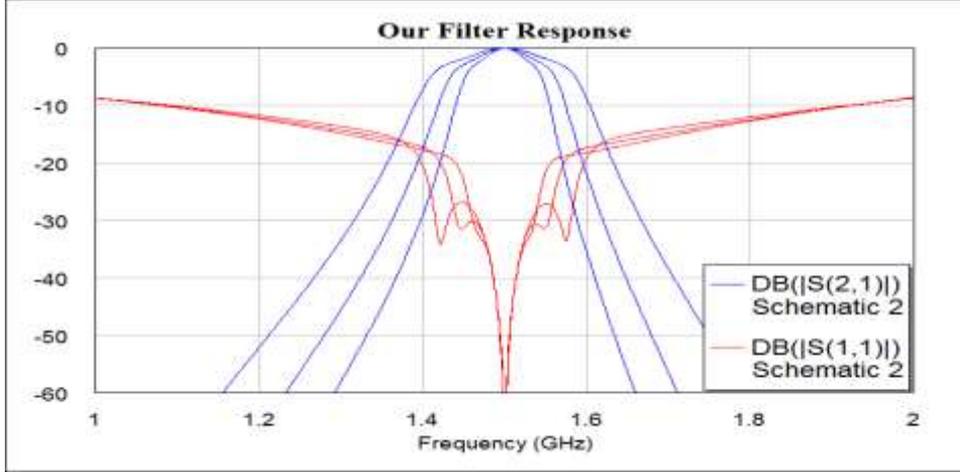
							1		4
$C_2$ [Pf]	10.2 8	7.14	4.4	9.25	6.43	3.96	8.4 1	5.8 4	3.6 1
Circuit Specificatio n:	$Z_C = 25 [\Omega]$			$\theta_C = 85^\circ$			$R = 100 [\Omega]$		
	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$	$Z_6$	$Z_7$	$Z_8$	$Z_9$
	70.7 1	120.3 6	119.2 2	90.8 5	52.4 5	40.4 4	-	-	-

قمنا بإنشاء هذا المرشح ضمن بيئة AWR Microwave Office وبيّن الشكل (4) مخطط الدارة لهذا المرشح.



الشكل (4) مخطط دائرة المرشح

بالمحاكاة من أجل قيم السعات عند التردد 1.5GHz حصلنا على الاستجابات الموضحة في الشكل (5) من أجل توليف عرض الحزمة % (5-10).



الشكل (5) استجابة المرشح المصمم بحسب طريقة التركيب المستنتجة في هذا البحث.

يتضح من مقارنة الاستجابتين في الشكلين (3) و(5) تحسين أداء المرشح من حيث حدة القطع الذي تم تقديمه خلال هذا العمل. كما يوضح الشكل (7) هاتين الاستجابتين على نفس الشكل من أجل عرض حزمة نسبي 7% وعند التردد المركزي 1.5 GHz.

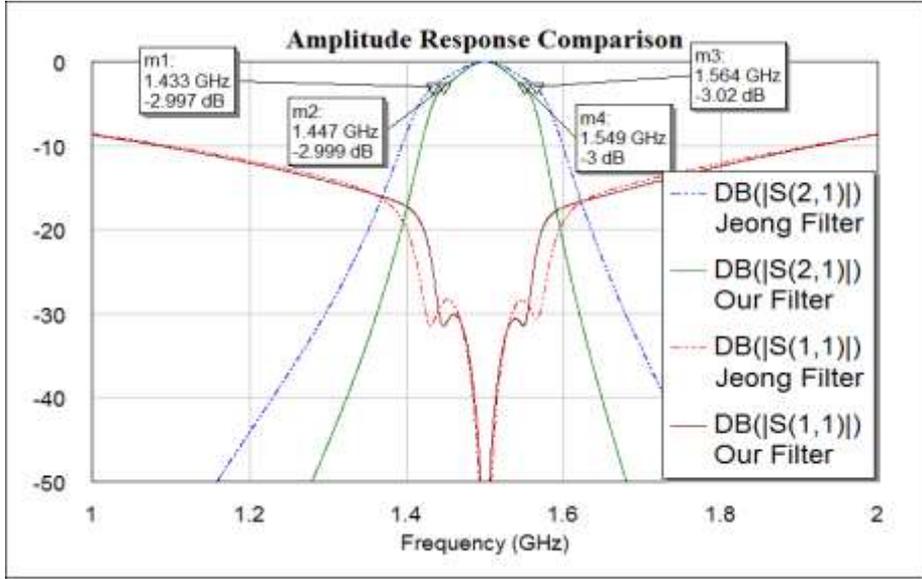
يتبين من الشكل (6) أن المرشح الذي تم تقديمه خلال هذا البحث يعطي حدة أقطع أفضل كما يتضح أيضاً أن معادلات وعلاقات التركيب المستنتجة ضمن هذا البحث تعطي نتائج أدق وذلك بالنظر الى ترددات القطع 3dB لكلا المرشحين. فترددات القطع للمرشح المركب في المرجع [2] هي  $f_1 = 1.433$  GHz و  $f_2 = 1.564$  GHz ومنه نجد

$$\Delta = 2 \frac{f_2 - f_1}{f_2 + f_1} = 0.087 = 8.7\%$$

وهي أكبر بـ 1.7% من عرض الحزمة الذي تم التركيب على أساسه وهو 7%. أما بالنسبة للمرشح الذي تم تركيبه وفق علاقات التركيب المستنتجة خلال هذا البحث فإن ترددات القطع هي  $f_1 = 1.447$  GHz و  $f_2 = 1.549$  GHz ومنه نجد

$$\Delta = 2 \frac{f_2 - f_1}{f_2 + f_1} = 0.068 = 6.8\%$$

وهي أصغر بـ 0.2% من عرض الحزمة الذي تم التركيب على أساسه وهو 7% وبالتالي تعطي طريقة التركيب المستنتجة ضمن هذا العمل نتائج أدق. تعود الدقة الأفضل في الحصول على عرض المجال المرغوب إلى العلاقة المستنتجة لعامل ميل النفاذية خلال هذا البحث والتي أخذت بعين الاعتبار مشتق  $\tan \theta$  خلال الاستنتاج.



الشكل(6)مقارنة استجابتي المرشح المركب في المرجع [2] والمرشح المصمم بحسب طريقة التركيب المستنتجة في هذا البحث.

4-2 تركيب وتصميم مرشح تمرير مجال قابل للتوليف للاستخدام في تطبيقات الراديو الإدراكي

## لمحة عن أنظمة الراديو الإدراكي

تقوم أنظمة الراديو الإدراكي بتحسس ومراقبة الطيف الترددي المستخدم وظروف الإنتشار والتداخل في البيئة المحيطة وعلى أساسه تقوم بتوليف ديناميكي لموسطات النظام بما يتلاءم مع هذه الظروف.

يستخدم الراديو الإدراكي العديد من تقنيات تحسس الطيف:

- كشف الطاقة (Energy detection)
- تحديد شكل الموجة (Waveform identification)
- التحسس باعتماد المرشح المتوافق (Matched-filter based sensing)
- التحسس باعتماد أخذ العينات (sub-sampling based techniques)

تندرج دراسة هذه التقنيات تحت علم معالجة الإشارة وهي ليست موضوع بحثنا. ولكن تتطلب جميع هذه التقنيات مرشحاً قابلاً للتوليف ضمن الواجهة الراديوية لنظام تحسس الطيف وهو موضوع دراستنا

## المرشح المناسب لتطبيقات الراديو الإدراكي

يعد المرشح ضيق الحزمة القابل لإعادة التشكيل الخيار الأنسب في تطبيقات الراديو الإدراكي وذلك لعدة أسباب وردت في المرجع [10] منها:

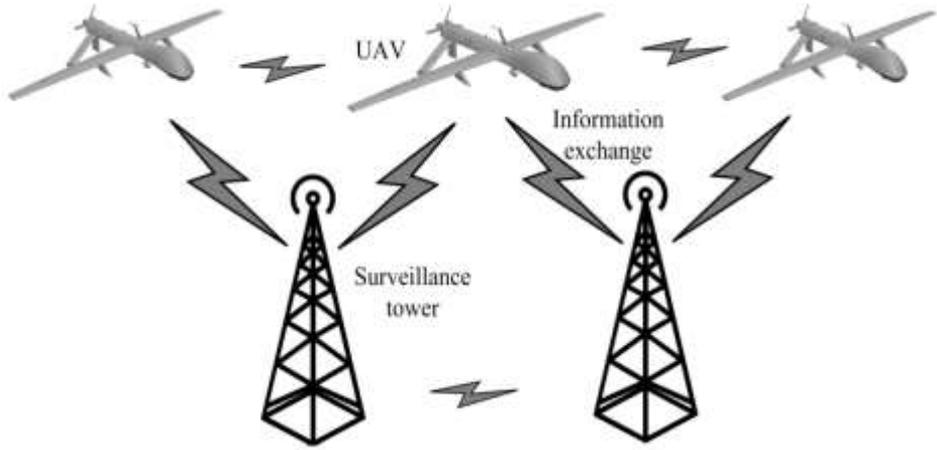
- محدودية الهوائيات عريضة الحزمة في تحسس الطيف المحيط حيث تعاني من تغير في نسبة الإشارة للضجيج كما أنها تتطلب مبدلات من تماثلي لرقمي (ADC) عالية السرعة وهي مبدلات تستهلك طاقة عالية وتعاني من خطأ تكمية (quantization error) كبير.

- تصميم واجهة أمامية راديوية عريضة الحزمة يعاني من محدودية في الأداء بسبب القيود المفروضة على تصميم الكثير من المكونات كالمكبر والمهتز والمزج (mixer) ومركب التردد (Frequency synthesizer) عند العمل بمجال ترددي عريض.
- يوفر المرشح القابل لإعادة التشكيل ضيق الحزمة مرونة ودقة أعلى في تحسس الطيف الترددي المحيط ويكبح التداخل غير المرغوب بشكل أفضل كما انه أسهل من حيث التنفيذ.

### 3-4 تركيب مرشح تمرير حزمة قابل لإعادة التشكيل بتردد مركزي $f_0$ (2.9-3.4) GHz وعرض مجال نسبي % (6-10)

تم اختيار المجال الترددي (2.9-3.4)GHz وهو كأحد المجالات التي تعمل عندها أنظمة شبكات الطائرات بدون طيار UAS Unmanned Aerial System. وهو نظام مكون من شبكة من الطائرات بدون طيار UAS والتي تتصل فيما بينها وتتصل أيضاً بمجموعة محطات أرضية لتشكل شبكة ad-hoc يمكن استخدامها لعدد من التطبيقات وردت في المرجع [3] مثل :

- مراقبة حركة المرور (Traffic Surveillance)
  - الاستشعار عن بعد (Remote Sensing)
  - ادارة الكوارث (Disaster Management)
  - تقدير حالة الرياح (Wind Estimation)
- وغيرها الكثير من التطبيقات.



الشكل (7) شبكات الطائرات بدون طيار (UAS)

تستخدم أنظمة UAS مفهوم الراديو الإدراكي لأنها تعمل بنطاقات ترددية غير مرخصة تتشارك فيها مجموعة من الأنظمة اللاسلكية وبالتالي لا بد من استخدام مفهوم الراديو الإدراكي لتحسس الطيف وتأمين وصول ديناميكي للطيف المتاح.

تم استخدام تطبيق الماتلاب الذي تم برمجته خلال هذا العمل لتكيب المرشح والذي أعطى قيم عناصر دائرة المرشح المدرجة في الجدول (4):

جدول (4) قيم عناصر دائرة مرشح تمرير الحزمة عديم الإنعكاس والقابل للتوليف بتردد مركزي  $f_0$  (2.9-3.4)GHz وعرض حزمة نسبي % (6-10) .

Frequency [GHz]	2.9			3.15			3.4		
Fractional Bandwidth (%)	6	8	10	6	8	10	6	8	10
$C_1$ [Pf]	1.08	1.37	1.7	0.93	1.22	1.57	0.78	1.07	1.41
$C_2$ [Pf]	3.74	2.75	2.07	3.21	2.44	1.9	2.7	2.14	1.72
Circuit Specification:	$Z_C = 30 [\Omega]$			$\theta_C = 89^\circ$			$R = 90 [\Omega]$		
	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$	$Z_6$	$Z_7$	$Z_8$	$Z_9$

	67.08	108.32	107.3	81.76	47.21	38.36	-	-	-
--	-------	--------	-------	-------	-------	-------	---	---	---

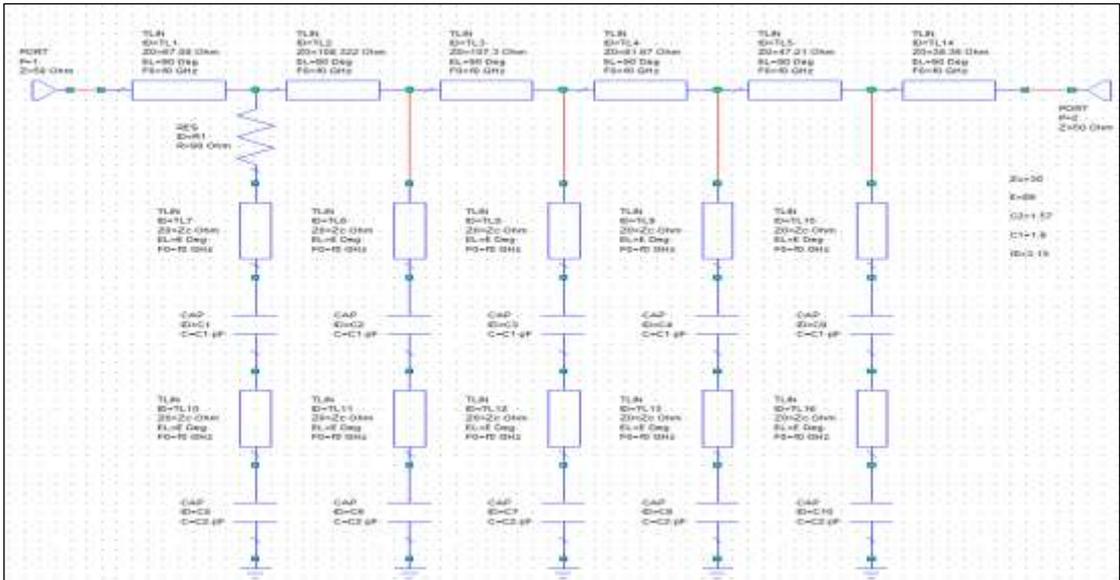
تم تصميم ومحاكاة المرشح ضمن بيئة AWR Microwave Office ويبين الشكل (8) مخطط الدارة لهذا المرشح.

الشكل (8) مخطط دارة مرشح تمرير الحزمة القابل لإعادة التشكيل بتردد مركزي  $f_0(2.9-3.4)$  GHz وعرض حزمة نسبي % (6-10).

#### 4-4 تصميم مرشح تمرير حزمة قابل لإعادة التشكيل بتردد مركزي $f_0(2.9-3.4)$ GHz وعرض حزمة نسبي % (6-10)

بعد عملية التركيب وحساب عناصر دارة المرشح تتم عملية التصميم وهي تتمثل بحساب الأبعاد الفيزيائية لدارة المرشح بحسب البنية المستخدمة .

استخدمنا حاسبة خطوط النقل (Transmission lines calculator) المضمنة في بيئة Ansys



لحساب الأبعاد الفيزيائية لبنية المرشح وذلك من أجل ركيزة ROGERS RO3003 بثابت عازلية نسبي  $\epsilon_r = 3$  و ارتفاعها  $h = 0.75$  [mm]. تم توليف هذه الأبعاد الابتدائية بعد

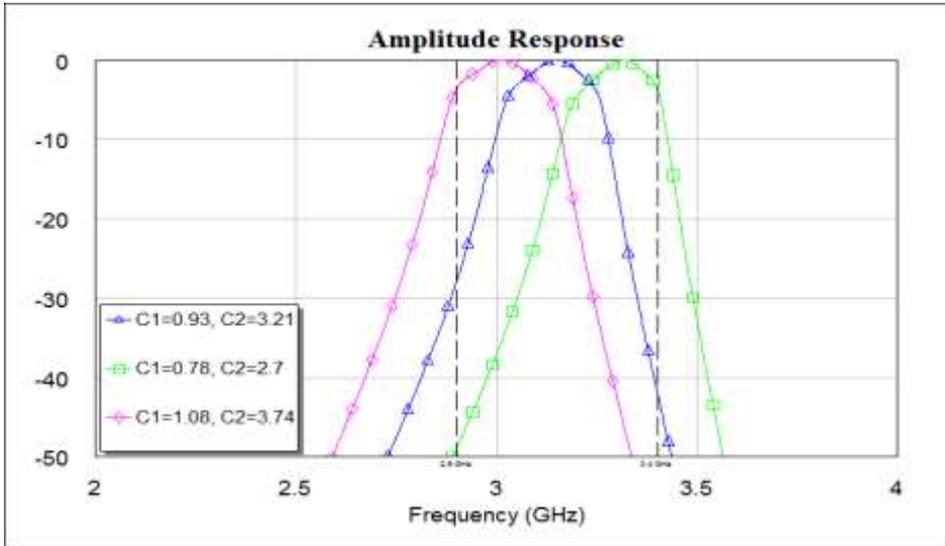
إجراء المحاكاة ويعطي الجدول (5) الأبعاد النهائية للمرشح المصمم ويوضح الشكل (9) رسم تخطيطي لهذه الأبعاد.

الشكل (9) رسم تخطيطي (Layout) يوضح الأبعاد الفيزيائية للمرشح المصمم.

جدول (5) الأبعاد التصميمية للمرشح المصمم .

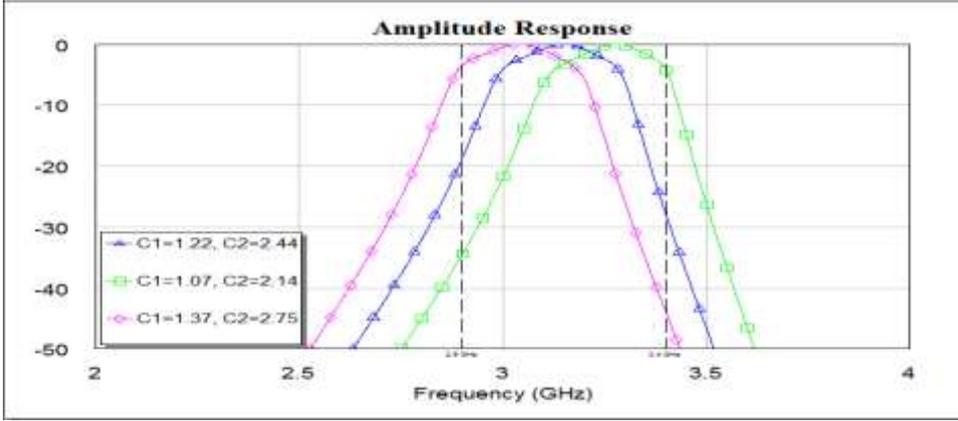
الأبعاد التصميمية للمرشح [mm]						
W <sub>1</sub>	1.86		W <sub>4</sub>	0.39		
L <sub>1</sub>	7		L <sub>4</sub>	15.9		
W <sub>2</sub>	1.13		W <sub>5</sub>	0.76		
L <sub>2</sub>	15.48		L <sub>5</sub>	15.6		
W <sub>3</sub>	0.38		W <sub>6</sub>	2.03		
L <sub>3</sub>	15.9		L <sub>6</sub>	15.1		
					W <sub>7</sub>	2.76
					L <sub>7</sub>	14.9
					W <sub>8</sub>	3.78
					L <sub>8</sub>	14.1

تمت محاكاة المرشح من أجل عرض حزمة 6% وتوليف التردد المركزي من 2.9 GHz الى 3.4 GHz ويبيّن الشكل (10) الاستجابة الناتجة.



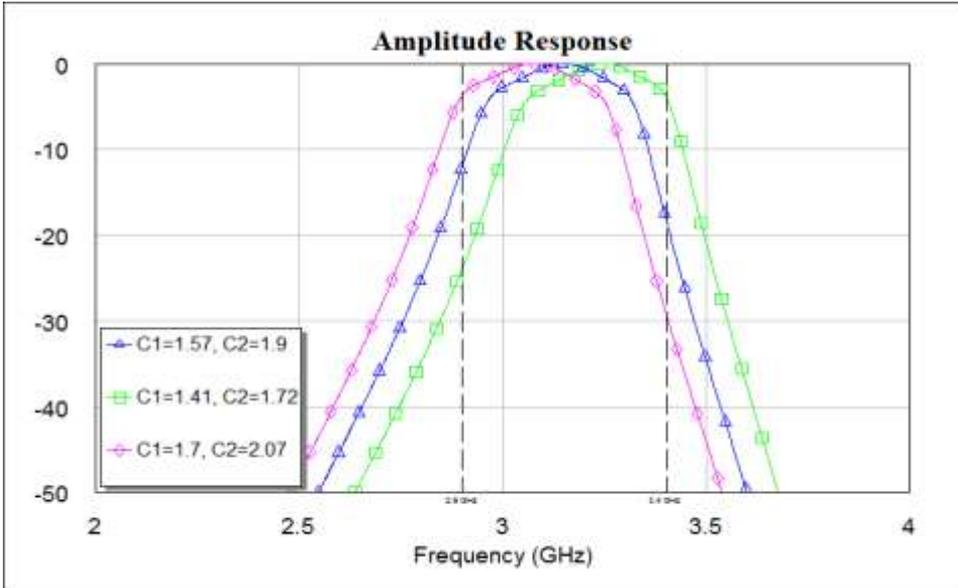
الشكل (10) استجابة المرشح المركب عند عرض حزمة 6% وتوليف التردد المركزي من 2.9 GHz الى 3.4 GHz

تمت محاكاة المرشح من أجل عرض حزمة 8% وتوليف التردد المركزي من 2.9 GHz الى 3.4 GHz وبيّن الشكل (11) الاستجابة الناتجة.



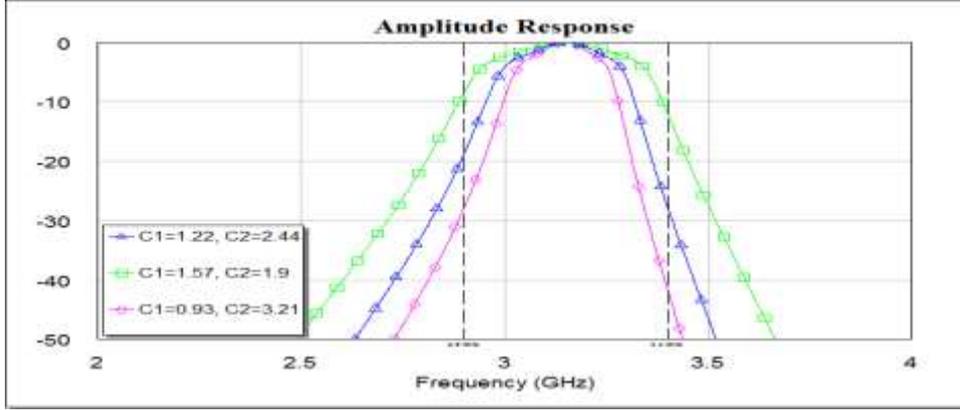
الشكل (11) استجابة المرشح المركب عند عرض حزمة 8% وتوليف التردد المركزي من 2.9 GHz الى 3.4 GHz.

تمت محاكاة المرشح من أجل عرض حزمة 10% وتوليف التردد المركزي من 2.9 GHz الى 3.4 GHz وبيّن الشكل (12) الاستجابة الترددية الناتجة.



الشكل (12) استجابة المرشح المركب عند عرض حزمة 10% وتوليف التردد المركزي من 2.9 GHz الى 3.4 GHz.

تمت محاكاة المرشح من أجل تردد مركزي 3.15 GHz وتوليف عرض الحزمة من 6% الى 10% ويبيّن الشكل (13) الاستجابة الناتجة.



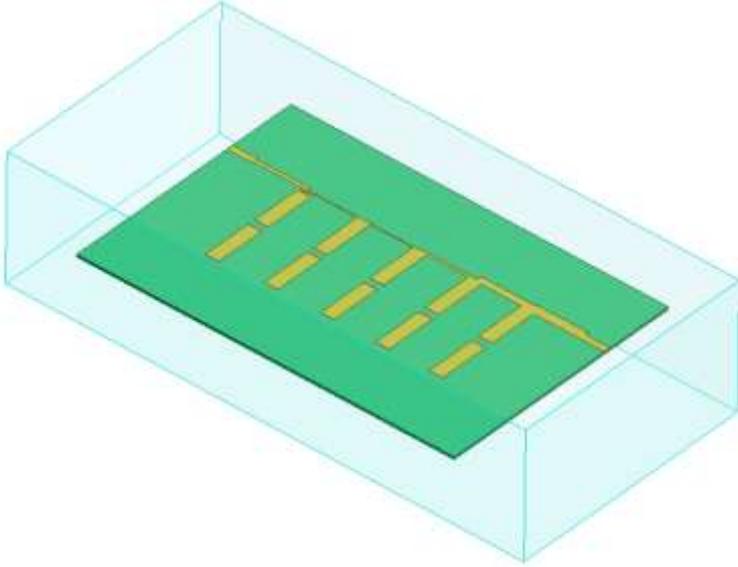
الشكل (13) استجابة المرشح المركب عند تردد مركزي 3.15 GHz وتوليف عرض الحزمة من 6% الى 10%.

تؤكد الاستجابات الموضحة في الأشكال السابقة دقة وصلاحيّة طريقة تركيب المرشح وكذلك طريقة حساب ساعات مقطع التوليف المستتجة ضمن هذا البحث.

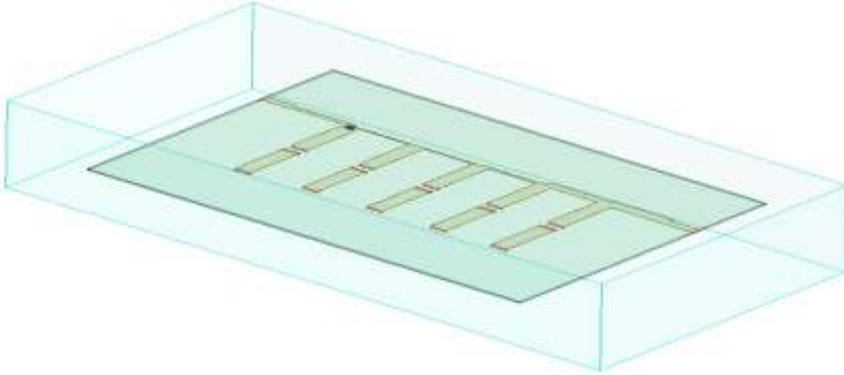
تم رسم المرشح ضمن قالب برمجية المحاكاة عالية التردد HFSS ضمن بيئة Ansys Electronic Desktop يوضّح الشكل (14) بنية المرشح المرسوم. لنمذجة المقاومة تم تعريف سطح عناصر مجموعة RLC Boundary مكان وضع المقاومة وفيه تم تحديد قيمتها  $R=90 \Omega$ . ولنمذجة طبقة الأرضي تم تعريف سطح ناقل مثالي PEC Boundary أسفل الركيزة.

تم أخذ سماكة النحاس  $t=0.017\text{mm}$  بعين الإعتبار عند تصميم النموذج.

لمحاكاة عناصر التوليف تم ترك مكانها فارغاً وتعريف منافذ Ports مكان وصل هذه العناصر الشكل (15) ومن ثم إجراء محاكاة كهرومغناطيسية EM Simulation. قمنا بعدها بتصدير النموذج الى قالب محاكاة الدارات الميكروية ضمن نفس بيئة Ansys Electronic Desktop ووصل عناصر التوليف مكان المنافذ المعرفة في نموذج HFSS.



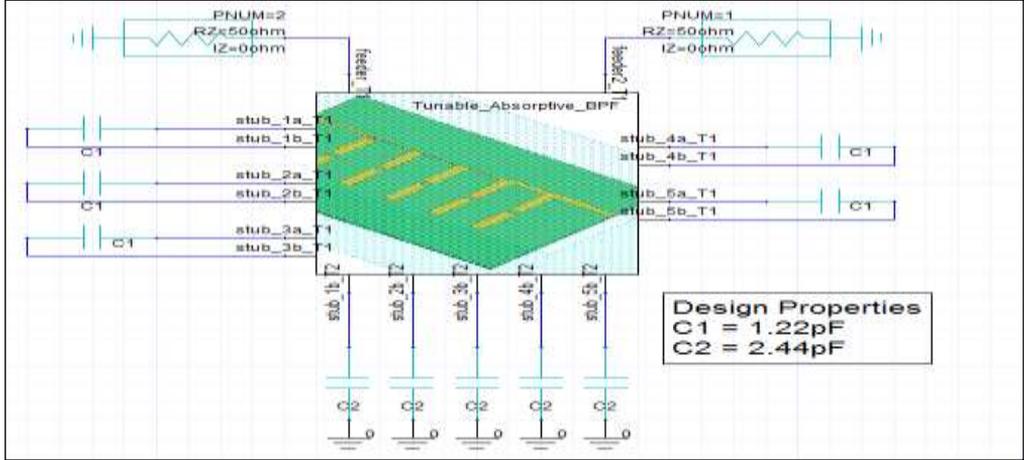
الشكل (14) بنية مرشح تمرير الحزمة المصمم ضمن قالب برمجية المحاكاة عالية التردد HFSS



الشكل (15) مكان تعريف المنافذ (Ports)

حيث سيتم وصل عناصر التوليف في بنية مرشح تمرير الحزمة المصمم مكان المنافذ التي تم تعريفها.

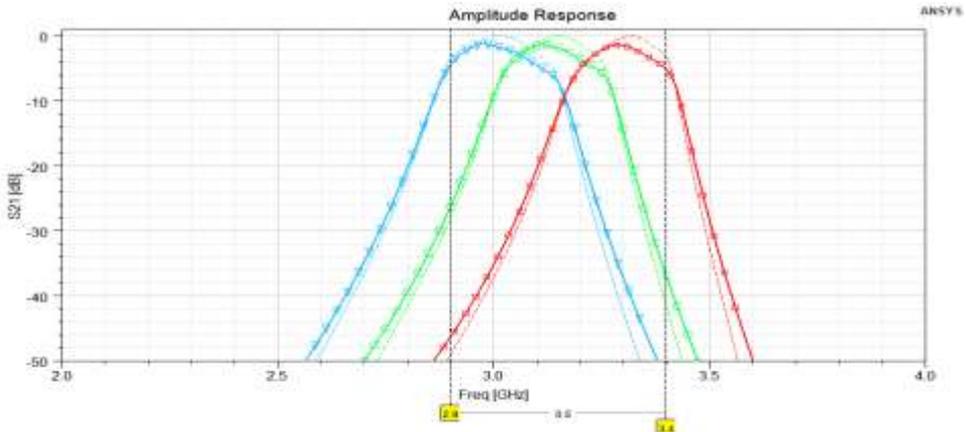
يبين الشكل (16) مخطط الدارة النهائية ضمن محاكي الدارات الميكروية حيث تم تصدير قالب HFSS ووصل عناصر التوليف.



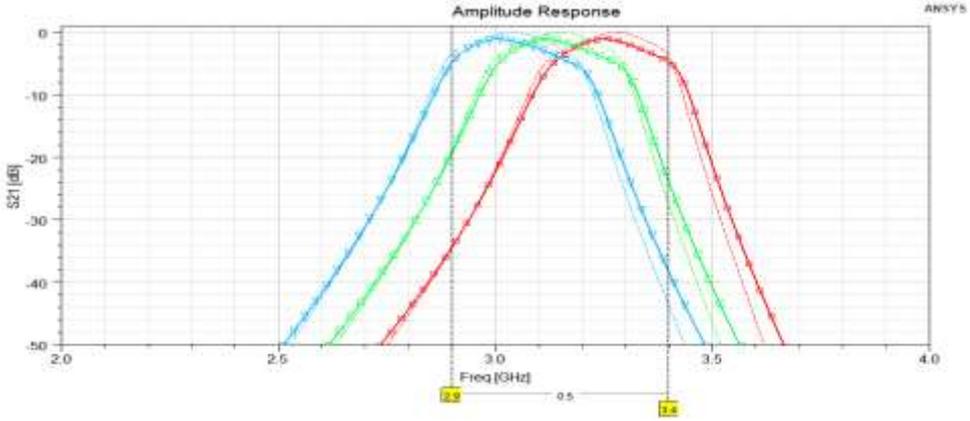
الشكل ( 16 ) مخطط دارة المرشح ضمن محاكي الدارات الميكروية في بيئة Ansys Electronics Desktop

توضح الأشكال من (17) إلى (20) نتائج المحاكاة ومقارنتها بالنتائج النظرية التي حصلنا عليها في الفقرة السابقة. حيث يمثل الخط المتقطع الإستجابة النظرية الناتجة عن محاكاة الدارات أما الخط الغامق والمؤشر فيمثل نتيجة المحاكاة الكهرومغناطيسية.

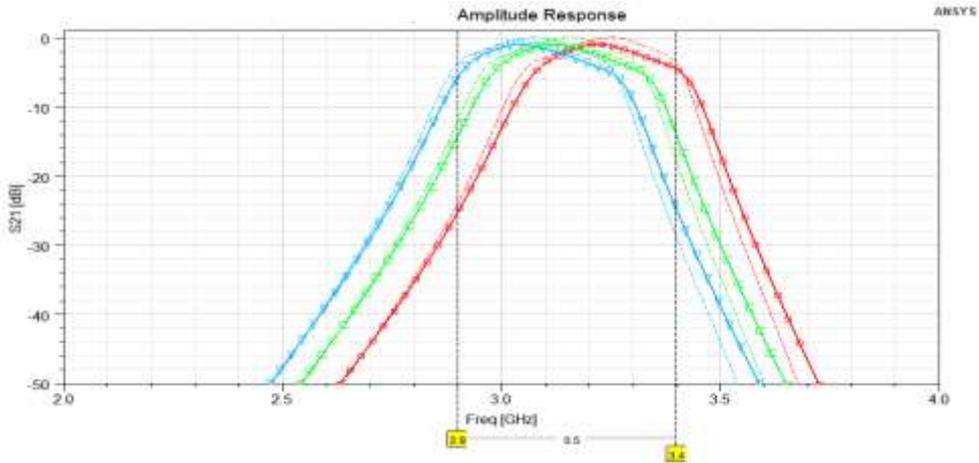
نلاحظ من الأستجابات تقارباً كبيراً بين النتائج النظرية ونتائج المحاكاة مما يؤكد صحة وصلاحيّة الطريقة المتبعة في التركيب والتصميم خلال هذا البحث.



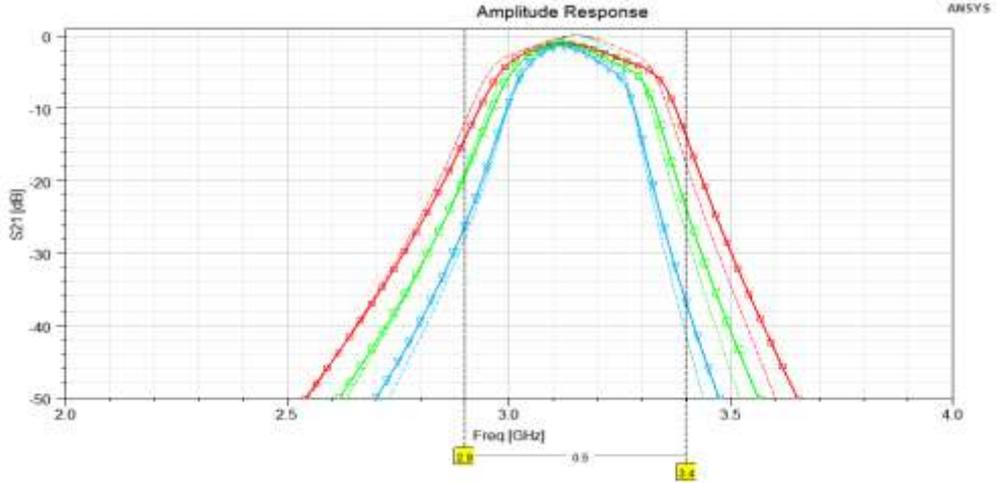
الشكل (17) استجابة المرشح المصمم عند عرض حزمة 6% وتوليف التردد المركزي من 2.9 GHz الى 3.4 GHz ومقارنتها مع الاستجابة النظرية.



الشكل (18) استجابة المرشح المصمم عند عرض حزمة 8% وتوليف التردد المركزي من 2.9 GHz الى 3.4 GHz ومقارنتها مع الاستجابة النظرية.



الشكل (19) استجابة المرشح المصمم عند عرض حزمة 10% وتوليف التردد المركزي من 2.9 GHz الى 3.4 GHz ومقارنتها مع الاستجابة النظرية



الشكل ( 20 ) استجابة المرشح المصمم عند تردد مركزي 3.15 GHz وتوليف عرض الحزمة من 6% الى 10% ومقارنتها مع الاستجابة النظرية.

يبين الجدول ( 6 ) مقارنة بين النتائج التي حصلنا عليها ضمن بحثنا مع نتائج أهم الدراسات الحديثة في مجال المرشحات الميكروية القابلة لإعادة التشكيل.

جدول ( 6 ) مقارنة نتائج العمل المنجز خلال هذا البحث مع نتائج أهم الدراسات في مجال المرشحات الميكروية القابل لإعادة التشكيل.

المرجع	ABW [MHz] (FBW%)	IL [dB]	مجال توليف التردد [GHz]	مجال توليف المكثفات (Varactors) [PF]
[1]	180-1390(12.8-99%) <sup>A</sup>	1.3-5.2	0.8-1.95(83.6%)	0.84-5
[2]	67.5-165 (5-10%) <sup>A</sup>	-	1.35-1.65 (20%)	2.91-8.72
[4]	137 (6-8.5%) <sup>A</sup>	1.99-4.17	1.6-2.27 (34.6%)	0.5-2.5
[5]	65-180 (6.5-18%) <sup>B</sup>	1.4-4.5	0.56-1.15 (69%)	0.69-18.22

0.63-2.67	1.29-1.71 (28%)	2.7-4.8	87-165 (5.8-11%) <sup>A</sup>	[6]
0.78-3.74	2.9-3.4 (15.8%)	0.92-1.42	169-319 (6-10%) <sup>A</sup>	العمل المنجز خلال بحثنا

من بين المرشحات القابلة لإعادة التشكيل المعتبرة في الجدول أعلاه فإن المرشح المصمم خلال هذا البحث يتميز بأداء جيد وفقد تمرير منخفض. وييدي المرشح المصمم خلال هذا البحث حزمة توليف عريضة للتردد المركزي وعرض النطاق وذلك بالنظر للمجال الصغير اللازم لتوليف المكثفات المتغيرة. كما يتميز بانتقائية عالية وامكانية توليف كلا التردد المركزي وعرض الحزمة النسبي له.

A : عرض حزمة 3 dB

B : عرض حزمة 1 dB

## 5- الاستنتاجات والتوصيات

تم في هذا البحث تقديم طريقة لتكوين وتصميم مرشح تمرير حزمة قابل لإعادة التشكيل عديم الإنعكاس. تعتمد طريقة التكوين على التحويل من نموذج تمرير منخفض أولي إلى مرشح تمرير حزمة برنانات عناصر مؤزعة تفرعية متعاقبة بينها عواكس سماحيات. جميع معادلات التصميم تم استنتاجها بشكل علاقات مباشرة وبذلك فإن تصميم مرشحات باستجابات مختلفة يتم بطريقة تحليلية ودون الحاجة لعملية أمثلة (Optimization) المتبعة في المرجعين [8] و [9] ودون اللجوء

لعملية التصميم بطريقة التجريب والخطأ trial-and-error process المتبعة عادةً في تصميم المرشحات الميكروية. لتجنب استخدام عواكس قابلة للتوليف وهو أمر صعب التحقيق عملياً، تم تقديم رنان أرومة (Stub Resonator) بتعدد رنين وعامل ميل نفاذية (Susceptance Slope Parameter) قابلين للتوليف. تم التوثق من الطريقة المستنتجة بتركيب وتصميم مرشح تمرير حزمة بتقانة الخطوط الشرائحية الميكروية يمكن توليف تردده المركزي وعرض الحزمة النسبي ضمن حزمة عمل ترددي يمكن استخدامه في تطبيقات الراديو الإدراكي.

تبين من خلال النتائج أنه قد تم تحسين دقة طريقة التركيب وكذلك انتقائية المرشح مقارنةً مع المرشح المصمم في الدراسات المرجعية [1] و [2] وهو أمر في غاية الأهمية لأنّ بناء نُظم اتصال قابلة للتكيف يتطلب مُرَشَّحات تتمتع بخاصيتي الانتقائية العالية والقدرة على التوليف.

يمكن متابعة هذا العمل مستقبلاً لتصميم مرشحات بأصفار تمرير (Transmission zeros) وذلك باستخدام رنانات مترابطة مع منفذ الخرج حيث يصف المرجع [7] مبدأ

عمل هذه الرنانات والتي تتيح التحكم بمواقع أصفار التمرير وعرض حزماتها عن طريق تردد رنين هذه الرنانات وقيم العواكس.

## 6- المراجع

- [1]. M. Fan, K. Song and Y. Fan, "Reconfigurable Bandpass Filter With Wide-Range Bandwidth and Frequency Control," in *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 68, no. 6, pp. 1758-1762, June 2021.
- [2]. S. Jeong, T. Lee and J. Lee, "Frequency- and Bandwidth-Tunable Absorptive Bandpass Filter," in *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 67, no. 6, pp. 2172-2180, June 2019.
- [3]. H. Islam, S. Das, T. Bose and T. Ali, "Diode Based Reconfigurable Microwave Filters for Cognitive Radio Applications: A Review," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 185429-185444, 2020.
- [4]. W.-J. Zhou and J.-X. Chen, "High-selectivity tunable balanced bandpass filter with constant absolute bandwidth," *IEEE Trans. Circuits Syst. II, Exp. Briefs*, vol. 64, no. 8, pp. 917–921, Aug. 2017.
- [5]. G. Zhang, Y. Xu, and X. Wang, "Compact tunable bandpass filter with wide tuning range of centre frequency and bandwidth using short coupled lines," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 2962–2969, 2018.
- [6]. D. Tian, Q. Feng, and Q. Xiang, "A fully tunable two-pole bandpass filter using the resonator with asymmetrical capacitances," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 61, no. 12, pp. 2843–2846, Dec. 2019
- [7]. S. Nam, B. Lee, B. Koh and J. Lee, "Reconfigurable Bandpass Filter With Resonators in Cul-De-Sacs for Producing Notches," in *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, vol. 7, no. 9, pp. 1531-1542, Sept. 2017
- [8]. M. A. Morgan and T. A. Boyd, "Theoretical and experimental study of a new class of reflectionless filter," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 59, no. 5, pp. 1214–1221, May 2011.

[9]. M. A. Morgan and T. A. Boyd, “Reflectionless filter structures,” IEEE Trans. Microw. Theory Techn., vol. 63, no. 4, pp. 1263–1271, Apr. 2015.

[10]. T.-H. Lee, B. Lee, and J. Lee, “First-order reflectionless lumped-element lowpass filter (LPF) and bandpass filter (BPF) design,” in IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig., San Francisco, CA, USA, May 2016, pp.

## تحسين الحماية التآكلية للفولاذ باستخدام طلاءات

### بوليميرية مركبة نانوية PMMA/TiO<sub>2</sub>

المهندسة : احلام محسن عيسى ماجستير في هندسة تقانة الاغذية

في كلية الهندسة التقنية جامعة طرطوس

#### الملخص:

في هذا البحث تم تحضير طلاءات مركب نانوي ذو أساس بوليميري من البولي مثيل ميثاكريلات PMMA مدعم بدقائق اوكسيد التيتانيوم النانوية بمعدل حجم حبيبي 75 نانومتر وبنسب اضافة 2.0 , 1.5 , 1.0 , 0.5 , 0 wt % . رسبت الطلاءات على سطوح الواح من الفولاذ الكربوني باستخدام طريقة الغمر وتم تشخيص التركيب الكيميائي للطلاءات المترابطة باستخدام مطياف الأشعة تحت الحمراء FTIR. اجري اختبار التآكل بواسطة الغمر في محاليل حامضية وملحية عند درجة حرارة الغرفة، وتم قياس مقدار فقدان في الوزن وحساب معدل

التآكل كدالة لزمان التعرض كمييار لتأثر الفولاذ الكربوني بوسطي التآكل المختلفين. أكدت النتائج إن مقاومة التآكل لطلاءات المترابطة النانوية TiO<sub>2</sub>/PMMA تبدي تحسنا ملموسا مقارنة بطلاءات البولي مثيل ميثاكريلات النقية في الأوساط التآكلية الحامضية والملحية.

الكلمات المفتاحية: أوكسيد التيتانيوم النانومرتري، طلاءات مترابطة نانوية، مقاومة التآكل.

## Improving the corrosion protection of steel using polymeric nano composite coatings( PMMA/TiO<sub>2</sub>)

### Abstract

In this study polymer based nano composite coatings were prepared from Poly methyl methacrylate (PMMA) reinforced by TiO<sub>2</sub> nanoparticles with average particle size of 75 nm and with different percentage (0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 wt.%). The coatings were applied on carbon steel sheets by dip-coating method. The chemical composition of the nano composite coatings was investigated by FTIR spectroscopy. Corrosion behavior of the coated carbon steel has been done by immersion method in acid and salt solutions at room temperature. The weight loss and corrosion rate as a function of exposure time have been measured as an indication for the effect of the carbon steel by different corrosive media. Experimental results confirm that the PMMA/TiO<sub>2</sub> nano composite coatings enhanced the corrosion resistance of steel in comparison with pure PMMA coatings in both acid and salt corrosive media.

Keywords: Nano-TiO<sub>2</sub>, nano composite coatings, corrosion resistance.

## 1. المقدمة:

تعد تقنية النانو اليوم واحدة من أهم ميادين البحث العلمي وربما تعد المفتاح العلمي للعديد من المشكلات العلمية، إذ انها توفر امكانية فريدة وغير مسبوقه للتحكم بالذرات والجزيئات لتشكيل مواد وأدوات وعلى المقياس النانوي. يؤكد العلماء إن هذه التقنية ستلقي بظلالها على كافة المجالات التطبيقية وخصوصاً الصناعية بالإضافة إلى الصحة والطب والالكترونيات والنقل والطاقة والبيئة وغيرها [ 1,2 ]. ولهذه التقنية الأثر الكبير في إيجاد الحلول الجذرية للعديد من المشاكل الصناعية الصعبة مثل مشكلة التآكل، التي تعد واحدة من اعقد المشكلات التي تعاني منها الدول المتطورة والنامية في العالم على حد سواء، اذ تظهر في العديد من القطاعات الصناعية الهامة مثل تآكل هياكل وانابيب الفولاذ في المنشآت النفطية وأنظمة النقل ويتسبب التآكل في إحداث خسائر اقتصادية هائلة ناتجة عن التوقفات وانخفاض الانتاج والكوارث البيئية

[3,4]. كما لا يسبب التآكل خسائر اقتصادية وعراقيل تقنية فقط ولكنه يحدث حالات مختلفة من الفشل نتيجة التآكل في تراكيب الخرسانة المسلحة والطائرات والسيارات وانابيب نقل النفط والغاز، وفي حالات أخرى يمكن أن يسبب تأثيراً ضاراً على البشر والبيئة المحيطة بهم [ 5]. لقد أنتجت

الدراسات العديد من طرائق الحماية من التآكل يتعلق أهمها بأختيار المواد الملائمة او تغيير البيئة المحيطة او التصميم المناسب [6] او استعمال طلاءات الحماية.

لقد جذبت الطلاءات المقاومة للتآكل الانتباه لعدة سنوات لبساطتها وكفاءتها وكلفتها المنخفضة نسبياً، وركزت البحوث على تطوير الطلاءات بحيث تلبى متطلبات مختلفة مثل سهولة التطبيق والاداء العالي وانخفاض الكلفة والقدرة على التحمل لفترات طويلة والملائمة للبيئة [ 7]. كما لعبت الطلاءات العضوية الدور الرئيسي في الحماية من تآكل المعادن وتم استخدامها في العديد

من الصناعات وأظهرت مقاومة جيدة للتآكل ولكنها من جانب اخر تعاني من ضعف التصاقيتها بسطوح المعادن وامتلاكها لخصائص ميكانيكية رديئة نسبياً ]

[8]. والطريقة الانسب لتحسين خصائص هذه الطلاءات تتم من خلال إضافة مواد مألوفة معينة تمتلك خواص فيزيائية وكيميائية مرغوبة [9]. يعتبر اوكسيد التيتانيوم TiO<sub>2</sub> من المواد السيراميكية التي تمتلك خواص فيزيائية وكيميائية فريدة اتاحت استخدامه في العديد من المجالات مثل الطلاءات الانتقائية والخلايا الشمسية، وكذلك استخدمت لتحسين الخواص الميكانيكية والفيزيائية للمواد المترابكة وفي تحسين مقاومة الاهتراء [10, 11]. تتيح المترابكات النانوية ذات الأساس البوليميري - إمكانية الجمع بشكل فعال بين فوائد البوليمرات العضوية مثل المرونة ومقاومة الماء وخصائص المواد اللاعضوية النانوية مثل الصلابة ومقاومة التآكل وبالتالي يمكن تحسين أداء البوليمرات بشكل ملحوظ من خلال إضافات قليلة نسبياً [12]. المترابكات النانوية تتكون من مواد ذات اطوار نانوية ومواد اخرى والتي تحسن من أداء المواد التقليدية ويتم تصنيعها بمدى واسع من العمليات مثل البلمرة والمطول-هلام والتريذ والليزر [13]. قام عدد من الباحثين بتحضير طلاءات لمترابكات نانوية بوليميرية ودراسة دورها في تقليل التآكل وركزت معظم البحوث على استخدام بوليمرات الايبوكسي والبولي انيلين لما يمتلكان من مقاومة للتآكل [14,15]. بينما حاول باحثون اخرون تحسين مقاومة التآكل للبولي ميثاكريللايت من خلال تدعيمه بمواد سيراميكية مايكروية حيث تم تحضير طلاءات من تدعيم Hexagonal-BN PMMA بنسب مختلفة ودراسة تأثير هذه الطلاءات على مقاومة تآكل الفولاذ المقاوم للصدأ وقد لوحظ تحسن في مقاومة التآكل في أوساط تاكليه مختلفة [9]. كما استخدمت طريقة المطول هلام في تحضير مترابكات من Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و PMMA وترسيبها على الفولاذ الكربوني باستخدام تقنية الطلاء بالبرم وقد أبدت الطلاءات تحسن في مقاومة تآكل الفولاذ الكربوني [16]. يهدف البحث الحالي الى تحضير طلاءات نانوية مترابكة ذات أساس بوليميري من البوليمير ميثاكريللايت وتدعيمها بنسب مختلفة من دقائق اوكسيد التيتانيوم النانوية، ودراسة إمكانية تأثير الإضافات على تحسين الحماية التآكلية للفولاذ الكربوني في الأوساط الملحية والحامضية.

## 2.المواد وطرائق العمل:

يعد البولي مثيل ميثاكريلات PMMA احد انواع البوليمرات العضوية ويمتلك الصيغة الكيميائية  $CH_2C(CH_3)(CO_2CH_3)_n$  والمادة المستخدمة في البحث هي مسحوق مجهز من قبل شركة SpofaDenta اما وأوكسيد التيتانيوم النانوي  $TO_2$  فهو مجهز من شركة Hongwu Nanometer الصينية بمواصفات حجم حدود حبيبي 50 نانو متر وبنقاوة 99,8% وتم اختيار سبيكة من الفولاذ الكربوني كقواعد لدراسة التآكل في أوساط تأكلية مختلفة.

حضرت طلاءات المتراكبات النانوية وفقا للنسب الوزنية الموضحة في الجدول (1) وذلك بإضافة كمية من مسحوق  $TO_2$  النانومتري في مذيب الكلوروفورم واجراء عملية التشتيت باستخدام جهاز مجس الموجات فوق الصوتية لمدة عشر دقائق يتبعها اضافة الكمية المطلوبة من PMMA بشكل تدريجي مع استمرار عملية التشتيت والخلط لمدة ساعة واحدة بدرجة حرارة الغرفة 27 درجة سيليسيوس بعدها يترك المحلول لمدة 24 ساعة قبل بدء عملية الطلاء.

جدول (1): النسب الوزنية المنوية لطلاءات المتراكبات  $PMMA/TiO_2$ .

المكونات	رمز النموذج					
	ST	PMT00	PMT05	PMT10	PMT15	PMT20
PMMA wt. %	-	100	99.5	99	98.5	98
$TiO_2$ wt. %	-	-	0.5	1	1.5	2

تم طلاء نماذج الفولاذ الكربوني بالمتراكبات النانوية وفق مراحل متعددة، إذ تم تهيئة نماذج من الفولاذ الكربوني بأبعاد  $3 \times 20 \times 20$  mm وتهيئة سطوح هذه النماذج بشكل متماثل تقريبا بواسطة عملية التعقيم لإزالة أصدأ والخشونة السطحية والزوايا الحادة غير المرغوب فيها بورق تعقيم متدرج لغاية درجة 600 وتم غسل النماذج بالماء المقطر وتنظيفها بالكحول وتجفيفها بغاز النتروجين الجاف. تم الطلاء النماذج بتقنية الغمر إذ يغمر النموذج لمدة ثلاث دقائق ثم توضع في الفرن لمدة 4 ساعات بدرجة حرارة 70 درجة سيليسيوس . ولغرض

إجراء اختبارات التآكل في المحاليل الحامضية والملحية تم تهيئة العينات وفقا للمواصفة القياسية ASTM G1

واعتمدت الطريقة الوزنية في حساب معدل التآكل لكل نموذج [ 17 ]. يتم قياس الوزن الابتدائي

قبل اجراء اختبارات التآكل في الاوساط المختلفة ثم اجراء اختبارات نماذج المجموعة الاولى بغمرها بشكل كامل في محلول حامضي NHCL لمدة 20 ساعة عند درجة حرارة الغرفة 27 درجة سيلسيوس . خلال الاربعة ساعات الأولى من تعرض النماذج لوسط التآكل في المحلول يتم رفع النماذج كل ساعة واحدة وتجفف ثم يتم وزنها وإعادتها في المحلول ليتم حساب التغير في الوزن لكل نموذج ، وبعد إنتهاء مدة تعرض 20 ساعة يتم رفع النماذج وتجفيفها وإعادة وزنها ليتم حساب التغير في الوزن النهائي لكل نموذج. اما المجموعة الثانية فقد أجريت عليها اختبارات التآكل بغمرها بشكل كامل في محلول ملحي NACL 5WT% لمدة 21 يوم في درجة حرارة الغرفة 27 درجة وبعد انتهاء مدة التعرض لوسط التآكل رفعت وجففت عند درجة حرارة الغرفة وتم قياس وزنها النهائي [ 9]. اما معدل التآكل فقد تم حسابه وفقا للعلاقة :

$$\text{Corrosion Rate (mpy)} = \frac{3.45 \times 10^6 \cdot W}{A \cdot T \cdot D}$$

اعتمدت تقنية حيود الأشعة السينية لتحديد التركيب البلوري لمادة TO2 النانوي باستخدام جهاز حيود الأشعة السينية نوع Shimadzu XRD-6000 الموجود في المعهد الهالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا وتم قياس حجم الدقائق باستخدام المجهر الالكتروني نوع HITACHI الموجود في المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا .

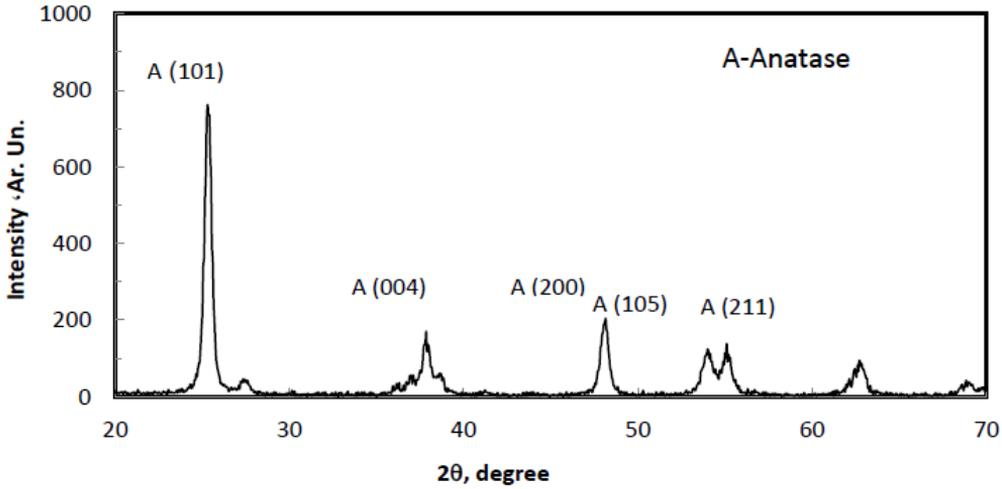
ولغرض تشخيص التراكيب الكيميائية للمترابكات النانوية تم استخدام مطياف تحويلات فوريير للأشعة تحت الحمراء نوع FTIR-8400S, Shimadzu الموجود ايضا في المعهد العالي للعلوم التطبيقية كما درست مورفولوجية سطح النموذج قبل وبعد الطلاء باستخدام المجهر الضوئي نوع DXM1200FNikon وتم تحديد سمك الطلاء باستخدام جهاز Erichsen MINITE الشكل ( 1 ) يبين صور لنماذج الفولاذ الكربوني قبل وبعد الطلاء بالمترابكات النانوية والذي يوضح مدى التجانس العالي لطبقة الطلاء على النماذج المعدنية وعدم وجود أية عيوب سطحية



الشكل (1) : صور فتوغرافية للنماذج بعد اجراء عملية التنعيم والطلاء.

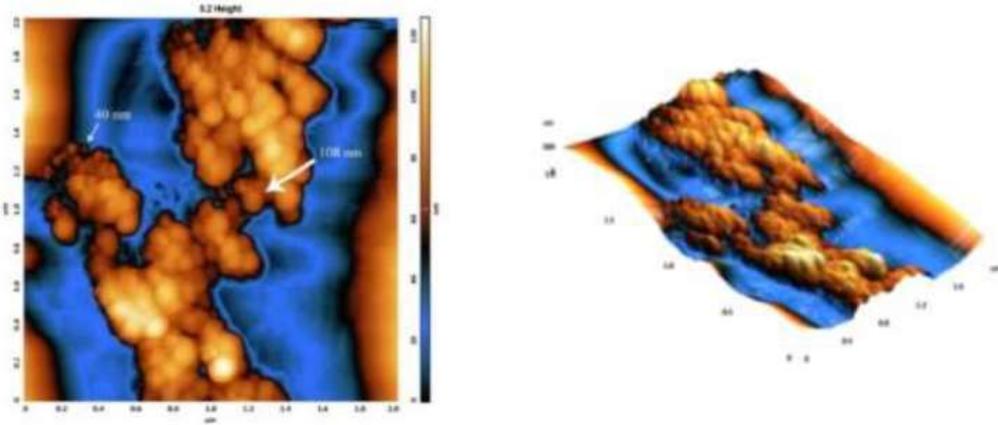
### 3. النتائج والمناقشة:

يوجد ثاني أكسيد التيتانيوم بثلاث اشكال بلورية هي الاناتايس Anatase والروتايل Rutile والبروكايت Brookite وقد أكدت تحليلات حيود الاشعة السينية الموضحة في الشكل (2) ان تركيب  $TiO_2$  هو متعدد التبلور وهو نوع من الاناتايس من خلال المقارنة مع طيف المادة القياسي [8].



الشكل (2) طيف حيود الأشعة السينية لمسحوق أكسيد التيتانيوم النانوي

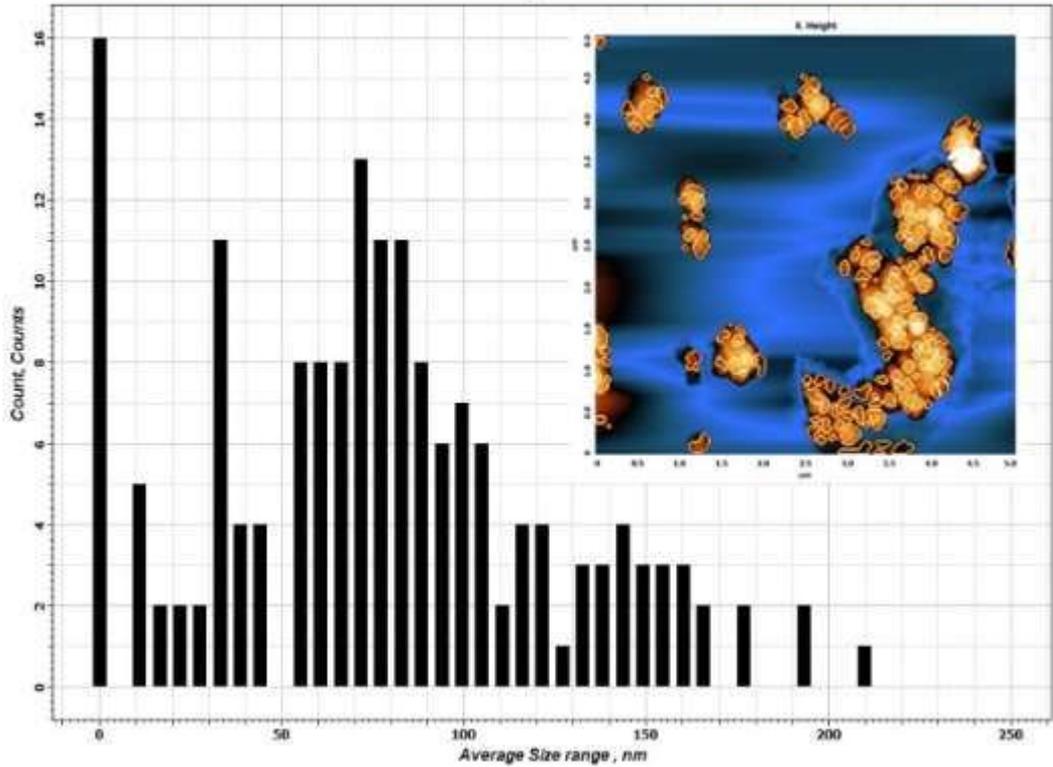
الشكل (3) يبين صور ثنائية وثلاثية الأبعاد تمت باستخدام المجهر الإلكتروني، إذ تم ترسيب كمية صغيرة من مسحوق TiO<sub>2</sub> على شريحة زجاجية ليتم حساب شكل وحجم وتوزيع للدقائق.



الشكل (3) صورة ثنائية وثلاثية الأبعاد باستخدام المجهر الإلكتروني  
بأبعاد 2\*2 nm

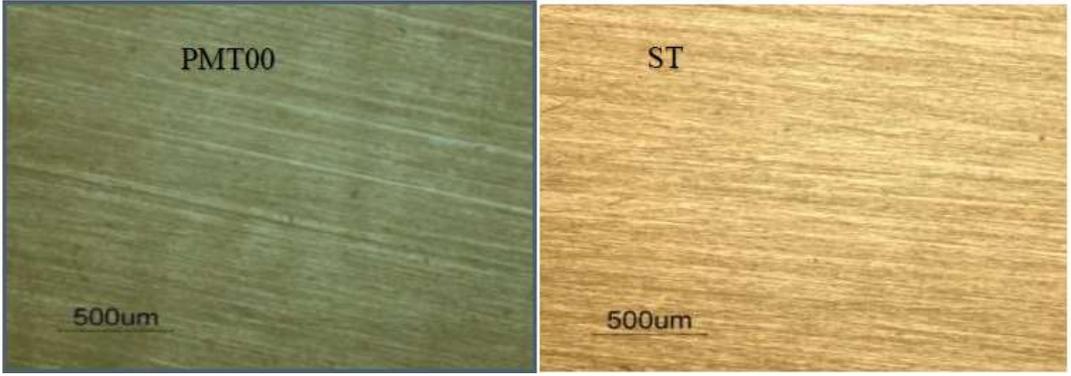
والشكل (4) يوضح التوزيع الاحصائي لحجم دقائق ثاني أكسيد التيتانيوم النانومتري حيث نلاحظ إن معظم حجوم دقائق TiO<sub>2</sub> كانت اقل من 200 نانومتر ووجد ان معدل حجم الدقائق هو بحدود 75 نانومتر وهي قيمة اعلى

من مواصفة المادة ويعزى ذلك الى حصول تكتلات للمسحوق النانوي اثناء عملية الفحص كما يظهر في الشكل (3)



الشكل (4) يبين التوزيع الاحصائي لحجم الدقائق  $TiO_2$

الشكل (5) يوضح صور مجهرية لسطح النموذج قبل وبعد الطلاء ونلاحظ ان طلاء بمادة PMMA شفاف وبشكل متجانس ومنتظم على سطح الشرائح المعدنية ولم تظهر أية مؤشرات على وجود تكتلات او مسامات او عيوب سطحية في طبقة الطلاء.



الشكل ( 5 ) صور المجهر الضوئي لسطح النموذج قبل وبعد الطلاء

تم قياس سمك طلاءات المتراكبات النانوية والنتائج موضحة في الجدول (2)، اذ يلاحظ أن سمك طلاءات المتراكبات معظمها متقاربة على الرغم من الصعوبة النسبية في الحصول على نفس السمك باستخدام تقنية الغمر، وهذا يؤكد مدى الدقة في اختيار الظروف الملائمة للتحضير وفي عملية الغمر والسحب للنماذج في محلول المتراكبات ولفترات زمنية محددة، وإن معدل سمك الطلاء كان بحدود 28.3 نانو متر لجميع الطلاءات المحضرة.

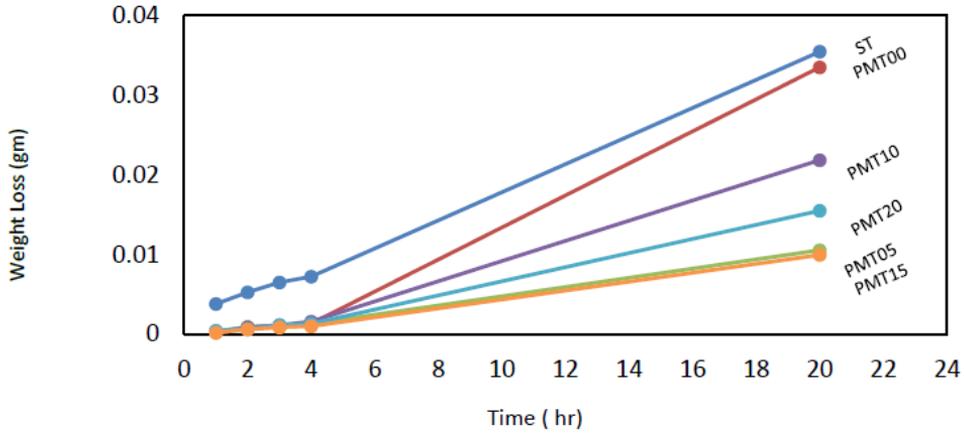
جدول (2) سمك طلاءات المتراكبات PMMA/TiO<sub>2</sub>

سمك الطلاء (µm)	رمز النموذج
26.5±0.5	PMT00
25±0.5	PMT05
24.5±0.5	PMT10
37.5±0.5	PMT15
28±0.5	PMT20

#### تحاليل التآكل:

الشكل ( 7 ) يبين العلاقة بين فقدان الوزن للنماذج المطلية كدالة لزمن التعرض في محلول NHCL. يمكن تقسيم المنحني في الشكل الى قسمين هما منطقة الازمان القصيرة ومنطقة الازمان الطويلة، يلاحظ في منطقة الازمان القصيرة تفاوت بسيط في مقاومة التآكل بين النماذج المطلية خلال الأربع ساعات الاولى من الغمر بحيث يصعب التمييز

بينهما وجميع النماذج المطلية تبدي تحسن جيد وواضح في مقاومة التآكل مقارنةً بمقاومة تآكل النموذج غير المطلي ST اما في منطقة الزمن الطويل خلال 20 ساعة من الغمر نلاحظ تفاوت كبير في مقاومة تآكل النماذج المطلية حيث نجد النموذج PMT00 يبدي مقاومة ضعيفة مقارنة بالنموذج غير المطلي ST لأن مقاومة التآكل لنموذج الفولاذ المطلي بالبولي مثيل ميثاكريلات ضعيفة في الحمض. ويلاحظ فرق واضح لتفاوت السلوك التآكلي بين النموذج PMT00 والنماذج المطلية بالمتراكبات النانوية PMMT-TiO<sub>2</sub> [9]. وهذا يدل على ان تدعيم PMMT\TiO<sub>2</sub> في الطلاء تحسن من مقاوته للتآكل في الوسط الحمضي.



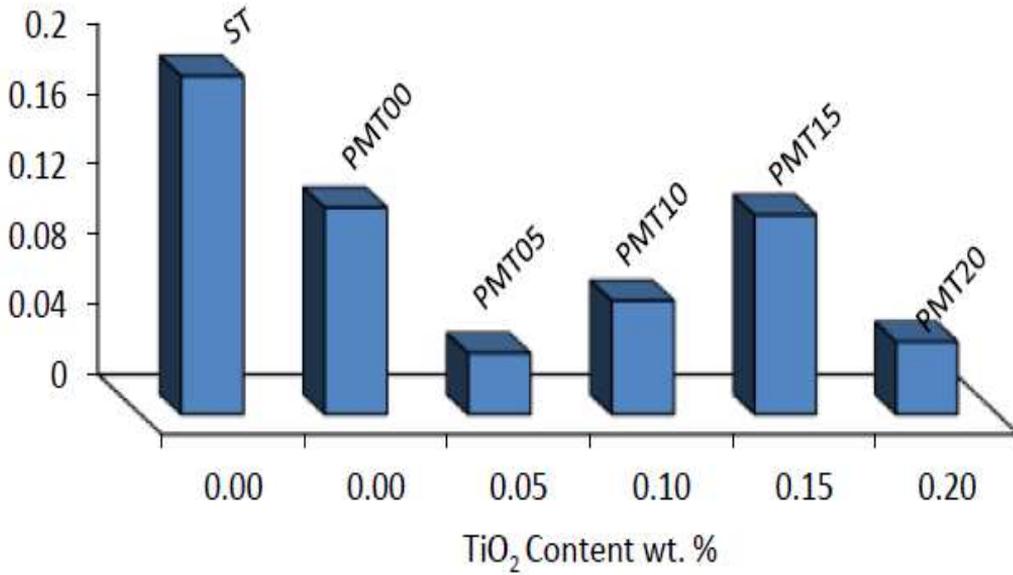
الشكل (7) العلاقة بين فقدان الوزن للعينات المطلية دالة لزمان التعرض في محلول NHCL

يوضح الجدول (3) معدل تآكل العينات في المحلول الحامضي بعد مرور 20 ساعة من الغمر في المحلول الحامضي . حيث اظهر النموذج PMT05 تحسن واضح في مقاومة للتآكل مقارنةً بالنماذج الاخرى. بينما اظهر النموذج PMT15 ادنى معدل للتآكل في الوسط الحمضي مقارنة بباقي النماذج المحضرة وسجل اعلى نسبة تحسن وصلت الى حوال 73 % ، وقد يعود السبب في ذلك الى تأثير السمك العالي نسبيا لهذا النموذج مقارنة بالنماذج الاخرى.

## جدول (3) معدل تآكل العينات في المحلول الحامضي بعد مرور 20 ساعة غمر.

رمز العينة	سمك الطلاء (um)	الفقدان بالوزن (mg)	معدل التآكل (mpy)	نسبة التحسن
ST	-	35.45	74.81	-
PMT00	26.5	33.50	70.02	6.40%
PMT05	25.0	10.55	25.44	65.99%
PMT10	24.5	21.85	45.11	39.70%
PMT15	37.5	9.95	20.60	72.46%
PMT20	28.0	15.50	31.29	58.17%

في الشكل ( 8 ) يلاحظ انخفاض واضح في السلوك التآكلي للنماذج المطلية بالمقارنة مع النموذج غير المطلي بينما النماذج المطلية في الوسط الملحي . إذ انخفض معدل تآكل النموذج PMT00 بنسبة % 36 مقارنة بالنموذج غير المطلي ST. بينما النماذج المطلية بالمتراكبات النانوية PMMA\TiO<sub>2</sub> ابدت انخفاض اكبر ولكن بدرجات متفاوتة. تأثر معدل التآكل نتيجة إضافة دقائق نانوية من ثاني اوكسيد التيتانيوم بنسب وزنية مختلفة اذ أظهر النموذج PMMA05 زيادة ملحوظة في مقاومة التآكل عن النموذج PMT00 إذ قل معدل تأكله بنسبة % 80 بينما معدل التآكل للنموذج PMT20 قل بنسبة % 76 ومعدل التآكل للنموذج PMT15 قل بنسبة % 45 وذلك على الرغم من ان سمك هذا النموذج اعلى من بقية النماذج مما يؤكد ان عامل السمك ظهر بدرجة أهمية اقل من تأثير عامل الاضافة.



الشكل ( 8 ) العلاقة بين نسب الاضافة ومعدل التاكل في المحلول الملحي

الشكل (9) يبين تأثير فترة التعرض للمحلول الحامضي في سلوك التآكل للنماذج ومن خلال ملاحظة اسطح النماذج نجد تفوق ملحوظ في مقاومة التآكل للنماذج المطلية بالمتراكبات في المحلول الحامضي مقارنةً بالنموذج غير المطلية وخصوصا النماذج المطلية بالمتراكبات النانوية PMMT-TiO<sub>2</sub> إذ يلاحظ وجود تأثيرات طفيفة على سطح طلاء النموذج PMT15 و سطح طلاء النموذج PMT05 فكل النموذجين كانا خاليين من التشوهات السطحية والنقر أو أية مظاهر مميزة لحالات التآكل . بينما يوجد تأثيرات واضحة على طلاء النموذج PMT10 مما يعني انخفاض واضح في مقاومة التآكل الكيميائي في الوسط الحمضي.



الشكل (9) صور لسطح النماذج بعد التآكل في محلول NHCL

الشكل ( 10 ) يوضح تأثير المحلول الملحي في السلوك التآكلي للنماذج خلال فترة زمنية مقدارها 21 يوم وقد أبدى النموذج PM00 تحسن في مقاومة التآكل مقارنةً بالنموذج ST وايضا يلاحظ من خلال تأثيرات الوسط التآكلي على سطح طلاء النموذج PMT005 تفوق واضح في مقاومة التآكل مقارنة بباقي اسطح النماذج المطلية بالمتراكبات النانوية PMMT-TiO<sub>2</sub>.



الشكل (10) يوضح صور لسطح النماذج بعد التآكل في محلول 5% NaCl

#### الاستنتاجات:

- 1- طلاءات المترابك النانوي PMMA-TiO<sub>2</sub> ذات الاساس البوليمري نجحت بشكل ملحوظ في تحسين السلوك التآكلي للفولاذ في الأوساط التآكلية الملحية والحامضية مقارنةً بالطلاءات غير المدعمة.
- 2 - اكدت النتائج إن مقاومة التآكل تزداد في المحلول الحامضي والملحي عند اضافة نسبة قليلة من اوكسيد التيتانيوم النانوي لا تتجاوز % 1.5 .
- 3 - كما بينت النتائج ان معدلات التآكل تتأثر بسمك الطلاءات ولكن بدرجة اقل من تأثير نسب إضافة أوكسيد التيتانيوم النانوي، اذ ان تأثير عامل الملئ للفراغات البينية بين السلاسل البوليمرية حسن كثيرا من مقاومة الطلاءات للمحاليل الحامضية والملحية.
- 4 - تعد النتائج مشجعة لإمكانية استخدام هذه المترابكات النانوية في تطبيقات مهمة كطلاءات مضادة للتآكل.

المراجع:

- [1] L. Filipponi and D. Sutherland, "Nanotechnologies Principles, Applications, Implications and Hands-on Activities A compendium for educators", European Union, Luxembourg, 2012.
- [2] A. P. Nikalje, "Nanotechnology and its Applications in Medicine", Med. Chem., 5, 2, PP. 81-89, 2015.
- [3] A. C. Uzorh, "Corrosion properties of plain carbon steels", Int. J. Eng. and Sci., 2, 11, PP. 18-24, 2013.
- [4] H. M. Abd El-Lateef, V. M. Abbasov, L. I. Aliyeva and T. A. Ismayilov, "Corrosion protection of steel pipelines Against CO<sub>2</sub> corrosion-A Review", Chem. J., 2, 2, PP. 52-63, 2012.
- [5] K. M. Abed, "Magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nano-structured coatings for corrosion protection of mild steel", MSc. Thesis, American University, College of Engineering, Sharjah, 2014.
- [6] I. A. Mahmood, M. M. Farhan and N. T. Mohammed, "Spin coating of low carbon steel by polymer matrix composite", Asian J. App. Sci. Eng., 4, 3, PP. 157-166, 2015.
- [7] Y. Qian, Y. Li Scott Jungwirth, N. Seely, Y. Fang and X. Shi, "The application of anti-corrosion coating for preserving the value of equipment asset in chloride-laden environments A Review", Inter. J. Electrochem. Sci., 10, PP. 10756-10780, 2015.
- [8] S. Kannaian, Easwaramoorthi and A. Gopal, "Corrosion inhibition using nanomaterials –an overview", Inter. J. Sci. Res. Mod. Edu., PP.167-170, 2016.
- [9] T. Coan, G. S. Barroso, G. Motz, A. Bolzan, and R. A. F. Machado, "Preparation of PMMA/hBN composite coatings for metal surface protection", Mater. Res., 16, 6, PP. 1366-1372, 2013.
- [10] V. Karpakam, K. Kamaraj and S. S. Narayanan, "Electrosynthesis of PANI-Nano TiO<sub>2</sub> composite coating on steel Its Anti-corrosion performance", J. Electrochem. Soc., 158, 12, PP. 416-423, 2011.
- [11] A. A. Hussein, "Effect study TiO<sub>2</sub> on corrosion resistance and polystyrene erosion", J. Babylon University / Eng. Sci., 21, 3, PP. 1080-1089, 2013.
- [12] V. S. Saji and J. Thomas, "Nanomaterials for corrosion control", Current Sci., 92, 1, PP. 51-55, 2007.

- [13] F. A. Chyad, A. Raheem K, A. Ali and A. A. Mehatlaf, "Synthesis of nanocomposite material and studying some of its mechanical properties" Eng. Tech. J., 31, 7, PP.1221-1228, 2013.
- [14] P. P. Mahulikar, R. S. Jadhav and D. G. Handiwale, "Performance of polyaniline /TiO<sub>2</sub> nanocomposites in Epoxy for corrosion resistant coatings", Iran. Polymer J., 20, 5, PP. 367-376, 2011.
- [15] M. S. Nooshbadi, S. M. Ghoreishi and Y. Jafari, "Electro synthesis of polyaniline–TiO<sub>2</sub> nanocomposite films on Aluminum alloy 3004 surface and its corrosion protection performance", J. Nanostructures, 3, PP. 65-77, 2013
- [16] S. Devikala, P. Kamaraj and M. Arthanareeswari, "Electrochemical performance of PMMA/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite coatings", Inter. J. Adv. Chem. Sci. and Appl., 1, 2, PP. 9-15, 2014.
- [17] American Society for Testing and Materials - ASTM. G 1-03: Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens. ASTM; 2011.
- [18] Z. N. Jameel, A. J. Haider and S. Y. Taha, "Synthesis of TiO<sub>2</sub> nano particles by using Sol-gel method and its applications as antibacterial Agents", Eng. Tech. J., 32, 3, PP. 418-426, 2014.
- [19] C. P. Ennis and R. I. Kaiser, "Mechanistical studies on the electron-induced degradation of poly methyl methacrylate and kapton", Phys. Chem. Chem. Phys. 12, PP. 14902-14915, 2010.
- [20] R. G. Kadhim, "Study the Electrical and structural properties of (PMMA-TiO<sub>2</sub>) nano composites," Chem. Mater. Res., 7, 9, PP. 37-48, 2015.
- [21] M. R. Khorram, M. R. Shishesaz, I. Danaee and D. Zaarei, "Synthesis and corrosion protection behavior of epoxy-TiO<sub>2</sub> – micaceous iron oxide nano- composite coating on St-37", Iran. J. Mate. Sci. Eng., 13, 1, PP. 11-20, 2016.



# أنظمة تحليل بيانات الزمن الحقيقي الضخمة الناجمة عن إنترنت الأشياء

طالبة الماجستير : آلاء محمد كي السباعي كلية الهندسة المعلوماتية - جامعة البعث

إشراف د. محسن حسين و د. وسيم رمضان

## المخلص

مع تطور عالم الاتصالات وانتشار الشبكات عالية السرعة والهواتف والأجهزة الذكية، لمع مصطلح إنترنت الأشياء (IoT) Internet of Things في الأفق ، وما ينتجه من بيانات، وازدادت أهميته خصوصاً بعد أن زادت كمية البيانات بشكل ملحوظ وباتت ترقى لأن نطلق عليها مسمى البيانات الضخمة. انتشرت الدراسات التي تسعى للاستفادة من بيانات إنترنت الأشياء لأغراض التطوير في شتى المجالات، وبالتالي ظهرت الحاجة إلى أطر عمل تجمع بين تقنيات البيانات الضخمة وخدمات إنترنت الأشياء.

من تحديات التعامل مع بيانات إنترنت الأشياء أنها تتميز بالتدفق السريع والحاجة إلى جمعها ومعالجتها بسرعة في الوقت الحقيقي (real time)، فكان لا بد من دراسة أهم أطر عمل البيانات الضخمة المناسبة لمعالجتها.

تمت مقارنة نظامي هادوب وسبارك في هذا البحث لاختيار الأكثر ملائمة لبيانات إنترنت الأشياء والذي يوفر متطلباتها من التدفق والتحليل السريع وسهولة الاستخدام. بيّنت النتائج تفوق اطار سبارك خصوصاً في قدرته على إتاحة إمكانية تحليل بيانات الزمن الحقيقي وسرعة المعالجة والكفاءة في استخدام الذاكرة.

الكلمات المفتاحية: إنترنت الأشياء IoT - البيانات الضخمة - هادوب - سبارك

# Analysis Systems of Real-time Big data generated by the Internet of Things

## Abstract

With the development of the world of communications and the spread of high-speed networks, phones and smart devices, the term Internet of Things (IoT) appeared on the horizon, and the data it produces, and its importance increased, especially after the amount of data increased significantly and became worthy of being called Big Data. Studies that seek to benefit from IoT data for development purposes have spread in various fields, and thus the need for frameworks that combine big data technologies and IoT services has emerged.

One of the challenges of dealing with Internet of Things data is that it is characterized by rapid flow and the need to collect and process it quickly in real time, so it was necessary to study the most important frameworks for big data appropriate to process it.

Hadoop and Spark systems were compared in this research to choose the most suitable for IoT data, which provides its requirements of flow, rapid analysis and ease of use. The superiority of the Spark framework was found, especially in its ability to provide the possibility of analyzing real-time data

**Keywords:** Internet of things IOT – big data – Hadoop – spark

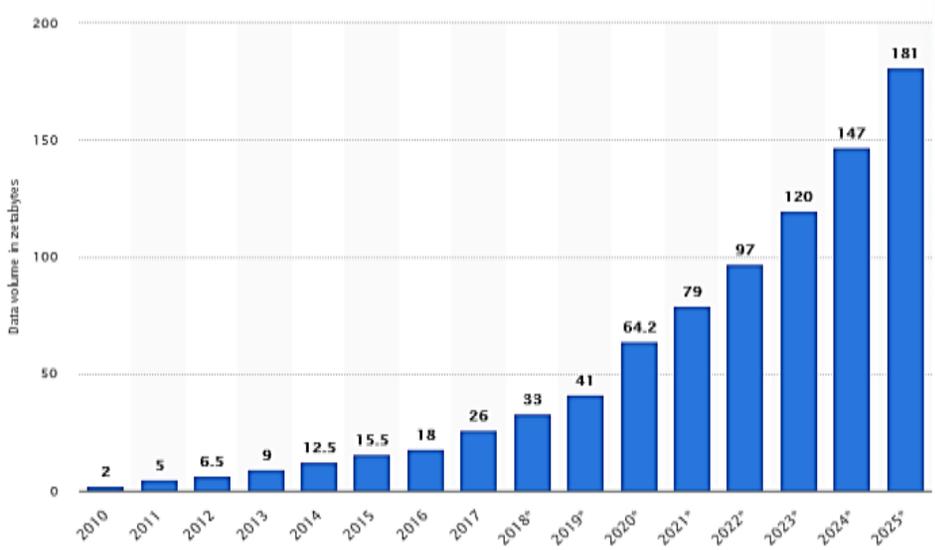
## 1 مقدمة

"البيانات ( النفط الجديد )" هي واحدة من أكثر العبارات شيوعاً في وقتنا الحالي [12]، فهي تسلط الضوء على أهمية البيانات، في وقت أصبحت فيه المعلومات الرقمية موجودة وراسخة في جميع جوانب حياتنا ومجتمعنا. كما يبدو أنه لا يمكن إيقاف النمو في إنتاج المعلومات، حيث تقوم الشركات دائماً بجمع البيانات مثل بيانات المبيعات، وبيانات العمليات، والبيانات المالية، وبيانات الموارد البشرية، وبيانات المستهلك وغيرها. يتم ذلك عادةً بهدف تحليلها واكتساب رؤى محددة والاستفادة منها في اتخاذ القرار.

تعتبر مواقع التواصل الاجتماعي أحد أهم مصادر البيانات، ففي كل يوم يتم إنشاء 500 مليون تغريدة جديدة، و294 مليار رسالة بريد إلكتروني، و4 ملايين غيغابايت من بيانات فيسبوك، و65 مليار رسالة واتس أب، و720000 ساعة من المحتوى الجديد المضاف يوميًا على يوتيوب [13]. كل ذلك ولم يتم ذكر انتشار منتجات إنترنت الأشياء التي أدت إلى إغراق العالم الرقمي بكميات من البيانات لم تكن متاحة من قبل.

تزداد كمية البيانات التي يتم إنشاؤها والتقاطها ونسخها واستهلاكها عالمياً بسرعة، فقد وصلت إلى 64.2 زيتابايت في عام 2020 [3]، وبلغ حجم البيانات التي تم إنشاؤها وتكرارها مستوى جديداً، وكان النمو أعلى من المتوقع سابقاً بسبب زيادة الطلب الذي تسببت فيه جائحة COVID-19، حيث عمل المزيد من الناس وتعلموا من المنزل واستخدموا خيارات الترفيه المنزلي في كثير من الأحيان. ومن المتوقع أن يستمر نمو وازدياد حجم هذه البيانات لتصل إلى أكثر من 180 زيتابايت على مدى السنوات الأربعة المقبلة حتى عام 2025 (انظر الشكل 1).

## أنظمة تحليل بيانات الزمن الحقيقي الضخمة الناتجة عن إنترنت الأشياء



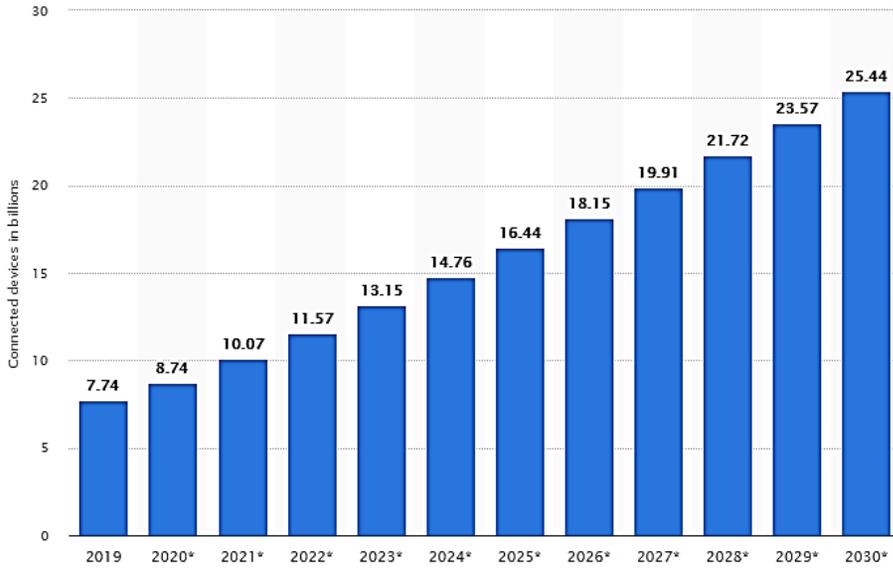
الشكل 1. إنتاج البيانات من عام 2010 و حتى 2025 مقدراً بالزيتابايت حسب موقع

[www.statista.com](http://www.statista.com)

وبما أن البيانات هي معلومات في صورة خام كان لابد من استخدام الأساليب العلمية، والمعالجات والخوارزميات والنظم لاستخراج المعرفة والأفكار اللازمة للتطوير في كافة المجالات. تم ذلك في السابق باستخدام وسائل تقليدية في التخزين والعرض يتعذر استخدامها في الوقت الحالي، وذلك نتيجة التضخم الهائل الحاصل في كمية البيانات المنتجة وتنوع مصادرها، حيث أصبحت ترقى لمصطلح "البيانات الضخمة" وتحتاج لمنصات خاصة للتعامل معها (تخزين وتحليل وتمثيل) للحصول على نتائج مفيدة.

انفجر في السنوات الأخيرة نظام الكائنات الشبكية المعروف بإنترنت الأشياء (IOT) Internet Of Things والذي ساهم في زيادة تضخم كمية البيانات وتنوعها، حيث يمكن تحويل أي كائن مادي إلى جزء من إنترنت الأشياء ببساطة عن طريق توصيل جهاز استشعار به.

من المتوقع أن تصل كمية البيانات التي يتم إنشاؤها بواسطة أجهزة إنترنت الأشياء إلى 79.4 زيتابايت من البيانات بحلول عام 2025[5]، كما أنه من المتوقع أيضاً أن يتضاعف عدد أجهزة إنترنت الأشياء في جميع أنحاء العالم ثلاث مرات تقريباً من 8.74 مليار في عام 2020 إلى أكثر من 25.4 مليار جهاز إنترنت الأشياء في عام 2030[4] (انظر الشكل 2. (Error! Reference source not found.)).



الشكل 2. عدد أجهزة انترنت الأشياء المتصلة من عام 2019 و حتى 2030 حسب

موقع [www.statista.com](http://www.statista.com)

تعد البيانات التي يتم إنشاؤها بواسطة أجهزة إنترنت الأشياء أكثر ثراءً من أنواع البيانات الأخرى، نظراً لأنه يمكن توصيل المستشعرات بأي جهاز مادي، وبالتالي فإن بيانات إنترنت الأشياء متنوعة ودقيقة وتتدفق بسرعة فتتراكم وتنتج كمّاً هائلاً من البيانات لتحليلها .

تُستخدم أجهزة إنترنت الأشياء في جميع أنواع قطاعات الصناعة والأسواق الاستهلاكية، مثل قطاعات الصناعة الرئيسية كالكهرباء والغاز والبخار والتكييف وإمدادات المياه وإدارة النفايات وتجارة التجزئة والجملة والنقل والتخزين والحكومة.

على سبيل المثال، يمكن للمباني الذكية Smart Buildings جمع البيانات

المتعلقة بما يلي:

- الظروف البيئية، مثل جودة الهواء ومستوى التلوث ودرجة الحرارة والرطوبة والسطوع، حتى تتمكن من معرفة ما يجب تغييره من أجل سلامة الإنسان وراحته.
- أنماط استخدام الطاقة، حتى يتم فهم كيف ومتى يستخدم مبنى ما الطاقة ويمكن اتخاذ خطوات لتحسين كفاءة الطاقة.
- استخدام المياه .
- معدات المبنى الخاص بك واستخدام المعلومات للصيانة التنبؤية .

يتم تجميع بيانات إنترنت الأشياء وتحليلها، وتستخدم العديد من منصات إنترنت الأشياء التعلم الآلي لتحليل البيانات. على سبيل المثال، يمكن أن تساعد بيانات المستشعر التي تقيس مستوى اهتزاز المعدات وغيرها في اكتشاف الحالات الشاذة والتنبؤ بالمشكلات قبل ظهور مشكلات خطيرة، ينتج عن امتلاك القدرة على استخدام جميع البيانات رؤى أكثر قابلية للتنفيذ وعائد استثمار أكبر نتيجة لذلك .

تولد أجهزة إنترنت الأشياء (ولا سيما حساسات إنترنت الأشياء التي تقرأ قيمة ما) تدفقات بيانات ضخمة عالية السرعة نحتاج في معظمها لمعالجتها وتحليلها في الزمن الحقيقي (real time)، حيث يتم العمل على مراقبة القيم واكتشاف الشاذة منها أو استخدامها للقيام بالعمليات الحسابية والتجميعية اللازمة وغيرها من الاستخدامات التي تساعد في قراءة الواقع واكتساب الرؤى بشكل أسرع.

وبما أن قيمة انترنت الأشياء في البيانات الذكية تأتي من أهمية المعرفة المتأتية من تحليل البيانات التي يقدمها، لذا نحن بحاجة لتحليل البيانات بطرق فعالة تدعم عمليات المعالجة في الزمن الحقيقي لتحقيق الاستفادة القصوى والحصول على أفضل النتائج بوقت قليل، مما أدى إلى حاجة ملحة لأطر عمل تجمع بين تقنيات البيانات الضخمة وخدمات انترنت الأشياء.

### 1.1 مشكلة البحث

مع تزايد أجهزة انترنت الأشياء (من حساسات وغيرها) في البيئات الذكية تزايدت كمية البيانات المتدفقة باختلاف أنواعها وأصبح من غير الممكن التعامل معها بالطرق التقليدية. أما التحدي الأساسي لبيانات إنترنت الأشياء هو طبيعتها المتأتية من كونها بيانات تحتاج للمعالجة والتحليل في الزمن الحقيقي. بحلول عام 2025، ستكون 30% من جميع البيانات هي بيانات زمن حقيقي، حيث تمثل إنترنت الأشياء ما يقرب من 95% منها، وستكون 20% من جميع البيانات حرجة، وستكون 10% من جميع البيانات شديدة الأهمية [14]. يجب أن تحدث التحليلات في الزمن الحقيقي حتى تستفيد الشركات من هذه الأنواع من البيانات.

لذلك ظهرت الحاجة إلى ضرورة استخدام تقنيات جديدة لمعالجة هذه البيانات والحاجة إلى عرض النتائج بطرق فعالة أكثر. وبالتالي تطرح هذه الدراسة التساؤل التالي : ماهي كفاءة أطر تحليل البيانات الحالية على تحليل بيانات انترنت الأشياء الضخمة في الزمن الحقيقي؟

### 1.2 أهداف البحث

تهدف هذه الدراسة إلى دراسة أنظمة تحليل البيانات وتحديد مدى قدرتها وكفاءتها في تحليل كم البيانات الكبير المتولد في الزمن الحقيقي والمتدفق من انترنت الأشياء والذي يزداد بشكل مضطرب مع تزايد الأجهزة المتصلة بالشبكة وتحسين مراقبة

النتائج واستخلاص المعلومات الناتجة عن انترنت الأشياء. ويتم ذلك من خلال تحقيق الأهداف الفرعية التالية

- 1- دراسة أنظمة تحليل البيانات الحالية
- 2- مقارنة كفاءتها في تحليل بيانات انترنت الأشياء الضخمة
- 3- تحديد مدى قدرتها وقابليتها على تحليل بيانات انترنت الأشياء في الزمن الحقيقي

## 2 المفاهيم البحثية المستخدمة

### 2.1 انترنت الأشياء (IoT) Internet of Things والبيئات الذكية Smart Environment

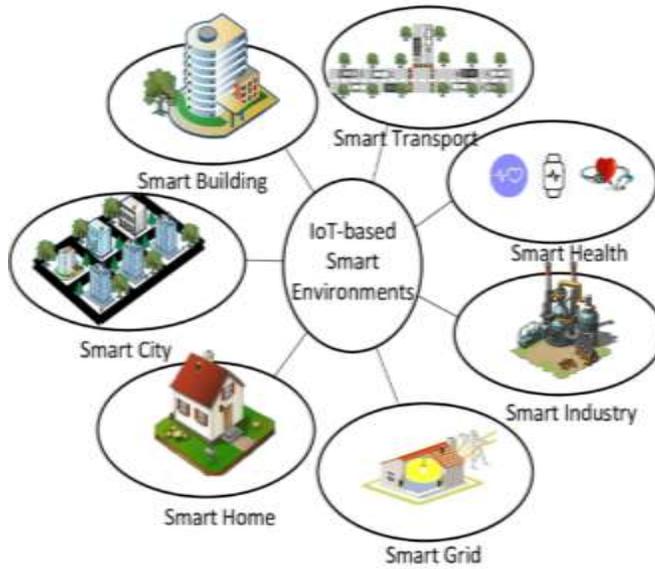
انترنت الأشياء (IoT) Internet of Things، هو نظام من أجهزة الحوسبة المترابطة والآلات الميكانيكية والرقمية والأشياء والحيوانات أو الأشخاص التي يتم تزويدها بمعرفات فريدة (IP)، والقدرة على نقل البيانات عبر الشبكة دون الحاجة لتفاعل إنسان مع إنسان أو إنسان مع كمبيوتر [8].

يمكن أن يكون الشيء شخصاً مرتبطاً بحساس لمراقبة القلب أو سيارة تحتوي على مستشعرات مدمجة لتنبية السائق عندما يكون ضغط الإطارات منخفضاً، وبالتالي الشيء هو أي جهاز أو طرفية أو نحو ذلك يمكن تعريفه على الإنترنت من خلال عنوان IP يساعد على التفاعل مع البيئة الخارجية.

انبثق مفهوم البيئة الذكية استناداً إلى الفكرة الأولية للحوسبة في كل مكان، وهي تشجع على فكرة "عالم يمكن تصوره بأنه مليء بالمستشعرات والأجهزة المترابطة ببعضها البعض وتندمج معنا لتصبح جزءاً من حياتنا اليومية من خلال الارتباط مع شبكة دائمة ومستمرة"، أيضاً تم تعريف البيئة الذكية بأنها "عالم صغير تعمل فيه أنواع مختلفة من الأجهزة الذكية باستمرار لجعل حياة البشر أكثر راحة" [14].

ويوضح (الشكل 3) بعضاً من تطبيقاتها حيث انتشرت البيئات الذكية على نطاق واسع بسبب المميزات التي تملكها ومنها:

- أجهزة التحكم عن بعد للتحكم في الأجهزة
- الاتصال بين الأجهزة باستخدام برمجيات وسيطة
- الحصول على المعلومات من خلال الحساسات ونقلها
- التنبؤية والقدرة على اتخاذ القرار



الشكل 3 تطبيقات البيئة الذكية

## 2.2 البيانات الضخمة Big Data

البيانات الضخمة تعني مجموعة كبيرة من البيانات، تستعصي لضخامتها أو تعقيدها على التخزين على جهاز واحد وإنما تتطلب مجموعة من الأجهزة (تسمى عناقيد)، ويصعب معالجتها والوصول إليها بسرعة بإحدى الأدوات أو التطبيقات المعتادة لإدارة البيانات [15].

تتدفق البيانات بمعدل مرتفع (بمعنى معدل تولدها وتغيرها) ويجب معالجتها بأقل وقت استجابة.

تتطلب البيانات الضخمة تقنيات خاصة ومتطورة وأشكال جديدة من المعالجة لتحليلها واستخلاص النتائج حيث تأتي أهميتها من القيمة المضافة بفهمها حيث تعزز عملية صنع القرار والفهم العميق في شتى المجالات.

### 2.3 أطر معالجة البيانات الضخمة Hadoop و Spark [17] [16]

يوجد اليوم العديد من أطر معالجة البيانات الضخمة ك Apache Hadoop و Apache Spark و Apache Hive و Apache Cassandra وغيرها، من أكثرها شيوعاً واستخداماً اليوم هما اطارا Apache Hadoop و Apache Spark.

استخدم كل منهما في دراسات مختلفة تبحث في معالجة البيانات الضخمة بشكل عام ومعالجة البيانات الضخمة الناتجة عن انترنت الأشياء بشكل خاص، ولكونهما الإطارين الرائدین لدينا دائماً سؤال حول الإطار الذي يجب استخدامه Hadoop أم Spark، لذا سنقوم بتعريف كل إطار ومكوناته ثم إجراء مقارنة لمعرفة الإطار الأنسب لمعالجة البيانات الناتجة عن انترنت الأشياء .

#### 2.3.1 هادوب Hadoop

Apache Hadoop عبارة عن إطار عمل أو منصة تتعامل مع مجموعات البيانات الكبيرة بطريقة موزعة، يستخدم طريقة MapReduce التي تعمل على تقسيم البيانات إلى كتل وتعيينها للعقد ضمن العنقود، ثم تعالج الطريقة MapReduce البيانات بالتوازي على كل عقدة لإنتاج مخرجات فريدة.

كل آلة في العنقود تخزن البيانات وتعالجها، يقوم Hadoop بتخزين البيانات على الأقراص باستخدام نظام الملفات Hadoop Distributed File System

(HDFS)، كما يقدم خيارات سلسلة للتوسع حيث يمكن البدء بجهاز واحد ثم التوسع إلى الآلاف، مع إضافة أي نوع من الأجهزة المنتجة من قبل شركات مختلفة.

نظام Hadoop متسامح للغاية مع الأخطاء، تم تصميم Hadoop للبحث عن حالات الفشل في طبقة التطبيق من خلال نسخ البيانات عبر العنقود، عندما يحدث فشل في جهاز ما يمكن للإطار بناء الأجزاء المفقودة من موقع آخر.

يتكون مشروع Apache Hadoop من أربع وحدات رئيسية:

- Hadoop Distributed File System- HDFS . وهو نظام الملفات الذي يدير تخزين مجموعات كبيرة من البيانات عبر العنقود، يمكن لـ HDFS التعامل مع البيانات المهيكلة وغير المهيكلة، كما يمكن أن تتراوح أجهزة التخزين من محركات أقراص صلبة فردية إلى محركات أقراص المؤسسات.
- MapReduce. مكون المعالجة لنظام Hadoop، يقوم بتوزيع أجزاء البيانات على العقد في العنقود ليقوم بمعالجتها على التوازي ومن ثم الدمج للحصول على النتيجة المرجوة.
- Yet Another Resource Negotiator- YARN. مسؤول عن إدارة موارد الحوسبة وجدولة الوظائف.
- Hadoop Common. مجموعة المكتبات العامة والأدوات المساعدة، اسم آخر لهذه الوحدة هو Hadoop core، لأنه يوفر الدعم لجميع مكونات Hadoop الأخرى.

### 2.3.2 سبارك Spark

Apache Spark أداة مفتوحة المصدر، يمكن تشغيل إطار العمل هذا في وضع مستقل (standalone) أو على سحابة. تم تصميمه للحصول على أداء سريع حيث يستخدم ذاكرة الوصول العشوائي للتخزين المؤقت للبيانات ومعالجتها.

يقوم Spark بأداء أنواع مختلفة من أعمال البيانات الضخمة، يتضمن ذلك معالجة الدُفعات (batch processing) المشابهة لـ MapReduce ، بالإضافة إلى معالجة التدفق في الزمن الحقيقي (real-time stream processing)، والتعلم الآلي، والرسم البياني، والاستعلامات التفاعلية، ومن خلال واجهات برمجة التطبيقات عالية المستوى سهلة الاستخدام يمكن أن يتكامل Spark مع العديد من المكتبات المختلفة، بما في ذلك TensorFlow و PyTorch.

تم إنشاء محرك Spark لتحسين كفاءة MapReduce والحفاظ على فوائده، وعلى الرغم من أن Spark لا يحتوي على نظام الملفات الخاص به، إلا أنه يمكنه الوصول إلى البيانات الموجودة على العديد من حلول التخزين المختلفة، وتسمى بنية البيانات التي يستخدمها Spark مجموعة البيانات الموزعة المرنة resilient distributed Datasets (RDD).

هناك خمسة مكونات رئيسية لـ Apache Spark:

- Apache Spark Core. أساس المشروع بأكمله، يعد Spark Core مسؤولاً عن الوظائف الضرورية مثل الجدولة، وإرسال المهام، وعمليات الإدخال والإخراج، واسترداد الأخطاء، وما إلى ذلك .
- Spark Streaming. يتيح هذا المكون معالجة تدفقات البيانات في الزمن الحقيقي، حيث يمكن أن تنشأ البيانات من العديد من المصادر المختلفة .
- Spark SQL. يستخدم Spark هذا المكون لجمع معلومات حول البيانات المنظمة (المهيكله) وكيفية معالجة هذه البيانات.
- مكتبة التعلم الآلي (MLlib). تتكون هذه المكتبة من العديد من خوارزميات التعلم الآلي، هدف MLlib هو قابلية التوسع وجعل التعلم الآلي أكثر سهولة.
- GraphX. مجموعة من واجهات برمجة التطبيقات المستخدمة لتسهيل مهام تحليلات الرسم البياني.

### 2.3.3 الاختلافات الرئيسية بين Hadoop و Spark

توضح الأقسام التالية أوجه التشابه والاختلاف الرئيسية بين الإطارين، سنلقي نظرة على Hadoop مقابل Spark من زوايا متعددة مثل الأداء والكلفة وسهولة الاستخدام لإيجاد الإطار الأكثر ملاءمة للتعامل مع بيانات انترنت الأشياء.

#### • الأداء

يعمل Hadoop من خلال الوصول إلى البيانات المخزنة محلياً على القرص الصلب (HDFS) وهذا لا يتطابق مع معالجة Spark في الذاكرة، وفقاً لادعاءات Apache فإن Spark أسرع 100 مرة عند استخدام ذاكرة الوصول العشوائي للحوسبة من Hadoop مع MapReduce، ويحتاج spark إلى عدد أقل من العقد بمعدل 10 أضعاف لمعالجة 100 تيرابايت من البيانات على HDFS.

السبب الرئيسي لهذا التفوق لـ Spark هو أنه لا يقرأ ويكتب البيانات الوسيطة على الأقراص ولكنه يستخدم ذاكرة الوصول العشوائي بينما يقوم Hadoop بتخزين البيانات على الأقراص الصلبة ثم معالجة البيانات على دفعات باستخدام MapReduce، وهذا ما يجعل Spark أفضل للتعامل مع بيانات انترنت الأشياء التي تتصف أصلاً بالسرعة في الإنتاج وتحتاج لسرعة في المعالجة.

#### • الكلفة

يمكن استخدام النظامين بشكل مجاني تماماً، ومع ذلك يجب أن تؤخذ تكاليف البنية التحتية والصيانة والتطوير في الاعتبار للحصول على التكلفة الإجمالية التقريبية.

العامل الأكثر أهمية في فئة التكلفة هو الأجهزة الأساسية التي تحتاجها لتشغيل هذه الأدوات، نظراً لأن Hadoop يعتمد على أي نوع من أنواع التخزين على القرص لمعالجة البيانات، فإن تكلفة تشغيله منخفضة نسبياً.

من ناحية أخرى، يعتمد Spark على العمليات الحسابية في الذاكرة لمعالجة البيانات في الزمن الحقيقي، لذلك فإن استخدام العقد التي تحتوي على الكثير من ذاكرة الوصول العشوائي يزيد من التكلفة.

تشير النقاط أعلاه إلى أن البنية التحتية لنظام Hadoop أكثر فعالية من حيث التكلفة و لكن نحتاج إلى تذكير أن Spark يعالج البيانات بشكل أسرع، وبالتالي يتطلب الأمر عددًا أقل من الأجهزة لإكمال نفس المهمة.

#### • معالجة البيانات

على الرغم من أن كل من Hadoop و Spark يعالجان البيانات في بيئة موزعة، فإن Hadoop أكثر ملاءمة لمعالجة الدفعات. في المقابل، يتألق Spark من خلال المعالجة في الزمن الحقيقي.

هدف Hadoop هو تخزين البيانات على الأقراص ثم تحليلها بالتوازي على دفعات عبر بيئة موزعة، لا يتطلب MapReduce قدرًا كبيرًا من ذاكرة الوصول العشوائي (RAM) للتعامل مع كميات البيانات.

يعمل Apache Spark باستخدام العمليات الحسابية في الذاكرة (in-memory computations) وواجهات برمجة التطبيقات عالية المستوى، لذا يتعامل Spark بشكل فعال مع التدفقات المباشرة للبيانات، وهذا ما يميزه عن غيره في التعامل مع بيانات انترنت الأشياء .

#### • قابلية التوسع

يصبح الخط الفاصل بين Hadoop و Spark ضبابيًا في هذا القسم.

يستخدم Hadoop نظام الملفات (HDFS) للتعامل مع البيانات الضخمة، عندما ينمو حجم البيانات بسرعة يمكن لـ Hadoop التوسع بسرعة لاستيعاب الطلب.

نظرًا لأن Spark لا يحتوي على نظام ملفات خاص به، فإنه يتعين عليه الاعتماد على نظام الملفات (HDFS) عندما تكون البيانات كبيرة جدًا بحيث لا يمكن التعامل معها.

يمكن للعناقيد توسيع وتعزيز قوة الحوسبة بسهولة عن طريق إضافة المزيد من الخوادم إلى الشبكة. نتيجة لذلك، يمكن أن يصل عدد العقد في كلا الإطارين إلى الآلاف، لا يوجد حد ثابت لعدد الخوادم التي يمكنك إضافتها إلى كل مجموعة وكمية البيانات التي يمكنك معالجتها.

- سهولة الاستخدام ودعم لغة البرمجة

قد يكون Spark هو إطار العمل الأحدث مع عدم وجود العديد من الخبراء المتاحين مثل Hadoop، ولكن من المعروف أنه أكثر سهولة في الاستخدام. في المقابل، يوفر Spark دعمًا للغات متعددة بجانب اللغة الأصلية (scala): Java و Python و R و Spark SQL، حيث يتيح ذلك للمطورين استخدام لغة البرمجة التي يفضلونها.

يعتمد إطار Hadoop على Java، اللغتان الرئيسيتان لكتابة كود MapReduce هما Java أو Python. لا يحتوي Hadoop على وضع تفاعلي لمساعدة المستخدمين.

بالإضافة إلى دعم واجهات برمجة التطبيقات بلغات متعددة، يفوز Spark في قسم سهولة الاستخدام من خلال وضعه التفاعلي. يمكن استخدام Spark shell لتحليل البيانات بشكل تفاعلي مع Scala أو Python، كما يوفر ملاحظات فورية على الاستعلامات، مما يجعل استخدام Spark أسهل من Hadoop MapReduce.

الشيء الآخر الذي يعطي Spark اليد العليا هو أنه يمكن للمبرمجين إعادة استخدام الكود الموجود عند الاقتضاء، وبالتالي تقليل وقت تطوير التطبيقات، كما يمكن دمج

البيانات التاريخية والبيانات المتدفقة لجعل هذه العملية أكثر فعالية، وهذا ما نواجهه بوضوح في تطبيقات إنترنت الأشياء.

#### • التعلم الآلي

التعلم الآلي هو عملية تكرارية تعمل بشكل أفضل باستخدام الحوسبة في الذاكرة. لهذا السبب، أثبت Spark أنه حل أسرع في هذا المجال.

السبب في ذلك هو أن Hadoop MapReduce يقسم الوظائف إلى مهام متوازية قد تكون كبيرة جداً بالنسبة لخوارزميات التعلم الآلي و يخلق مشكلات في أداء الإدخال / الإخراج في تطبيقات Hadoop.

يأتي Spark مع مكتبة تعلم الآلة الافتراضية MLlib، تقوم هذه المكتبة بالحسابات التكرارية في الذاكرة، حيث يتضمن أدوات لأداء الانحدار (regression)، والتصنيف (classification)، وبناء خطوط الأنابيب (pipeline constructing)، والتقييم (evaluating)، وغير ذلك الكثير.

أثبت Spark مع مكتبة MLlib أنه أسرع بأشواط، وأنه الخيار الأفضل للتعلم الآلي، مما يعطيه الأفضلية في التعامل مع بيانات إنترنت الأشياء التي غالباً ما نستخدمها للقيام بعمليات التصنيف والتنبؤ.

#### 2.3.4 حالات استخدام Hadoop مقابل Spark

بالنظر إلى Hadoop مقابل Spark في الأقسام المذكورة أعلاه، يمكننا استخراج بعض حالات الاستخدام لكل إطار عمل.

تشمل حالات استخدام Hadoop:

- بناء البنية التحتية لتحليل البيانات بميزانية محدودة.
- إكمال الوظائف التي لا تتطلب نتائج فورية، والوقت ليس عاملاً مقيداً.

- معالجة الدفعات مع المهام التي تستغل عمليات القراءة والكتابة على القرص.
- تحليل البيانات التاريخية والأرشيفية.

يمكننا فصل حالات الاستخدام التالية حيث يتفوق Spark بالأداء:

- تحليل بيانات التدفق في الوقت الحقيقي.
- عندما يكون الوقت جوهرياً، تقدم Spark نتائج سريعة مع عمليات حسابية في الذاكرة.
- التعامل مع سلاسل العمليات المتوازية باستخدام الخوارزميات التكرارية.
- معالجة موازية للرسم البياني لنمذجة البيانات.
- جميع تطبيقات التعلم الآلي.

### 3 الدراسات المرجعية

تم من خلال أدبيات الدراسة توضيح أهمية وكيفية تحليل البيانات الضخمة في مختلف المجالات وشتى أنواع البيانات. تختلف المنصات المستخدمة في التحليل ويبقى أكثرها شيوعاً منصتي هادوب وسبارك. كما تختلف مصادر البيانات الضخمة فمنها ما هو ناتج عن الشركات ومعاملات العملاء والمناقلات البنكية ووسائل التواصل الاجتماعي وغيرها بشكل عام، ومنها ما ينتج عن أجهزة انترنت الأشياء بشكل خاص.

يتم في هذا الاقسام إلقاء الضوء على مجموعة من الدراسات التي صنفت إلى دراسات استخدمت بيانات من مصادر عامة و دراسات تخصصت في مجال انترنت الأشياء مع بيان المنصات المستخدمة في التحليل .

#### 3.1 بيانات عامة

تدرك شركات البيع بالتجزئة الحاجة إلى التحليل والتنبؤ بمبيعاتها وسلوك العملاء مقابل منتجاتها وفئات منتجاتها، حيث يتم مساعدة شركات البيع بالتجزئة على إنشاء صفقات وعروض ترويجية مخصصة لعملائها من خلال أطر عمل البيانات

الضخمة التي تسمح لهم بالتعامل مع أحجام مبيعات ضخمة بطرق أكثر كفاءة، استخدم إطار Apache Spark لتحليل بيانات مبيعات الجمعة السوداء (Black Friday) [2] و تم تدريب نماذج للتعلم الآلي باستخدام مكتبة التعلم الآلي المدمجة MLlib للتنبؤ بالأسعار والمبيعات في المستقبل، حيث تم أولاً تنفيذ نموذج الانحدار الخطي Linear regression [18] ونموذج الغابة العشوائية Random Forest [19] دون استخدام إطار Spark وكانت الدقة 68% و 74% على التوالي. بعد ذلك، تم تدريب هذه النماذج على إطار عمل البيانات الضخمة للتعلم الآلي في Spark حيث حقق نتائج أفضل بدقة 72% لنموذج الانحدار الخطي و 81% لنموذج الغابة العشوائية، تم العمل بأسلوب معالجة الدفعات (batch processing) دون الاستفادة من قدرة Spark على المعالجة في الزمن الحقيقي.

وفي مجال آخر، لوحظ أن تحليل المشاعر هو الاتجاه الأكثر شيوعاً في عالم اليوم حيث تم إنجاز الكثير من العمل في هذا القطاع، وتعتبر وسائل التواصل الاجتماعي هي مصدر حيوي للمعلومات في هذه الحالة. يستقبل موقع Twitter، أحد أكبر مواقع التواصل الاجتماعي، ملايين التغريدات كل يوم، تحاول الصناعات المختلفة استخدام هذه البيانات النصية الضخمة لاستخراج آراء الناس تجاه منتجاتهم، حيث استخدم إطار Hadoop لتحليل عدد كبير من التغريدات التي تعبر عن رأي المستخدم لتصنيفها وتخصيص القطبية لكل تغريدة ما إذا كان المستخدم يعبر عن رأي إيجابي أو سلبي [6]، حيث بلغ متوسط الدقة في تصنيف الرأي من إيجابي أو سلبي أو حيادي قيمة مقدارها 72.27 مع محاولة الحصول على زمن استجابة مقبول بتقليل عمليات الوصول إلى القرص الصلب .

### 3.2 بيانات انترنت الأشياء

أدى تطور الالكترونيات والشبكات ووسائل الاتصال إلى دخول انترنت الأشياء في كافة المجالات الحياتية والخدمية والصناعية والصحية وغيرها .

حيث تم اقتراح إطار عمل يجمع بين تقنيتي إنترنت الأشياء وتحليل البيانات الضخمة [7]، يعتمد على المعالجة المتوازية للبيانات الموزعة، يتألف الإطار المقترح من عدة مستويات ويركز بشكل أساسي على المشكلات المتعلقة برؤية المدينة الذكية وقدرتها على اتخاذ القرار. تكون الطبقة الأولى مسؤولة عن الاتصال وتوليد البيانات، أما الطبقة الثانية مهمتها جمع و تخزين البيانات في بيئة موزعة، في الطبقة الثالثة تتم معالجة البيانات المخزنة باستخدام تقنيات البيانات الضخمة مثل MapReduce. حيث إن MapReduce هو نموذج معالجة عالي للمعالجة الموزعة والمتوازية والمعتمد من قبل نظام Hadoop. طبقة التحليل هي الأخيرة والتي توفر وسيلة للتفاعل بين الأشخاص والأجهزة مباشرة لاتخاذ القرارات والتنبؤ وإنشاء التقارير والتوصيات. رسمت هذه الدراسة خارطة طريق للباحثين في مجال معالجة البيانات الضخمة الناتجة عن إنترنت الأشياء ولكن لم يتم التطبيق على بيانات حقيقية وبالتالي لا نستطيع التحقق من دقة النتائج.

تعتبر قضية توفير الطاقة أمراً هاماً، حيث تم اقتراح نظام إدارة الطاقة Energy Management System (EMS) للمنازل الذكية [1]. في هذا النظام، يتم ربط كل جهاز منزلي بوحدة اكتساب البيانات، حيث كل جهاز هو كائن إنترنت أشياء بعنوان IP فريد مما يؤدي إلى شبكة لاسلكية كبيرة من الأجهزة، تجمع وحدة نظام الحصول على البيانات بيانات استهلاك الطاقة من كل جهاز في كل منزل ذكي وتنقل البيانات إلى خادم مركزي لمزيد من المعالجة والتحليل. تتراكم هذه المعلومات في خادم عام باعتبارها بيانات كبيرة، استخدمت برمجيات الأعمال الجاهزة Business Intelligence (BI) وتحليلات البيانات الضخمة لإدارة استهلاك الطاقة بشكل أفضل وتلبية طلب المستهلكين، ونظراً لأن تكييف الهواء يساهم في 60% من استهلاك الكهرباء في دول الخليج العربي، فقد تم أخذ وحدات HVAC (التدفئة والتهوية وتكييف الهواء) كدراسة حالة للتحقق من صحة النظام المقترح. تم بناء نموذج أولي واختباره في المختبر لتقليد أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء في المناطق السكنية الصغيرة، حيث يمكن

لمالكي المنازل مراقبة استهلاكهم اليومي والشهري والسنوي على شكل مخططات بيانية، كما يمكن للمسؤولين عن قطاع الكهرباء في المدينة استعراض استهلاك المنازل في مناطق محددة على شكل مخططات جغرافية . وقد ظهر أن كمية نقل البيانات واستهلاك الموارد يتأثران طردياً بازدياد عدد الزبائن كما يزداد زمن الوصول. في هذه الدراسة كان الاهتمام الأكبر بالبنية وبروتوكولات النقل وطرق العرض.

و كدمج بين إنترنت الأشياء وتحليلات البيانات الضخمة في مجال السياحة الذكية والتراث الثقافي المستدام، تم تقديم نظام TreSight [11] في مدينة ترينتو- إيطاليا ، وهو نظام توصيات للسائحين، تم استخدام البيانات من OpenData Trentino فيما يتعلق بالنقاط المثيرة للاهتمام، والمناخ، والمطاعم النموذجية الموصى بها وما إلى ذلك، وتم توسيعها ببيانات إضافية تم جمعها من خلال حساسات منتشرة مع سوار يمكن ارتداؤه من أجل توفير تفاصيل أوفى وأدق متعلقة بالطقس ومستويات الازدحام ومتابعة الأنشطة السياحية، تم استخدام Hadoop بالإضافة لأدوات مساعدة من أجل معالجة جميع البيانات الثابتة والبيانات الديناميكية لتوفير قدرات متقدمة من حيث التحليل واستخراج المعرفة، وهو نظام فعّال قيد الاستخدام في مدينة ترينتو.

أما في مجال البيئة ومع انتشار الملوثات و تدني جودة الهواء برزت ضرورة التحرك للحد من التلوث وانبعاث الغازات السامة، فكان لا بد من استخدام حساسات إنترنت الأشياء لقياس درجة انتشار كل ملوث في الهواء. حيث تمت دراسة إمكانية الدمج بين مفهومي البيانات الكبيرة وإنترنت الأشياء في سياق التنبؤ بتلوث الهواء الذي يحدث عند زيادة نسبة الغازات الضارة في الجو مثل NO2 ، SO2 وغيرها، ليتم رفع الإنذار في حال الوصول لعتبة محددة (المستوى الحرج)، وتم استخدام Apache Spark مع مكتبته المدمجة Spark MLlib من أجل بناء نموذج التنبؤ [10]، وقد تم العمل على بيانات مخزنة مسبقاً دون الخوض في أهمية المعالجة للبيانات في الزمن

الحقيقي (real time)، وبمعدل خطأ (RMSE) root-mean-square error يساوي 0.13 ويعتبر جيداً طالما أنه أصغر من 0.3 .

ومن ناحية إنسانية، استخدم إنترنت الأشياء إلى جانب تحليل البيانات الضخمة لرصد المرضى في المناطق النائية، حيث يتم جمع المؤشرات الحيوية للمرضى باستخدام حساسات انترنت أشياء وإرسالها مباشرة، يتم تحليل المعلومات التي تم جمعها على الفور باستخدام نهج التعلم الآلي في Apache MAHOUT لمعرفة مدى خطورة الحالة بزمان استجابة مقبول [9]، يتم نقل نتائج التحليل إلى الأطباء القريبين في الصحة الأولية وكذلك الطبيب المسؤول عن المريض وأفراد الأسرة، ليتعين نقل المريض إلى المستشفى في الحالات الخطرة أو يستجيب الطبيب على الفور لاقتراح فوري بشأن الإسعافات الأولية و العلاج في الحالات الأقل خطورة، ولا تزال هكذا أمور متعلقة بحياة الإنسان قيد الدراسة دائماً لتقليل زمن الاستجابة والحصول على دقة أفضل.

وأما في الصناعة، تسير إنترنت الأشياء والبيانات الضخمة جنباً إلى جنب في لعب دور مهم في القطاعات الصناعية ووجب تحليل أداء الجمع بين التقنيتين لتحقيق الاستفادة في الإنتاج الصناعي، حيث أدى تحديث الصناعات باستخدام الآلات المزودة بأجهزة الاستشعار المضمنة إلى زيادة سريعة في توليد البيانات وضرورة معالجتها، اقترح استخدام نظام Hadoop للتعامل مع الكميات الهائلة للبيانات بالإضافة إلى أدوات التعلم الآلي للتنبؤ بالأعطال وغيرها [13]، وقد نتج عن ذلك توفير في استخدام الطاقة وبزمن استجابة جيد وزمن تأخير قليل، كما ساهم في زيادة الإنتاج العام مع تقليل كمية النفايات الناتجة.

#### 4 الإطار العملي

يتم في هذا القسم إجراء مقارنة بين أداء كل من Hadoop و Spark لتحليل البيانات الضخمة مع بيان خصوصية Spark في التعامل مع البيانات المتدفقة والتي يتم الحصول عليها من انترنت الأشياء .

يتم تنفيذ مقارنة الأداء على بيانات جاهزة (csv file) من شبكة الانترنت، وقد أتاحت هذه البيانات لأغراض البحث العلمي ، وتم تجميعها من قبل منظمة حكومية أمريكية (U.S. EPA (Environmental Protection Agency) ، وذلك باستخدام مستشعرات انترنت أشياء منتشرة في أنحاء الولايات المتحدة الأمريكية تقيس مستوى الغازات في الجو لا سيما السامة منها (O<sub>3</sub> , CO , SO<sub>2</sub> , NO<sub>3</sub>) في كل يوم منذ عام 2000 وحتى عام 2016 .

تحتوي مجموعة البيانات هذه على أكثر من 1.7 مليون سجل مع 29 عمود تحوي التاريخ ورقم الموقع ومعلومات مفصلة عن عنوان الحساس (ولاية ، مقاطعة ، منطقة) بالإضافة لأعمدة تحوي القيمة المسجلة لكل غاز من الغازات (SO<sub>2</sub> , NO<sub>3</sub> , CO , O<sub>3</sub>) ومؤشر الجودة لها.

قبل إجراء التجربة، تم القيام بمعالجة مسبقة للبيانات للتعرف عليها وتنظيفها، تم استخدام مكتبة Pandas وهي أداة مفتوحة المصدر بُنيت باستخدام لغة بايثون سريعة وقوية ومرنة وسهلة الاستخدام تساعد في تحليل ومعالجة البيانات تقدم العديد من التوابع التي تساعد في قراءة ملفات البيانات واستكشافها والتعديل عليها، حيث تمت قراءة الملف واستعراض محتوياته والتعرف على أنماط المتغيرات، والإبقاء على الأعمدة اللازمة كالتاريخ وقيم مؤشر الجودة للغازات، كما تم تحويل أنماطها من قيم نصية (String) إلى قيم عددية (Integer)، كما وُجد عدد كبير من السجلات التي تحوي على قيمة (Null) في عمودي SO<sub>2</sub> و CO الأمر الذي استدعى معالجتها باستبدالها بالقيمة

الأكثر تكراراً ضمن العمود، كما وتم إنشاء عمود جديد يعبر عن جودة الهواء بشكل عام (AQI) تعتمد قيمه على قيم مؤشر الجودة للغازات كلها.

أجريت التجربة باستخدام جهاز حاسوب محمول يعمل بنظام تشغيل windows 10. والجدول ( جدول 1 . مواصفات الجهاز) يبين مواصفات الجهاز

جدول 1 . مواصفات الجهاز

م	الجهاز	المواصفات
1	المعالج	Intel Core i5-6200U @2.4 GHz
2	ذاكرة وصول عشوائي	8.00 GB
3	قرص صلب	1 TB , 5200 r.p.m

تم استخدام إطار العمل سبارك ذو النسخة spark-3.1.1 مع موجه الأوامر jupyter ، وإطار العمل هادوب ذو النسخة hadoop-3.3.1 مع موجه أوامر نظام تشغيل windows 10 .

استخدمت لغة بايثون في كلا الإطارين لقراءة مجموعة البيانات وإيجاد عدد السجلات في المجموعة ومن ثم إيجاد المعلومات الإحصائية من القيمة الكبرى NO2\_max، والقيمة الصغرى NO2\_min، وقيمة الانحراف المعياري NO2\_sd، للمتغير المعبر عن قيم غاز NO2 مع تسجيل الوقت الذي استغرقه كل إطار على حدا، و قد تمت التجربة على إطار العمل هادوب باستخدام طريقة المعالجة المعتمدة فيه وهي طريقة map-reduce .

كذلك قمنا بتجربة أداء كلا الإطارين في العمليات التكرارية ولا سيما التعلم الآلي، استخدمت المكتبة المدمجة sparkML مع إطار spark، بينما احتجنا للاستعانة بمكتبات خارجية لإتمام نفس العمل على إطار Hadoop، حيث تم بناء نموذجي تصنيف، الأول باستخدام خوارزمية Random Forest Classifier، والثاني باستخدام خوارزمية Decision Tree Classifier، تم تدريب النماذج باستخدام الأعمدة التي أبقينا عليها وهي أعمدة مؤشر الجودة للغازات كلها ومؤشر جودة الهواء العام، ونختبرها فيما بعد باستخدام أعمدة مؤشر الجودة للغازات كلها ليعطينا مؤشر جودة الهواء العام.

والجدير بالذكر أننا قمنا بمحاكاة عملية استقبال بيانات إنترنت الأشياء في نظام Spark باستخدام مكون Spark Streaming الذي يسمح باستقبال البيانات ومعالجتها بالزمن الحقيقي، الأمر الذي تعذر القيام به في نظام Hadoop نتيجة افتقاره لمكونات تدعم عمليات التدفق الحقيقي، ولتحقيق موضوع تدفق البيانات كما لو أنها تأتي من حساسات حقيقية قمنا باستخدام Netcat وهي أداة تقرأ وتكتب البيانات عبر اتصالات الشبكة، باستخدام بروتوكول TCP أو UDP، حيث استطعنا من خلاله بفتح منفذ (Port) بمعرف (9999) نقوم بكتابة البيانات عليه، حيث يقوم بكتابة القيمة تلو الأخرى بفارق زمني يمكننا تحديده بأنفسنا (مثلاً 1 ثانية)، بينما يقوم Spark بالتصتصت على المنفذ واستقبال البيانات لنقوم بعرضها على شكل مخطط بياني تفاعلي ضمن متصفح الويب، ولرسم المخطط البياني التفاعلي تم استخدام Plotly وهي مكتبة تفاعلية مفتوحة المصدر تساعد في رسم أنواع مختلفة من المخططات البيانية وتحتوي على إمكانيات أداة التمرير (hover tool capabilities) التي تسمح لنا باكتشاف أي قيم متطرفة أو شذوذ في عدد كبير من نقاط البيانات، كما تم استخدام Dash وهو إطار عمل يعتمد لغة بايثون (python framework) تم إنشاؤه بواسطة Plotly لبناء تطبيقات ويب تفاعلية، تم تطويره بالاعتماد على flask (web framework)

ومكتبات Plotly.js و React.js، ويُعد Dash مفتوح المصدر ويقوم بعرض نتائجه ضمن تبويب في متصفح الويب، وبذلك استطعنا عرض المخطط البياني ضمن تبويب في المتصفح.

ونبين فيما يلي أهم النتائج التي حصلنا عليها لتحليل البيانات والحصول على مستويات NO2 في مجموعة البيانات، وكذلك التعلم الآلي باستخدام كل من الإطارين المذكورين Hadoop و Spark، وأيضاً عرض البيانات المتدفقة في Spark .

## 5 النتائج والمناقشة

### 5.1 التجربة الأولى

يتم فيها قراءة مجموعة البيانات وإيجاد عدد السجلات في المجموعة، ثم إيجاد المعلومات الإحصائية من القيمة الكبرى، والقيمة الصغرى، وقيمة الانحراف المعياري للمتغير المعبر عن قيم غاز NO2 .

#### 5.1.1 زمن التنفيذ

يعبر زمن التنفيذ عن الزمن المستغرق للحصول على المعلومات الإحصائية المذكورة لتحليل مستويات NO2 عند استخدام كل من الإطارين Hadoop و Spark اعتباراً من بداية قراءة البيانات وحتى طباعة النتائج والحصول على التقرير.

يبين (جدول 2 . زمن التنفيذ) زمن التنفيذ لكلا الإطارين.

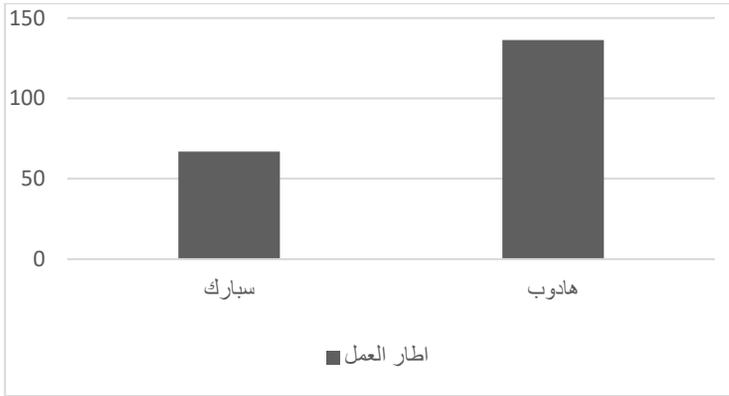
جدول 2 . زمن التنفيذ

الإطار	زمن التنفيذ (ثا)
Hadoop (map-reduce)	136.27
Spark	67

وقد استغرق Hadoop ضعف الوقت الذي استغرقه نظام Spark للقيام بنفس العمل، حيث نجد أن Hadoop استغرق دقيقتين و بضع ثوانٍ، بينما سبارك استغرق دقيقة و بضع ثوانٍ .

لدينا )

مخطط 1) يوضح الوقت المستغرق من كلا الإطارين و يُظهر الفرق بينهما



مخطط 1. الزمن المستغرق لتنفيذ المهمة

## 5.1.2 استخدام الموارد

من المعلوم أن أسلوب البرمجة map-reduce يعمل على مرحلتين mapping و من ثم reducing، حيث يتم استخدام القرص الصلب لتخزين البيانات الوسيطة (Intermediate output) الناتجة عن الـ mapper والتي ستكون دخل يقرأه الـ reducer لإتمام العملية. [20]

أما أسلوب المعالجة in-memory والمتبع من قبل Spark فإنه يعمل على الاحتفاظ بالبيانات ضمن الذاكرة دون استخدام القرص الصلب، وهذا هو السبب الرئيسي للسرعة في أداء المهام باستخدام Spark .

يوفر Apache Spark واجهة ويب (Spark UI) لمراقبة حالة تطبيق Spark قيد التشغيل (الوظائف ، والمراحل ، والمهام ، ..... ) واستهلاك الموارد، وتتوفر على http:// [driver]: 4040 افتراضياً ، وبمراقبة أداء التجربة باستخدام Spark UI تبين لنا أن المهمة تمت باستخدام الذاكرة فقط دون الاحتياج للقرص الصلب أثناء التنفيذ، وهذا ما يوضحه (جدول 3 جدول 3. استخدام القرص الصلب في Spark) الذي تم اقتصاصه من واجهة Spark UI .

جدول 3. استخدام القرص الصلب في Spark

Address	Status	RDD Blocks	Storage Memory	Disk Used	Cores
DESKTOP-H9KELC7:12665	Active	0	88.4 KiB / 366.3 MiB	0.0 B	1

## 5.2 التجربة الثانية (العمليات التكرارية)

تعبير عن قدرة الإطار على القيام بنفس الأعمال لعدد كبير من المرات كعمليات التعلم الآلي، والتي من المعلوم أنها تعمل بشكل أفضل في حال استخدام الحوسبة في الذاكرة وهذا ما أظهرته النتائج في (جدول 4) وذلك عند استخدام خوارزمية Random Forest Classifier .

جدول 4. زمن تنفيذ خوارزمية Random Forest Classifier

الإطار	زمن التنفيذ (ثا)
Hadoop	240

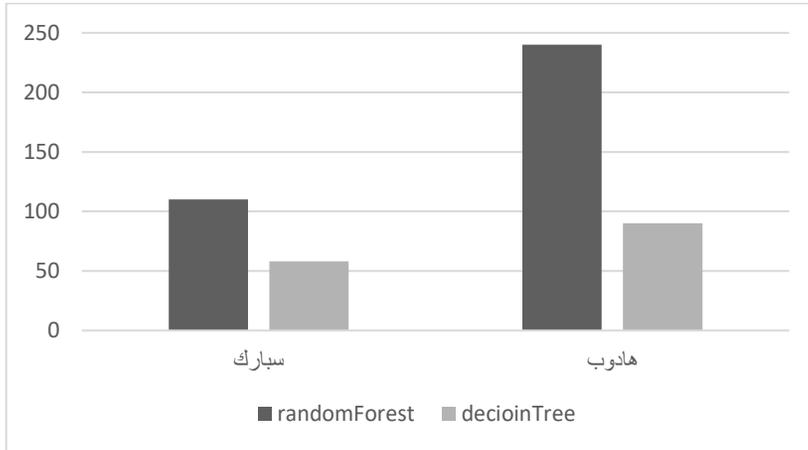
حيث نجد أن أداء Spark كان الأفضل، حيث استغرق Hadoop ضعف الوقت تقريباً، وبتنفيذ خوارزمية Decision Tree Classifier والتي تستهلك وقتاً أقل من سابقتها كانت النتيجة كما في (جدول 5) والتي تظهر تفوق Spark أيضاً.

جدول 5 . زمن تنفيذ خوارزمية Decision Tree Classifier

الإطار	زمن التنفيذ (ثا)
Hadoop	90
Spark	58

لدينا )

مخطط 2 ) يوضح أداء كلا الإطارين في التعلم الآلي و يُظهر الفرق بينهما



مخطط 2 . زمن تنفيذ التعلم الآلي

### 5.3 التجربة الثالثة: تدفق البيانات

وهنا تظهر خصوصية Spark في التعامل مع بيانات انترنت الأشياء التي تتميز بتدفقها الدائم والتي استطعنا محاكاتها وتحليل البيانات مباشرة وعرضها بشكل بياني .

قمنا برسم مخطط بياني ( Live Chart ) يتحدث باستمرار لرسم القيمة الجديدة من غاز NO2 مع لحظة الوصول، وهذا ما يوضحه (مخطط 3) حيث يعبر المحور (X) عن لحظة الوصول بينما يعبر (Y) عن القيمة الواصلة، ويتميز بأنه تفاعلي ( Interactive ) حيث يعطينا القيمة المسجلة عند المرور في نقطة محددة باستخدام مؤشر الفأرة .



مخطط 3. قيم غاز NO2 المتدفقة

نلاحظ أن spark تفوق على hadoop بسرعته، حيث قام بإنجاز المهام مستغراً تقريباً نصف الوقت الذي احتاجه hadoop، كما أن spark يعمل مستخدماً الذاكرة دون الرجوع إلى القرص الصلب، ويتميز spark بمكتبة التعلم الآلي المدمجة MLlib ومكون Spark Streaming الذي سمح لنا باستقبال البيانات المتدفقة ومعالجتها بالزمن الحقيقي.

## 6 الخاتمة

تمت المقارنة نظرياً بين Apache Hadoop و Apache Spark من زوايا متعددة ودراسة مدى ملائمتها لتحليل بيانات انترنت الأشياء مع إلقاء الضوء على أهم ما يميزها عن غيرها من البيانات، وتم القيام بمقارنة عملية لإظهار سرعة وأداء كلا الإطارين في تنفيذ نفس المهمة.

يلعب كلا الإطارين دوراً مهماً في تطبيقات البيانات الضخمة، بينما يبدو أن Spark هو الأنسب لبيانات انترنت الأشياء وذلك :

1. لسرعته وسهولة استخدامه .
2. يلائم وجود بيانات متدفقة بسرعة كحالنا في معالجة بيانات انترنت الأشياء والتي تحتاج إلى التعامل معها بالزمن الحقيقي .
3. الأفضل في حالات استخدام التعلم الآلي للحصول على نتائج مفيدة من البيانات الموجودة، وذلك لامتلاكه مكتبة MLlib المدمجة حيث يقوم بالعمليات الحسابية التكرارية مستخدماً الذاكرة .
4. قد يتطلب Spark ميزانية أكبر للصيانة ولكنه يحتاج إلى أجهزة أقل لأداء نفس الوظائف وبسرعة أكبر .

نتيجة لما سبق عرضه يمكن التأكيد على أهمية النتائج التي توصلنا إليها وإمكانية اعتماد Spark لتحليل البيانات الضخمة المتدفقة من أجهزة انترنت الأشياء بحيث يمكن بناء معماريات تطل البيانات الواصلة بشكل مباشر .

## 7 الأعمال المستقبلية

لابد من متابعة العمل على إطار Spark والعرض البياني للمخططات بشكل يُظهر القيم الإحصائية الضرورية بالزمن الحقيقي مما يسمح بمعالجة محتملة للحالات الحرجة .

## 8 المراجع

1. AL-ALI, A.R., I.A. ZUALKERNAN, M. RASHID, R. GUPTA, and M. ALIKARAR 2017- A smart home energy management system using IoT and big data analytics approach. **IEEE Transactions on Consumer Electronics**, Vol. 63, N. 4, 426–434.
2. AWAN, M., M. SHAFRY, M. RAHIM, H. NOBANE, A. YASIN, I. KHALAF, U. ISHFAQ, and M. JAVED 2021- A Big Data Approach to Black Friday Sales. **Intelligent Automation and Soft Computing**, Vol. 27, 785–797.
3. HOLST, A. 2021- • Total data volume worldwide 2010-2025 | Statista. <https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created/>.
4. HOLST, A. • IoT connected devices worldwide 2019-2030 | Statista. <https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/>.
5. IOTACOMM 2020- How Does IoT Affect Big Data? » Iota Communications, Inc. <https://www.iotacommunications.com/blog/iot-big-data/>.
6. MANE, S.B., Y. SAWANT, S. KAZI, and V. SHINDE Real Time Sentiment Analysis of Twitter Data Using Hadoop. .
7. MOHBAY, K. 2019- An Efficient Framework for Smart City Using Big Data Technologies and Internet of Things. In 319–328p.

8. S. GILLIS, A. What is IoT (Internet of Things) and How Does it Work?  
<https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>.
9. SMYS, S. and J. RAJ 2019- INTERNET OF THINGS AND BIG DATA ANALYTICS FOR HEALTH CARE WITH CLOUD COMPUTING. **Journal of Information Technology and Digital World**, Vol. 01, 9–18.
10. SOSSI ALAOUI, S., B. AKSASSE, and Y. FARHAOUI 2019- Air pollution prediction through internet of things technology and big data analytics. **International Journal of Computational Intelligence Studies**, Vol. 8, 177.
11. SUN, Y., H. SONG, A.J. JARA, and R. BIE 2016- Internet of Things and Big Data Analytics for Smart and Connected Communities. **IEEE Access**, Vol. 4, 766–773.
12. 2021- How Much Data Is Created Every Day? [27 Powerful Stats]. SeedScientific. <https://seedscientific.com/blog/how-much-data-is-created-every-day/>.
13. The world's data explained: how much we're producing and where it's all stored. <https://theconversation.com/the-worlds-data-explained-how-much-were-producing-and-where-its-all-stored-159964>.
14. What is Smart Environments | IGI Global. <https://www.igi-global.com/dictionary/smart-environments/27179>.
15. Big Data: What it is and why it matters | SAS. [https://www.sas.com/en\\_us/insights/big-data/what-is-big-data.html](https://www.sas.com/en_us/insights/big-data/what-is-big-data.html).
16. Hadoop vs. Spark: What's the Difference? | IBM. <https://www.ibm.com/cloud/blog/hadoop-vs-spark>.

- 17.** Hadoop vs Spark: Detailed Comparison of Big Data Frameworks. <https://phoenixnap.com/kb/hadoop-vs-spark>.
- 18.** ML | Linear Regression - GeeksforGeeks. <https://www.geeksforgeeks.org/ml-linear-regression/>.
- 19.** Random Forest | Introduction to Random Forest Algorithm. <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/06/understanding-random-forest/>.
- 20.** Hadoop - Mapper In MapReduce - GeeksforGeeks. <https://www.geeksforgeeks.org/hadoop-mapper-in-mapreduce/>.



## تحسين أداء جدولة مهام الحوسبة السحابية في الخوارزمية التنافسية ICA باستخدام خوارزمية الكائنات المتكافئة SOS

بشار محسن إبراهيم<sup>1</sup> د. رافة خازم<sup>2</sup> د. رؤى ونوس<sup>3</sup>

### ملخص

تخصص الحوسبة السحابية الموارد المتوفرة ليتم تنفيذ المهام المطلوبة خلال أقل زمن تنفيذ واستخدام فعال للموارد. ويكون دور نظام الجدولة هو اتخاذ القرار المناسب الذي يضمن تنفيذ جميع المهام بحيث يكون مدى الاستفادة من الموارد عالياً ويكون زمن التنفيذ أقل ما يمكن. يقوم هذا البحث بتطبيق خوارزمتين من خوارزميات الأمثلة في جدولة مجموعة من المهام على آلات افتراضية متوفرة في نظام سحابي، هاتان الخوارزمتان هما خوارزمية البحث في الكائنات المتكافئة (SOS (Symbiotic Organisms Search) وقد يُطلق عليها اسم خوارزمية التكافل البيئي، وخوارزمية التنافس بين المستعمرين (ICA (Imperialist Competitive Algorithm) وقد يُطلق عليها اسم خوارزمية التنافس الإمبريالي، وهما تهدفان للبحث عن حل أمثلي يتمثل بجدولة كل المهام على الآلات الافتراضية المتوفرة بزمن تنفيذ كلي أصغري Makespan علماً بأن هاتين الخوارزمتين تندرجان ضمن الخوارزميات فائقة الاستدلال. تمت نمذجة كل خوارزمية ومحاكاتها باستخدام بيئة المحاكاة cloudsims واستخدام لغة java من خلال بيئة التطوير Netbeans، وبعد ذلك تم اقتراح خوارزمية جديدة تحمل اسم ICA-SOS باعتبارها خوارزمية SOS في مرحلتين من مراحل خوارزمية ICA بهدف الاستفادة من سرعة تقاربها نحو الحل الأمثلي والإبقاء على عملية المنافسة للاستيلاء على المستعمرات الجديدة في خوارزمية ICA، ثم الوصول إلى حل أمثلي أفضل من الحل الذي تعطيه خوارزمية ICA وحدها. بينت النتائج - بعد تنجيز الخوارزمية المقترحة وتجربتها- تحسين الحل بنسبة 25% مقارنة

<sup>1</sup> طالب دراسات عليا (ماجستير) - هندسة الحواسيب وشبكاتها - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

<sup>2</sup> أستاذ - قسم هندسة الحواسيب والأتمتة - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

<sup>3</sup> باحث - المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا - دمشق - سورية.

تحسين أداء جدولة مهام الحوسبة السحابية في الخوارزمية التنافسية ICA باستخدام خوارزمية الكائنات المتكافئة SOS

بخوارزمية ICA.

الكلمات المفتاحية: الحوسبة السحابية، جدولة المهام، خوارزمية SOS، خوارزمية ICA.

### Abstract

The goal of scheduling in cloud computing is to allocate the available resources to execute required tasks with low execution time and effective use of resources. The role of the scheduling system is to make the appropriate decision for implementation of all tasks with high utilization of resources and low execution time, to achieve this we used optimization algorithms in this research.

This research implements two optimization algorithms in scheduling a set of tasks on virtual machines available in a cloud system. These two algorithms are the SOS (Symbiotic Organisms Search), and the ICA (Imperialist Competitive Algorithm), they aim to search for an optimal solution by scheduling all tasks on virtual machines available with a minimum Makespan, knowing that these algorithms are among the metaheuristic algorithms.

Each algorithm was modeled and simulated using the cloudsim simulation environment and using the java language through the development environment Netbeans, and then a new algorithm called ICA-SOS was proposed by integrating the two algorithms by adopting the SOS algorithm in two stages of the ICA algorithm in order to take SOS advantage speed and maintain On the competition to capture new colonies in the ICA algorithm, and thus reach an optimal solution that is better than the solution given by ICA algorithm.

The results of the new ICA-SOS algorithm showed improvement rates for ICA algorithm, ICA was improved by 25%.

Keywords: cloud computing, task scheduling, Symbiotic Organism Search, SOS, Imperialist Competitive Algorithm, ICA.

ظهرت العديد من الأبحاث المتعلقة بالبحث في البيانات والاستفادة من الشبكة بالشكل الأمثل، تماشياً مع التطور السريع في مجال الحوسبة واستخدام شبكة الانترنت وكمية البيانات الضخمة المتبادلة بشكل يومي على الشبكة، وبعد ظهور مفهوم الحوسبة السحابية كان لابد من البحث في هذا المجال وتطويره بما يلائم متطلبات العصر. تعتمد الفكرة الأساسية للحوسبة السحابية على تقديم الخدمات للزبائن عن طريق شبكة الانترنت، ومع زيادة أعداد المستخدمين وزيادة الطلب على الخدمات، زادت معها المشكلات المتعلقة بجدولة هذه الطلبات وتنظيمها على المخدمات للوصول إلى أعلى استفادة وبزمن استجابة أقل مايمكن. وما زال البحث في تطوير خوارزميات للجدولة في الحوسبة السحابية الشغل الشاغل للعديد من الباحثين. ظهر مصطلح الحوسبة السحابية في أعمال وشركات مختلفة قبل أن تقوم شركة Amazon عام 2002 بإطلاق سحابتها الأولى Amazon Web Services وفي عام 2006 أطلقت الشركة سحابتها الثانية وأسماها AC2 لتقديم الخدمات التجارية على شبكة الانترنت، وفي عام 2009 ظهرت السحابة الأشهر التي نستخدمها بشكل يومي، وهي سحابة Google متمثلة بتطبيقاتها المتعددة التي تقدم خدمات عديدة للمستخدمين.

يعتمد نموذج الحوسبة السحابية على تقديم كل شيء ليكون خدمة Everything as a service وتنقسم هذه الخدمات إلى ثلاث طبقات رئيسية هي:

- طبقة البرامج كونها خدمة Software as a service (SAAS): هي أعلى مستوى في السحابة، تهتم بالتطبيقات المتعلقة بالمستخدم النهائي، مثل أنظمة البريد الالكتروني، تطبيقات إدارة علاقات العميل، البرمجيات المشتركة، أنظمة إدارة سير العمل.
- طبقة المنصات كونها خدمة Platform as a service (PAAS): هي الطبقة الثانية من طبقات الحوسبة السحابية، تتألف بشكل أساسي من مكتبات وبرامج وسيطة، وتحديثات وأدوات يحتاجها المطورون في تحديث الطبقة الأولى، وتستفيد هذه الطبقة من طبقة IAAS مثل

البيئات الافتراضية التي توفرها تلك الطبقة وكذلك البرمجيات المطورة في المصادر الافتراضية لطبقة IAAS.

- طبقة البنية التحتية كونها خدمة (IAAS) Infrastructure as a service: هي الطبقة الأخيرة من طبقات الحوسبة السحابية، يشار إليها أحياناً بطبقة الأجهزة كونها خدمة Hardware as a service (HAAS) تتضمن خدمات التخزين والنسخ الاحتياطية وقواعد البيانات والأمن. توفر هذه الطبقة البنية التحتية للأجهزة، بدلاً من شراء المخدمات والبرمجيات يقوم العملاء بشراء هذه المصادر كونها خدمة مستقلة، ويتم حساب التكلفة على أساس المصادر المستخدمة. إن هذه الطبقة تستخدم تكنولوجيا الحوسبة الافتراضية بشكل كبير Virtualization technology حيث تساعد على توفير الطاقة والتكلفة والمساحة في قواعد البيانات، ولأنها تحوي موارد السحابة سيتم تخصيص هذه الموارد، وجدولة المهام الواجب تنفيذها اعتماداً على خوارزميات الجدولة المدروسة. يدل مصطلح الجدولة في الحوسبة السحابية على عملية تخصيص الموارد المتاحة لتقوم بتنفيذ المهام المطلوبة، مع مراعاة الكفاءة الأعلى لاستخدام الموارد ويزمن تنفيذ أقل، حيث يتوفر العديد من الموارد في النظام السحابي وبالمقابل هناك العديد من المهام الواجب تنفيذها على هذه الموارد، وهنا يأتي دور نظام الجدولة لاتخاذ القرار المناسب الذي يضمن تنفيذ جميع المهام باستخدام أمثل للموارد ويزمن تنفيذ أقل مايمكن، من هنا كان لخوارزميات الأمثلة دور أساسي للوصول إلى هذا الهدف، وكان المجال واسعاً لاستخدام هذه الخوارزميات وتطويرها في مجال الجدولة في الحوسبة السحابية.

## 2 الهدف من البحث

إن زيادة أعداد المستخدمين وزيادة الطلب على الخدمات، زادت معها المشكلات المتعلقة بجدولة هذه الطلبات وتنظيمها على المخدمات للوصول إلى أعلى استفادة ويزمن استجابة أقل مايمكن، ومن هنا يعتبر زمن تنفيذ المهام على الموارد المتاحة من أجهزة افتراضية من أهم المعاملات التي لا بد من تحسينها وإبقائها في الحدود الدنيا، لذلك لم يوفر الباحثون طريقة لتحسين هذا المعامل ومازال البحث والتطوير مستمراً لاسيما مع التطور السريع للخدمات المتاحة على شبكة الانترنت، وأيضاً زيادة

## تحسين أداء جدولة مهام الحوسبة السحابية في الخوارزمية التنافسية ICA باستخدام خوارزمية الكائنات المتكافئة SOS

الطلب على الخدمات وزيادة أعداد المستخدمين، وهذا يقابله تضخم المهام الواجب تنفيذها على المخدمات وبأطوال مختلفة.

كان لخوارزميات البحث الرياضية التقليدية دوراً أساسياً في كثير من مشكلات التحسين، لكن مع ازدياد فضاء البحث كما في حالة النظام السحابي لم تعد الخوارزميات التقليدية قادرة على التوصل للحل الأمثل، من هنا كان التوجه لاستخدام خوارزميات قادرة على مسح كامل فضاء البحث هو المنقذ للعديد من مشكلات التحسين، ومع ظهور خوارزميات رياضية مستمدة من الطبيعة توجه العديد من الباحثين لاستخدامها ونمذجتها بما يلائم مسألة البحث، فمنهم من استخدم خوارزمية مستعمرة النمل ACO للبحث عن أقصر مسار أو لاستخدامها في البحث ضمن الشبكة، واستخدم آخرون الخوارزمية الجينية GA بهدف تطوير أجيال جديدة تمتلك تكيف أعلى مع المسألة المطروحة وبالتالي التوصل لحل أمثل، وتجاوز بعض الباحثين هذه الخوارزميات إلى اقتراح خوارزميات جديدة تعتمد على الدمج بين خوارزميتين أو أكثر بهدف الاستفادة من ميزات كل خوارزمية وبالنتيجة التوصل إلى حل أمثل يكون أفضل من الحل الذي تصل إليه كل خوارزمية على حدة، من هنا كان التوجه في هذا البحث لإيجاد خوارزمية تكون قادرة على إيجاد حل أمثل بمسح كامل فضاء البحث وأيضاً تعتمد على تقسيم فضاء البحث بهدف التوصل لأفضل حل. إن هدفنا في هذا البحث هو إيجاد الحل الأمثل لجدولة عدة مهام ضمن البيئة السحابية بحيث يكون الزمن الكلي Makespan لتنفيذ المهام على الأجهزة الافتراضية المتاحة أقل ما يمكن.

تم اختيار خوارزميتين هما خوارزمية البحث في الكائنات المتكافئة SOS التي تتميز بتقاربها السريع من الحل الأمثل، وأيضاً خوارزمية التنافس بين المستعمرين ICA التي تتميز بالتوصل لحل أمثل أفضل مع ازدياد عمليات التنافس، سيتم الدمج بين هاتين الخوارزميتين بهدف التوصل إلى زمن تنفيذ كلي أمثل أفضل من الزمن الذي تصل له خوارزمية التنافس بين المستعمرين وحدها ICA.

### 3 الدراسات المرجعية

تطرقَت دراسات عديدة لموضوع جدولة المهام في الحوسبة السحابية، واعتمد بعضها على الدمج بين الخوارزميات المتاحة للتوصل لنتائج أفضل.

درس [7] موضوع الجدولة بالاعتماد على الدمج بين خوارزمية مستعمرة النمل ACO وخوارزمية SOS حيث تم معالجة مشكلة ضعف فعالية جدولة المهام عند استخدام خوارزمية النمل وحدها، بالاستفادة من سرعة تقارب خوارزمية SOS، كما قدّم باحثون في [8] دراسة جدولة المهام في الحوسبة السحابية لحل مشكلة ضعف فعالية جدولة المهام باستخدام خوارزمية ACO وحدها حيث تم دمج خوارزمية ICA للاستفادة من عملية التنافس بين الإمبرياليين للوصول لحل أمثلي أفضل من الحل الذي تم التوصل له باستخدام خوارزمية ACO وحدها، أما [2] فقد قاموا باستخدام خوارزمية SOS وحدها ونمذجتها لحل مسألة الجدولة في الحوسبة السحابية، وذلك للاستفادة من سرعة تقاربها من الحل الأمثلي في حالة حجم المهام الكبير، ثم قدم [5] دراسة استخدموا فيها خوارزمية التنافس الإمبريالي ICA لحل مسألة جدولة المهام في الحوسبة السحابية والاستفادة من عملية المنافسة بين الإمبرياليين.

### 4 خوارزمية البحث في الكائنات المتكافئة SOS

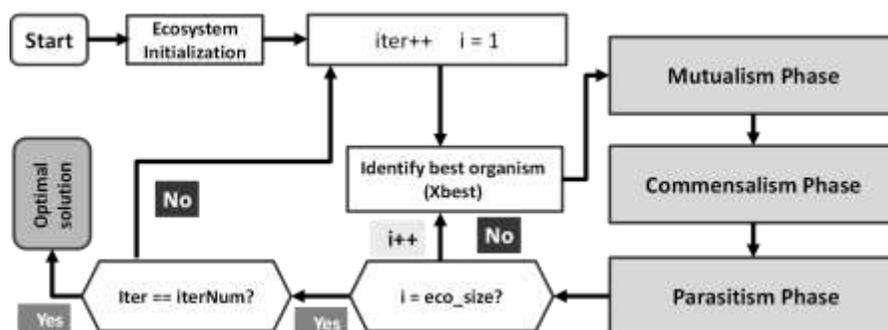
تعتمد خوارزمية SOS على محاكاة سلوك الكائنات الحية في الطبيعة، وهي من الخوارزميات فائقة الاستدلال metaheuristic تُستخدم لحل مشكلات التحسين العددي، وتبدأ الخوارزمية بمجموعة أولية تسمى النظام البيئي.

يتم إنشاء مجموعة من الكائنات في النظام البيئي الأولي بشكل عشوائي في مساحة البحث، يمثل كل كائن حي حلاً مرشحاً واحداً للمشكلة المقابلة، ويرتبط كل كائن حي في النظام البيئي بقيمة تكيف معينة fitness value التي تعكس درجة التكيف مع الهدف المنشود، ويتم في هذه الخوارزمية التحكم في توليد الحلول الجديدة من خلال محاكاة التفاعل بين كائنين في النظام البيئي، وتمر

## تحسين أداء جدولة مهام الحوسبة السحابية في الخوارزمية التنافسية ICA باستخدام خوارزمية الكائنات المتكافئة SOS

الخوارزمية بثلاث مراحل هي مرحلة التبادل Mutualism Phase ومرحلة التعايش Commensalism Phase ومرحلة التطفل Parasitism Phase تشبه نموذج التكافل البيئي في العالم الحقيقي [1].

يوضح الشكل 4-1 مخطط خوارزمية SOS.



الشكل 4-1 مراحل خوارزمية SOS

يدلّ  $i$  في الشكل 4-1 لعدد الكائنات في النظام البيئي، ويتم تحديده كدخل للخوارزمية، ويدلّ  $iter$  على عدد التكرارات، ويتم تحديده كدخل للخوارزمية، بحيث يتم في كل تكرار المرور على كل الكائنات في النظام البيئي  $ecosystem$ .

### 4.1 مرحلة التبادل Mutualism phase

تتلخص هذه المرحلة بعلاقة مستفيد - مستفيد، حيث يتم التفاعل بين كائنين في النظام البيئي وينتج عن هذا التفاعل منفعة متبادلة للطرفين، مثل العلاقة بين الأزهار والنحل في الطبيعة، حيث تستفيد الأزهار من النحل بأنه يساعدها في عملية التلقيح بنقل حبات الطلع من زهرة لأخرى، وأيضاً يستفيد النحل من هذه العلاقة بأنه يتغذى على الأزهار ويقوم بإنتاج العسل.

فرض  $X_i$  هو كائن حي ضمن النظام البيئي، يتم اختيار كائن حي آخر بشكل عشوائي  $X_j$  للتفاعل مع  $X_i$ ، ينخرط كلا الكائنين في علاقة متبادلة بهدف زيادة ميزة البقاء المتبادل. يمثل كل من  $X_i$  و  $X_j$  حلاً مرشحاً يتم الاستبدال به حلاً آخر بالإعتماد على المعادلات التالية التي تحسب الحلول المرشحة الجديدة بناءً على التعايش المتبادل بين الكائنين:

$$X_{i_{new}} = X_i + rand(0,1) * (X_{best} - MutualVector * BF1) \quad (1)$$

$$X_{j_{new}} = X_j + rand(0,1) * (X_{best} - MutualVector * BF2) \quad (2)$$

$$MutualVector = \frac{X_i + X_j}{2} \quad (3)$$

إذا كانت درجة تكيف  $X_{i_{new}}$  أعلى من درجة تكيف  $X_i$  يتم الاستبدال بقيمة  $X_i$  قيمة جديدة  $X_{i_{new}}$  وإلا تبقى القيمة السابقة ل  $X_i$  كما هي، وكذلك الأمر بالنسبة للكائن  $X_j$  [1].

تُحدد التوابع  $BF1$  و  $BF2$  فيما إذا كان الكائن الحي يستفيد جزئياً أو كلياً من التفاعل حيث الاستفادة متبادلة، تكون قيمة كل منهما إما 1 أو 2، يتم اختيار هذه القيمة بشكل عشوائي من أجل كل كائن حي، فهذه التوابع تعتمد على كمية الفائدة التي يحصل عليها كل من الكائنين [1].

يمثل  $X_{best}$  الحل المرشح الأفضل الذي يمتلك أعلى درجة تكيف، ويمثل الهدف الذي تسعى بقية الكائنات للوصول إلى درجة تكيفه، حيث تحاول بقية الكائنات في النظام البيئي زيادة درجة تكيفها للبقاء على قيد الحياة، وفقاً لنظرية داروين "ستسود الكائنات الصالحة فقط" [1].

#### 4.2 مرحلة التعايش Commensalism phase

تتلخص هذه المرحلة بعلاقة مستفيد - محايد، حيث يستفيد أحد الطرفين من العلاقة، بينما لا يتأثر الطرف الآخر، مثال العلاقة بين أسماك ريمورا وأسمك القرش، حيث تتغذى أسماك ريمورا على بقايا طعام سمكة القرش فهي بذلك تستفيد وتحافظ على بقائها، بينما سمكة القرش لا تتأثر بذلك ولا تشعر بوجود سمكة الريمورا، تمثل المعادلة التالية حساب كائن جديد بالاستفادة من كائن آخر.

تحسين أداء جدولة مهام الحوسبة السحابية في الخوارزمية التنافسية ICA باستخدام خوارزمية الكائنات المتكافئة SOS

$$X_{inew} = X_i + rand(-1,1) * (X_{best} - X_j) \quad (4)$$

يمثل الجزء  $(X_{best}-X_j)$  الفائدة التي يقدمها الكائن  $X_j$  لمساعدة  $X_i$  على البقاء، إذا كانت درجة تكيف  $X_{inew}$  أعلى من درجة تكيف  $X_i$  يتم استبدال قيمة  $X_i$  بالقيمة الجديدة  $X_{inew}$  وإلا تبقى القيمة السابقة كما هي [1].

### 4.3 مرحلة التطفل Parasitism phase

تمثل هذه المرحلة علاقة مستفيد - متضرر، حيث يستفيد أحد الطرفين من العلاقة بينما يتضرر الطرف الآخر، مثال على التطفل هو طفيلي البلازموديوم، الذي يستخدم علاقته ببعوضة الأنوفيلة للانتقال بين المضيفين من البشر. بينما ينمو الطفيل ويتكاثر داخل جسم الإنسان، فإن مضيفه البشري يعاني من الملاريا وقد يموت نتيجة لذلك [1].

يتم إعطاء الكائن  $X_i$  دوراً مشابهاً لبعوضة الأنوفيلة من خلال إنشاء طفيلي اصطناعي يتم إنشاؤه في مساحة البحث عن طريق تكرار الكائن  $X_i$ ، ثم تعديل الأبعاد المختارة عشوائياً باستخدام رقم عشوائي، ثم يتم اختيار الكائن  $X_j$  بشكل عشوائي من النظام البيئي ويعمل كمضيف لناقل الطفيلي، يحاول الطفيلي استبدال  $X_j$  في النظام البيئي، إذا كان لدى الطفيلي قيمة تكيف أفضل فسوف يقتل الكائن  $X_j$  ويتولى موقعه في النظام البيئي، أما إذا كانت قيمة تكيف  $X_j$  أفضل، فسيتمتع  $X_j$  بحصانة من الطفيلي ويبقى  $X_j$  في مكانه ويتم إهمال الطفيلي.

يتم توليد الطفيلي بالإعتماد على الكائن  $X_i$  من خلال توليد رقم عشوائي وضربه بقيمة  $X_i$  ثم اختيار كائن آخر  $X_j$  بشكل عشوائي ثم حساب درجة التكيف لكلا الكائنين واختيار الكائن الذي يحقق درجة تكيف أعلى وإهمال الكائن الآخر.

يتم إعادة المراحل السابقة إلى أن ينتهي عدد التكرارات وتنتهي الخوارزمية، مع العلم أن دخل الخوارزمية هو عدد التكرارات وعدد الكائنات.

يتم الحصول في نهاية الخوارزمية على كائن يحقق نسبة تكيف أعلى، يمثل هذا الكائن الحل الأمثل الذي استطاعت الخوارزمية إيجاده.

## 5 خوارزمية التنافس بين المستعمرين Imperialist Competitive Algorithm

تم اقتراح هذه الخوارزمية لحل مشاكل الأمثلة العددية [3] وهي مستوحاة من التنافس الإمبريالي، تبدأ الخوارزمية بمجموعة أولية، يطلق على كل عنصر فيها اسم الدولة Country التي تنقسم إلى نوعين، المستعمرات Colonies والإمبرياليين imperialists اللذين يشكلان معاً إمبراطوريات empires.

تعتمد فكرة الخوارزمية على المنافسة الإمبريالية بين الإمبراطوريات Imperialistic competition للوصول بالنهاية إلى إمبراطورية واحدة قوية تكون قد سيطرت في مراحل سابقة على جميع مستعمرات الإمبراطوريات الضعيفة.

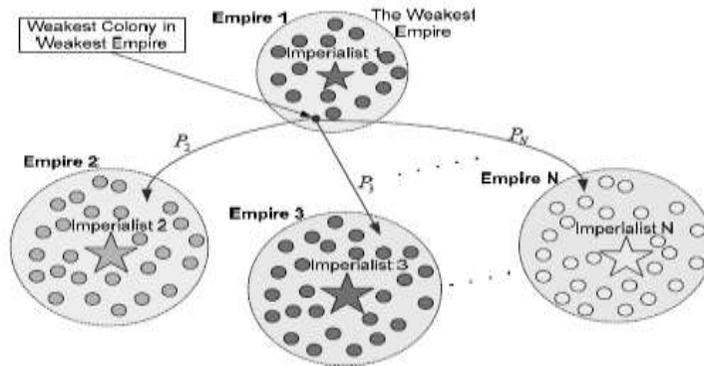
تبدأ الخوارزمية بتعريف فضاء الحلول population الذي يمثل مجموعة الدول countries بحيث تنقسم الدول إلى إمبرياليين imperialists ومستعمرات Colonies يتم تصنيف الدولة كإمبريالية حسب أفضليتها وطاقاتها، وتكون أفضل الدول هي إمبريالية imperialist وماتبقى تصنف كمستعمرة Colony حيث كل مجموعة مستعمرات تتبع لإمبريالية ما، يمثل الشكل 1-5 الإمبريالي بنجمة والمستعمرة بدائرة، ويمثل كل من الإمبريالي والمستعمرة دولة، أما الإمبراطورية فهي مجموعة مستعمرات وإمبريالي واحد.

يتم تقسيم المستعمرات على الإمبرياليين وفقاً لطاقاتها، تشكل المستعمرات والإمبرياليين ما يسمى إمبراطورية empire، ولكل إمبراطورية طاقة كلية تعتمد على طاقة الدولة الإمبريالية وطاقة مستعمراتها.

وبعد تقسيم جميع المستعمرات على الإمبرياليين، تبدأ هذه المستعمرات بالتحرك نحو دولتهم الإمبريالية ذات الصلة، ثم تبدأ المنافسة الإمبريالية imperialistic competition بين كل الإمبراطوريات، بحيث كل إمبراطورية لا تتمكن من زيادة طاقتها (أو على الأقل تمنع نقصان طاقتها)

## تحسين أداء جدولة مهام الحوسبة السحابية في الخوارزمية التنافسية ICA باستخدام خوارزمية الكائنات المتكافئة SOS

سيتم استبعادها من المنافسة [3]، وستؤدي المنافسة الإمبريالية تدريجياً إلى زيادة قوة الإمبراطوريات القوية ونقصان قوة الإمبراطوريات الأضعف بحيث تفقد الإمبراطوريات الضعيفة قوتها وتتهار، وبالنهاية ينتج إمبراطورية واحدة يكون للإمبريالي فيها الطاقة الأكبر وهو يمثل الحل الذي تجده الخوارزمية.

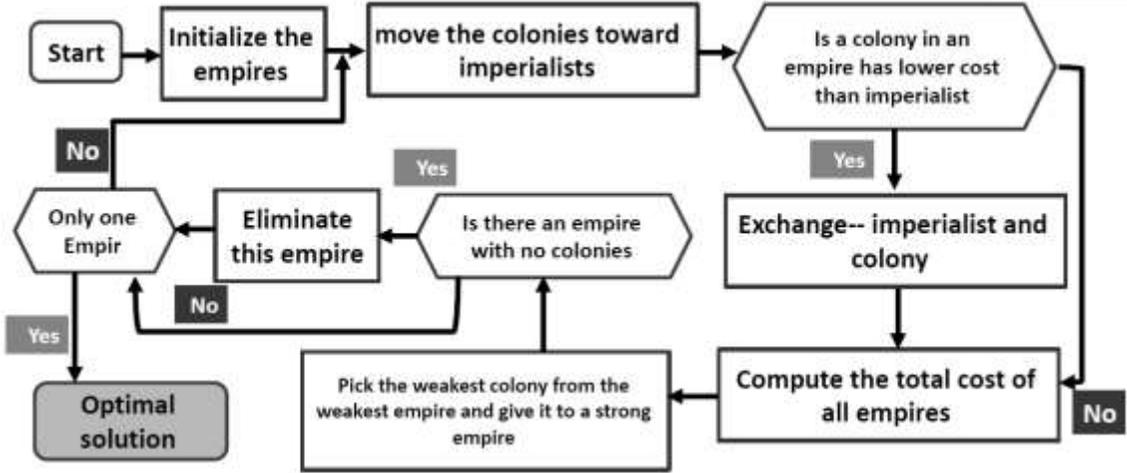


الشكل 5-1 الإمبرياليون والمستعمرات التابعة لهم والإمبراطوريات

من نقاط ضعف هذه الخوارزمية تقاربها السريع من local optima الذي يمثل حلاً مرشحاً لكن ليس هو الحل النهائي global optima لكنها تستطيع الخروج منه بعد عدة تكرارات في مرحلة التنافس الإمبريالي، وقد يؤدي ذلك إلى استهلاك وقت للوصول إلى إمبراطورية واحدة.

يُعد الوصول إلى الحل الأمثل المحلي local optima فخاً أو مصيدة traps لأغلب خوارزميات البحث التقليدية، وبهذا تتغلب خوارزميات البحث ال metaheuristic بقدرتها على الهروب من الأفخاخ بسبب اعتمادها على قيم عشوائية وعلى عدد من التكرارات [4].

يوضح الشكل 5-2 مراحل خوارزمية ICA [4].



الشكل 5- 2 مخطط خوارزمية ICA

### 5.1.1 مراحل خوارزمية ICA

- تهيئة الإمبراطوريات وتوزيع المستعمرات عليها

يتم تشكيل إمبراطوريات عددها  $N_{imp}$  تتألف كل إمبراطورية من عدة دول، العدد الكلي للدول هو  $N_{pop}$  وهو يمثل حجم فضاء الحلول الأولي، يُعدُّ كل من  $N_{pop}$  و  $N_{imp}$  محددات دخل الخوارزمية.

تكون الدولة إما إمبريالي *imperialist* وإما مستعمرة *colony* وتمتلك كل إمبراطورية إمبريالي واحد وعدة مستعمرات تتبع لهذا الإمبريالي، بالتالي عدد الإمبرياليين يساوي عدد الإمبراطوريات  $N_{imp}$  أما عدد المستعمرات الكلي  $N_{col}$  يساوي الفرق بين عدد الدول وعدد الإمبرياليين:

$$N_{col} = N_{pop} - N_{imp}$$

يتم توزيع المستعمرات على الإمبرياليين استناداً إلى طاقة الإمبريالي:

$$C_n = c_n - \max_i\{c_i\} \quad (9)$$

حيث  $c_n$  هو قيمة تابع الكلفة للإمبريالي  $n$  أما  $C_n$  فهو قيمة تابع الكلفة للإمبريالي  $n$  بعد التقييس.

تحسين أداء جدولة مهام الحوسبة السحابية في الخوارزمية التنافسية ICA باستخدام خوارزمية الكائنات المتكافئة SOS

إنَّ تابع الكلفة في مسألة الجدولة في هذا البحث هو التابع الذي يحسب زمن التنفيذ الكلي Makespan للإمبريالي  $n$ ، كما توضح المعادلة:

$$(10) \text{Makespan}_n = \text{makespan}_n - \max_i \{\text{makespan}_i\}$$

حيث يتم حساب زمن التنفيذ لكل مستعمرة من المستعمرات التابعة للإمبريالي  $n$  ثم حساب القيمة العظمى  $\max$  لقيم أزمنة المستعمرات، ثم طرحها من قيمة زمن التنفيذ للإمبريالي  $n$ .

$$p_n = \left\lfloor \frac{C_n}{\sum_{i=1}^{N_{imp}} C_i} \right\rfloor \quad (11)$$

تمثل  $p_n$  طاقة الإمبريالي التي سيتم على أساسها حساب عدد المستعمرات التابعة لهذا الإمبريالي كما يلي:

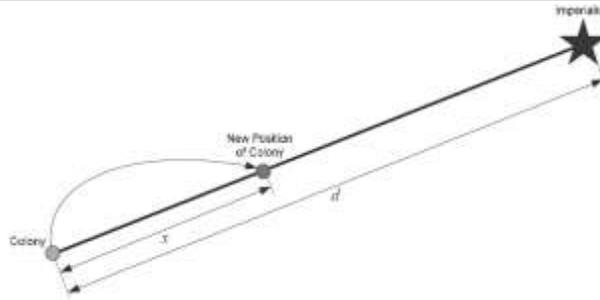
$$N \cdot C_n = \text{round}\{p_n \cdot N_{col}\} \quad (12)$$

تمثل  $N \cdot C_n$  عدد المستعمرات الأولى في الإمبراطورية  $n$  ذات الإمبريالي  $n$

تمثل  $N_{col}$  عدد المستعمرات الكلي.

• **تحرك المستعمرات باتجاه الإمبريالي (Assimilating)**

تبدأ المستعمرات في كل إمبراطورية بالتحرك نحو الإمبريالي في هذه الإمبراطورية كما يوضح الشكل 3-5، قد تتحرك المستعمرة إلى موضع جديد تكون قيمة الكلفة عند هذا الموضع أقل (أفضل) من قيمة الكلفة للإمبريالي [3].



الشكل 3-5 تحرك المستعمرة نحو الإمبريالي

يتم نمذجة هذه الحركة رياضياً باختيار المتحول العشوائي  $x$  الذي يتم حسابه باستخدام تابع توزيع عشوائي وليكن  $U$  حيث

$$x \sim U(0, \beta * d)$$

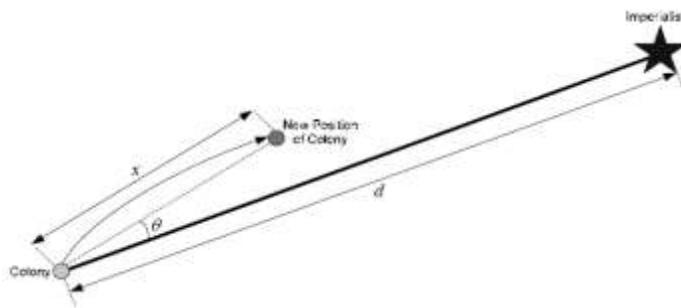
تمثل  $d$  المسافة بين المستعمرة والإمبريالي.

تمثل  $\beta$  مقدار أكبر من الواحد (يساوي تقريباً 2).

قد تتحرك المستعمرة باتجاه الإمبريالي وفق زاوية  $\theta$  يتم توليدها وفق تابع توزيع عشوائي

$$\theta \sim U(-\gamma, \gamma)$$

حيث  $\gamma \sim \frac{\pi}{4}$  كما يوضح الشكل 4-5.

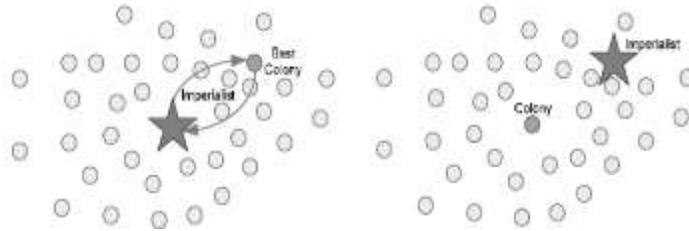


الشكل 4-5 تحرك المستعمرة نحو الإمبريالي باتجاه عشوائي

- تبديل مواقع المستعمرة والإمبريالي (Exchanging)

تحسين أداء جدولة مهام الحوسبة السحابية في الخوارزمية التنافسية ICA باستخدام خوارزمية الكائنات المتكافئة SOS

عندما تتحرك المستعمرة إلى موضع جديد قيمة تابع الكلفة عنده أقل (أفضل) من قيمة تابع الكلفة للإمبريالي، يتم تبديل مواضع المستعمرة والإمبريالي، وتصبح المستعمرة إمبريالياً، ويصبح الإمبريالي القديم مستعمرةً كما يوضح الشكل 5-5، وتتابع الخوارزمية خطواتها مع الإمبريالي الجديد [3].



الشكل 5-5 تبديل مواضع المستعمرة والإمبريالي

• حساب الطاقة الكلية للإمبراطورية

طاقة الإمبراطورية تتأثر بشكل رئيسي بطاقة الإمبريالي، وتؤدي بقية المستعمرات دوراً صغيراً في حساب طاقة الإمبراطورية [3] كما توضح المعادلة:

$$T.C_n = Cost(Imperialist_n) + \xi \text{mean}\{Cost(Colonies\ of\ empire_n)\} \quad (13)$$

تمثل  $T.C_n$  الكلفة الكلية للإمبراطورية  $n$  ويمثل  $\xi$  مقداراً صغيراً موجباً أصغر من الواحد، يعبر عن كمية تأثير كلفة المستعمرات في الكلفة الكلية للإمبراطورية.

• التنافس الإمبريالي (Imperialistic competition)

يتم في هذه المرحلة التنافس بين الإمبراطوريات للحصول على مستعمرات، يتم اختيار الإمبراطورية الأضعف والاستيلاء على أضعف مستعمرة فيها من قبل إمبراطورية قوية، حيث تتنافس الإمبراطوريات للحصول على المستعمرة الضعيفة.

إن تحديد الإمبراطوريات القوية يتم بحساب إمكانية استيلاء كل إمبراطورية، يتم أولاً حساب  
كلفة الإمبراطورية n

$$N.T.C_n = T.C_n - \max_i \{T.C_i\} \quad (14)$$

يمثل  $N.T.C_n$  قيمة تابع الكلفة للإمبراطورية n بعد التقييس.

يمثل  $T.C_n$  قيمة تابع الكلفة للإمبراطورية n

يتم بعدها حساب إمكانية استيلاء كل إمبراطورية كما في المعادلة:

$$p_{p_n} = \left| \frac{N.T.C_n}{\sum_{i=1}^{N_{imp}} N.T.C_i} \right| \quad (15)$$

يتم بعدها تقسيم المستعمرات على الإمبراطوريات بحسب إمكانية استيلاء كل إمبراطورية لذلك يتم  
حساب الشعاع P

$$P = [p_{p_1}, p_{p_2}, p_{p_3}, \dots, p_{p_{N_{imp}}}] \quad (16)$$

ثم يتم إنشاء الشعاع R بحجم الشعاع P نفسه ويحتوي كل مسقط فيه قيمة عشوائية بين الصفر  
والواحد:

$$R = [r_1, r_2, r_3, \dots, r_{N_{imp}}] \quad (17)$$

$$r_1, r_2, r_3, \dots, r_{N_{imp}} \sim U(0,1)$$

ثم يتم تشكيل شعاع الفرق بين الشعاعين السابقين:

$$D = P - R = [p_{p_1} - r_1, p_{p_2} - r_2, p_{p_3} - r_3, \dots, p_{p_{N_{imp}}} - r_{N_{imp}}]$$

$$D = [D_1, D_2, D_3, \dots, D_{N_{imp}}] \quad (18)$$

## تحسين أداء جدولة مهام الحوسبة السحابية في الخوارزمية التنافسية ICA باستخدام خوارزمية الكائنات المتكافئة SOS

القيمة الأكبر من  $D$  ذات الدليل  $n$  توافق الإمبراطورية ذات الدليل نفسه والتي تمتلك أعلى احتمالية استيلاء على المستعمرة الأضعف في الإمبراطورية الأضعف [3].

يتم إعادة حساب الإمبراطورية الأضعف والإمبراطورية ذات احتمال الاستيلاء الأعلى وتستمر المنافسة.

### • إهمال الإمبراطورية الأضعف

بعد عدة عمليات استيلاء قد تفقد إمبراطورية ما جميع مستعمراتها وعندها يتم استبعاد هذه الإمبراطورية من المنافسة ويتناقص عدد الإمبراطوريات، ثم يتم الرجوع إلى مرحلة تحرك المستعمرات باتجاه الإمبريالي في كل إمبراطورية وتستمر المنافسة، إلا إذا بقي إمبراطورية واحدة فقط عندها تتوقف الخوارزمية.

### • توقف الخوارزمية عند الوصول لإمبراطورية واحدة

تتوقف خوارزمية التنافس الإمبريالي عند الوصول إلى إمبراطورية واحدة، ويكون الحل الأمثل الذي وصلت إليه الخوارزمية هو الإمبريالي في هذه الإمبراطورية الوحيدة، والذي يمتلك أفضل قيمة لتابع الكلفة.

في حالة الجدولة يمثل الإمبريالي في الإمبراطورية الوحيدة بعد توقف الخوارزمية الحل الأمثل الذي وصلت إليه الخوارزمية، وهو عبارة عن مجموعة الثنائيات التي تمثل إسناد كل مهمة إلى جهاز افتراضي معين بحيث يكون زمن التنفيذ الكلي لمجموعة الإسنادات أصغر ما يمكن.

## 6 استخدام خوارزمية ICA في جدولة المهام في الحوسبة السحابية

إن الحل الذي يتم البحث عنه هو تشكيلة من الإسنادات، يتم إسناد كل مهمة  $C_i$  إلى جهاز افتراضي  $v_j$  ما

بفرض أن الأرقام المعرفة للمهام هي 0,1,2,3,4 وأن الأرقام المعرفة للأجهزة الافتراضية هي 0,1,2,3

زمن التنفيذ الكلي Makespan هو مجموع أزمنة التنفيذ لكل ثنائية في الحل المقترح (الدولة country)، بفرض أن عدد الثنائيات  $k$  يكون زمن التنفيذ الكلي:

$$\text{Makespan} = \sum_{i=1}^k ETC_i$$

يمثل ETC الزمن المتوقع لتنفيذ مهمة (Cloudlet) على جهاز افتراضي (VM)

$$ETC(i, j) = \frac{\text{Length of cloudlet}(i)}{\text{MIPS of VM}(j)} \quad (\text{second} * 10^{-6})$$

إن الحل النهائي الذي تتوصل إليه الخوارزمية هو تشكيلة من الثنائيات (دولة country) تحقق أصغر زمن تنفيذ Makespan، وتكون الدولة في هذه الحالة هي الإمبريالي في الإمبراطورية، وذلك عند الوصول لإمبراطورية واحدة وعندها تتوقف الخوارزمية.

في كل عمليات التبديل والتعديل على الحل، ما يتم تعديله هو الجهاز الافتراضي الذي سينفذ المهمة، أي المسقط الثاني من الثنائية فقط.

دخل الخوارزمية هو عدد الإمبراطوريات  $N_{imp}$  وعدد الدول  $N_{pop}$

## 7 الخوارزمية المقترحة في جدولة المهام ICA-SOS

بعد دراسة كل من الخوارزمتين كل على حدة، وجدنا أن خوارزمية SOS تتقارب من الحل الأمثلي بشكل أسرع حيث تصل إلى حل أمثلي بعد عدد محدد من التكرارات، ولاتصل لحل أفضل حتى لو

## تحسين أداء جدولة مهام الحوسبة السحابية في الخوارزمية التنافسية ICA باستخدام خوارزمية الكائنات المتكافئة SOS

ازداد عدد التكرارات عن هذا الحد، وبالمقابل فإن خوارزمية ICA تأخذ وقتاً لإنهاء عمليات التنافس الإمبريالي ولاسيما عندما تكون الإمبراطوريات متقاربة في طاقتها.

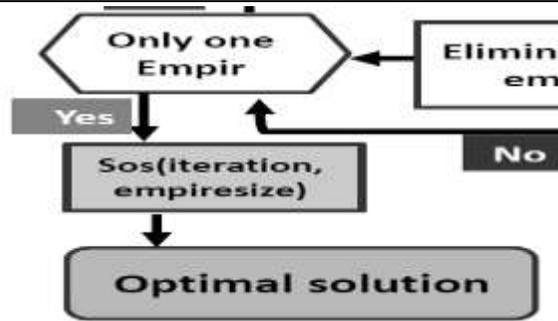
مما سبق يمكننا أن نتوقع بأن إدراج خوارزمية SOS في مرحلة تقارب المستعمرة من الإمبريالي ضمن خوارزمية ICA، على اعتبار أن الإمبراطورية هي فضاء حلول أولي لخوارزمية SOS فإن هذا الإدراج سيحسن من خوارزمية ICA.

إن إدراج خوارزمية SOS بعد مرحلة تهيئة الإمبراطوريات وقبل عملية تقارب المستعمرة من الإمبريالي يساعد على تجهيز امبراطورية محسنة أساساً قبل أن يتم اختبار تقارب المستعمرات، بحيث يكون دخل Input الخوارزمية التكافلية SOS هو عدد التكرارات Iteration وهو مقدار يتم تحديده عند البداية كدخل للخوارزمية المقترحة، أما عدد الكائنات (مقدار الدخل الثاني للخوارزمية SOS) هو عدد الدول في الإمبراطورية (empireSize) التي سيتم تطبيق الخوارزمية التكافلية SOS عليها.



بالتالي قد لاحتاج الإمبراطورية المحسنة إلى عمليات تبديل بين المستعمرات والإمبريالي، وهذا يؤدي إلى توفير وقت في البحث بكل خوارزمية، يبقى هذا الوقت أكبر من الوقت الذي استهلكته خوارزمية SOS التي تم حقنها لأنها تتقارب بشكل سريع من الحل، وهنا في حالة الدمج لم نكرر SOS أكثر من ثلاث مرات -كما ستظهر النتائج- في كل عملية حقن.

كما أن الإمبراطورية الأخيرة الوحيدة التي تصل إليها خوارزمية ICA يمكن عدّها فضاء حلول أولي لخوارزمية SOS.

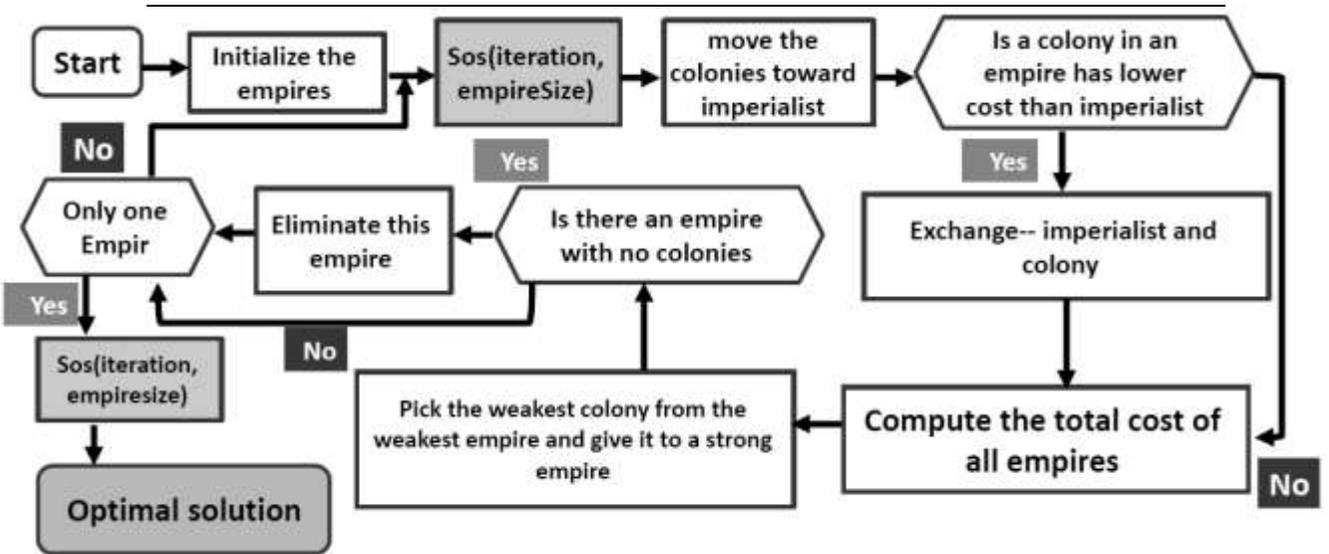


حيث تم حقن خوارزمية SOS بعد التوصل لإمبراطورية واحدة وقبل التوقف لاختيار الحل الأمثلي Optimal Solution بحيث يكون عدد التكرارات Iteration لخوارزمية SOS هو عدد التكرارات الذي تم تحديده عند البدء كدخل للخوارزمية المقترحة ICA-SOS، أما عدد الكائنات هو عدد الدول في الإمبراطورية الأخيرة التي بقيت بعد انتهاء عمليات المنافسة. إن الحل الأمثلي Optimal Solution هو الدولة (مجموعة الثنائيات) التي تمثل بالنسبة لخوارزمية SOS الكائن الحي الذي يمتلك أعلى درجة تكيف بالنسبة لزمن التنفيذ، بحيث يكون زمن تنفيذ هذه التشكيلة من الثنائيات أصغر ما يمكن.

إذاً يمكن صياغة خطوات الخوارزمية الجديدة ICA-SOS كما يوضح الشكل 7-1.

تحسين أداء جدولة مهام الحوسبة السحابية في الخوارزمية التنافسية ICA باستخدام خوارزمية

### الكائنات المتكافئة SOS



### الشكل 1-7 مخطط الخوارزمية الهجينة ICA-SOS

دخل الخوارزمية ICA-SOS هو عدد التكرارات وعدد الإمبراطوريات وعدد الدول.

يتم تلخيص الخوارزمية الهجينة ICA-SOS بالخطوات الرئيسية التالية:

1. تهيئة الإمبراطوريات وتوزيع المستعمرات عليها.
2. تطبيق مراحل SOS على كل إمبراطورية بعدد تكرارات يتم تحديده كدخل للخوارزمية.
3. تبديل مواقع المستعمرة والإمبريالي (Exchanging).
4. حساب الطاقة الكلية للإمبراطورية.
5. التنافس الإمبريالي (Imperialistic competition).
6. إهمال الإمبراطورية التي لا تمتلك مستعمرات وإلا العودة للخطوة 2
7. توقف الخوارزمية عند الوصول لإمبراطورية واحدة.
8. تطبيق مراحل SOS على الإمبراطورية الأخيرة بعدد تكرارات يتم تحديده عند البدء.

## 8 التطبيق العملي

تم استخدام بيئة المحاكاة cloudsims وتضمن المكتبات الخاصة بها على بيئة التطوير Netbeans IDE 8.2، تم كتابة الكود البرمجي بلغة Java version 1.8.0\_251 تم تهيئة بيئة المحاكاة بالقيم الموضحة في الجدول 1-8 والجدول 2-8 والجدول 3-8 قبل البدء بتجريب الخوارزميات وتسجيل النتائج:

مراكز البيانات Datacenters:

الجدول 1-8 مواصفات مراكز البيانات في بيئة المحاكاة

عدد المضيفين في كل مركز Hosts	سرعة تنفيذ التعليمات Million Instructions Per Second MIPS
2	1000000

المضيفون الفيزيائيون Hosts:

الجدول 2-8 مواصفات كل مضيف فيزيائي في مركز البيانات

رقم تسلسلي للمضيف Host	الذاكرة RAM (GB)	التخزين Storage (TB)	التردد Bandwidth (GB/s)	طريقة جدولة الآلات الافتراضية VM Scheduling	هرمية النظام system architecture	نظام التشغيل operating system	عدد النوى Cores
1	20	1	10	time-shared	x86	Linux	2
2	20	1	10	time-shared	x86	Linux	4

الآلات الافتراضية Virtual Machines:

تحسين أداء جدولة مهام الحوسبة السحابية في الخوارزمية التنافسية ICA باستخدام خوارزمية الكائنات المتكافئة SOS

الجدول 3-8 مواصفات كل آلة افتراضية في مركز البيانات

سرعة تنفيذ التعليمات MIPS	عدد المعالجات	التردد Bandwidth (GB/s)	الذاكرة RAM (GB)
من 1000 إلى 10000	1	1	0.5

تم تجريب الخوارزميات على مسألتين:

**المسألة الأولى:** جدولة 1000 مهمة على 125 جهاز افتراضي

المهام التي سيتم جدولتها ليست متساوية جميعها بالطول، كما يوضح الجدول 4-8:

الجدول 4-8 الأرقام المعرفة للمهام وأطوال المهام.

Cloudlet_ID	0	1	2	3	4	5	...	24	25	26	...	999
Length	1000	1100	1200	1300	1400	1500	...	3400	1000	1100	...	3400

وكذلك الأجهزة الافتراضية VMs ليست متساوية جميعها بعدد التعليمات التي تنفذها بالثانية

(مضروباً بمليون) كما يوضح الجدول 5-8:

الجدول 5-8 الأرقام المعرفة للأجهزة الافتراضية وعدد التعليمات.

VM_ID	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	...	124
MIPS	50	150	250	350	450	550	650	750	850	950	50	150	...	450

**الحل باستخدام خوارزمية ICA** دخل الخوارزمية: عدد الدول Countries وعدد الإمبراطوريات Empires

يوضح الجدول 6-8 نتائج تنفيذ الخوارزمية.

### الجدول 6-8 نتائج الخوارزمية ICA لحل المسألة الأولى

Countries (input)	Empires (input)	Competitive count (عدد مرات الاستيلاء على مستعمرة- حجم المنافسة)	Makespan (ms)
10	3	151	4.259
10	3	610	3.989
10	3	623	4.014
10	3	141	3.955
10	3	43	5.501
10	3	721	3.116
10	4	149	4.356
10	4	111	5.491
10	4	127	4.979
10	4	163	5.311
10	4	174	4.080
10	5	54	4.899
10	5	9	6.637
10	5	115	4.972
10	5	79	6.188
10	5	43	5.788

بملاحظة قيم الجدول 6-8 نجد بأن زيادة حجم المنافسة يزيد من تحسن الحل أي يعطينا زمن تنفيذ أفضل (أصغر) ومن هنا نقول بأن كل ما كانت المنافسة كبيرة كل ما كان الحل أفضل، وذلك بفرض عدم الوقوع بفخ الحل الأمثلي المحلي Local Optima لأن هذه الخوارزمية ICA قد تقع بفخ الحل الأمثلي المحلي، لكنها تستطيع الخروج منه بسبب كونها من الخوارزميات فائقة الاستدلال وتعتمد على قيم عشوائية.

إن حجم المنافسة هو مقدار تم حسابه بشكل برمجي بعد تشغيل الخوارزمية حيث يتم زيادة عداد يبدأ من الصفر بمقدار واحد عند كل عملية استيلاء على مستعمرة تتبع لإمبراطورية ضعيفة من قبل

تحسين أداء جدولة مهام الحوسبة السحابية في الخوارزمية التنافسية ICA باستخدام خوارزمية الكائنات المتكافئة SOS

إمبراطورية قوية، وعندما تتوقف الخوارزمية يكون قيمة العداد هي قيمة حجم المنافسة المسجلة في الجداول.

الحل باستخدام الخوارزمية الهجينة ICA-SOS

دخل الخوارزمية: عدد الدول Countries وعدد الإمبراطوريات Empires وعدد التكرارات Iterations لخوارزمية SOS ضمن مرحلة تقارب المستعمرة وفي الإمبراطورية الأخيرة.

يوضح الجدول 7-8 نتائج تنفيذ الخوارزمية.

الجدول 7-8 نتائج الخوارزمية ICA-SOS لحل المسألة الأولى

Countries (input)	Empires (input)	Iterations (input)	Competitive count (عدد مرات الاستيلاء على مستعمرة - حجم المنافسة)	Makespan (ms)
10	3	1	11	3.752
10	3	3	329	2.316
10	3	5	545	2.316
10	4	1	81	2.583
10	4	3	13	3.884
10	4	3	22	2.981
10	4	3	8	2.524
10	4	5	19	2.559
15	4	2	4034	2.316

بملاحظة نتائج الخوارزمية الجديدة نجد أنها استطاعت الوصول لحل أمثلي يقارب ال 2.316 ms لجدولة 1000 مهمة على 125 جهازاً افتراضياً ولم تصل إلى حل أفضل منه مع تغيير عدد التكرارات وعدد الإمبراطوريات وعدد المدن، كما نلاحظ أن الخوارزمية وصلت لهذا الحل بعدد

تكرارات لم يتجاوز ثلاثة تكرارات فقط في كل مرة تم حقن خوارزمية SOS ضمن مرحلة من مراحل خوارزمية ICA، كما أن زيادة حجم المنافسة يعطينا تحسن إضافي للوصول للحل النهائي

تجميع النتائج السابقة لحساب نسبة التحسين في الجدول 8-8:

### الجدول 8-8 نسبة التحسين في خوارزمية ICA للمسألة الأولى

ICA_Makespane Empires=3,Countries=10 (ms)	ICA_SOS_Makespane Empires=3,Countries=10, Iterations=3	ICA Optimization
3.116	2.316	$(100 - (2.316/3.116)*100) = 25.67 \%$

إن التحسن على أداء ICA يدل على مدى الاستفادة من تقارب SOS من الحل، فإذا اعتبرنا الإمبراطورية الأخيرة التي توقفت عندها ICA هي فضاء حلول عشوائي لخوارزمية SOS أي هي أول خطوة من خوارزمية SOS فإننا نأخذ هذا الفضاء (المحسن بالأساس بسبب عمليات المنافسة) ونحسنه باستخدام SOS وبعدها تكرارات لم يتجاوز ثلاثة تكرارات.

**المسألة الثانية: جدولة عدد من المهام (تبدأ ب 100 وتصل إلى 1000 مهمة) على 20 جهازاً افتراضياً**

تم توليد أطوال المهام بشكل عشوائي بين القيمتين 1000 و 10000 ثم اعتماد هذه العينة من أطوال المهام واختبار الخوارزميات عليها.

### الحل باستخدام خوارزمية ICA

تم تطبيق المعايير المستخدمة في الورقة البحثية [2] وتنفيذ الخوارزمية ICA التي تم نمذجتها في هذا البحث، وتم التوصل للنتائج الموضحة في

تحسين أداء جدولة مهام الحوسبة السحابية في الخوارزمية التنافسية ICA باستخدام خوارزمية الكائنات المتكافئة SOS

---

الجدول 8-9 .

الجدول 8-9 نتائج خوارزمية ICA لحل المسألة الثالثة

Countries (input)	Empires (input)	Cloudlets	Makespan (s * 10 <sup>-6</sup> )	Competitive count (عدد مرات الاستيلاء على مستعمرة- حجم المنافسة)
10	3	100	67.22	969
10	3	200	138.60	854
10	3	300	215.89	429
10	3	400	254.64	781
10	3	500	377.58	463
10	3	600	515.92	455
10	3	700	626.14	170
10	3	700	488.50	467
10	3	700	445.07	587
10	3	700	583.18	316
10	3	800	559.76	197
10	3	800	594.90	133
10	3	800	682.43	117
10	3	900	570.01	321
10	3	900	552.41	400
10	3	1000	703.40	569
10	3	1000	768.03	172
10	3	1000	705.57	328
10	3	1000	641.07	1310

في

تحسين أداء جدولة مهام الحوسبة السحابية في الخوارزمية التنافسية ICA باستخدام خوارزمية الكائنات المتكافئة SOS

الجدول 8-9 تم إعادة تشغيل الخوارزمية أكثر من مرة وسجلنا في كل مرة قيمة زمن التنفيذ Makespan وحجم المنافسة وذلك عند عدد المهام 700 و800 و900 و1000 بهدف اختبار مدى كفاءة الخوارزمية عند عدد المهام الكبير، لاحظنا زيادة تحسن الحل مع ازدياد حجم المنافسة.

**الحل باستخدام خوارزمية ICA-SOS**

باستخدام المعايير نفسها توصلنا للنتائج التالية:

الجدول 8-10 نتائج خوارزمية ICA-SOS لحل المسألة الثالثة

Countries (input)	Empires (input)	Iterations (input)	Cloudlets	Makespan (s * 10 <sup>-6</sup> )	Competitive count (عدد مرات الاستيلاء على مستعمرة - حجم المنافسة)
10	3	3	100	48.73	114
10	3	3	200	99.96	47
10	3	3	300	153.70	32
10	3	3	400	209.94	18
10	3	3	500	268.67	60
10	3	3	600	329.91	78
10	3	3	700	370.82	86
10	3	3	800	413.62	41
10	3	3	900	458.28	130
10	3	3	1000	504.83	182

في الجدول 8-10 نلاحظ بأن الخوارزمية الهجينة ICA-SOS لم تتطلب حجم منافسة كبير - مقارنة مع خوارزمية ICA وحدها- كي تصل لحل أمثلي أفضل من الحل الذي توصلت له خوارزمية ICA وحدها، ومن هنا يمكن القول بأنه إضافة لتحسن الحل، تمكنت الخوارزمية الهجينة من توفير الجهد في عمليات المنافسة وأيضاً الإبتعاد عن الوقوع بفتح الحل الأمثلي المحلي Local Optima

### نسب التحسين في خوارزمية ICA.

الجدول 8-11 نسب التحسين في خوارزمية ICA للمسألة الثالثة

Cloudlets	ICA Makespan (s * 10 <sup>-6</sup> )	ICA Competitive count	ICA-SOS Makespan (s * 10 <sup>-6</sup> )	ICA-SOS Competitive count	ICA Optimization
100	67.22	969	48.73	114	27.51%
200	138.60	854	99.96	47	27.88 %
300	215.89	429	153.70	32	28.81 %
400	254.64	781	209.94	18	17.55 %
500	377.58	463	268.67	60	28.84 %
600	515.92	455	329.91	78	36.05 %
700	445.07	587	370.82	86	16.68 %
800	594.90	133	413.62	41	30.47 %
900	552.41	400	458.28	130	17.04 %
1000	641.07	1310	504.83	182	21.25 %
					Average = 25.21 %

تم في الجدول 8-11 تجميع نتائج تحسن زمن التنفيذ Makespan باستخدام الخوارزمية الهجينة ICA-SOS مقارنة بخوارزمية ICA مع اختلاف عدد المهام، نلاحظ أن نسبة التحسن تبقى أكبر

تحسين أداء جدولة مهام الحوسبة السحابية في الخوارزمية التنافسية ICA باستخدام خوارزمية الكائنات المتكافئة SOS

---

من 20% عند عدد المهام الكبير ومع ازدياد حجم المنافسة، وأن الخوارزمية الهجينة لم تتطلب حجم منافسة كبير، وهذا يدلنا على تأثير خوارزمية SOS في الحد من عمليات المنافسة المطلوبة لتوقف الخوارزمية.

---

## 9 النتائج والآفاق المستقبلية

تم في هذا البحث اقتراح خوارزمية جدولة جديدة ونمذجتها بالإعتماد على خوارزمتين من خوارزميات الأمثلة العددية فائقة الاستدلال Metahuristic هما خوارزمية البحث في الكائنات المتكافئة SOS و خوارزمية التنافس بين المستعمرين ICA حيث تم نمذجة كل من الخوارزمتين في بيئة المحاكاة cloudsim وباستخدام لغة java ثم اختُبرت الخوارزمتان على مسألة جدولة مجموعة من المهام في بيئة سحابية مكونة من مجموعة من الآلات الافتراضية بحيث يكون زمن التنفيذ أمثلياً.

أعطت الخوارزمية ICA حلاً أمثلياً، إلا أن الخوارزمية المقترحة أعطت حلاً أمثلياً أفضل بنسبة 25% مقارنة بخوارزمية ICA.

البحث العلمي واسع ولا يتوقف حيث يمكن تطبيق الخوارزمية المقترحة في البيئة السحابية لتحسين موازنة الحمل أو تحسين إحدى الخوارزمتين ودمجها مع الأخرى، ثم اختبار الخوارزمية الناتجة في أمثلة زمن التنفيذ أو موازنة الحمل.

- [1] Cheng, M. Y., & Prayogo, D. (2014). Symbiotic organisms search: a new metaheuristic optimization algorithm. *Computers & Structures*, 139, 98-112.
- [2] Abdullahi, M., & Ngadi, M. A. (2016). Symbiotic organism search optimization based task scheduling in cloud computing environment. *Future Generation Computer Systems*, 56, 640-650.
- [3] Arshad, R., & Rafeh, R. (2015, November). Deadline-constrained workflow scheduling using imperialist competitive algorithm on infrastructure as a service clouds. In *2015 2nd International Conference on Knowledge-Based Engineering and Innovation (KBEI)* (pp. 835-842). IEEE.
- [4] Atashpaz-Gargari, E., & Lucas, C. (2007, September). Imperialist competitive algorithm: an algorithm for optimization inspired by imperialistic competition. In *2007 IEEE congress on evolutionary computation* (pp. 4661-4667). Ieee.
- [5] Habibi, M., & Navimipour, N. J. (2016). Multi-objective task scheduling in cloud computing using an imperialist competitive algorithm. *IJACSA International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 7(5), 289-293.
- [6] Calheiros, R. N., Ranjan, R., Beloglazov, A., De Rose, C. A., & Buyya, R. (2011). CloudSim: a toolkit for modeling and simulation of cloud computing environments and evaluation of resource provisioning algorithms. *Software: Practice and experience*, 41(1), 23-50.
- [7] Li, Y. (2019). ACO-SOS-based task scheduling in cloud computing. *International Journal of Performability Engineering*, 15(9), 2534.
- [8] Li, Y., & Yao, Y. (2019). Scheduling Algorithm for a Task under Cloud Computing. *International Journal of Performability Engineering*, 15(8), 2081.

- [9] “Main Categories of Optimization Algorithms.” 1/5/2022. <https://www.al-roomi.org/>.
- [10] “Optimization.”1/5/2022. <https://www.al-roomi.org/>.
- [11] Patidar, S., Rane, D., & Jain, P. (2012, January). A survey paper on cloud computing. In 2012 second international conference on advanced computing & communication technologies (pp. 394-398). IEEE.
- [12] Sharma, M., & Verma, A. (2017, February). Energy-aware discrete symbiotic organism search optimization algorithm for task scheduling in a cloud environment. In 2017 4th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN) (pp. 513-518). IEEE.
- [13] Miao, F., Zhou, Y., & Luo, Q. (2019). Complex-valued encoding symbiotic organisms search algorithm for global optimization. Knowledge and Information Systems, 58(1), 209-248.
- [14] Arshad, R., & Rafeh, R. (2015, November). Deadline-constrained workflow scheduling using imperialist competitive algorithm on infrastructure as a service clouds. In 2015 2nd International Conference on Knowledge-Based Engineering and Innovation (KBEI) (pp. 835-842). IEEE.
- [15] Kashikolaei, S. M. G., Hosseinabadi, A. A. R., Saemi, B., Shareh, M. B., Sangaiah, A. K., & Bian, G. B. (2020). An enhancement of task scheduling in cloud computing based on imperialist competitive algorithm and firefly algorithm. The Journal of Supercomputing, 76(8), 6302-6329.
- [16] Ruder, S. (2016). An overview of gradient descent optimization algorithms. arXiv preprint arXiv:1609.04747.

تحسين أداء جدولة مهام الحوسبة السحابية في الخوارزمية التنافسية ICA باستخدام خوارزمية الكائنات المتكافئة SOS

---