

# مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية  
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 46 . العدد 7

1445 هـ . 2024 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب  
رئيس جامعة البعث  
المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير	أ. د. محمود حديد
رئيس التحرير	أ. د. درغام سلوم

مدير مكتب مجلة جامعة البعث  
د. إبراهيم عبد الرحمن

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 مشرقى
عضو هيئة التحرير	د. هيثم حسن
عضو هيئة التحرير	د. نزار عبشي

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

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

. هاتف / فاكس : 963 31 2138071 ++

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

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

**ISSN: 1022-467X**

## شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

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

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات ( الآداب - الاقتصاد - التربية - الحقوق - السياحة - التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):
- عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي ( كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1. مقدمة.
- 2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
- 3. أهداف البحث و أسئلته.
- 4. فرضيات البحث و حدوده.
- 5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
- 6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
- 7. منهج البحث و إجراءاته.
- 8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
- 9. نتائج البحث.
- 10. مقترحات البحث إن وجدت.
- 11. قائمة المصادر والمراجع.
- 7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:
  - أ- قياس الورق 25×17.5 B5.
  - ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 - يمين 2.5- يسار 2.5 سم
  - ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8
  - ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20
- . كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي . العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.
- ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.
- 8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- 9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.
- 10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

1. دفع رسم نشر (40000) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (100000) ل.س مئة 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 (6000) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

## المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
28-11	د. نبيل دحدوح د. ميشيل سمعان هلا معروف	اقتراح نظام هجين لتحسين أداء ذراع روبوتية مرنة من خلال دمج متحكم LQR والمنطق الضبابي
58-29	عبد اللطيف الحسن د. ماهر الابراهيم د. تغريد محلا	تأثير البلمرة الضوئية لبوليمر البولي استر غير المشبع على مقاومة الانحناء
108-59	د. خالد شاهين م. أسيل الحمصي	مقارنة أداء شبكات الحساسات اللاسلكية المعتمدة على طريقة دورة العمل مع تلك المعتمدة على بروتوكولات التوجيه التراتبية
146-109	د. يمان غازي م. عاصم الحمصيه	تقييم أداء السياسة المحسنة لاستبدال ذاكرة التخزين المؤقت بالاعتماد على شعبية المحتوى (ICCP) عند استراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة في شبكات البيانات المسماة
164-147	م. رنوة ضاهر	تحسين أداء النظام الحراري لقتاة مربعة الشكل عن طريق اضافة أضلاع داخلية مربعة ومثلثية الشكل







## اقتراح نظام هجين لتحسين أداء ذراع روبوتية مرنة من خلال دمج متحكم LQR والمنطق الضبابي

\* اسم الدكتور المشرف: د. نبيل دحدوح المشرف المشارك : د. ميشيل سمعان

\*\* اسم الباحثة: هلا محسن معروف

### □ الملخص □

تزداد الحاجة الصناعية لاستخدام الأذرع الروبوتية في المجالات الصناعية خاصة في المجالات التي تتطلب مهام تكرارية كعمليات اللحام والتجميع في مصانع السيارات والعمل في الأماكن التي يصعب التواجد فيها كالفضاء وأعماق البحار وجوف الأرض، والأماكن الحاوية على مواد خطرة مثل المفاعلات النووية والمواد الكيماوية، كما لعبت دوراً مهماً في التطبيقات الطبية مثل القيام بعمليات جراحية والكثير من التطبيقات في مختلف مجالات الحياة، ويجب على الروبوت تحقيق استجابة سريعة للمهمة المطلوبة منه وبشكل خاص في تطبيقات الزمن الحقيقي كالمجال الطبي والعمليات الجراحية، تم في هذا البحث تحسين التحكم لذراع روبوتية مرنة بالاعتماد على متحكم LQR (المتحكم التريبي الخطي) ونظام تحكم هجين من خلال دمج تقنية المنطق الضبابي مع متحكم LQR والمقارنة بينهما من ناحية سرعة الاستجابة، وتم إثبات فعالية النظام المقترح في تحقيق استجابة سريعة و تحقيق انخفاضاً سريعاً في قيمة التسارع وبالتالي تقليل مستوى التذبذب بسرعة إلى الصفر وبالنتيجة تثبيت الذراع المرنة وتحسين الأداء بشكل واضح. جميع إجراءات المحاكاة تمت باستخدام برنامج الماتلاب.

الكلمات المفتاحية: LQR (المتحكم التريبي الخطي)، المنطق الضبابي، ذراع روبوتية مرنة،

سرعة الاستجابة.

## **Proposing a hybrid system to improve the performance of a flexible robotic arm by integrating an LQR controller and fuzzy logic**

### **□ ABSTRACT □**

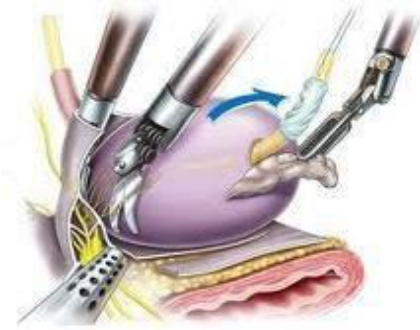
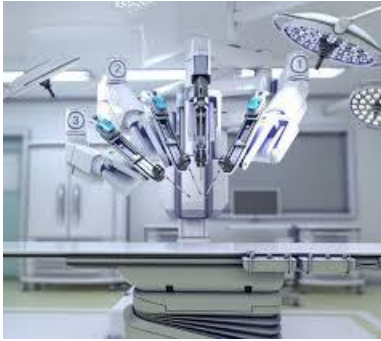
There is an increasing industrial need for using robot arms, especially in fields that require repetitive tasks such as welding and assembly in car factories, working in difficult-to-reach places such as space, deep sea, and underground, and in places containing hazardous materials such as nuclear reactors and chemicals. They also play a crucial role in medical applications such as performing surgeries and many other applications in various fields of life. The robot must achieve a quick response to the required task, especially in real-time applications such as the medical field and surgical operations. In this research, the control of a flexible robot arm has been improved by using LQR (Linear Quadratic Regulator) controllers and a hybrid control system through integrating fuzzy logic technique with LQR controller. A comparison between them is made in terms of response speed, and the effectiveness of the proposed system in achieving a quick response and rapid reduction in acceleration values, thus quickly reducing oscillation levels to zero and consequently stabilizing the flexible arm and improving performance significantly has been demonstrated. All simulation procedures have been performed using Matlab software.

**Key Words:** LQR (Linear Quadratic Regulator), Fuzzy logic, flexible robotic arm, response speed.

## 1- المقدمة

تعتمد الصناعات الحديثة في هذه الأيام على الأذرع الروبوتية الثابتة والروبوتات المتحركة، ويمكن تعريف الروبوتات على أنها منظومات الكتروميكانيكية معقدة يتطلب تصميمها الربط بين مزيج من التخصصات الهندسية (الميكانيكية، الكهربائية والإلكترونية بالإضافة لعلوم الكمبيوتر كالبرمجة) وهذا ما يتطلب وجود بيئة نمذجة متعددة المجالات تُتيح للمصممين تجسيد فكرتهم في نموذج أولي متكامل [1].

تستخدم الأذرع المرنة في الكثير من التطبيقات نظراً لتوفير الطاقة وزمن الاستجابة السريع، وتعتبر التطبيقات الطبية من مجالات العمل الأساسية لهذه الأذرع حيث تتطلب أوزان خفيفة وسهولة تركيب بالإضافة إلى جودة في أداء الذراع المقادة عن بعد كما في الشكل (1) حيث تكون الاستجابة والدقة من أولويات هذه الأذرع [2].



الشكل (1) ذراع مقادة للأغراض الطبية

## 2- الدراسات المرجعية:

باعتبار أن الأذرع الروبوتية المرنة من أهم التجهيزات في العصر الحديث ولها العديد من التطبيقات، لذلك لاقى اهتماماً ملحوظاً من قبل الباحثين نظراً للتسهيلات التي تقدمها في إنجاز العديد من الأعمال، وتم التطرق فيما يلي إلى بعض تلك الدراسات :

## Composite control of flexible manipulators based on SMC-DO and LQR

قام الباحثون في هذه الدراسة بتقديم نهج تحكم مركب جديد يهدف إلى تحقيق تتبع المسار وتخفيف الاهتزاز للأذرع المرنة. تعتمد طريقة التحكم هذه على التحكم بوضع الانزلاق مع مراقبة الاضطراب (SMC-DO) بالمنظم الخطي التربيعي (LQR). تم تقسيم ديناميكيات النظام إلى نظامين فرعيين في فترات زمنية مختلفة باستخدام نظرية الاضطراب المفرد (SP). ففي فترة الزمن البطيء، يتم بناء مراقب اضطراب تراجعي للتعامل مع الاضطرابات البطيئة المتغيرة مع الزمن، ويتم تصميم تحكم بطيء يستند إلى SMC-DO. وفي فترة الزمن السريع، يتم تصميم تحكم سريع باستخدام LQR. تم بعد ذلك تشكيل التحكم المركب عن طريق دمج التحكم البطيء والتحكم السريع، وتم إثبات استقرار المحركات المرنة باستخدام نظرية SP [3].

## Learning Control for Flexible Manipulators with Varying Loads: A Composite Method with Robust Adaptive Dynamic Programming and Robust Sliding Mode Control

❖ اعتمد الباحثون في هذه الدراسة على دراسة التحكم على أنظمة الأذرع المرنة ذات الأحمال المتغيرة حيث تم تحليل ديناميكيات النظام إلى نظامين فرعيين سريع وبطيء باستخدام تقنية الاضطراب المفرد. تم تصميم متحكمين فرعيين وهما متحكم تكيفي قوي للبرمجة الديناميكية (RADP) ومتحكم انزلاقي قوي للوضع (RSMC) للنظامين الفرعيين البطيء والسريع على التوالي، ففي الفترة البطيئة، تم استخدام المتحكم الفرعي القائم على RADP لتحقيق تتبع المسار من خلال استخدام زوايا الدوران. يستطيع هذا المتحكم الفرعي التكيف مع تغيرات الأحمال والاضطرابات مع مرور الوقت، أما في الفترة السريعة، تم تقديم

المتحكم الفرعي RSMC لتحسين منع الاهتزاز. تم تصميم هذا المتحكم الفرعي للتكيف على الديناميكيات السريعة وتقليل التذبذبات في النظام، يؤكد الباحثون فعالية الطريقة المقترحة وتم تسليط الضوء على إمكانياتها في التطبيقات العملية في مختلف الصناعات [4].

Vibrations and intelligent tracking control of single link flexible manipulator.

❖ قام الباحثون في هذه الدراسة باقتراح تحكم ذكي هجين للأذرع المرنة ذات الوصلة الواحدة حيث تم تصميم مرشح (OBF) باستخدام إشارة الخرج للنظام لتخفيف انحرافات الطرف وتم دمجها مع متحكم المنطق الضبابي (fuzzy logic controller) للتحكم في تتبع نقطة الضبط للنظام وتم تحقيق تتبع جيد وتقليل كبير في الانحراف. تم قياس ذلك باستخدام تحليل الاستجابة الزمنية وتم الاستنتاج أن أداء OBF-LQR كان أفضل وأكثر توافقاً من OBF-fuzzy [5].

Vision based tip position tracking control of two link flexible manipulator.

❖ اعتمد الباحثون في هذه الدراسة على التحكم بالرؤية القائمة على الصورة (IBVS) من خلال التتبع الدقيق لموضع الطرف، حيث تم استخدام مستشعر رؤية لقياس مباشر لموضع الطرف بدلاً من استخدام المستشعرات الميكانيكية التقليدية بين أنظمة التحكم المختلفة للتحكم بالرؤية، حيث تم اختيار الميزة البصرية الجديدة المستندة إلى الزمن، وقام الباحثون بتطوير متحكم جديد بنظام زمني مزدوج للتحكم بتتبع الطرف للأذرع المرنة ذات الوصلة الواحدة، حيث تم تجزئة ديناميكا الأذرع المرنة إلى نماذج زمنية مزدوجة، وهي نظام فرعي بطيء ونظام فرعي سريع وتم التحقق من أداء وقوة التحمل لمتحكم IBVS ذو النظام

الزمني المزدوج الجديد المقترح للأذرع المرنة ذات الوصلة الواحدة، وبين الباحثون من خلال النتائج المستخلصة أن المتحكم المقترح يستقر بشكل فعال لديناميكيات الاهتزاز ويتتبع مسار الإشارة المرجعية بدقة [6].

#### Hybrid Vibration Control Algorithm of a Flexible Manipulator System Robotics.

❖ قام الباحثون في هذه الدراسة بدراسة مشكلة صعوبات التحكم في الأذرع المرنة، حيث تم اقتراح نموذجي تحكم للأذرع المرنة يستخدم النموذج الأول متحكمين نسبيين - تكاملين - تفاضليين (PID)، حيث يُستخدم الأول للتحكم في الموضوع، ويُستخدم الآخر للحد من الاهتزاز، أما النموذج الثاني هو تطوير مُحسن للنموذج الأول بإضافة متحكم منطق ضبابي لتحسين تخفيف الاهتزاز. تم الاستنتاج أن الطريقة المقترحة قادرة على تقليل الاهتزازات بشكل فعال مع اختصار كبير في وقت الاهتزاز بفضل إدخال طاقة التحكم وفقًا لخصائص الاهتزاز [7].

#### Active vibration control of composite laminates with MFC based on PID-LQR hybrid controller

❖ قام الباحثون في هذه الدراسة باقتراح وحدة تحكم مشتركة PID-LQR، حيث تم إثبات أن وحدة التحكم المشتركة لديها أداء تحكم أفضل من خلال محاكاة استجابة الاهتزاز الهيكلي تحت ظروف تحفيز مختلفة. وتم التحقق من فعالية وحدة التحكم المشتركة من خلال تجربة التحكم النشط، وبينت النتائج أنه تم تقليل استجابة الاهتزاز بنسبة حوالي 31.55% بعد استخدام النموذج المقترح للتحكم [8].



## MODELLING AND CONTROL OF A TWO-LINK RIGID-FLEXIBLE MANIPULATOR.

❖ قام الباحثون في هذه الدراسة بعرض نموذج لروبوت ذو مفصلين صلب-مرن تم تصميمه بطريقتين مختلفتين، الأولى باستخدام معادلات لاجرانج وطريقة العنصر المحدود لإنشاء نموذج رياضي للروبوت، والثانية باستخدام برنامج Autodesk Inventor لإنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد واستيراده إلى MATLAB Simulink، وتم التحكم في كلا النموذجين بواسطة ثلاثة أنواع من المتحكمات: متحكم PID التقليدي ومتحكم LQR ومتحكم LQG. أظهرت الدراسة أداء النموذجين بالنسبة للمتحكمات الثلاثة، وأثبتت النتائج أن Autodesk Inventor يعد أداة موثوقة لنمذجة الأنظمة الميكانيكية. كما أكدت النتائج أن المتحكمات الحديثة، مثل LQR و LQG، تعمل بشكل أفضل بكثير من المتحكمات التقليدية بالنسبة لحركة الروبوت [9].

### 3. أهمية البحث وأهدافه

تكمن أهمية الأذرع الروبوتية المرنة في أنها تشكل النواة الأساسية لمختلف الصناعات والتطبيقات والأماكن التي يصعب التواجد فيها مثل الفضاء وأعماق الأرض والأماكن الخطرة مثل المفاعلات النووية وغرف العمليات. إن هدف البحث هو تحسين التحكم في الأذرع المرنة من أجل الحصول على سرعة استجابة أكبر ومتوسط خطأ صغير من خلال تطبيق دمج بين نظام متحكم LQR وتقنية Fuzzy logic وإثبات فعالية النظام المقترح في تحقيق سرعة عالية في الاستجابة.

#### 4. طرائق البحث ومواده

#### 4-1- متحكم LQR:

يعتبر المتحكم LQR إحدى أنواع التحكم الأمثلي الذي يعتمد على التحكم برجوع الحالة (إعادة تموضع الأقطاب) بحيث نحصل على الأداء المطلوب للذراع الروبوتية المرنة، ويهدف هذا المتحكم إلى إيجاد دخل مناسب  $u$  بحيث نجعل المعيار التربيعي  $J$  أصغر مايمكن بحيث نعرف هذا المعيار كما يلي:

$$\text{Find } u \text{ to minimize } J = \frac{1}{2} \int_0^{+\infty} [x^T Q x + u^T R u] dt \dots \dots \dots (1)$$

وبالتالي يصبح الهدف من المتحكم هو اختيار أفضل قيمة مثالية لشعاع التحكم بحيث نحصل على قيمة أصغرية لمعامل الأداء  $J$  وبالتالي يصبح هذا المعيار محدوداً، وعندها يسعى شعاع الحالة نحو الصفر وهذا يضمن استقرار النظام.

تعرف  $Q$  على أنها مصفوفة أوزان الحالة و  $R$  عبارة عن مصفوفة أوزان الدخل، تعبر المعادلة (2) عن ربح التغذية الراجعة (K) feedback [11]:

$$K = T^{-1}(T^T)^{-1}B^T P = R^{-1}B^T P \quad (2)$$

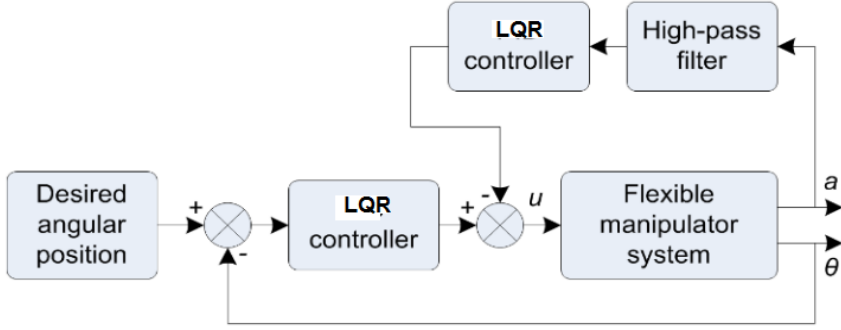
حيث  $P$  هي مصفوفة موجبة محددة تسمى مصفوفة ريكاتي، والتي يتم الحصول عليها عن طريق حل معادلة ريكاتي وممثلة في المعادلة (3) ويمكن أن يكتب في حالة ثابتة كما المعادلة (4):

$$A^T P + P A - P B R^{-1} B^T P + Q = -P \quad (3)$$

$$A^T P + P A - P B R^{-1} B^T P + Q = 0 \quad (4)$$

بما أن لدينا مدخل واحد  $R = 1$ ، ستستمر المصفوفة  $Q$  في التغير من أجل الحصول على مصفوفة مكاسب التغذية الراجعة المثلى لأفضل أداء مطلوب.

يبين الشكل (2) مخطط LQR المستخدم في المحاكاة



الشكل (2) المخطط الصندوقي لنظام متحكم LQR

#### 4-2- المنطق الضبابي Fuzzy Logic:

تتألف تقنية المنطق الضبابي من ثلاثة أقسام رئيسية هي [12]:

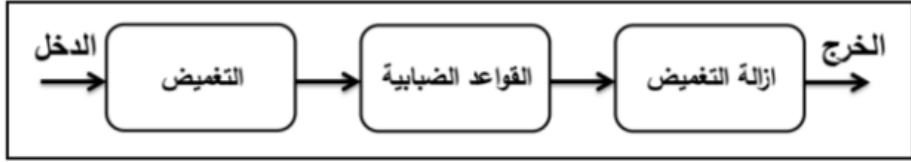
**1- التغميض Fuzzification:** في مرحلة التغميض يتم تحويل متغير التحكم العددي الكمي الى قيمة كيفية ككلمة صغير أو متوسط أو كبير، والتي تُعرف بالمتغيرات اللغوية، توصف هذه المتغيرات من خلال دوال تدعى بدوال انتماء Membership Function تأخذ قيمةً بين الصفر والواحد، دوال الانتماء الأكثر شهرة هي الدوال المثلثية Triangular والدوال الشبه منحرفة Trapezoidal والدوال الغاوصية Gaussian.

**2- القواعد Rules:** عبارة عن مجموعة من حالات If-Then المعروفة بالقواعد اللغوية التي تصف بدقة تصرف النظام وفقاً لمجموعة معينة من المدخلات، بمعنى أن هذه القواعد تقوم بتوصيف للعلاقة بين قيم المخارج والأوامر المسندة إلى تلك القيم.

اقتراح نظام هجين لتحسين أداء ذراع روبوتية مرنة من خلال دمج متحكم LQR والمنطق الضبابي

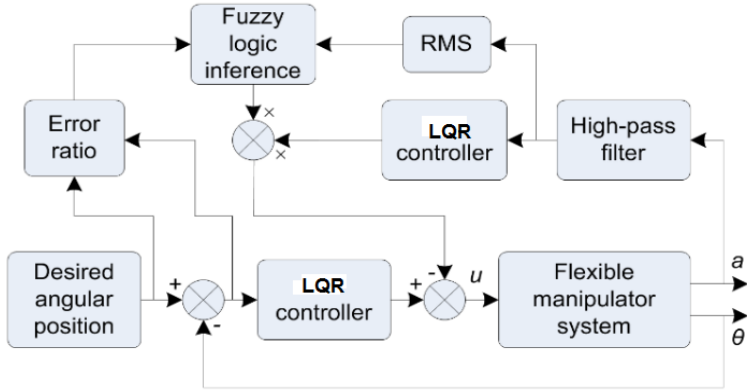
3- إزالة التغميض **Defuzzification**: إزالة التغميض هي عملية تحويل القيم الكيفية (اللغوية) إلى قيم عددية يسهل على الحاسب التعامل معها.

يبين الشكل (3) المخطط الصندوقي للمنطق الضبابي.



الشكل (3) المخطط الصندوقي للمنطق الضبابي

تم في هذا البحث اقتراح نظام تحكم هجين من خلال دمج متحكم LQR مع تقنية Fuzzy Logic كما هو موضح في الشكل (4).



الشكل (4) المخطط الصندوقي للنظام الهجين المقترح المستخدم في المحاكاة

يتم الحصول على إشارة الإدخال إلى وحدة التحكم الضبابية من مستوى التذبذب وانحراف زاوية التحكم عن القيمة المحددة. كل إشارة إدخال لديها خمس دوال انتماء بنطاق من القيم المقيسة بين [0، 1]. تتضمن الإشارة الناتجة أيضاً خمس دوال انتماء بنطاق من القيم المقيسة بين [0، 1]. تم وصف قاعدة الشرط- النتيجة (if-then) كما في

الجدول 1، وتكون الاختصارات هي أسماء الدوال الانتماء مع التقديرات التالية: VS - صغير جداً، RS - صغير نسبياً، SS - صغير، RB - كبير نسبياً، و BB - كبير.

الجدول (1) القواعد if-then الخاصة بنظام المنطق الضبابي

Error	Oscillation					
	VS	RS	SS	RB	BB	
VS	VS	VS	VS	VS	VS	
RS	VS	VS	VS	RS	SS	
SS	VS	VS	SS	BB	BB	
RB	RB	RB	BB	BB	BB	
BB	RB	RB	BB	BB	BB	

## 5. النتائج والمناقشة:

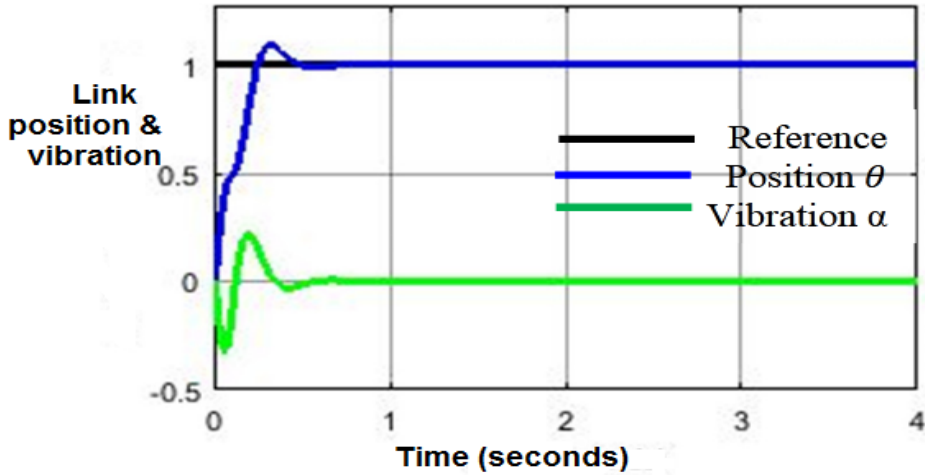
تم تطبيق متحكم LQR والنظام المقترح الهجين والمقارنة بينهما من ناحية سرعة الاستجابة، يوضح الجدول (2) بارامترات المحاكاة المطبقة على النظام.

الجدول (2) بارامترات المحاكاة

الرمز	الوصف	القيمة
$B_{eq}$	معامل الامتصاص	0.004 N.ml(rad/s)
$J_{eq}$	عزم الارتفاع المكافئ بدون حمل خارجي	0.00208 kg.m <sup>2</sup>
$\eta_{lm}$	كفاءة المحرك	0.69
$K_m$	ثابت الجهد العكسي	0.00768 V/(rad/s)
$R_m$	مقاومة الدائرة الكهربائية للمحرك	2.6 $\Omega$
$K_s$	ثابت الصلابة	1.4

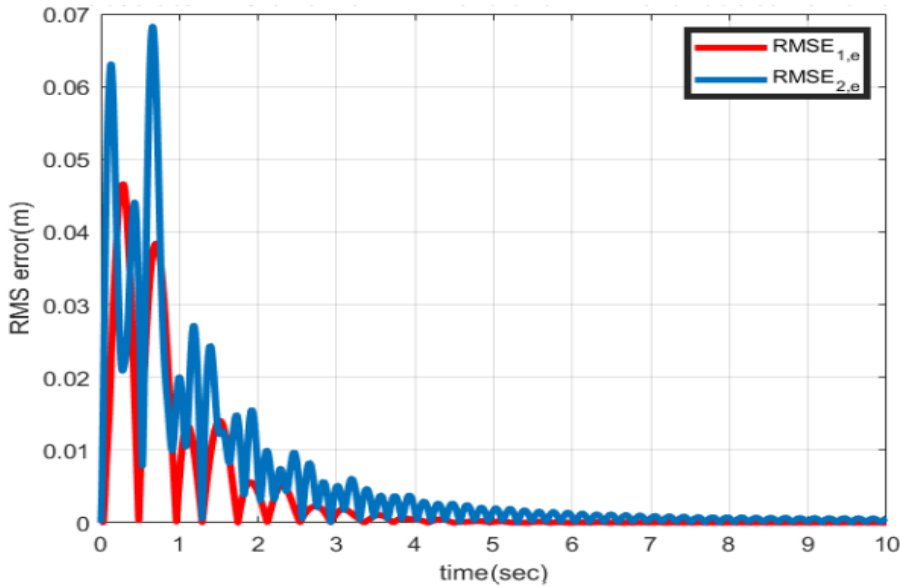
### 5-1- متحكم LQR:

تم تطبيق متحكم LQR من خلال المخطط الموضح في الشكل (2) وبعد تطبيق بارمترات المحاكاة الموضحة في الجدول (2) نستنتج الشكل (5) والشكل (6).



الشكل (5) أداء متحكم LQR

يظهر الشكل (5) الإخراج الموضعي واهتزازات الرباط المرن لمتحكم LQR المصمم. بناءً على نتيجة المحاكاة للتصميم القياسي، فإن النظام مستقر ويصل الإخراج الموضعي إلى صفر الخطأ الثابت في أقل من نصف ثانية واحدة، ويحقق أداء جيد.

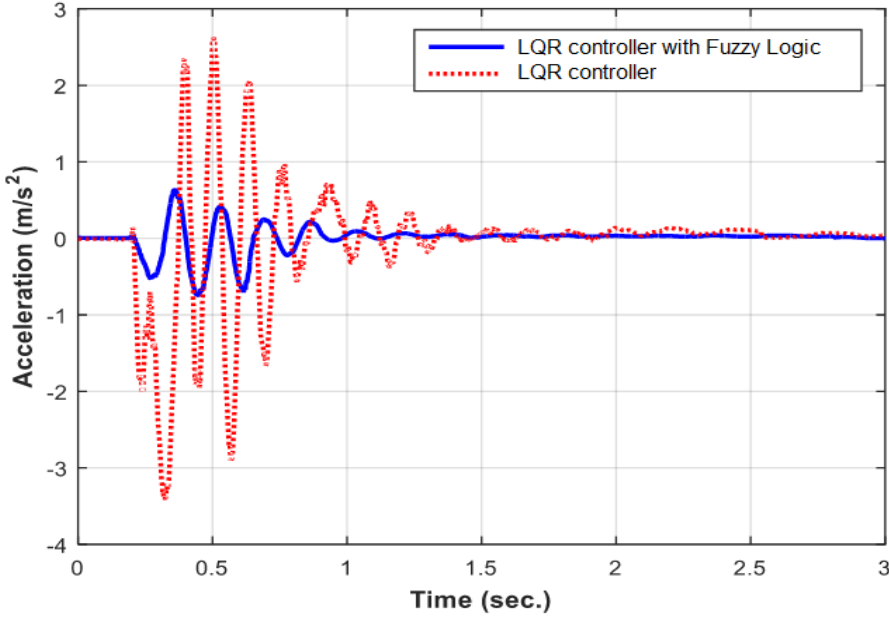


الشكل (6) خطأ RMS الناتج عن السلوك المرن على نهائي الوصلتين عند تطبيق متحكم LQR

يعبر الشكل (6) عن متوسط الخطأ التربيعي RMS الناتج عن السلوك المرن على نهائي الوصلتين عند تطبيق متحكم LQR، ونلاحظ أن الخطأ يتناقص مع مرور الزمن حتى ينعدم وبالتالي متحكم LQR يحقق أداء جيد .

## 5-2 تقنية Fuzzy logic:

تم تطبيق نظام هجين من خلال دمج متحكم LQR مع تقنية Fuzzy logic كما هو موضح في الشكل (4) وبعد تطبيق بارمترات المحاكاة الموضحة في الجدول (2) نستنتج الشكل (7).



الشكل (7) مقارنة التخميد في حالة متحكم LQR و حالة استخدام Fuzzy Logic مع LQR

يوضح الشكل (7) أداء نموذج النظام الهجين المقترح مقارنة بالحالة التي يتم فيها تطبيق خوارزمية التحكم في التذبذب بواسطة متحكم LQR فقط، نلاحظ أن النظام المقترح حقق انخفاضاً سريعاً في قيمة التسارع، وأدى استخدام خوارزمية المنطق الضبابي إلى تقليل وقت التذبذب سريعاً، ويتم قمع التذبذب في وقت أقل، حيث تم تخفيض قيمة التسارع بشكل كبير (أكثر من 80%) مقارنة بحالة عدم استخدام المنطق الضبابي، وبالتالي تم تقليل مستوى التذبذب بسرعة إلى الصفر، وهذا يؤدي إلى تثبيت الذراع المرنة وتحسين الأداء بشكل كبير.



## 6. الاستنتاجات والتوصيات

تم في هذا البحث دراسة تحليلية لأنظمة ذراع روبوتية مرنة وتم مناقشة تطبيق متحكمين وهما متحكم LQR ومتحكم هجين من خلال دمج LQR مع تقنية Fuzzy logic والمقارنة بينهما من ناحية سرعة الاستجابة والقدرة على تثبيت الذراع المرن وتحسين الأداء. تم في البداية تطبيق متحكم LQR وتبين أن النظام مستقر ويصل الإخراج الموضوعي إلى صفر الخطأ الثابت في أقل من نصف ثانية واحدة، كما أن متوسط الخطأ التريبيعي RMS يصل إلى الصفر خلال فترة زمنية قصيرة وبالتالي متحكم LQR حقق أداء جيد، وتم بعد ذلك اقتراح نظام تحكم هجين من خلال دمج LQR مع تقنية Fuzzy logic وبينت النتائج أنه النظام المقترح حقق انخفاضاً سريعاً في قيمة التسارع، وأدى استخدام خوارزمية المنطق الضبابي إلى تقليل وقت التذبذب سريعاً، وتم قمع التذبذب في وقت أقل، وبالتالي تم تثبيت الذراع المرن وتحسين الأداء بشكل كبير.

يمكن في الأبحاث القادمة تطبيق متحكمات أخرى مثل متحكم SMC ومقارنتها مع متحكمات LQR و PID، كما يمكن تطبيق خوارزمية سرب الطيور PSO لإيجاد قيم بارمترات التصميم لمتحكمات أنظمة التحكم.

المراجع العلمية:

- [1] T. Solatges, "Modélisation, conception et commande de robots manipulateurs flexibles," Master dissertation in Toulouse university ,2018.
- [2] Mohammad.Tokhi, Flexible Robot Manipulators 2nd edition book in The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, pages(80–88,115–141), (2017)..
- [3] Xu, Y., Dou, K., Wang, L., Yang, C., & Wang, K. (2020, August). Composite control of flexible manipulators based on SMC–DO and LQR. In 2020 Chinese Control And Decision Conference (CCDC) (pp. 261–266). IEEE.
- [4] Xu, Y., Wang, X., Wang, L., Wang, K., & Ma, L. (2022). Learning Control for Flexible Manipulators with Varying Loads: A Composite Method with Robust Adaptive Dynamic Programming and Robust Sliding Mode Control. Electronics, 11(6), 956.
- [5] Tahir, N. M., Abubakar, K. A., Sambo, A. U., Kunya, A. B., & Gambo, I. (2019). Vibrations and intelligent tracking control of single link flexible manipulator. Sensors & Transducers, 232(4), 8–14.

- [6] Sahu, U. K., Patra, D., & Subudhi, B. (2020). Visionbased tip position tracking control of twolink flexible manipulator. IET Cyber Systems and Robotics, 2(2), 53–66.
- [7] Nguyen, V. B., & Bui, X. C. (2023). Hybrid Vibration Control Algorithm of a Flexible Manipulator System. Robotics, 12(3), 73.
- [8] Zhang, H., Sun, W., Luo, H., & Zhang, R. (2023). Active vibration control of composite laminates with MFC based on PID–LQR hybrid controller. Mechanics of Advanced Materials and Structures, 1–18.
- [9] AlNajjar, R. S. R. (2021). MODELLING AND CONTROL OF A TWO–LINK RIGID–FLEXIBLE MANIPULATOR.
- [10] C.C. Fang, K.J. Astrom, W.K. Ho, “Refinements of the Ziegler–Nichols tuning formula,” IEEE proceedings–d, vol. 138, no. 2, March 1991..
- [11] Kiam Heong Ang, Gregory Chong, Student Member, IEEE, and Yun Li, Member, IEEE, “PID Control System Analysis, Design, and Technology,” IEEE transactions on control systems technology, vol. 13, no. 4, July 2005.

[12] Farooq,U; Hasan,K.M; Raza,A; Amar,M; Khan,S. and Javaid,S. 2010, A Low Cost Microcontroller Implementation of Fuzzy Logic Based Hurdle Avoidance Controller for a Mobile Robot. 3rd International Conference on Computer Science and Information Technology, China. Vol.9, Pages: 480 – 485.

# تأثير البلمرة الضوئية لبوليمر البولي استر غير المشبع على مقاومة الانحناء

إعداد الطالب : عبد اللطيف الحسن<sup>1</sup>

إشراف : الدكتور ماهر الابراهيم<sup>2</sup> - الدكتورة تغريد محلا<sup>3</sup>

## الخلاصة :

تم في البحث الحالي دراسة تأثير البلمرة الضوئية على مقاومة الانحناء لبوليمر البولي استر غير مشبع (UP)، تم استخدام احدى مصادر أشعة غاما ( $Co^{60}$ ) لبدء بلمرة البولي استر غير المشبع. حيث يُعد نظام بدء البلمرة عاملاً هاماً في تحديد خصائص المنتج النهائي. لذلك، ممكن تحسين خصائص المنتج النهائي عن طريق استخدام نظام بدء بلمرة متقدم مثل نظام البلمرة الضوئية الإشعاعية. حيث يوفر استخدام مصادر أشعة الضوء ميزات عديدة تساهم في تحسين ظروف البلمرة. بالإضافة إلى ذلك، التغلب على بعض سلبيات نظام البلمرة الحراري التقليدي. تم تحدد معدل جرعة الإشعاع كمتغير رئيسي، وتم تحديد مجال معدل الجرعات ابتداءً من الحد الأدنى (6 K Gy/h) وازيادة (3 K Gy/h) في كل مرة

<sup>1</sup> طالب دكتوراه، قسم هندسة التصميم والإنتاج، كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية، جامعة البعث

<sup>2</sup> أستاذ مساعد، قسم هندسة التصميم والإنتاج، كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية، جامعة البعث

<sup>3</sup> مدرس، قسم هندسة التصميم والإنتاج، كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية، جامعة البعث

حتى الوصول للجرعة العظمى (24 KGy/h)، ودراسة تأثير تغيير الجرعات على مقاومة الانحناء للعينات المدروسة، وتحديد القيم المثلى. بالإضافة إلى مقارنة النتائج بين العينات المعالجة بالبلّمة الضوئية ونتائج العينات المعالجة بالبلّمة التقليدية. أظهرت النتائج تبايناً واضحاً بالنسبة لتغيير قيم الجرعات. وأعطت بعض النتائج تحسناً كبيراً بمقاومة الانحناء. مما يشير إلى أهمية استخدام تقنيات متقدمة لتحسين ظروف البلّمة وتحسين الخصائص النهائية.

**الكلمات المفتاحية :** البلّمة الضوئية. أشعة غاما. بولي استر غير مشبع. مقاومة الانحناء.

# Effect of photopolymerization of unsaturated polyester polymer on strength. bending

By: student. Abdullatef Alhasan<sup>4</sup>

Supervised by: Dr. Maher alibrahim, Dr. Taghrid mhalla

## **Abstract:**

In the current research, the effect of photopolymerization on the bending strength of unsaturated polyester polymer (UP) was studied. A source of gamma rays ( $\text{Co}^{60}$ ) was used to start the polymerization of unsaturated polyester. The polymerization initiation system is an important factor in determining the properties of the final product. Therefore, it is possible to improve the properties of the final product by using an advanced polymerization initiation system such as the photopolymerization system. The use of light sources offers several advantages that contribute to improving polymerization conditions. In addition, it overcomes some of the disadvantages of the traditional thermal polymerization system.

The radiation dose rate was determined as the main variable and the dose rate range was determined from the minimum (6 KGy/h) and increasing (3 KGy/h) each time until reaching the maximum dose (24 KGy/h), and studying the effect of changing doses on the

---

<sup>4</sup> PhD student, Department of Design and Production Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Al-Baath University.

bending strength of the studied samples, and determining the optimal values. In addition to comparing the results between samples treated with photopolymerization and the results of samples treated with traditional polymerization.

The results showed a clear variation with respect to the change in dose values, some results gave a significant improvement in bending strength. This indicates the importance of using advanced techniques to improve the polymerization conditions and improve the final properties.

**Keywords:** photopolymerization, gamma rays, Unsaturated polyester, bending strength.



## 1 المقدمة :

يتم تشكيل المنتج النهائي لبوليمرات البولي استر غير المشبع عن طريق البلمرة بالإضافة المشتركة بالجذور الحرة (free radical copolymerization) وذلك بإذابة البولي استر غير المشبع منخفض الوزن الجزيئي (البوليمر المسبق (prepolymer)) في مونومير، مثل الستارين (ST)، بالإضافة لوجود نظام بدء تفاعل البلمرة (initiator) لتكوين الجذور الحرة، مثل استخدام البيروكسيدات، ومسرعات التفاعل (accelerator)، مثل الأملاح المعدنية (الكوبالت Cobalt) أو غيرها. وهذه الطريقة الحرارية التقليدية الشائعة. هناك العديد من أنظمة بدء التفاعل المتقدمة والتي تختلف عن الطريقة التقليدية في نظام البدء، مثل أنظمة بدء صوتية إشعاعية مثل أشعة الضوء وحزمة الإلكترون والموجات فوق الصوتية و أشعة غاما كما في البحث الحالي، يؤدي تفاعل البلمرة بين الروابط المزدوجة بشكل عام إلى تكوين شبكة بوليمر ثلاثية الأبعاد تعمل على تقوية المنتج، يتصف تفاعل البلمرة هذا بأنه غير عكسي إي غير قابل للرجوع بمجرد التصلب، ولا يمكن إعادة صهر المنتج [1].

بغض النظر عن نظام البدء المتبع، يمكن تقسيم مسار البلمرة مشتركة للجذور الحرة بشكل عام إلى الفترات التالية: فترة الحث، وفترة الانتشار بما في ذلك فترة تأثير الهلام أو الانتقال والتزجيج وتكون خطوات تفاعل التشابك كما يلي: البدء (تكوين الجذور الحرة)، والتكاثر (التفاعل بين الجذور الحرة والمواد المتفاعلة التي تعطي منتجًا

يمثل جذرًا حرًا آخر) والانتهاه (إعادة اتحاد الجذور الحرة مما يؤدي إلى الأنواع المستقرة).

تصنف تفاعلات البلمرة التي تحدث وفق ثلاثة أنواع: البلمرة المشتركة للستارين والبولي استر - تفاعلات بين الجزيئات وداخل الجزيئات، البلمرة المتجانسة للستارين والبلمرة المتجانسة للبولي استر [2].

بالنسبة لتشكيل الشبكة، فإن التفاعلات الأكثر أهمية هي البلمرة المشتركة للستارين والبولي استر والتي تحدث بين جذور الستريل (styryl) والإستر (ester) (صنف من المركبات الكيميائية العضوية تحتوي على الكربون العضوي).

في فترة الانتشار يتم التحكم حركيا بتفاعل التشابك عن طريق خطوات تفاعلات الجذور الحرة، البدء (اعتماداً على البادئ) و التكاثر والإنهاء الذين قد يحدثان معاً، حيث يقلل الانتشار من إمكانية لقاء اثنين من الجذور الحرة، في تلك اللحظة، لا يوجد عملياً أي إنهاء ويزداد معدل انتشار الجذور الحرة بشكل كبير مما يسمى تأثير الهلام أو الجل، وهو سمة من سمات بلمرة الجذور الحرة، يمكن أن يحدث تأثير الهلام مبكراً جداً في التفاعل.

ويتم في هذه المرحلة تكوين البنية المجهرية، نتيجة التفاعلات داخل الجزيء، بسبب عدم تشبع البولي استر، وبعض جزيئات الستارين الموجودة داخل ملف البولي استر، نظراً لأن الستارين يذوب البولي استر بشكل غير كامل، فإن تركيزه داخل ملفات

البولي استر يكون أقل، وينتج عن ذلك دوران داخل الجزيئي الناجم عن تشكل جسور ستارين على سلاسل بولي استر الأولية، والتي تشكل تكوينات كروية بمقياس دون مايكرومتر تدعى ميكروجيلات (microgel)، تظهر في وقت مبكر من التفاعل، ولها قابلية للذوبان.

سلاسل البولي استر الأطول لديها ميل أكبر لتشكيل لفائف بحيث تزداد إمكانية التشابك داخل الجزيء وتكوين ميكروجيل مع الكتلة الجزيئية للبولي استر، يؤدي التفاعل الإضافي في الغالب إلى التفرع على سطح الميكروجيل ويزيد في الحجم حتى تظهر جزيئات أكبر (عناقيد ميكروجيل).

في فترة الانتقال أو تأثير الهلام، يُسمح لمعظم الستارين، الموجود أصلاً داخل الميكروجيلات وكذلك جزء من الستارين المنتشر، بالارتباط مع روابط فينيل البولي استر (مجموعة الفينيل أو حلقة الفينيل هي مجموعة فعالة لها الصيغة  $C_6H_5$ ، تترتب فيها ذرات الكربون في شكل حلقي) داخل الميكروجيلات، يميل هذا التفاعل إلى تقليل حجم الميكروجيلات وجعلها أكثر إحكاماً، بالإضافة إلى ذلك، تتفاعل روابط فينيل البولي استر الموجودة على سطح الميكروجيل مع الستارين أو مع ميكروجيلات أخرى، مما يؤدي إلى نمو الميكروجيل.

مع استمرار التفاعل، تتداخل الميكروجيلات تدريجياً، وتزداد كثافة الارتباط المتبادل داخل وخارج الميكروجيلات، وبالتالي تصبح قيود الانتشار هي التأثير

المهيمن. لذلك، ينقص معدل التفاعل تدريجياً وينخفض في النهاية إلى الصفر، ويتحول نظام البوليمر فجأة من سائل لزج إلى مادة صلبة حرارية [3].

تعد أنظمة البدء الضوئي أو البلمرة المحرّضة عن طريق الأشعة مجالاً علمياً يوفر ثروة من التحديات الأساسية المثيرة للباحثين التي تشمل العديد من التخصصات والتطبيقات العملية.

النمو في تطبيقات البلمرة الضوئية مدفوع بالمزايا التي يوفرها استخدام الضوء، وبدلاً من النظام الحراري التقليدي وتجنب بعض سلبياته، تشمل هذه المزايا تركيبات نهائية خالية من المذيبات، ومعدلات تفاعل عالية جداً في درجة حرارة الغرفة، والتحكم المكاني في البلمرة، ومدخلات طاقة منخفضة، وتجانس في البنية، وعدم الحاجة لبادئ ومحفز تفاعل البلمرة في بعض تطبيقات البلمرة التي تستخدم أشعة عالي الطاقة، وتعدد استخداماتها.

تشمل "تقنية (photopolymerization) تلك التفاعلات الكيميائية والفيزيائية للمواد العضوية التي تبدأ عن طريق تطبيق الإشعاع الكهرومغناطيسي، عادةً ما يتم استخدام الأشعة فوق البنفسجية (UV) أو المرئية أو الأشعة تحت الحمراء (IR) لبدء تفاعلات ويمكن استخدام مصادر طاقة أعلى بطول موجي أقصر مثل أشعة غاما كما في موضوع بحثنا.

فالبوليمرات الضوئية هي مواد بوليمرية حساسة للضوء تتغير خصائصها عند تعرضها لإشعاع الضوء، فعند تعرض المنطقة للإشعاع الضوئي يبدأ الضوء بتفاعلات كيميائية تغير هيكلها ويعدل خواصها الكيميائية والفيزيائية وذلك بعملية البلمرة، في حين أن الأجزاء غير المعرضة لا تتأثر بشكل عام، ويعد البولي استر غير المشبع من المواد التي تتأثر بالضوء وتدعى المواد الفوتو بوليمرية، وعادةً ما يتم استخدام المونيمرات، والمواد المضافة مع هذه البوليمرات [4].

## 2 الدراسات المرجعية:

نستعرض موجز لأهم الدراسات المرجعية المتعلقة بموضوع البحث وفق الآتي:

- في عام 2022 وأثناء العمل في هذا البحث درس Qiufeng Mo, Yifeng Huang وزملائهم استخدام تقنية المعالجة بالميكروويف للبولى استر غير المشبع و دراسة تأثير طاقة الميكروويف ووقت تشعيع الميكروويف على خصائص المعالجة لبوليمر البولى استر غير المشبع، وخلصت الدراسة إلى أن المعالجة بالميكروويف كانت أسرع بكثير من المعالجة الحرارية، وحصل المركب المعالج بالميكروويف على كثافة تشابك أعلى وخصائص ميكانيكية أفضل [5].

- في عام 2009 درس M.A. Hussein وزملائه مزايا وقيود الموصلية الكهربائية كطريقة لرصد التفاعل التشابك لبوليمر البولى استر غير المشبع

(UP) المعالج بالإشعاع المؤين، و مقارنة النتائج بالطرق غير الكهربائية مثل تحليل الاستخلاص والمسر، ولم يتطرق البحث إلى دراسة الخصائص الميكانيكية [6].

- في عام 2008 درس Irina Puc, Tanja Jurkin التشابك الإشعاعي (أشعة غاما) والتشابك ما بعد الإشعاع لاثنين من بوليمرات البولي استر غير المشبع (UP) isophthalic و orthophthalates. باستخدام أطياف NMR و DSC و تحليل الاستخراج بالمذيب. أظهرت الدراسة زيادة كبيرة بعد التشعيع في مدى الترابط UP في العينات المحفوظة في درجة حرارة الغرفة واستمرت لأيام بعد التشعيع، ولم يتضمن البحث دراسة الخواص الميكانيكية [7].

- كانت لنفس الباحثين Irina Puci ' c, Tanja Jurkin في عام 2006 دراسة لتشابك بعد التشعيع لعينات من بوليمرات البولي استر غير المشبع (UP) المشعة لجرعات مختلفة. تم تقييم حساسية ثلاثة تقنيات تجريبية، تم الكشف عن التغييرات الأكثر جوهرية عن طريق المسح الحراري التفاضلي (DSC)، كانت حساسية الاختبار الطيفي FTIR هي الأقل حساسية [8].

- في عام 2004 درس Dae Su Kim, Woo Hyun Seo تأثير العلاج بالأشعة فوق البنفسجية على الخصائص الميكانيكية لبوليمر أكريلات

البوليستر، وأظهرت النتائج تحسن في الخصائص الميكانيكية للمادة

المدروسة عند قيم معينة [9].

### 3 أهمية البحث:

من خلال مطالعتنا للدراسات المرجعية نلاحظ بأن الخصائص الميكانيكية لم تأخذ حقها بشكل جيد وخاصة فيما يتعلق ببوليمر البولي استر غير المشبع المعالج بالبلمرة الضوئية، كون هذا المادة منتشرة في الصناعات المحلية وبسبب العديد من المزايا التي توفرها خصائص هذه المادة. أصبح البحث في تحسين خصائصها الميكانيكية و التغلب على بعض سلبيات الطرق التقليدية أمراً بالغ الأهمية. وذلك عن طريق استخدام طرق متقدمة مثل استخدام نظام البلمرة ضوئية (نظام بدء إشعاعي ضوئي) في بلمرة البولي استر غير المشبع.

### 4 هدف البحث:

دراسة تأثير البلمرة الضوئية لبوليمر البولي استر غير المشبع على مقاومة الانحناء مع مقارنة النتائج بطريقة البلمرة التقليدية.

### 5 المواد المستخدمة وطرق البحث:

إن المادة الأساسية في هذا البحث هي بوليمر البولي استر غير المشبع ((UPS) (unsaturated polyester resins) وهو بوليمر اولي (prepolymer)

من النوع (isophthalic) والمصنع من قبل شركة (SIR)، لونه أصفر شفاف ويكون على شكل سائل شديد اللزوجة، مخفف بمونومير البولي ستارين بنسبة 35%.

### 5.1 تحضير المادة:

يتم تحضير المادة للمعالجة بأشعة غاما وذلك بخلط البوليمر الأولي البولي استر غير المشبع مع المونومير الستارين بنسبة 35% و بدون إضافة مواد المساعدة (البادئة والمسرعة للتفاعل) وذلك بخلاف المعالجة التقليدية، تتبع المعالجة الضوئية الإشعاعية نفس مراحل وخطوات التفاعل في المعالجة التقليدية، مع الاختلاف في نظام البدء وطريقة إضافة المادة، حيث تضاف المادة على مرحلة واحدة في طريقة المعالجة الضوئية، يتم اخراج العينات من القالب بعد ساعة من انتهاء التشعيع للتأكد من إتمام تصلب المادة، ووضعهم في صندوق مظلم للحفاظ على خصائص المادة بعد التشعيع وذلك لاستكمال إجراء الاختبارات عليهم، وتم ترميز العينات بحسب قيم معدل الجرعة، يبين الشكل التالي (1-3) بعض العينات الناتجة من عملية البلمرة الضوئية بأشعة غاما. من أجل المعالجة التقليدية يتم تحضير البولي استر غير المشبع بتخفيفه بمونومير الستارين (ST) بنسبة 35%، وذلك بخلطه لمدة 30 دقيقة، أثناء الخلط يتم إضافة مسرع (accelerator) التفاعل (الكوبالت Cobalt) بنسبة 1.5%. وأثناء عملية تشكيل العينات يتم إضافة مادة بادئة للتفاعل (initiator) وهو عبارة عن بيروكسيد عضوي يتفكك ليعطي الجذور الحرة وذلك بنسبة 1.5%. والخلط جيداً باستخدام خلاط



كهربائي لمدة دقيقتين لتجانس المادة قدر الإمكان، حيث يتم الحذر من إضافة المسرع

مع البادئ معاً لتجنب حدوث الاشتعال أو الانفجار.



الشكل 5-1: بعض عينات الانحناء التي تم تحضيرها للاختبارات

## 5.2 تحضير العينات:

يتم تحضير العينات للمعالجة الضوئية الإشعاعية في قالب زجاجي شفاف من الجهتين و مقسم من الداخل ومصمم ليتم تشكيل فيه أربع عينات كما هو موضح بالشكل التالي، وذلك بالأبعاد القياسية الخاصة بعينات اختبار الانحناء وفق ASTM D790 , 160\*15\*8 mm. حيث يتم إخراج العينات من القالب بفك القالب وإزالة اللوح الزجاجي من جهة واحدة، أما ما يخص المعالجة التقليدية فتم تجهيزها في قالب من الفولاذ المطلي بالتوتياء بالأبعاد القياسية نفسها ومجهز بلوافظ.



الشكل 5-2: قالب تحضير العينات للمعالجة الإشعاعية

### 5.3 الأشعة المستخدمة وآلية التشعيع:

تم اجراء التشعيع على جهاز التشعيع بأشعة غاما في قسم تكنولوجيا الإشعاع

في هيئة الطاقة الذرية السورية و ذلك وفق المواصفات في الجدول التالي:

الجدول 5-1: مواصفات جهاز أشعة غاما المستخدم

Co <sup>60</sup>	مصدر الإشعاع
12	معدل الإشعاع ( KGy/h )
~1	مساحة التعرض للإشعاع m <sup>2</sup>

يتم وضع القالب الذي يحتوي على العينات في مكان المخصص للتشعيع، وفي

درجة حرارة الغرفة، وتم التشعيع وفق معدل جرعات مختلفة ضمن المجال (6-24)

كيلو غراي بالساعة (kGy/h) (وهي وحدة النظام الدولي للجرعة الممتصة، وهي كمية

الطاقة الإشعاعية المترسبة في المادة المشعة، ويساوي 1 غراي (Gy) = 1 j/kg)،

حيث تتلقى جميع أجزاء القالب نفس معدل الجرعة.

ويشير معدل الجرعة إلى زمن التعرض للإشعاع، حيث يعطي مصدر الإشعاع معدل 12 KGy في الساعة، على هذا الأساس تبقى العينات لزمن محدد لتحقيق معدل الجرعة المطلوب لكل عينة.

جهاز التشعيع عبارة عن غرفة تحتوي على المشعات وتوضع العينات المراد تشعيها بشكل مباشر أمام المشعات وعلى بعد 1.5 متر تقريباً، و يتم نقل المواد المراد تشعيها بواسطة سير ناقل يسير وفق مسار محدد ويقاد بواسطة آلية تحكم أتموماتيكية على حسب زمن وجرعة الشعيع، وذلك بعيداً عن تدخل العنصر البشري بشكل مباشر، حيث يؤخذ التدابير الأمن والسلامة اللازمة لعملية التشعيع، وعند الحاجة لدخول الفنيين إلى داخل غرفة الشعيع، تسحب المشعات نحو الأسفل تحت غرفة التشعيع، حيث يوجد حوض ماء يمنع انتشار الأشعة، (لذلك لا يمكن توثيق عملية التشعيع بشكل مباشر مثل تصوير العينات أثناء التشعيع حرصاً على سلامة الأجهزة و الأشخاص) ويتم رفع وتنزيل المشعات وفق آلية رفع وتنزيل، يوضح الشكل المجسم التالي آلية الشعيع.



الشكل 5-3: شكل مجسم لغرفة التشعيع

#### 5.4 منهجية العمل :

لدراسة تأثير المعالجة الضوئية الإشعاعية على خصائص البولي استر غير المشبع بشكل مفصل، تم في بداية الأمر اجراء العديد من التجارب الاولية لتحديد مجال الجرعة المناسبة التي سيتم دراستها لاحقاً، حيث يؤثر معدل الجرعة بشكل كبير على خصائص المادة كما تم دراساته في العديد من الأبحاث المتعلقة بتأثير الأشعة على البوليمرات بشكل عام [10], [11]، حيث تطبيق جرعات مرتفعة يؤثر بشكل سلبي على خصائص المادة ويؤدي إلى تدهور بنية البوليمر، وكذلك الجرعات المنخفضة قد لا تكون كافية لبدء البلمرة.

بعد تشيع العينات تمت دراسة خصائص المادة من خلال اختبار مقاومة الانحناء وتحديد أعظم قوة تتحملها المادة وحساب مقاومة الانحناء.

وفقاً للتجارب الاولية التي تم اجراءها وكذلك وفقاً للدراسات المرجعية تم تحديد معدل الجرعات التالية (6, 9,12,15,18,24 kGy/h)، حيث معدل الجرعة هو المتغير الوحيد في هذا البحث، مع العلم انه تم اجراء جميع الاختبارات بعد الانتهاء من التشيع بثلاثة أيام.

## 6 الاختبارات :

6.1 اختبار مقاومة الانحناء (*Bending Strength*) :

تم إجراء اختبار مقاومة الانحناء في مخبر خواص المواد بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة البعث، وذلك على جهاز الشد Tinius olsen 50 KN وفق ASTM D790، تم إجراء الاختبار بطريقة اختبار الانحناء ثلاثي النقاط (Three – Points Bending Test).

تم الحصول على أقصى حمل انحناء من المخطط (القوة – سهم الانحناء) ثم حساب مقاومة الانحناء بالعلاقة التالية [4]:

$$Bending\ Strength = \frac{Bending\ Max\ load * L * 3}{2 * w * t^2} \quad (Mpa)$$

حيث L: طول العينة mm، t: سماكة العينة mm، w: عرض العينة mm.

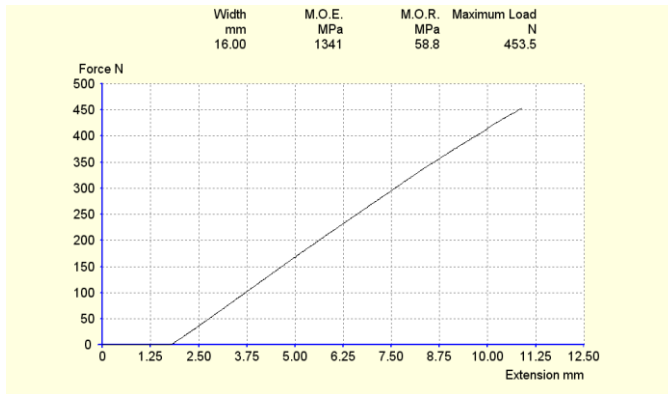
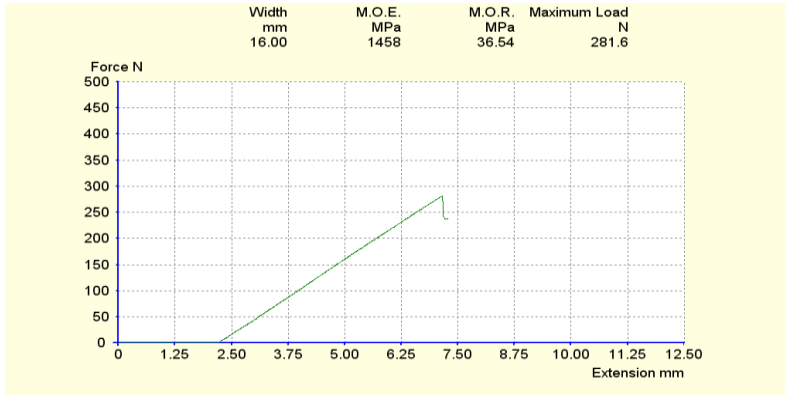


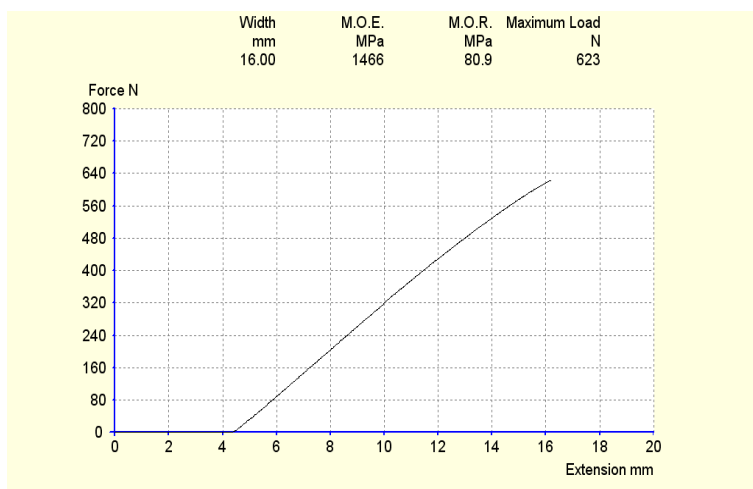
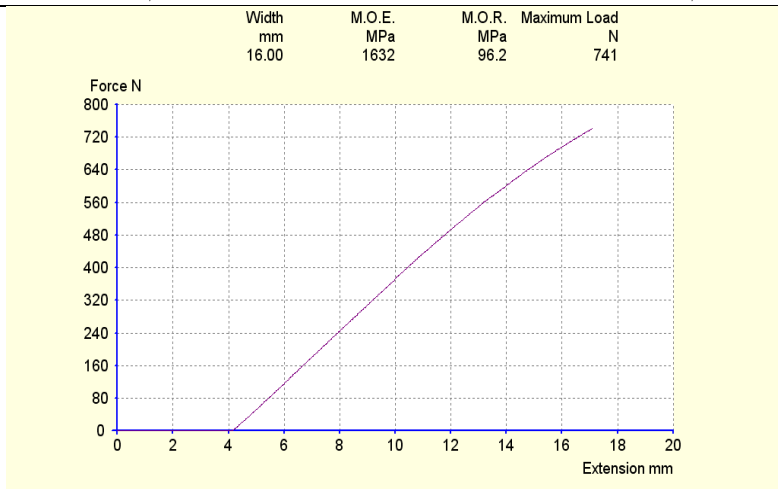
الشكل 6-1: اختبار مقاومة الانحناء للعينات

## 7 النتائج والمناقشة:

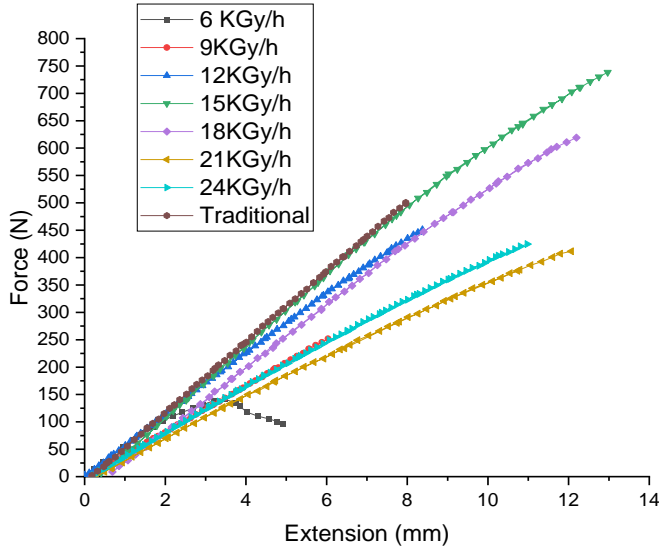
### 7.1 نتائج اختبار مقاومة الانحناء (Bending Strength):

يبين الشكل (7-1) و (7-2) منحنيات (القوة - سهم الانحناء) التي تم الحصول عليها من اختبار الانحناء للعينات المعالجة بالبلمرة الضوئية وفق معدل جرعات مختلفة والعينة المعالجة بالطريقة التقليدية الحرارية، ويظهر منحنيات متفاوتة بدرجات مختلفة.





الشكل 7-1: نتائج اختبار الانحناء لبعض العينات



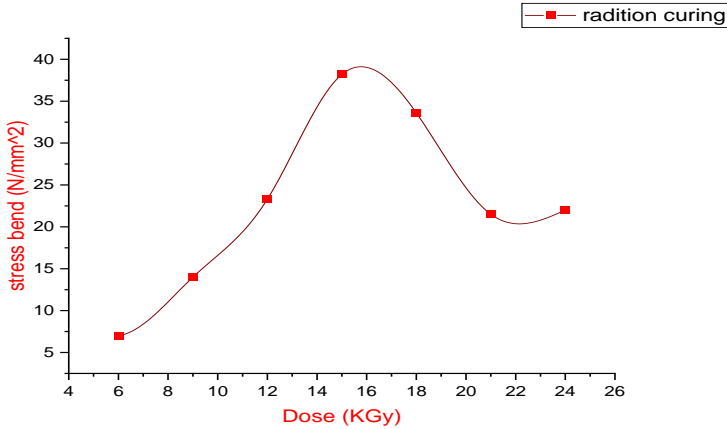
الشكل 7-2: نتائج اختبار الانحناء لجميع العينات

يبين الشكل (2-5) علاقة مقاومة الانحناء بتغير قيم معدل جرعات التشعيع، نلاحظ أن قيمة مقاومة الانحناء تزداد بشكل متناسب مع زيادة قيمة معدل الجرعة، حتى الوصول إلى أعلى قيمة مقاومة انحناء عند معدل الجرعة 15 KGy/h. بزيادة مقدارها 100% عن معدل الجرعة 9 KGy/h. كما يظهر تأثير زيادة قيمة معدل الجرعة المرتفع بشكل واضح على انفاص قيمة مقاومة الانحناء، فعند الجرعات الأعلى (21-24 KGy/h) تنخفض مقاومة الانحناء بالرغم من زيادة معدل الجرعة.

يؤثر تجانس البنية بشكل كبير على مقاومة الانحناء، عند تطبيق الحمل على المادة سوف تنتزع الإجهادات على كامل المادة، وتنزلق الطبقات على بعضها البعض و يتشكل اجهادات مختلفة (شد وضغط)، ممكن أن يؤدي عدم تجانس بنية المادة



بشكل جيد، الناتجة عن عدم تجانس مراحل تفاعلات البلمرة على كامل المادة إلى تشكل الأطوار المختلفة (سائل- صلب)، حيث ببداية التفاعلات وعند درجات الحرارة المنخفضة تتشكل الاطوار الغنية بالبولي استر و الأطوار الغنية بالستارين وتبدأ التفاعلات غالباً بالأطوار الغنية بالستارين بسبب الحركة المنخفضة لسلاسل البولي استر.



الشكل 7-3: منحنى مقاومة الانحناء تبعاً لتغير قيم جرعة التشعيع

وتبدأ البلمرة المتجانسة للستارين مع البلمرة المشتركة للبولي استر والستارين، ممكن عند الدرجات الحرارة غير كافية، تشكل مناطق فاصلة بين المكروجيلات (وهي تكوينات كروية بمقياس دون مايكرومتر تنتج عن دوران داخل الجزيئ الناجم عن تشكل جسور ستارين على سلاسل بولي استر الأولية) التي تتشكل من البلمرة المشتركة و بقية الأطوار، مثل المواد غير متفاعلة والبولي ستارين المتشكل من البلمرة المتجانسة

للسنارين حدود فاصلة بين الأطوار و تشكل شقوق ميكروية وتسمى بظاهرة فصل الطور الشائعة في مثل هذه المواد البوليمرية [12].

تنمو هذا الشقوق وتمتد أثناء تطبيق الحمل، وتشكل مناطق تركيز اجهادات، فكلما زادت التشققات الميكروية زادت مناطق تركيز الاجهادات وبالتالي انخفضت المقاومة، ويبرز هذا التأثير بشكل أكبر في اجهاد الانحناء بسبب تشكل اجهادات مختلفة.

على العكس من ذلك فكلما ازدادت قيمة جرعة التشعيع تزداد درجة حرارة المادة و تنخفض قيود الشبكة، وتصبح البلمرة على كامل المادة بشكل متجانس أكثر.

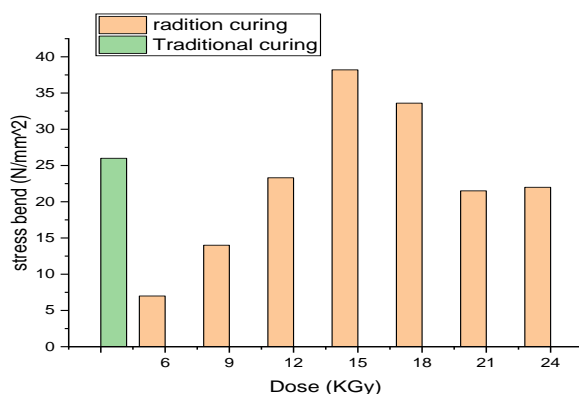
عند معدل الجرعة 6 Kgy/h المنخفضة من التشعيع لم نحصل على بنية متماسكة صلبة بما يكفي بسبب عدم اكتمال تفاعلات البلمرة وانخفاض معدل التفاعل، وأيضاً ينطبق هذا التفسير على معدل الجرعة 9 Kgy/h. لكن بدرجة أقل.

عند معدل الجرعة 15 و 18 Kgy/h، حصلنا على أعلى قيمة مقاومة انحناء، حيث بزيادة معدل الجرعات يساعد بشكل كبير على تجانس البلمرة في كافة أنحاء المادة وبين المكونات، وتتوزع تفاعلات البلمرة بصورة ممتدة على طول وعرض المادة بشكل متساوي، وهذا ما يقلل من ظاهرة فصل الطور وتكون التشققات الميكروية التي تسبب في انخفاض مقاومة المادة [13]، بالإضافة إلى ذلك، تعمل زيادة قيمة معدل الجرعات إلى تحسن معدلات تفاعل البلمرة واكتمال مراحلها وتصلب البنية بشكل

متجانس و تحسن ظروف انتشار الجذور الحرة، مما يحسن من نقل الاجهادات، وتوزعها على كامل البنية وبالتالي تحسن مقاومة الأحمال. [9] [10].

ويفسر تناقص قيمة مقاومة الانحناء مع زيادة معدل الجرعة (21 KGy/h) -24) بأن زيادة معدل الجرعة ممكن أن يؤثر على تجانس البنية، لأن الزيادة في معدل الجرعة تسبب زيادة معدل التسخين و حدوث تشابك مبكر وبالتالي ازدياد قيود الانتشار و انخفاض معدل التفاعل [6]. ومن ناحية أخرى ممكن أن تؤدي البلورة في درجات حرارة مرتفعة إلى زيادة احتمالية حدوث بلورة متجانسة للبولي استر على حساب البلورة المشتركة للسارين و البولوي استر [16]. وبالتالي تعدد البنية الناتجة و زيادة احتمالية تشكل بنية غير متجانسة، وهذا ما قد يفسر انخفاض مقاومة الانحناء عند الجرعات المرتفعة، بالإضافة إلى ذلك ممكن أن تكون ظاهرة التحلل الإشعاعي التي تتأثر بها المواد البوليمرية عند الجرعات المرتفعة قد أثرت على انخفاض مقاومة الانحناء [11].

يبين الشكل (3-5) مقارنة بين نتائج العينات المعالجة بالبلورة الضوئية الإشعاعية و العينات المعالجة بالبلورة التقليدية، وجدنا أن جميع العينات سجلت قيم أقل من قيم العينة المعالجة بطريقة البلورة التقليدية باستثناء العينة 15 و 18 KGy/h. التي سجلت قيم أكبر نسبة 28% و 20 % على التوالي.



الشكل 4-7: مقارنة نتائج مقاومة الانحناء للعينات المعالجة بالطريقة الإشعاعية والتقليدية

وبذلك تفوقت المعالجة الإشعاعية الضوئية عن المعالجة التقليدية عند هذا

المستوى من معدل الجرعات بسبب العديد من الأسباب، أهمها:

- في المعالجة الإشعاعية يتم تسخين كامل ذرات المادة بشكل متجانس بسبب

قدرة الطاقة الإشعاعية الكبيرة، وبالتالي تقليل العيوب الناتجة عن اختلاف

دروة البلمرة بين الطبقات، أما في المعالجة التقليدية تختلف درجات الحرارة

بين المنتصف والخارج و بالإضافة إلى الناقلية السيئة للبوليمر مما يؤدي

إلى اختلافات درجات الحرارة بين ذرات المادة وبالتالي اختلاف دورات

التفاعل واحتمالية كبيرة لفصل الطور [13].

- معالجة المادة بسماكة كبيرة و بمرحلة واحدة: في المعالجة التقليدية يتم

تشكيل المادة بطريقة الطبقات، مما يزيد احتمالية فصل الطبقات أو ضعف

التصاق الطبقات، أما في المعالجة الإشعاعية يمكن معالجة المادة

بسماعات كبيرة بسبب قدرة الطاقة الإشعاعية على الاختراق وخاصة أشعة

غاما. وهذا ما يفتح مجالات استخدام للمادة بشكل أوسع. [12] [3].

- في المعالجة الإشعاعية يوجد امكانية للتحكم في مسار ومراحل التفاعلات

بإيقاف التشعيع عند إي معدل جرعة و الحصول على بنية مختلفة

وخصائص مختلفة أما في المعالجة الحرارية لا يوجد امكانية للتحكم، مما

تتيح هذا الميزة بالحصول على خصائص أفضل. [12]

وبالتالي تجانس البنية التي تنتج عن المعالجة الإشعاعية وانخفاض العيوب

بشكل كبير في المادة الناتجة وهذا ما جاء في العديد من الدراسات [13] [12] [3].

## 8 الاستنتاجات والتوصيات:

### 8.1 الاستنتاجات :

- إن البلمرة الضوئية بأشعة غاما عند معدل الجرعة (15 KGy/h) أعطت

أفضل مقاومة انحناء، وهي تمثل القيمة المثلى.

- تحسن قيمة مقاومة الانحناء عند استخدام طريقة البلمرة الضوئية مقارنة

بالمعالجة التقليدية الحرارية عند معدل الجرعات (15-18 KGy/h).

- إن تحسن قيمة مقاومة الانحناء في البلمرة الضوئية ناتج عن تحسن ظروف

البلمرة و بالتالي تحسن خصائصها.

- تحقق البلمرة الضوئية بأشعة غاما معدل انتاج أعلى من البلمرة التقليدية، وذلك لأن تحضر العينات في البلمرة الضوئية يتم في مرحلة واحدة بسبب قدرة أشعة غاما الكبيرة على الاختراق، بينما في المعالجة التقليدية يتم تحضير العينات على عدة طبقات بفواصل زمنية.

## 8.2 التوصيات :

إن نتائج هذا البحث تبرز أهمية استخدام التقنيات المتقدمة لمعالجة بوليمر البولي استر غير المشبع، ويشجع المستثمرين والصناعيين في هذا المجال على استثمار التقنيات المتوفرة وادخالها ضمن عمليات التصنيع، خاصة كونها تدخل في العديد من الصناعات المحلية، ممكن أن نلخص أبرز التوصيات التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند الخوض في هذا المجال، وممكن أن تعطي قيمة إضافية لعملية البلمرة الضوئية وتعطي نتائج أكثر دقة:

- استخدام القيم المثلى التي توصلنا إليها في التطبيق العملي وفي الدراسات اللاحقة التي تبحث في هذا المجال.
- مراقبة عملية الشيع مثل استخدام الأدوات وأجهزة القياس المباشرة أثناء عملية الشيع يمكن أن تعطينا نتائج إضافية وحقائق أكثر عن عملية المعالجة الإشعاعية، مثل المستشعرات الحرارة و جهاز قياس معدل الجرعة الممتصة وغيره.
- ادخال أنظمة التحكم الرقمية لسهولة التحكم ببارامترات عملية المعالجة مثل جرعة أو زمن الشيع.

---

**References:**

- [1] G. G. Odian, *Principles of polymerization*, 4th ed. Hoboken, N.J: Wiley-Interscience, 2004.
- [2] G. G. Odian, *Principles of polymerization*, 4th ed. Hoboken, N.J: Wiley-Interscience, 2004.
- [3] A. B. Scranton, C. N. Bowman, R. W. Peiffer, American Chemical Society, and American Chemical Society, Eds., *Photopolymerization: fundamentals and applications*. in ACS symposium series, no. 673. Washington, DC: American Chemical Society, 1997.
- [4] A. B. Scranton, C. N. Bowman, R. W. Peiffer, American Chemical Society, and American Chemical Society, Eds., *Photopolymerization: fundamentals and applications*. in ACS symposium series, no. 673. Washington, DC: American Chemical Society, 1997.
- [5] Q. Mo *et al.*, 'Study on Microwave Curing of Unsaturated Polyester Resin and Its Composites Containing Calcium Carbonate', *Polymers*, vol. 14, no. 13, Art. no. 13, Jun. 2022, doi: 10.3390/polym14132598.

- [6] I. Puci, 'Radiation crosslinking and liquid-liquid transitions in unsaturated polyesters', p. 12, 2009.
- [7] I. Pucić and T. Jurkin, 'Radiation and postirradiation crosslinking and structure of two unsaturated polyester resins', *Polym. Eng. Sci.*, vol. 48, no. 9, pp. 1768–1777, Sep. 2008, doi: 10.1002/pen.21143.
- [8] T. Jurkin and I. Pucić, 'Post-irradiation crosslinking of partially cured unsaturated polyester resin', *Radiat. Phys. Chem.*, vol. 75, no. 9, Art. no. 9, Sep. 2006, doi: 10.1016/j.radphyschem.2006.04.001.
- [9] D. S. Kim and W. H. Seo, 'Ultraviolet-curing behavior and mechanical properties of a polyester acrylate resin', *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 92, no. 6, pp. 3921–3928, Jun. 2004, doi: 10.1002/app.20422.
- [10] B. I. Kharisov, 'Radiation Synthesis of Materials and Compounds', p. 581, 2013.
- [11] D. Abellache, A. Lounis, K. Taïbi, and A. A. Bin Mohamed, 'Contribution To Degradation Study, Behavior Of Unsaturated Polyester Resin Under Neutron Irradiation', presented at the NEUTRON AND X-RAY SCATTERING IN ADVANCING



MATERIALS RESEARCH: Proceedings of the International  
Conference on Neutron and X-Ray Scattering—2009, Kuala  
Lumpur (Malaysia), 2010, pp. 135–139. doi:  
10.1063/1.3295584.

- [12] I. Pucić and F. Ranogajec, 'Phase separation during radiation crosslinking of unsaturated polyester resin', *Radiat. Phys. Chem.*, vol. 67, no. 3–4, pp. 415–419, Jun. 2003, doi: 10.1016/S0969-806X(03)00077-X.
- [13] C.-P. George, 'An integrated analysis of styrene/unsaturated polyester free radical cross-linking polymerizations', p. 364, 1993.
- [14] Hussein, 'Real-Time Cure Monitoring of Unsaturated Polyester Resin from Ultra-Violet Curing', *J. Res. Updat. Polym. Sci.*, Nov. 2012, doi: 10.6000/1929-5995.2012.01.01.5.
- [15] Department of Industrial and Production Engineering, University of Ibadan, Nigeria., 'Modeling of Microwave Curing of Unsaturated Polyester Based Composite Materials as Production Process Guide', *J. Adv. Eng. Technol.*, vol. 1, no. 1, Art. no. 1, Jan. 2014, doi: 10.15297/JAET.V1i1.05.

- [16] S. B. Liu and T. L. Yu, 'Study of the microgelation of unsaturated polyester resins by dynamic light scattering', *Macromol. Chem. Phys.*, vol. 196, no. 4, pp. 1307–1318, Apr. 1995, doi: 10.1002/macp.1995.021960430.
- [17] A. Adeodu, 'Comparism of Cure Modeling of Unsaturated Polyester Based Composites Using Microwave and Autoclave Assisted Hand Lay-Up Process in Cylindrical Mould', *Adv. Mater.*, vol. 4, no. 3, p. 59, 2015, doi: 10.11648/j.am.20150403.13.

# مقارنة أداء شبكات الحساسات اللاسلكية المُعتمدة على طريقة دورة العمل مع تلك المُعتمدة على بروتوكولات التوجيه التراتبية

د.م. محمد خالد شاهين \*

م. أسيل الحمصي \*\*

## المُلخَص

تُنشر عقد الحساسات في بيئات مختلفة لتلبية متطلبات تطبيقات محددة. ويتطلب العديد من هذه التطبيقات عمل عقد الحساسات لعدة أشهر أو حتى سنوات؛ لذا تعدّ مدة حياة الشبكة من أهم خصائص شبكات الحساسات اللاسلكية. وقد اقتُرحت في الأدبيات عدة تقنيات بهدف خفض استهلاك الطاقة، ومن ثمّ تحسين مدة حياة الشبكة.

تم في هذا البحث دراسة طريقتين أساسيتين من طرائق تحسين مردود الطاقة في هذه الشبكات: الأولى هي دورة العمل التي تعتمد على منهجية واعية لخمول الحساسات ونشاطها مقدّمة بالموضوع، أمّا الثانية فهي بروتوكولات التوجيه التراتبية. وقد اخترنا أربعة بروتوكولات توجيه تراتبية موفرة للطاقة شائعة الاستخدام هي: التوجيه التراتبي لعنقدة تكفيّة منخفضة الطاقة LEACH، والتوجيه التراتبي المعدل لعنقدة تكفيّة منخفضة الطاقة MOD-LEACH، وبروتوكول العنقدة الموزعة الفعال من حيث الطاقة DEEC، وبروتوكول الانتخاب المستقر SEP.

ثم أجرينا مقارنة لأداء الطريقتين من أجل عدة مقاييس لأداء الشبكة وهي مدة حياة الشبكة ومدة استقرارها والطاقة المتبقية في الشبكة وذلك من أجل عدة سيناريوهات عمل.

**الكلمات مفتاحية:** شبكات الحساسات اللاسلكية، الحساس، المحطة القاعدية، رأس عنقود، العنقدة، دورة العمل، بروتوكولات التوجيه التراتبية، مردود الطاقة.

\* أستاذ مساعد- قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق- سورية.

\*\* طالبة دراسات عليا (ماجستير) قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة

دمشق-سورية.

# Comparing the Performance of Wireless Sensor Networks Based on Duty Cycle Method with those Based on Hierarchical Routing Protocols

Dr. Eng. Mohamed Khaled Chahine\* Eng. Aseel Al Homsii\*\*

## Abstract

Sensor nodes are deployed under different environment to fulfill the requirements of specific applications. Many of these applications require sensor nodes to work for several months or even years; that is why network lifetime is considered as a key characteristic of wireless sensor networks (WSNs). Several techniques were proposed in the literature aiming to reduce energy consumption thus, improving wireless sensor network lifetime.

In this research, two basic methods for improving energy efficiency in these networks were studied: first one is the duty cycle based on sleep/awake aware location-driven methodology, the second one is hierarchical routing protocols. We have selected four common energy-efficient hierarchical routing protocols namely: Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH), Modified Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy (MOD-LEACH), Distributed Energy Efficient Clustering (DEEC), and Stable Election Protocol (SEP).

Then we achieved a performance comparison between the two methods for several network performance metrics: network lifetime, stability period and network remaining energy for several scenarios.

**Keywords:** Wireless Sensor Networks, Sensor, Base station, Cluster Head, Clustering, Duty Cycle, Hierarchical Routing Protocols, Energy Efficiency.

\*Associate Professor – Department of Electronics and Communication Engineering – Faculty of Mechanical and Electrical Engineering – Damascus University-Syria.

\*\*Postgraduate Student – Department of Electronics and Communication Engineering – Faculty of Mechanical and Electrical Engineering – Damascus University-Syria.

### مقدمة:

نجم عن التقدم الكبير في مجال الاتصالات اللاسلكية تطوير منظومات مستقلة ذاتياً *autonomous* مؤلفة من المئات أو حتى الآلاف من وحدات صغيرة قادرة على التحسس والحوسبة *computing* والاتصال البيئي؛ وأطلق عليها مسمى عقد الحساسات *sensors nodes*. ويشكل الترابط بين هذه العقد شبكة تدعى بشبكة الحساسات اللاسلكية *Wireless Sensor Network (WSN)*، والتي تتمتع بسهولة نشرها وانخفاض تكلفتها وقدرتها على الاتصال بشكل آني من دون دعم بنية تحتية ثابتة؛ مما يجعلها خياراً جذاباً للعديد من التطبيقات مثل مراقبة البيئة وتطبيقات الأمن والتعقب بزمان حقيقي. وتعدّ شبكات الحساسات اللاسلكية مُكوّناً رئيسياً في إنترنت الأشياء *Internet of Things (IoT)* لاعتمادها على التحسس وجمع المعطيات.

ولهذا يزداد الطلب على شبكات الحساسات اللاسلكية بإطراد نظراً لتثعب تطبيقاتها في مجال الاتصالات اللاسلكية الحديثة. وقد أشارت الإحصائيات بأن حجم السوق العالمي لهذه الشبكات قد بلغ 39 مليار دولار في العام 2018، في حين يُتوقع أن يصل إلى 149 مليار دولار في العام 2026 [1]. وعلى الرغم من انتشار شبكات الحساسات اللاسلكية؛ إلا أنها تواجه تحديات عديدة مرتبطة بمشاكل في موارد الحساسات من حيث استهلاك الاستطاعة وسرعة المعالجة ومدى الاتصال وعرض المجال المتاح وغيرهم [2]. ومن ثمّ تشتمل خواص شبكة حساسات لاسلكية جيدة على مردود (كفاءة) استطاعة عالي، وقابلية توسع *scalability* جيدة، وسرعة استجابة *responsiveness* مقبولة، وموثوقية *reliability* عالية وحركية *mobility* ملائمة.

يعدّ تصميم بروتوكولات وخوارزميات تأخذ مسألة محدودية الطاقة بالحسبان أمراً ضرورياً لأن عملية تبديل بطاريات هذه العقد قد تكون مهمة شاقة أو غير ممكنة في بعض التطبيقات.

### هدف البحث:

يهدف البحث إلى دراسة فعالية كل من طريقة دورة العمل الواعية لخمول الحساسات ونشاطها ومقودة بالموضع وطريقة بروتوكولات التوجيه التراتبية في تحسين كفاءة الطاقة في شبكات الحساسات اللاسلكية بناءً على مدد استقرار الشبكة ومدة حياة الشبكة والطاقة المتبقية في الشبكة وذلك من أجل عدة سيناريوهات تحوي على مناقشة تغيير البارامترات الآتية: تموضع المحطة القاعدية، وعدد الحساسات وحجم رزمة المعطيات.

### الدراسات المرجعية:

- خاضت دراسة الصليفاني Al-Sulaifanie وزملاؤه [3] في دراسة تحسين مردود الطاقة في شبكات الحساسات اللاسلكية باستخدام خوارزمية قائمة على العقدة الثابتة ذات دورة تشغيل duty cycle متكيفة مع حمل الشبكة وآلية نفاذ هجينة إلى القناة من قبل رؤوس العناقيد CHs إلى مصب الشبكة، والتي تكون إما بالاتصال المباشر أو بوساطة خوارزمية النفاذ المتعدد بتحسس الحامل CSMA تبعاً لمتطلبات التطبيق.
- قدّم الباحث ناسوبو Nawusu وزملاؤه [4] بروتوكول توجيه معدل لشبكات الحساسات اللاسلكية غير المتجانسة. والبروتوكول الجديد هو امتداد لبروتوكول الانتخاب المستقر المناطقي Z-SEP في الشبكات غير المتجانسة، والذي يعدل استراتيجية نشر العقدة في البروتوكول Z-SEP، ويستخدم المسارات منخفضة التكلفة لنقل المعطيات إلى المحطة القاعدية. ويعتمد معيار الانتخاب في Z-SEP على الطاقة المتبقية للعقد المتقدمة فقط، وقد تم تعديله في هذا البحث ليجمع بين الطاقة المتبقية وكثافة العقد. وهذا يضمن أن العقد عالية الطاقة ذات مهام استقبال المعطيات والتجميع هي المفضلة للعمل كرؤوس العناقيد في كل جولة. وقادت هذه التعديلات إلى خفض معدل موت العقد بشكل كبير. بالإضافة إلى ذلك، زاد عدد

الرزم التي تم تسليمها إلى المحطة القاعدية بسبب تمديد العمر النشط للشبكة، مما يجعلها تعمل لفترة طويلة. بشكل عام، تظهر نتائج المحاكاة التي أجريت باستخدام برمجية ماتلاب MATLAB أن البروتوكول المقترح يقدم أداءً أفضل بكثير من البروتوكولات الأخرى مثل LEACH و SEP و Z-SEP وذلك بخفض استهلاك الطاقة، وخفض عدد العقد الميتة في كل جولة، وزيادة عدد الرزم المُستلمة، وإطالة عمر الشبكة. يعمل البروتوكول المقترح عندما تتوضع المحطة القاعدية في مركز مجال التحسس. إلا أنّ أداء هذا البروتوكول غير مضمون في حالة تموضع المحطة القاعدية خارج مجال التحسس.

- اقترح الباحثان أحمد Ahmmad وزميله [5] بروتوكول توجيه يسمح بتحسين عمر شبكة الحساسات اللاسلكية، ويعتمد على تقسيم السلاسل الطويلة في الشبكة إلى سلاسل أصغر يمثل كل منها عنقود؛ وكل عنقود يملك رأسين heads لإرسال المعطيات إلى المحطة القاعدية؛ وتم اختيار العدد الأمثل لرؤوس العناقيد في الشبكة باستخدام طريقة كالينسكي- هاراباز Calinski-Harabasz، كما تتضمن الشبكة مصب sink نَقَال يقوم بالتنقل من عنقود إلى آخر لاستلام المعطيات من رؤوس العناقيد، وذلك في مسار محدد. أُجريت المحاكاة باستخدام برمجية MATLAB 2015b، وجرى مقارنة النتائج مع عدة بروتوكولات، وحقق البروتوكول المقترح أطول مدة لحياة الشبكة في عدد الجولات المُختار (5000 جولة) مقارنة مع البروتوكولات المدروسة.

#### مواد وطرق البحث:

قمنا في هذا البحث بمقارنة أداء شبكات الحساسات اللاسلكية المُعتمدة على طريقة دورة العمل مع تلك المُعتمدة على بروتوكولات التوجيه التراتبية من حيث مردود الطاقة، وقد اخترنا أربعة بروتوكولات توجيه تراتبية موفرة للطاقة شائعة الاستخدام هي: التوجيه

التراتبية لعنقدة تكيّفية منخفضة الطاقة LEACH، والتوجيه التراتبي المعدل لعنقدة تكيّفية منخفضة الطاقة MOD-LEACH، وبروتوكول العنقدة الموزعة الفعال من حيث الطاقة DEEC، وبروتوكول الانتخاب المستقر SEP. تبعاً لعدة مقاييس أداء هي: مدة استقرار الشبكة ومدة حياة الشبكة والطاقة المتبقية في الشبكة. وقد أجرينا المحاكاة باستخدام برمجية ماتلاب MATLAB الإصدار 2011a، أمّا مخططات النتائج فقمنا برسمها باستخدام برنامج Excel 2016 لضمان سهولة الإظهار ووضوح الأشكال. وقمنا باستخدام حاسوب شخصي له المواصفات الآتية:

- معالج: Intel(R) Core(TM) i5-8250U CPU @ 1.60GHZ.

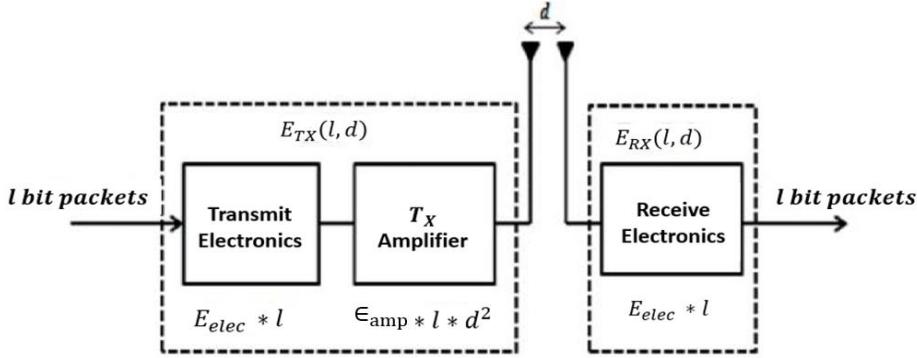
- ذاكرة نفاذ عشوائي RAM مثبتة: 12GB.

## الأساسيات النظرية

### 1- نموذج الطاقة الراديوي

حيث أن معظم الطاقة المتاحة لدى العقد ضمن شبكة الحساسات اللاسلكية تُفقد أثناء الإرسال، لذا تُستخدم عادة طرائق استمثال للطاقة. ويجري في الأدبيات تقدير استهلاك الطاقة في شبكة الحساسات اللاسلكية اعتماداً على نموذج الطاقة الراديوي من المرتبة الأولى المبين في الشكل (1). وفيه يستهلك المرسل طاقة بفعل الإلكترونيات الراديوية والمضخم amplifier، في حين يستهلك المستقبل طاقة فقط في الإلكترونيات الراديوية [6].





الشكل (1) نموذج الطاقة الراديوي [6]

وبناءً على هذا النموذج تُعطى كمية الطاقة اللازمة لإرسال  $l$  بت على مسافة  $d$  بالعلاقة (1) [6].

$$\left. \begin{aligned} E_{TX} &= E_{TX-elec}(l) + E_{TX-amp}(l, d) \\ &= l * E_{elec} + l * \epsilon_{fs} d^2 \quad , d < d_0 \\ &= l * E_{elec} + l * \epsilon_{mp} d^4 \quad , d > d_0 \end{aligned} \right\} (1)$$

وفيها يمثل  $E_{TX}$  طاقة الإرسال، ويمثل  $E_{elec}$  الطاقة المحررة بالبت الواحد لتنفيذ دورة المرسل أو المستقبل. وتمثل  $\epsilon_{fs}$  و  $\epsilon_{mp}$  سمّي features مضخم المرسل. وعلى وجه التحديد، تُستخدم  $\epsilon_{fs}$  من أجل حالة الفضاء الحر، وتُستخدم  $\epsilon_{mp}$  من أجل حالة تعدد المسارات. وعندما تكون المسافة بين المرسل والمستقبل أقل من قيمة عتبة  $d_0$  يُستخدم نموذج الفضاء الحر وفيه تكون المسافة من المرتبة الثانية ( $d^2$ )، وبخلاف ذلك يُستخدم نموذج القناة متعدد المسارات وفيه تكون المسافة من المرتبة الرابعة ( $d^4$ ). وتدل  $E_{RX}$  والمُعطاة بالعلاقة (2) على كمية الطاقة المستهلكة لاستقبال  $l$  بت من المعطيات

[6]، علماً أنّ قيمة العتبة  $d_0$  تُعطى بالعلاقة (3) وهي النسبة  $\epsilon_{fs}$  إلى  $\epsilon_{mp}$ .

$$E_{RX} = l * E_{elec} \quad (2)$$

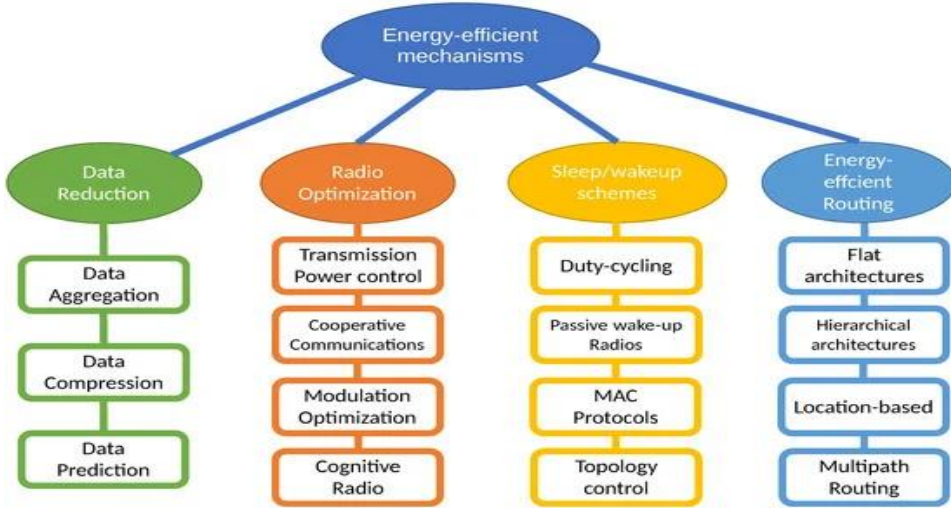
$$d_0 = \sqrt{\epsilon_{fs} / \epsilon_{mp}} \quad (3)$$

## 2- طرائق تحسين مردود الطاقة في شبكات الحساسات اللاسلكية

يمكن تصنيف آليات الحفاظ على الطاقة في أربع فئات كما هو موضح في الشكل (2) [21]: تقليل المعطيات data reduction، والاستمثال الراديوي radio optimization، ومنهجيات النوم/الإيقاظ sleep/wake up schemes، والتوجيه الفعّال للطاقة energy efficient routing.

### 2-1 تقليل المعطيات

إنّ المعطيات المأخوذة من البيئة المحيطة لها ترابط correlation مكاني، على وجه التحديد إذا كانت الحساسات قريبة من بعضها، فإن إرسال معطيات مكررة إلى المصب سيتسبب بضياع كبير في عرض المجال bandwidth وإلى استهلاك كبير لطاقة العقد. فيمكن تقليل حجم المعطيات المرسلة إلى المصب اعتماداً على عدة مناهج وهي تجميع المعطيات أو ضغطها أو التنبؤ بها [21].



الشكل (2) تصنيف آليات مردود الطاقة في شبكات الحساسات اللاسلكية [21]

## 2-2 التحسين الراديوي

بما أن الجزء الراديوي هو المسؤول الرئيسي عن استهلاك بطارية العقد، لذلك تتناول العديد من الباحثين عدة آليات للتحسين في هذا الخصوص، مثل تحسين التعديل أو التشفير، والاتصالات التعاونية، أو التحكم في استطاعة الإرسال، أو استخدام الهوائيات الاتجاهية أو الراديو المعرفي [21].

## 2-3 مناهج النوم / الإيقاظ

تشمل هذه المناهج طريقة دورة العمل وراديو الإيقاظ غير الفعال وبروتوكولات التحكم في النفاذ إلى الوسائط، والتحكم في الطبولوجيا [21]، تُعرّف بروتوكولات النوم/الإيقاظ sleep/wake up بواسطة المنظومة الفرعية الراديوية radio subsystem للعقدة المُحسّ، مما يخفض زمن بقاء العقدة في حالة الراحة idle state [7].

## 2-4 التوجيه الفعال من حيث الطاقة

التوجيه هو خدمة رئيسية في شبكات الحساسات اللاسلكية WSNs وهي مسؤولة عن توجيه المعطيات المرسله من عقدة المصدر إلى الوجهة عبر الشبكة. ويجري الإرسال إما بفقزة واحدة أو عبر عقدة وسيطة في اتصال متعدد الفقزات [7]. ويمكن تصنيف بروتوكولات التوجيه في شبكات الحساسات اللاسلكية في أربع فئات هي: التوجيه الموحد (المسطح) flat routing ، والتوجيه التراتبي hierarchical routing (العنقدة)، والتوجيه المعتمد على الموضع location-based routing (الجغرافي)، والتوجيه متعدد المسارات multipath routing [21].

## 3- بروتوكول التوجيه التراتبي لعنقدة تكيفية منخفضة الطاقة

يندرج بروتوكول التوجيه التراتبي لعنقدة تكيفية منخفضة الطاقة Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) تحت تصنيف التوجيه التراتبي والذي تم عرضه في الفقرة (2-3)، وفيه تُقسم الشبكة إلى عدد من العناقيد، ويتكون كل عنقود من رأس عنقود Cluster Head (CH) ومجموعة من أعضاء العنقود Cluster Members (CMs) التي تتحسس المعطيات من البيئة المحيطة وتجمعها، ثم ترسلها إلى المحطة القاعدية Base Station (BS) عبر رأس العنقود CH. في هذا البروتوكول تُنشئ آلية اختيار رأس العنقود CH بطريقة عشوائية، بحيث تتيح لجميع عقد المجموعة إمكانية تأدية دور رأس عنقود CH في إحدى الجولات rounds؛ مما يفيد في موازنة تبديد الطاقة للعقد؛ حيث أنه من المفترض أن يكون رأس العنقود هو العقدة ذات الطاقة الأعلى في المجموعة لكونها ستستهلك طاقة أكبر أثناء تأدية مهامها. وإذ يعمل رأس العنقود CH كمركز معطيات محلي لجميع العناقيد، ويستخدم جدول scheduling النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن Time Division Multiple Access (TDMA) لإرسال المعطيات المجمعّة إلى المحطة القاعدية BS من دون تصادمات

داخل العقنود، وفيما بين العناقيد. في العقنودة السكونية static، ترسل رؤوس العناقيد CHs المعطيات بشكل مستمر، وتستهلك المزيد من الطاقة، وتموت بسرعة. في حين يعمل بروتوكول التوجيه التراتبي لعقنودة تكييفية منخفضة الطاقة LEACH اعتماداً على جولات rounds؛ وتتكون كل جولة من طورين، هما طور الإعداد phase setup وطور الحالة المستقرة steady state phase.

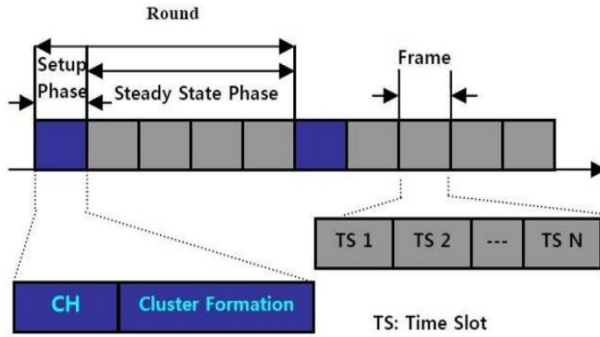
### - طور الإعداد

في طور الإعداد تقرر كل عقدة فيما إذا كانت ستشارك في عملية انتقاء رأس العقنود في الجولة الحالية أم لا. وذلك باختيار رقم عشوائي ما بين 0 و 1. وتجري مقارنة هذا الرقم مع قيمة عتبة يرمز إليها بالرمز  $T(N_i)$ ، وتعطى هذه العتبة بالعلاقة (4)[9].

$$T(N_i) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p * (r \bmod \frac{1}{p})} & \text{if } N_i \in G \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

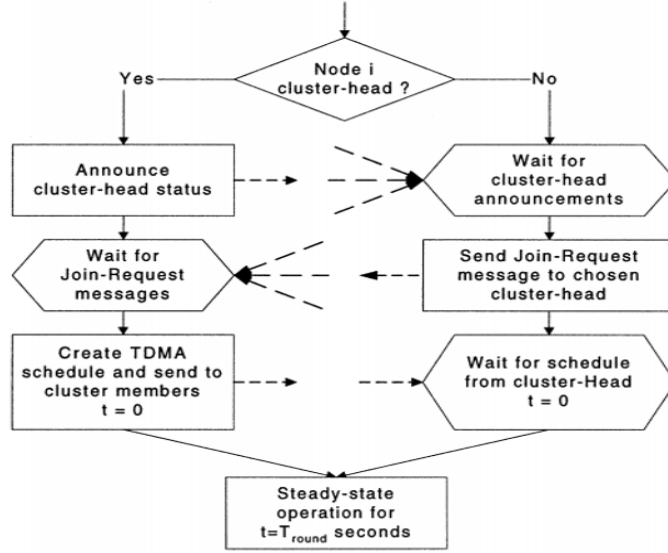
وفيها تمثل  $p$  احتمال أن تصبح العقدة رأس عقنود في الجولة الحالية  $r$ ، و  $G$  مجموعة العقد التي لم تختار كرؤوس عناقيد CHs في الجولات  $\frac{1}{p}$  السابقة، وتصبح العقدة رأس عقنود CH للجولة الحالية إذا كان الرقم العشوائي أقل من العتبة  $T(N_i)$ . تبث رؤوس العناقيد CHs رسالة إعلان Advertisement (ADV). ولدى استقبال هذه الرسالة تقرر جميع العقد التي ليست رؤوس عناقيد إلى أي رأس عقنود ستنضم بناءً على شدة إشارة الرسالة المستقبلية Received Signal Strength (RSS). يُنشئ كل رأس عقنود CH جدول نفاذ متعدد بتقسيم الزمن TDMA ويرسله إلى العقد الأعضاء (CMs)

Cluster Members لتحاكي التصادمات أثناء إرسال المعطيات إلى رأس العنقود CH. ويستقبل كل عضو في العنقود CM جدول النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن TDMA، ثم ينتقل بناءً عليه إلى حالة الخمول حتى الوصول إلى الحيز الزمني المجدول المخصص له [9]. في تلك اللحظة فقط، يمكن لعضو العنقود إرسال المعطيات. يوضح الشكل (3) عملية إنشاء جدول النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن TDMA، وفيه يشير إلى  $TS_i$  إلى الحيز الزمني رقم  $i$ .



الشكل (3) بنية إطار البروتوكول LEACH [9]

يتبين من الشكل (3) أن طور الإعداد يتلخص باختيار رأس العنقود CH، ثم تشكيل العنقود وذلك بانضمام كل مجموعة عقد إلى عنقود محدد وفقاً لشدة الإشارة المستقبلية من قبل كل عقدة على حدة. ويبين الشكل (4) المخطط التدفقي لهذه الآلية.



الشكل (4) خوارزمية تشكيل العناقيد في البروتوكول LEACH [10]

#### - طور الحالة المستقرة

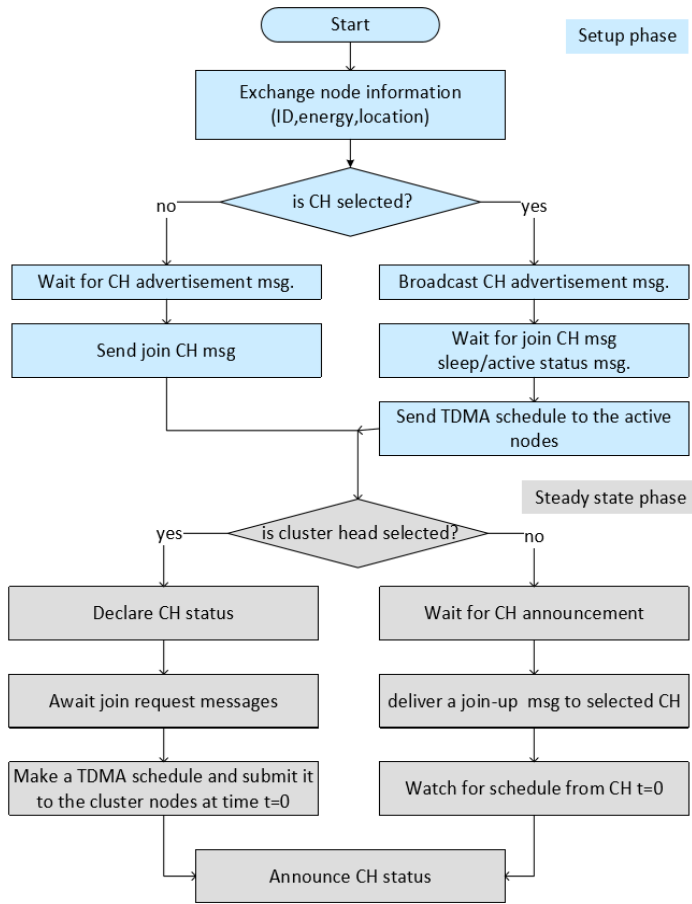
في نهاية طور الإعداد، يمكن لكل عضو عنقود CM البدء بإرسال المعطيات باتجاه رأس عنقوده CH أثناء الحيز الزمني المخصص له، ويجب على رأس العنقود CH المحافظة على تشغيل مستقبله الراديوي radio receiver لاستقبال جميع المعطيات من أعضاء عنقوده. إذ يفترض البروتوكول أن لدى كل عضو عنقود معطيات للإرسال. بالإضافة إلى ذلك، عندما ينتهي الحيز الزمني أو زمن الجولة round، يقوم رأس العنقود CH بتنفيذ عملية ضغط المعطيات المستقبلية من أعضاء العنقود CMs، ويُرسل المعطيات الناتجة إلى المحطة القاعدية BS. ونظراً لأن المسافة بين المحطة القاعدية BS ورأس العنقود CH أكبر بكثير من المسافة التي تفصل رأس العنقود CH عن أعضاء عنقوده CMs، فإن هذا الإرسال يتطلب استهلاكاً عالياً للطاقة مقارنة بعمليات نقل المعطيات الأخرى.

تمثل هذه الإجرائية الكاملة لعملية طور الحالة المستقرة لبروتوكول تراتبية عنقدة تكيّفية منخفضة الطاقة LEACH، ومن ثم سنشارك عقد الحساسات التي لم تُنتخب بعد كرأس عنقود CH في الجولات السابقة، لتصبح رأس عنقود CH في الجولات اللاحقة [9]. يوضح الشكل (5) طوري الإعداد والحالة المستقرة لبروتوكول LEACH.

#### 4- بروتوكول التوجيه التراتبي لعنقدة تكيّفية منخفضة الطاقة المعدّل

يضيف بروتوكول التوجيه التراتبي لعنقدة تكيّفية منخفضة الطاقة المعدّل modified LEACH (MODLEACH) على البروتوكول التقليدي LEACH ميزتين هما مخطط استبدال رأس العنقود فعال، ومستويات استطاعة إرسال مزدوجة dual، بهدف زيادة مدة حياة الشبكة ومعدل التدفق. إذ يعتمد البروتوكول LEACH على تغيير رؤوس العناقيد في بداية كل جولة، ويجري إعادة تشكيل العناقيد بأكملها؛ في حين يعتمد البروتوكول المعدّل على مخطط جديد لاستبدال رأس العنقود، والذي يتمثل باعتماد عتبة تُستخدم في تشكيل رأس العنقود في الجولة اللاحقة، حيث تجري مقارنة طاقة رأس العنقود الحالي بعتبة محددة مسبقاً، فإن لم ينفق الكثير من الطاقة أثناء مدة ولايته وما زال لديه طاقة أكبر من العتبة المطلوبة، فيبقى رأساً للعنقود في الجولة اللاحقة. وبهذه الطريقة يمكن حفظ الطاقة المُهدورة في رزم التوجيه لتشكيل العنقود الجديد ورأسه. أما إذا كان لرأس العنقود طاقة أقل من العتبة المطلوبة، فيجري استبداله وفقاً للآلية المتبعة في الخوارزمية LEACH.



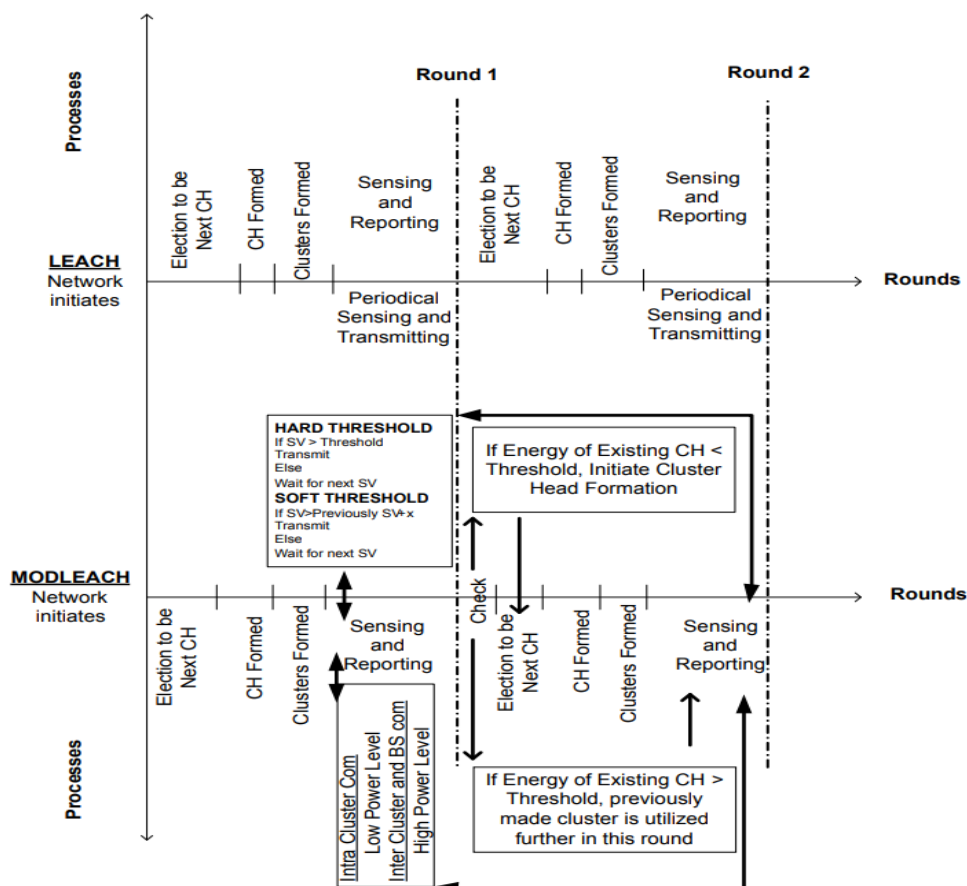


الشكل (5) تطوري الإعداد والحالة المستقرة لبروتوكول LEACH [11]

إلى جانب الحد من استخدام الطاقة في تشكيل العنقود، فإنّ البروتوكول المعدّل يقدم أيضاً مستويين مختلفين من الاستطاعة لتضخيم الإشارات؛ وذلك حسب طبيعة الإرسال. حيث أنّ الإرسال داخل العنقود (بين أعضاء العنقود الواحد ورأس العنقود) لا يحتاج لاستطاعة تضخيم مماثلة للاستطاعة المستهلكة عند الإرسال بين العناقيد أو بين رؤوس العناقيد والمحطة القاعدية؛ فهذا البروتوكول يستخدم مستوى طاقة منخفض من أجل الإرسال داخل العنقود، مع مراعاة وجود مستوى طاقة أعلى للإرسال بين العناقيد أو بين

مقارنة أداء شبكات الحساسات اللاسلكية المعتمدة على طريقة دورة العمل مع تلك المعتمدة على بروتوكولات التوجيه التراتبية

رؤوس العناقيد والمحطة القاعدية. وينجم عن ذلك توفير قدر كبير من الطاقة؛ في حين يجري تحديد استطاعة التضخيم في البروتوكول LEACH، بصورة موحدة لجميع أنواع الإرسال. كما ينفذ البروتوكول المعدل العتبة القاسية hard والعتبة اللينة soft أثناء تحسس الظواهر، مما يعطي نتائج أفضل. ويبين الشكل (6) آلية عمل البروتوكول MODLEACH [12].



الشكل (6) آلية عمل البروتوكول MODLEACH [12]

## 5- بروتوكول عنقدة موزعة فعال من حيث الطاقة

بروتوكول عنقدة موزعة فعال من حيث الطاقة (DEEC) Distributed Energy Efficient Clustering هو بروتوكول تراتبي، يأخذ بالحسبان كل من الطاقة الابتدائية والطاقة المتبقية في العقد عند اختيار رؤوس العناقيد CH، مما يضمن حصول العقد التي لديها طاقة متبقية أكبر على احتمال أعلى لتصبح رأس عنقود CH من العقد التي تملك طاقة متبقية أقل، ويعطى هذا الاحتمال بالعلاقة (5).

$$p_j = p_o \left[ 1 - \frac{\bar{E}(r) - E_j(r)}{\bar{E}(r)} \right] = p_{opt} \frac{E_j(r)}{\bar{E}(r)} \quad (5)$$

حيث  $E_j(r)$  هي الطاقة المتبقية في العنقدة  $j$  في الجولة  $r$ ، و  $\bar{E}(r)$  هي متوسط الطاقة المتاحة في الشبكة في الجولة  $r$ ، وتعطى بالعلاقة (6).

$$\bar{E}(r) = \frac{1}{N} E_{total} \left( 1 - \frac{r}{R} \right) \quad (6)$$

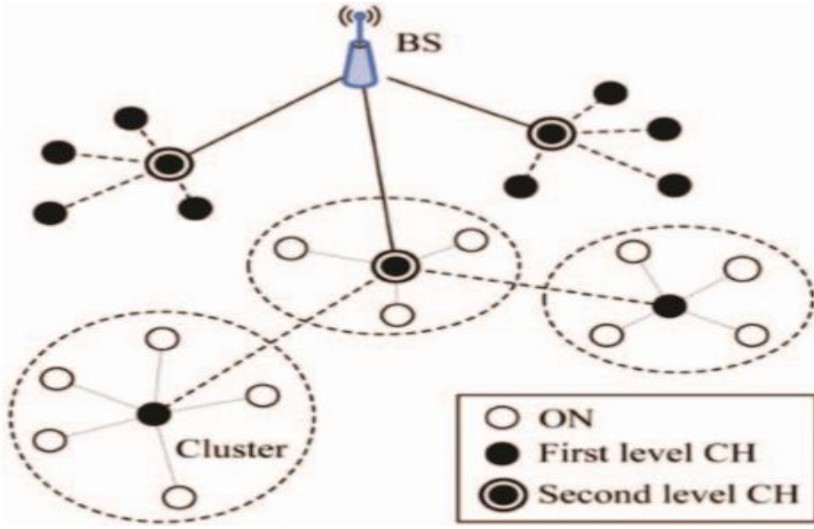
حيث  $E_{total}$  الطاقة الكلية للشبكة و  $N$  هي العدد الكلي للعقد في الشبكة، و  $R$  هي عدد الجولات الكلي ويُعطى بالعلاقة (7).

$$R = \frac{E_{total}}{E_{round}} \quad (7)$$

وبين الشكل (7) آلية عمل بروتوكول عنقدة موزعة فعال من حيث الطاقة DEEC، والذي يعتمد على نمط القفزات المتعددة ضمن الاتصالات بين العناقيد [13].

عند اختيار عنقدة حساس ما لتكون رأس عنقود CH، فإنها تبث رسالة بأنها رأس عنقود مؤقت أو رأس عنقود نهائي، تتلقى العقد القوائم المبنوثة من رؤوس العناقيد CHs وتختار رأس عنقود CH من بين مجموعة رؤوس العناقيد CHs الذي يشكّل أقل تكلفة. بعد ذلك، تزيد كل عنقدة من قيمتها الاحتمالية لتصبح CH في الجولة اللاحقة.

إذا أكملت عقدة الحساس دورة تنفيذ بروتوكول موزع فعال من حيث الطاقة هجين Hybrid Energy Efficient Distributed (HEED) دون أن تصبح رأس عنقود CH أو أن تتصل بعنقود، فسوف تعلن عن نفسها على أنها رأس عنقود CH نهائي [14].

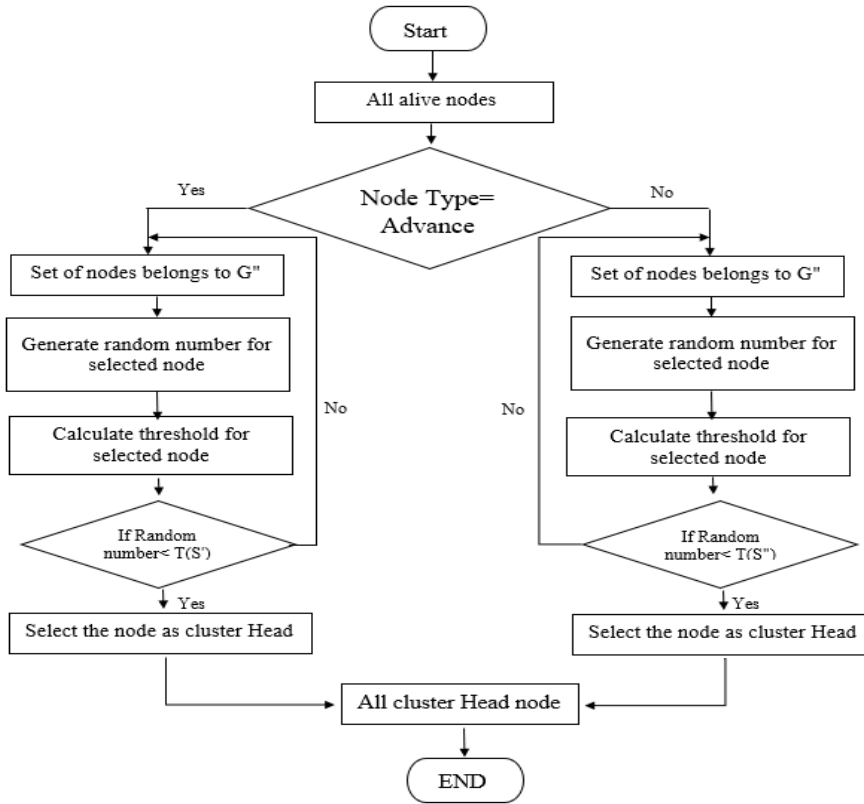


الشكل (7) عمل بروتوكول عنقودة موزعة فعال من حيث الطاقة DEEC [13]

## 6- بروتوكول الانتخاب المستقر

بروتوكول الانتخاب المستقر (SEP) Stable Election Protocol هو بروتوكول غير متجانس من مستويين يقدم نوعين من العقد هما العقد العادية normal والعقد المتقدمة Advance. ويكون للعقد المتقدمة طاقة أكبر من العقد العادية. في هذا البروتوكول يكون لكلا النوعين من العقد (العادية والمتقدمة) فرصة لأن تصبح رأس عنقود؛ ولكن للعقد المتقدمة فرص أكبر لتصبح رأس عنقود مقارنةً بالعقد العادية [15].

يُبين الشكل (8) عمل بروتوكول الانتخاب المستقر، تمثل العقد التي لم تصبح رؤوس عناقيد، و  $T(S')$  عتبة العقد النظامية (العادية)، و  $G''$  العقد التي لم تصبح رؤوس عناقيد، و  $T(S'')$  عتبة العقد المتقدمة [16].

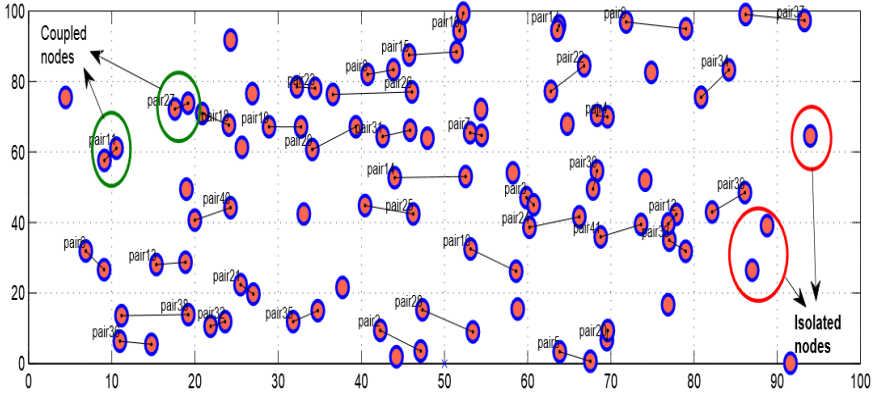


الشكل (8) عمل بروتوكول الانتخاب المستقر SEP [16]

## 7- دورة تشغيل باستخدام منهجية واعية للنوم والنشاط مقودة بالموضع

تتدرج هذه المنهجية تحت طريقة دورة العمل التي تم عرضها في الفقرة (2-3). وتكمن آلية عملها بأنه بعد نشر الحساسات بشكل عشوائي في الشبكة، يجري تقسيمهم إلى أزواج pairs حيث تقوم الحساسات بمشاركة موقعها مع المحطة القاعدية اعتماداً على المنظومة الشاملة لتحديد المواقع (GPS) Global Positioning System، تقوم المحطة القاعدية بعد ذلك بتطبيق خوارزمية ارتباط محددة تتعلق بدراسة أقرب مسافة بين الحساسات، ويجري بناءً عليها اختيار لكل حساس في الشبكة زوج خاص به، كما هو مبين في الشكل (9).

مقارنة أداء شبكات الحساسات اللاسلكية المعتمدة على طريقة دورة العمل مع تلك المعتمدة على بروتوكولات التوجيه التراتبية



الشكل (9) نموذج ارتباط الشبكة [17]

في بداية كل جولة round يتناوب كل زوجين من الحساسات بين نمطي العمل: النشاط والنوم مما يقود إلى توفير استهلاك كبير على مستوى مجموع الحساسات؛ وذلك لأن الحساسات التي في نمط النوم sleep تغلق المرسل-المستقبل transceiver الخاص بها، ومن ثمّ تقلل من الاستماع الحامل idle listening وتتجنب الاستماع الزائد overhearing الذي ينتج عن التحسس لمعلومات مكررة من قبلها ومن قبل الحساس المجاور لها نتيجة تموضعهما في منطقة قريبة للغاية والتي تُقدّر بأقل من 10m. بالمقابل قد تحتوي الشبكة على حساسات معزولة أي لا يتوافر بالقرب منها (على مدى 10m) أي حساس؛ ومن ثمّ لن ترتبط مع حساس آخر، وهذا يفرض عليها البقاء في نمط عمل نشط active بشكل دائم في كل الجولات إلى أن تفتى طاقتها [17]. ومن هنا يمكن الاستدلال بأن مردود طريقة دورة العمل يزداد بازدياد كثافة الشبكة (عدد الحساسات)، وهذا سيتم تبيانها في فقرة النتائج.

أيضاً من الحالات التي تجعل بعض الحساسات تبقى في حالة عمل نشط بشكل دائم هي عندما تنفذ طاقة الحساس القرين (الذي يصبح عقدة ميتة) وهذا ما يجعل بعض عقد الشبكة تستهلك طاقتها وتموت بشكل أسرع من غيرها، يُنسب ذلك إلى التوزع العشوائي للعقد وحسب موقع كل عقدة وبُعدها عن بقية عقد الشبكة. بعد ذلك يبدأ طور إعداد

الشبكة، والذي يتضمن اختيار رؤوس العناقيد وتشكيل العناقيد، ومن ثم يجري إرسال المعطيات من البيئة المحيطة من الحساسات وصولاً إلى المحطة القاعدية وذلك ضمن طور إرسال المعطيات.

### النتائج ومناقشتها:

استخدمنا برمجية ماتلاب MATLAB 2021a لمقارنة أداء الطريقتين المدروستين، وسنقوم بمحاكاة عدة سيناريوهات للشبكة؛ تشمل هذه السيناريوهات على تغيير موقع المحطة القاعدية، وتغيير كثافة الحساسات في الشبكة، وأخيراً تغيير حجم رزم المعطيات المتبادلة في الشبكة. ويبين الجدول (1) بارامترات parameters المحاكاة.

الجدول (1) بارامترات المحاكاة

ملاحظات	القيم والوحدات	البارامترات
Jaffri, Z. U. A., et al,2022,[18]	100 x 100 (m <sup>2</sup> )	امتداد الشبكة (Ym, Xm)
Krishnan, K., et al. (2021),[20]	(25,200) < (100,100) < (50,50)	موقع المحطة القاعدية BS
	5000	عدد الجولات (r)
Yousif, Z., et al. (2021),[9]	50, 100, 200, 500	عدد الحساسات (N)
	4000 · 2000 bit	طول رزمة المعطيات
Jaffri, Z. U. A., et al,2022,[18]	0.5 J	الطاقة الابتدائية لكل حساس (E <sub>0</sub> )
Jaffri, Z. U. A., et al,2022,[18]	50 nJ / bit	الطاقة المحررة في البت بدارة المرسل (E <sub>Tx-elec</sub> )
Jaffri, Z. U. A., et al,2022,[18]	50 nJ / bit	الطاقة المحررة في البت بدارة المستقبل (E <sub>Rx-elec</sub> )
	5 nJ / bit	الطاقة المبدة بالبت من أجل التجميع (E <sub>da</sub> )
بحالة (d ≥ do)	0.0013 pJ/ bit / m <sup>2</sup>	سمة مضخم المرسل بحالة تعدد المسارات (E <sub>mp</sub> )
بحالة (d < do)	10 pJ/ bit / m <sup>2</sup>	سمة مضخم المرسل بحالة الفضاء الحر (E <sub>fs</sub> )
من أجل MODLEACH [12]	E <sub>mp</sub> /10	سمة مضخم المرسل بحالة تعدد المسارات (داخل العنقود) عندما d ≥ d1
من أجل MODLEACH [12]	E <sub>fs</sub> /10	سمة مضخم المرسل بحالة الفضاء الحر (داخل العنقود) عندما d < d1
من أجل ال duty cycling [17]	10 m	المدى الأعظم بين الأزواج

اخترنا ثلاثة مقاييس أداء لمقارنة طرائق تحسين مردود (كفاءة) الطاقة في شبكات الحساسات اللاسلكية المدروسة وهي:

- مدة الاستقرار stability period: وهو الزمن الفاصل من بدء عمليات الشبكة حتى موت أول عقدة حساس [18].
- مدة حياة الشبكة network lifetime: وهي المدة من بداية عمل الشبكة حتى موت آخر عقدة حساس فيها [18].
- الطاقة المتبقية remaining energy: وهي إجمالي الطاقة المتبقية في بطارية الحساسات في كل جولة. وينجم استهلاك الطاقة في الحساس عن عمليات التحسس للبيئة المحيطة ومعالجة المعطيات وإرسالها كما تم تبيانها في فقرة نموذج الطاقة الراديوي. وتُعطى كمية الطاقة المستهلكة في كل عقدة (حساس) في الشبكة بواسطة المعادلة (8) [19].

$$E_{consumed} = E_{initial} - E_{residual} \quad (8)$$

يعبر الرمز  $E_{consumed}$  عن الطاقة الكلية المستهلكة من قبل العقدة، و  $E_{initial}$  الطاقة الابتدائية لكل عقدة والتي تساوي في دراستنا 0.5 جول، أما الرمز  $E_{residual}$  فيدل على الطاقة المتبقية في العقدة. وفي نهاية كل جولة يجري حساب الطاقة المتبقية [19].

وتُعطى كمية الطاقة الكلية المستهلكة في الشبكة بواسطة المعادلة (9) [19].

$$\sum_{c=1}^N E_{consumed} = \sum_{i=1}^N E_{initial} - \sum_{r=1}^N E_{residual} \quad (9)$$

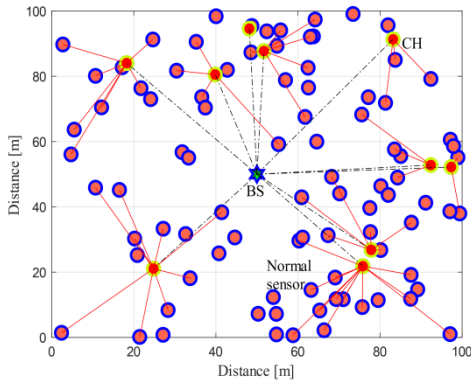
وبالتالي تُعطى قيمة الطاقة الكلية المتبقية في الشبكة بالعلاقة (10)

$$\sum_{r=1}^N E_{residual} = \sum_{i=1}^N E_{initial} - \sum_{c=1}^N E_{consumed} \quad (10)$$

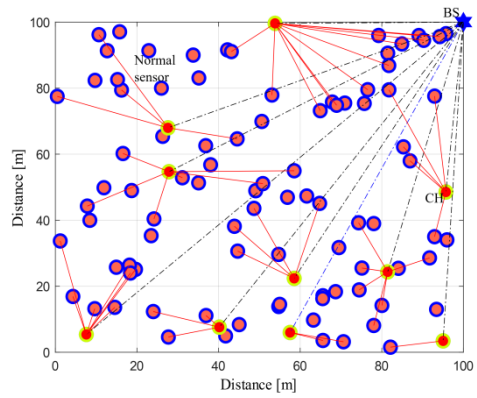


### السيناريو الأول: دراسة تأثير تغيير تموضع المحطة القاعدية

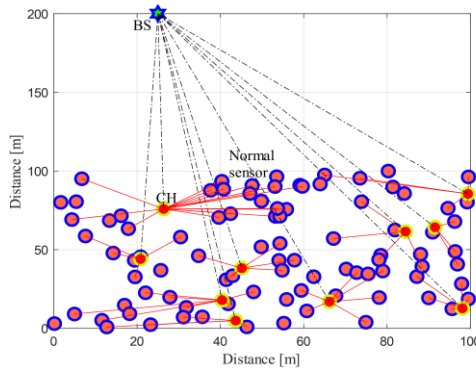
إنّ لموضع المحطة القاعدية تأثير كبير على استهلاك الطاقة في الشبكة. ومن أجل تحليل التأثير الناتج سنأخذ بالحسبان ثلاث حالات لتموضع المحطة القاعدية، وهي: الحالة الأولى يكون فيها تموضع المحطة القاعدية في منتصف الشبكة، وفي الحالة الثانية يكون تموضع المحطة القاعدية على حافة الشبكة، أمّا في الحالة الثالثة يكون تموضع المحطة القاعدية خارج الشبكة [20]. والحالات الثلاث موضحة في الشكل (10) على الترتيب.



(a)



(b)

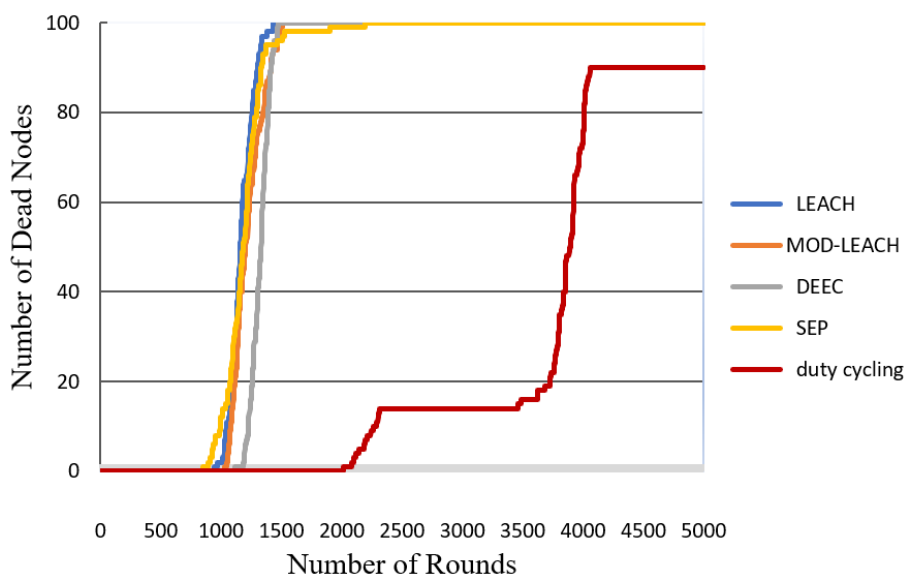


(c)

الشكل (10) تموضع المحطة القاعدية (a) الحالة الأولى، (b) الحالة الثانية، (c) الحالة الثالثة [الباحث]

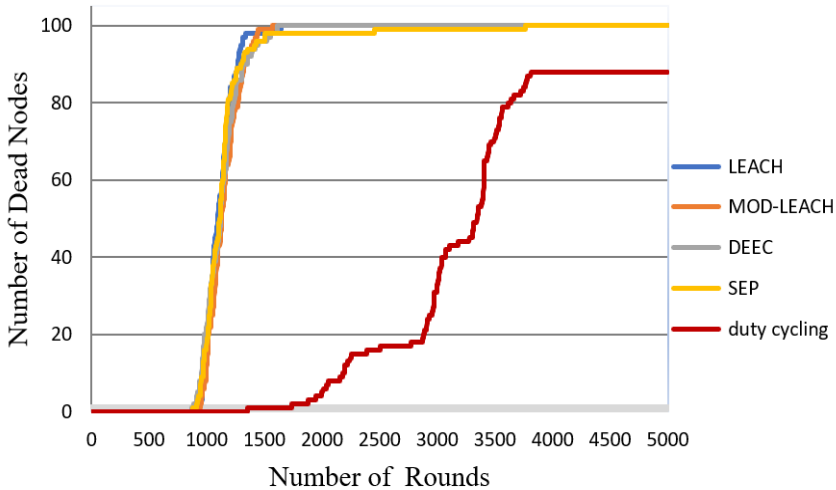
سنقوم باستخراج مقاييس الأداء المعتمدة من أجل الحالات الثلاث لتموضع المحطة القاعدية مع تثبيت عدد الحساسات المنشورة عند 100 حساس، ومن أجل حجم رزم المعطيات 4000 بت.

تبيّن الأشكال (11) و(12) و(13) تغير عدد العقد الميتة بدلالة عدد الجولات rounds للبروتوكولات الأربعة المعتمدة LEACH و MOD-LEACH و DEEC و SEP التي تندرج تحت مسمى طريقة بروتوكولات التوجيه التراتبية، بالإضافة إلى طريقة دورة العمل وذلك من أجل الحالة الأولى والثانية والثالثة على الترتيب لتموضع المحطة القاعدية على الترتيب.



الشكل (11) عدد العقد الميتة بدلالة عدد الجولات في الحالة الأولى لتموضع المحطة القاعدية في منتصف البيئة المدروسة [الباحث]

من المنحني المُعبّر عن العلاقة بين عدد العقد الميتة وعدد جولات العمل يمكن استخراج مقياسين أداء هما: مدة استقرار الشبكة ومدة حياة الشبكة، فمن الشكل (11) تم استخراج المقياسين من أجل حالة تموضع المحطة القاعدية في منتصف البيئة المدروسة، فبالنسبة لمدة استقرار الشبكة والتي تساوي الجولة المقابلة لموت أول حساس في الشبكة، جرت الملاحظة بأنه حققت بروتوكولات التوجيه التراتبية مدد استقرار متقاربة وهي 848 و 943 و 1031 و 1113 جولة للبروتوكولات SEP و LEACH و MOD-LEACH و DEEC على الترتيب بينما حققت طريقة دورة العمل أعلى مدة استقرار والتي تساوي 2014 جولة، كذلك الأمر بالنسبة لمدة حياة الشبكة تفوقت طريقة دورة العمل بتحقيق مدة حياة شبكة مساوي للـ 100% أي خلال مدة عمل 5000 جولة لم تنفذ طاقة جميع الحساسات، ومن بين بروتوكولات التوجيه التراتبية حقق بروتوكول SEP أعلى مدة حياة شبكة والتي تساوي 2196 جولة أما بقية البروتوكولات حققوا مدد حياة متقاربة تتراوح بين 1400 و 1500 جولة.



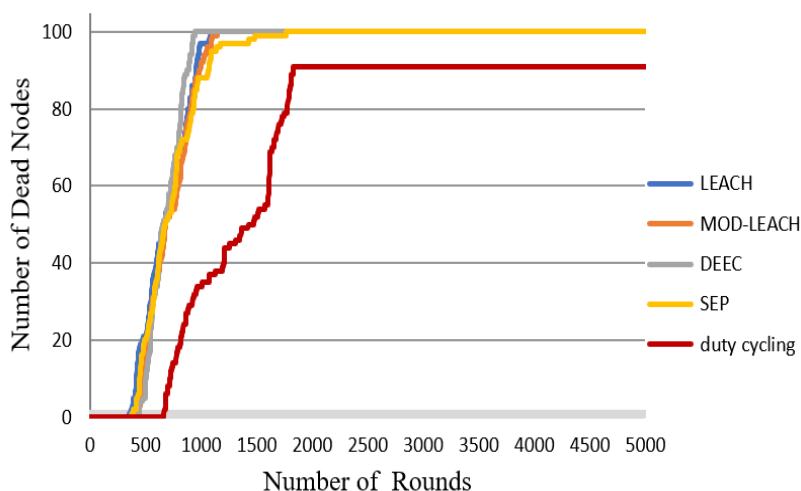
الشكل (12) عدد العقد الميتة بدلالة عدد الجولات في الحالة الثانية لتموضع المحطة

القاعدية على حافة البيئة المدروسة [الباحث]

مقارنة أداء شبكات الحساسات اللاسلكية المعتمدة على طريقة دورة العمل مع تلك المعتمدة على بروتوكولات التوجيه التراتبية

لوحظ من الشكل (12) بأنه حققت بروتوكولات التوجيه التراتبية مدد استقرار متقاربة تتراوح بين 870 و 935 جولة، أما من أجل مدة حياة الشبكة فحقق بروتوكول SEP أعلى مدة حياة مساوية لـ 3767 جولة بالمقارنة مع بقية بروتوكولات التوجيه التراتبية والذين حققوا مدد حياة شبكة متقاربة تتراوح بين 1570 و 1650 جولة.

بينما حققت طريقة دورة العمل مدة استقرار مساوية لـ 1353 جولة ومدة حياة شبكة بنسبة 100%.

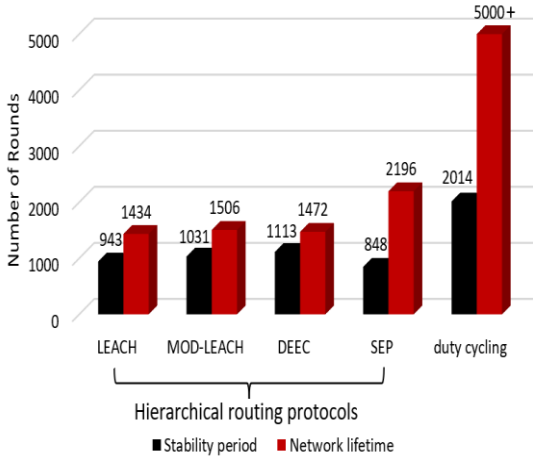


الشكل (13) عدد العقد الميتة بدلالة عدد الجولات في الحالة الثالثة لتموضع المحطة القاعدية خارج البيئة المدروسة [الباحث]

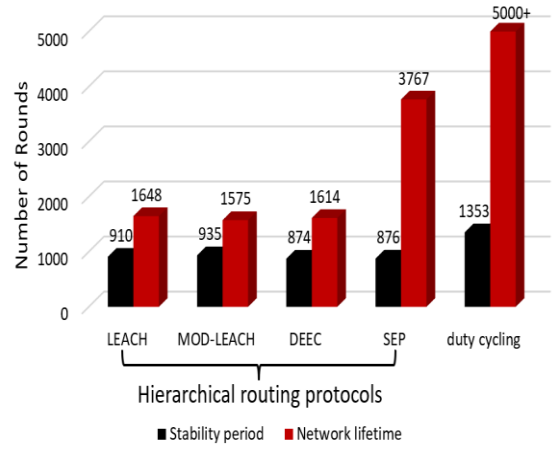
لوحظ من الشكل (13) تحقيق بروتوكولات التوجيه التراتبية لمدد استقرار متقاربة جدا تتراوح بين 350 و 390 جولة بينما حققت طريقة دورة العمل مدة استقرار بمقدار الضعف والتي تساوي 664 جولة، وحققت بروتوكولات التوجيه التراتبية مدد حياة شبكة متراوحة بين 950 و 1766 بالمقابل حققت طريقة دورة العمل مدة حياة شبكة بنسبة 100%.

يبين الشكل (14) (a) و (b) و (c) تفصيلاً عن مدد استقرار ومدد حياة الشبكة لكلاً من الطريقتين المدروستين من أجل ثلاث حالات لتموضع المحطة القاعدية على الترتيب.

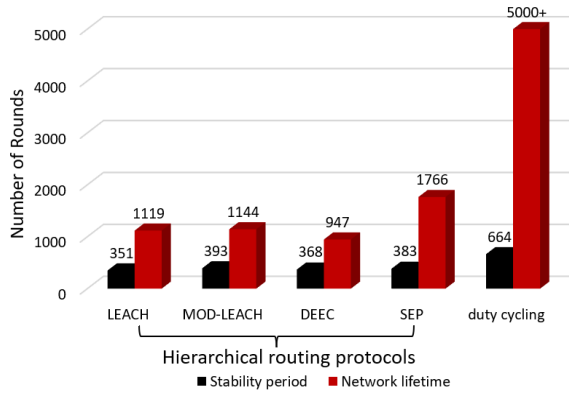
يُلاحظ من الشكل (14) انخفاض مدد استقرار ومدد حياة الشبكة مع ازدياد بُعد المحطة القاعدية عن البيئة المدروسة، وهي نتيجة منطقية لأن الطاقة المصروفة للإرسال والاستقبال تتعلق بالمسافة بين المرسل والمستقبل. فعندما زادت المسافة بين رؤوس العناقد والمحطة القاعدية أدى ذلك لصرف طاقة أكبر في دراتي الإرسال والاستقبال.



(a)



(b)



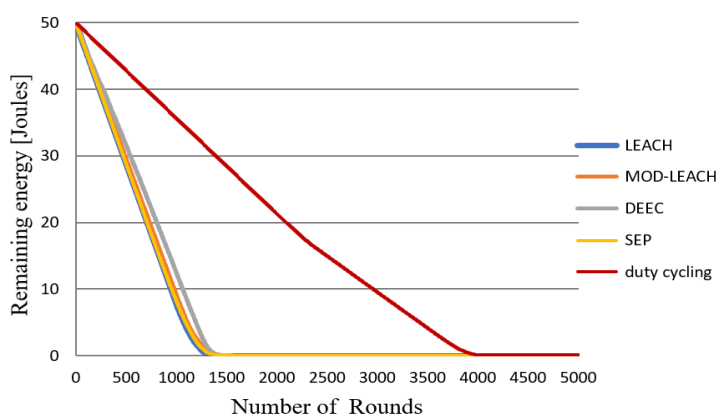
(c)

الشكل (14) مدد استقرار ومدد حياة الشبكة من أجل تغيير موضع المحطة القاعدية (a) الحالة الأولى، (b) الحالة الثانية، (c) الحالة الثالثة [الباحث]

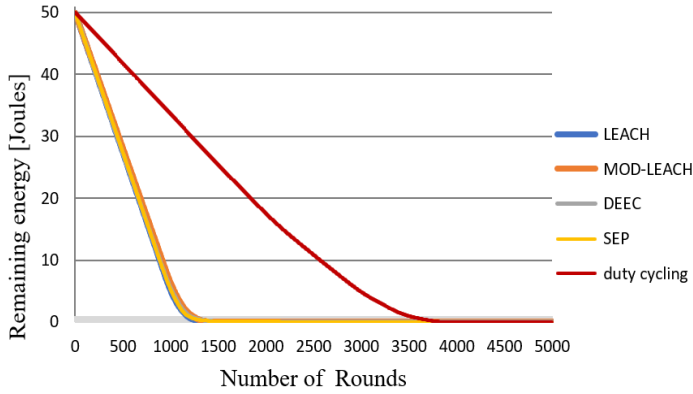
## مقارنة أداء شبكات الحساسات اللاسلكية المعتمدة على طريقة دورة العمل مع تلك المعتمدة على بروتوكولات التوجيه التراتبية

كما نلاحظ من الشكل (14) تفوق طريقة دورة العمل على جميع بروتوكولات التوجيه التراتبية المدروسة، حيث أنها حققت مدة حياة شبكة بنسبة 100% أثناء عدد جولات عمل تساوي 5000 جولة، وذلك من أجل الحالات الثلاث المختلفة لتموضع المحطة القاعدية. وفيما يخص المقارنة بين بروتوكولات التوجيه التراتبية الأربعة فقد أظهرت النتائج تحقيق البروتوكول SEP لأعلى مدة حياة للشبكة والتي حققت 2196 و 3767 و 1766 جولة من أجل الحالات الثلاث لتموضع المحطة القاعدية على الترتيب.

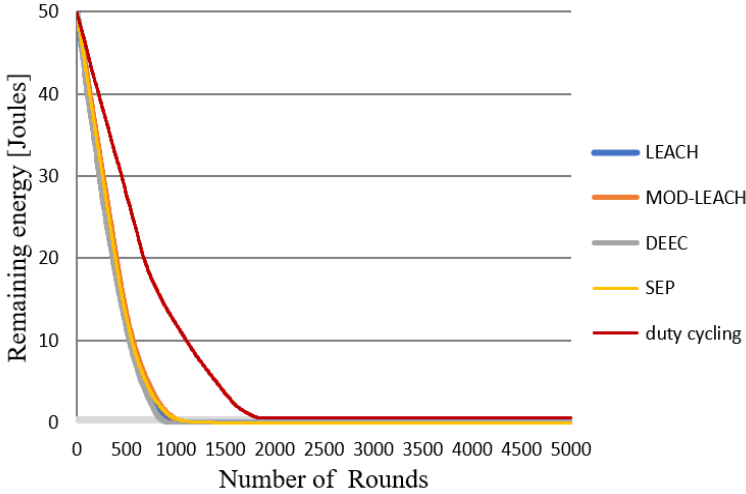
تبيّن الأشكال (15) و(16) و(17) الطاقة المتبقية في الشبكة وسلوكها على مدى جولات العمل وذلك من أجل الحالة الأولى والثانية والثالثة على الترتيب لتموضع المحطة القاعدية.



الشكل (15) الطاقة المتبقية في الشبكة في حالة تموضع المحطة القاعدية في منتصف البيئة المدروسة [الباحث]



الشكل (16) الطاقة المتبقية في الشبكة في حالة تموضع المحطة القاعدية على حافة البيئة المدروسة [الباحث]



الشكل (17) الطاقة المتبقية في الشبكة في حالة تموضع المحطة القاعدية خارج البيئة المدروسة [الباحث]

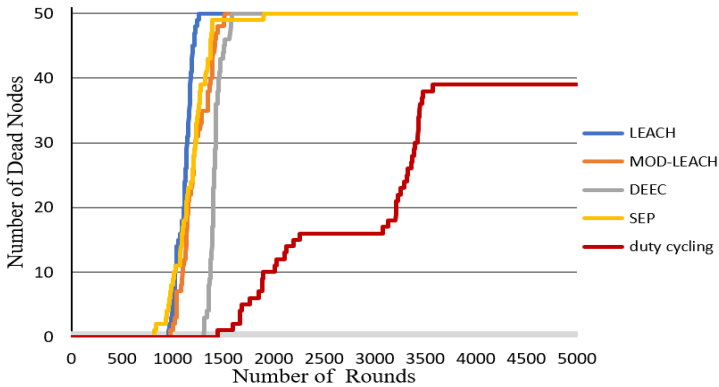
نلاحظ من الأشكال (15) و(16) و(17) المُعبّرة عن منحنيات الطاقة المتبقية الكلية في الشبكة بأن ميل المنحنيات يزداد حدة عند ازدياد بُعد المحطة القاعدية عن البيئة المدروسة، وهذا يدل على سرعة استهلاك الطاقة وعلاقتها بالبُعد، كما لوحظ بأن بروتوكولات التوجيه التراتبية تستهلك طاقة كلية أكبر من أجل ذات عدد الجولات بالمقارنة مع طريقة دورة العمل وذلك من أجل الحالات الثلاث لتموضع المحطة

القاعدية، فعلى سبيل المثال يمكن الملاحظة من الشكل (16) عندما تقع المحطة القاعدية على حافة البيئة المدروسة وعند الجولة 1000 بأن الطاقة المتبقية في طريقة دورة العمل مساوية لـ 33 جول أما الطاقة المتبقية لبروتوكولات التوجيه التراتبية تتراوح بين 5.5 و 6.5 جول. وقُدرت قيمة الطاقة المتبقية في الشبكة في طريقة دورة العمل عند الجولة 5000 بالقيمة 0.05 جول.

### السيناريو الثاني: دراسة تأثير تغيير عدد الحساسات المنشورة

في هذا السيناريو سنقوم بدراسة تأثير تغير كثافة الشبكة على مقاييس الأداء المدروسة، حيث سنقوم بتقييم مقاييس الأداء من أجل 50 و 100 و 200 و 500 حساس في الشبكة [9]، ضمن امتداد شبكة (100 x 100 m<sup>2</sup>) وذلك مع تثبيت تموضع المحطة القاعدية في منتصف البيئة المدروسة، ومن أجل حجم رزم معطيات 4000 بت.

تبيّن الأشكال (18) و (19) و (20) و (21) تغير عدد العقد الميتة بدلالة عدد الجولات rounds للبروتوكولات الأربعة LEACH و MOD-LEACH و DEEC و SEP التي تندرج تحت مسمى طريقة بروتوكولات التوجيه التراتبية، إلى جانب طريقة دورة العمل وذلك من أجل الحالات الأربع لكثافة الشبكة.

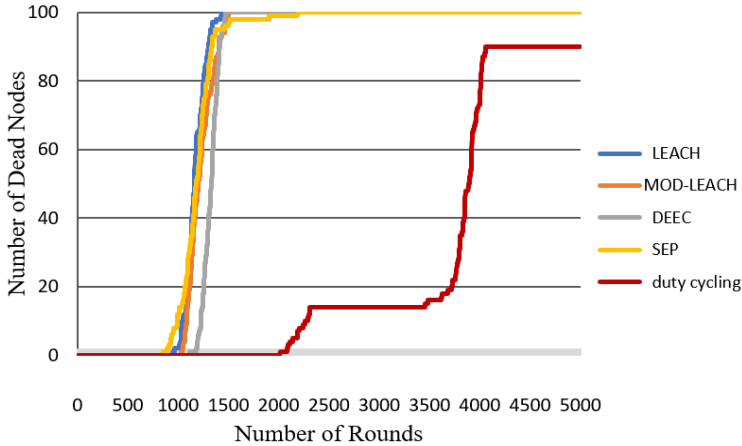


الشكل (18) عدد العقد الميتة بدلالة عدد الجولات في الحالة الأولى لكثافة الشبكة ذات

50 حساس [الباحث]



من المنحني المُعبّر عن العلاقة بين عدد العقد الميتة وعدد جولات العمل يمكن استخراج مقياسين أداء هما: مدة استقرار الشبكة ومدة حياة الشبكة، فمن الشكل (18) تم استخراج المقياسين من أجل حالة شبكة مكونة من 50 حساس، وبالنسبة لمدة استقرار الشبكة والتي تساوي رقم الجولة الموافقة لموت أول حساس في الشبكة، جرت الملاحظة بأنه حققت بروتوكولات التوجيه التراتبية مدد استقرار مساوية لـ 824 و 964 و 982 و 1311 جولة للبروتوكولات SEP و LEACH و MOD-LEACH و DEEC على الترتيب بينما حققت طريقة دورة العمل أعلى مدة استقرار والتي تساوي 1446 جولة، كذلك الأمر بالنسبة لمدة حياة الشبكة تفوقت طريقة دورة العمل بتحقيق مدة حياة شبكة مساوي للـ 100% أي خلال مدة عمل 5000 جولة لم تنفذ طاقة جميع الحساسات، ومن بين بروتوكولات التوجيه التراتبية حقق البروتوكول SEP أعلى مدة حياة شبكة والتي تساوي 1902 جولة.

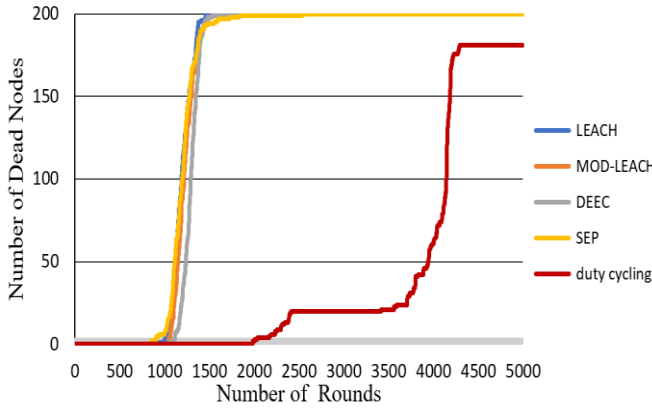


الشكل (19) عدد العقد الميتة بدلالة عدد الجولات في الحالة الثانية لكثافة الشبكة ذات

100 حساس [الباحث]

مقارنة أداء شبكات الحساسات اللاسلكية المعتمدة على طريقة دورة العمل مع تلك المعتمدة على بروتوكولات التوجيه التراتبية

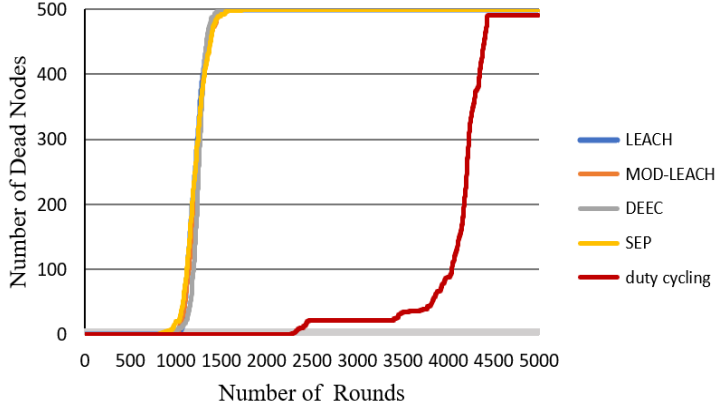
جرت الملاحظة من الشكل (19) بأنه حققت بروتوكولات التوجيه التراتبية مدد استقرار متقاربة وهي 848 و 943 و 1031 و 1113 جولة للبروتوكولات LEACH و SEP و MOD-LEACH و DEEC على الترتيب بينما حققت طريقة دورة العمل أعلى مدة استقرار والتي تساوي 2014 جولة، كذلك الأمر بالنسبة لمدة حياة الشبكة تفوقت طريقة دورة العمل بتحقيق مدة حياة شبكة مساوي للـ 100% أي خلال مدة عمل 5000 جولة لم تنفذ طاقة جميع الحساسات، ومن بين بروتوكولات التوجيه التراتبية حقق بروتوكول SEP أعلى مدة حياة شبكة والتي تساوي 2196 جولة أما بقية البروتوكولات فحققت مدد حياة متقاربة تتراوح بين 1400 و 1500 جولة.



الشكل (20) عدد العقد الميتة بدلالة عدد الجولات في الحالة الثالثة لكثافة الشبكة ذات 200 حساس [الباحث]

لوحظ من الشكل (20) بأنه حققت بروتوكولات التوجيه التراتبية حققت مدد استقرار متقاربة وهي 942 و 1041 و 1045 و 840 جولة للبروتوكولات LEACH و MOD-LEACH و DEEC و SEP على الترتيب. بينما حققت طريقة دورة العمل أعلى مدة استقرار والتي تساوي 1983 جولة، كذلك الأمر بالنسبة لمدة حياة الشبكة تفوقت طريقة دورة العمل بتحقيق مدة حياة شبكة مساوي للـ 100% أما بروتوكولات التوجيه التراتبية فحققت مدد

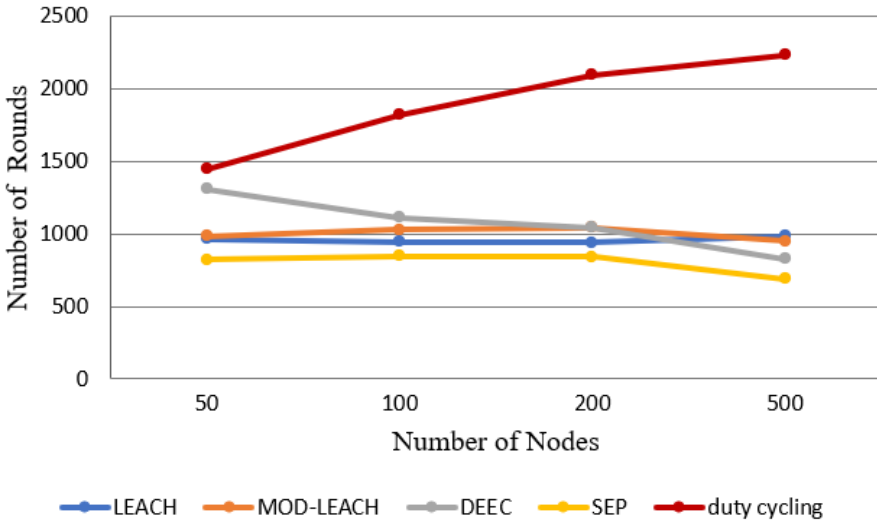
حياة شبكة 1463 و 1544 و 1581 و 2536 جولة للبروتوكولات LEACH و MOD-LEACH و DEEC و SEP على الترتيب.



الشكل (21) عدد العقد الميتة بدلالة عدد الجولات في الحالة الرابعة لكثافة الشبكة ذات 500 حساس [الباحث]

تبيّن من الشكل (21) بأن بروتوكولات التوجيه التراتبية حققت مدد استقرار متقاربة والتي تساوي 983 و 949 و 825 و 690 جولة للبروتوكولات LEACH و MOD-LEACH و DEEC و SEP على الترتيب، بينما حققت طريقة دورة العمل أعلى مدة استقرار والتي تساوي 2232 جولة، كذلك الأمر بالنسبة لمدة حياة الشبكة إذ تفوقت طريقة دورة العمل بتحقيق مدة حياة شبكة تساوي 100%، إذ أنه عند الجولة 5000 كان ثمة 9 حساسات لم تنفذ طاقتها بعد، أمّا بروتوكولات التوجيه التراتبية فقد حققت مدد حياة شبكة 1500 و 1599 و 1617 و 3406 جولة للبروتوكولات LEACH و MOD-LEACH و DEEC و SEP على الترتيب.

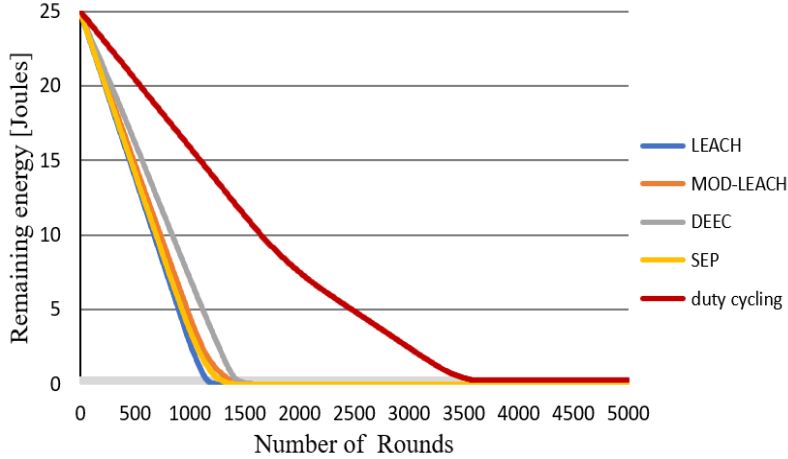
يبين الشكل (22) تغير مدد استقرار الشبكة لكلتا الطريقتين المدروستين، من أجل عدة قيم لعدد الحساسات المنشورة في الشبكة.



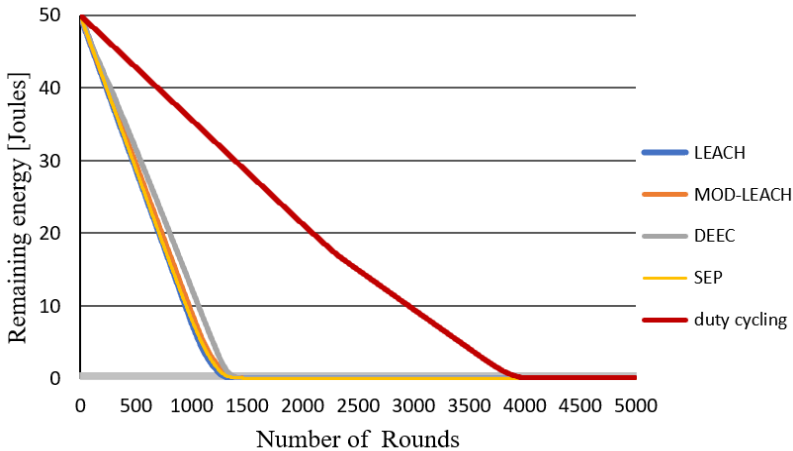
الشكل (22) مدد استقرار الشبكة من أجل عدة قيم لعدد الحساسات [الباحث]

يُلاحظ من الشكل (22) عموماً في طريقة بروتوكولات التوجيه التراتبية أنه مع ازدياد عدد حساسات الشبكة تزداد سرعة موت الحساسات باستثناء حالة البروتوكول LEACH الذي لم يتأثر بشكل كبير بتغيير عدد حساسات الشبكة، أما بالنسبة لطريقة دورة العمل فكان سلوكها معاكس لسلوك بروتوكولات التوجيه التراتبية، حيث ازدادت مدد الاستقرار مع ازدياد عدد حساسات الشبكة والتي حققت القيم 1446 و 1822 و 2097 و 2232 جولة المقابلة لكثافة شبكة 50 و 100 و 200 و 500 حساس على الترتيب، ويعود ذلك إلى أنه في طريقة دورة العمل، المدى الأعظمي المحدد بين الحساسات هو 10m لتصبح أزواج وتتناوب بعملها بين جولة وأخرى، فمع انخفاض عدد الحساسات قد يصعب تحقيق شرط تشكيل الأزواج مما سيؤدي إلى عمل بعض الحساسات بشكل دائم وهذا ما يقود إلى تخفيض فعالية طريقة دورة العمل عند عدد حساسات قليل.

تبيّن الأشكال (23) و(24) و(25) و(26) الطاقة المتبقية في الشبكة وسلوكها على مدى جولات العمل وذلك من أجل الحالة الأولى والثانية والثالثة والرابعة لعدد حساسات الشبكة، حيث أن المحور الشاقولي المعبر عن الطاقة المتبقية في الشبكة ناتج عن جداء عدد الحساسات المنشورة في الشبكة بالطاقة الابتدائية لكل حساس والتي تساوي 0.5 جول.

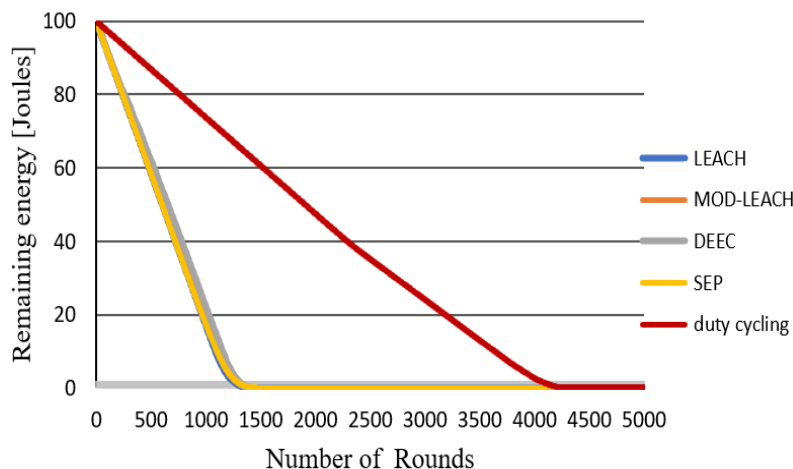


الشكل (23) الطاقة المتبقية في الشبكة في حالة شبكة مكونة من 50 حساس [ الباحث ]

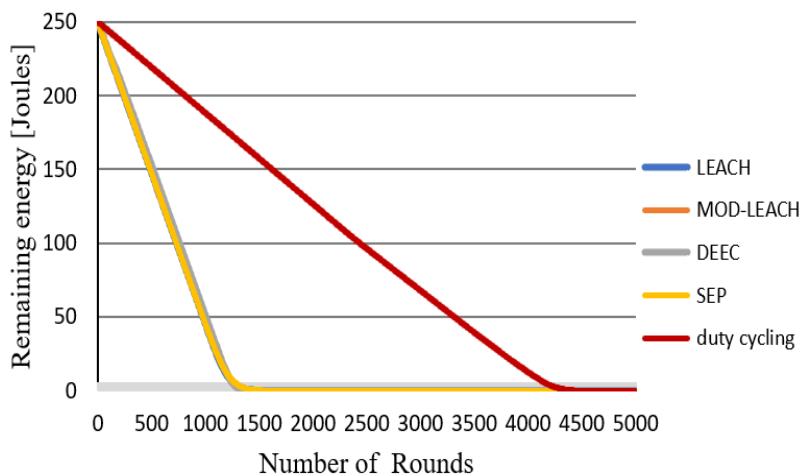


الشكل (24) الطاقة المتبقية في الشبكة في حالة شبكة مكونة من 100 حساس [ الباحث ]

مقارنة أداء شبكات الحساسات اللاسلكية المعتمدة على طريقة دورة العمل مع تلك المعتمدة على بروتوكولات التوجيه التراتبية



الشكل (25) الطاقة المتبقية في الشبكة في حالة شبكة مكونة من 200 حساس [الباحث]



الشكل (26) الطاقة المتبقية في الشبكة في حالة شبكة مكونة من 500 حساس [الباحث]

لوحظ من الأشكال (23) و(24) و(25) و(26) بأن المنحنيات المعبرة عن سلوك الطاقة المتبقية في الشبكة في بروتوكولات التوجيه التراتبية تأثرت بشكل طفيف بتغيير كثافة الحساسات في الشبكة؛ حيث أنّ ميل انحدار المنحني يزداد بزيادة عدد الحساسات

بمقدار بسيط جداً، أما بالنسبة لمنحني طريقة دورة العمل فنلاحظ أنه الطاقة المتبقية تتناقص تدريجياً مع زيادة عدد الحساسات وهذا دليل على بطء استهلاك الطاقة وهو مؤشر على مردود هذه الطريقة في ترشيد الطاقة وخاصة في الشبكات ذات الكثافة الكبيرة.

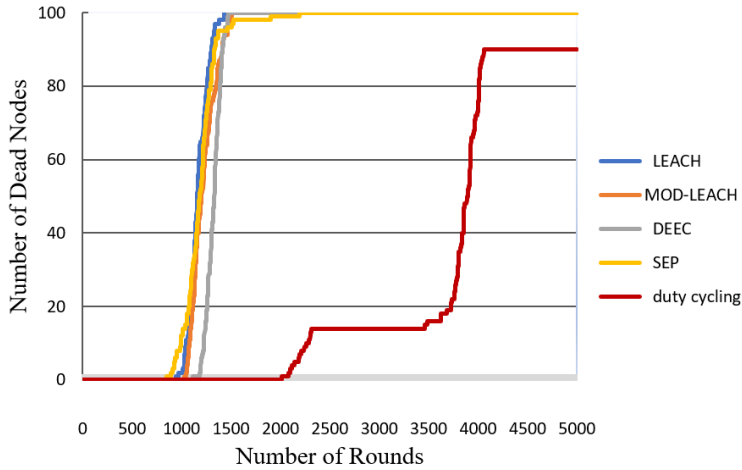
إن قيمة الطاقة المتبقية في الشبكة في طريقة دورة العمل عند الجولة 5000 لكثافة شبكة 50 و 100 و 200 و 500 حساس هي 0.24 و 0.09 و 0.22 و 0.08 جول على الترتيب.

#### السيناريو الثالث: دراسة تأثير تغيير حجم رزمة المعطيات

تُلبى شبكات الحساسات اللاسلكية عدداً هائلاً من التطبيقات، والتي تختلف فيما بينها بطبيعة الظواهر الحساسوسة؛ وينعكس هذا الاختلاف على حجم رزم المعطيات المنقولة أثناء كل جولة. ومن هذا المنطلق دعت الحاجة لدراسة تأثير تغيير حجم رزمة المعطيات على كفاءة الطاقة وعُمر الشبكة.

لذا قمنا بمحاكاة شبكة حساسات لاسلكية في حالتين، الحالة الأولى تم تنفيذها مع اعتماد حجم رزمة المعطيات يساوي 4000 بت، بينما في الحالة الثانية تم تنفيذ المحاكاة باعتماد حجم رزمة المعطيات يساوي 2000 بت وذلك من أجل شبكة مكونة من 100 حساس ومحطتها القاعدية تتموضع في منتصف البيئة المدروسة.

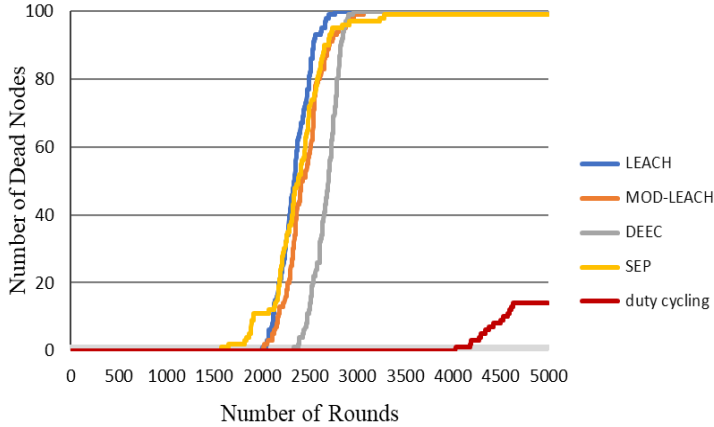
تبيّن الأشكال (27) و(28) تغيير عدد العقد الميثة بدلالة عدد الجولات rounds للبروتوكولات الأربعة LEACH و MOD-LEACH و DEEC و SEP والتي تدرج تحت مسمى طريقة بروتوكولات التوجيه التراتبية، بالإضافة إلى طريقة دورة العمل وذلك من أجل حالتين لحجم رزم المعطيات في الشبكة.



الشكل (27) عدد العقد الميتة بدلالة عدد الجولات من أجل حجم رزمة معطيات يساوي 4000 بت [الباحث]

من الشكل (27) تم استخراج مدة استقرار ومدة حياة الشبكة من أجل شبكة حجم رزم معطياتها المتبادلة 4000 بت، فبالنسبة لمدة استقرار الشبكة والتي تساوي الجولة المقابلة لموت أول حساس في الشبكة، جرت الملاحظة بأنه حققت بروتوكولات التوجيه التراتبية مدد استقرار متقاربة وهي 848 و 943 و 1031 و 1113 جولة للبروتوكولات SEP و LEACH و MOD-LEACH و DEEC على الترتيب بينما حققت طريقة دورة العمل أعلى مدة استقرار والتي تساوي 2014 جولة، كذلك الأمر بالنسبة لمدة حياة الشبكة تفوقت طريقة دورة العمل بتحقيق مدة حياة شبكة تساوي 100% أي خلال مدة عمل 5000 جولة لم تنفذ طاقة جميع الحساسات، ومن بين بروتوكولات التوجيه التراتبية فقد حقق البروتوكول SEP أعلى مدة حياة شبكة والتي تساوي 2196 جولة، أما بقية البروتوكولات فحققت مدد حياة متقاربة تتراوح من 1400 إلى 1500 جولة.





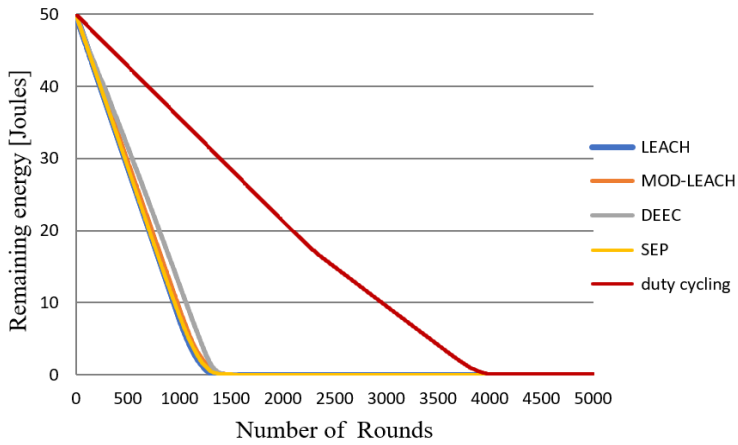
الشكل (28) عدد العقد الميتة بدلالة عدد الجولات من أجل حجم رزمة معطيات يساوي 2000 بت [الباحث]

نلاحظ من الشكل (28) بأن بروتوكولات التوجيه التراتبية حققت مدد الاستقرار الآتية: 2002 و 2015 و 2337 و 1579 جولة للبروتوكولات LEACH و MOD-LEACH و DEEC و SEP و LEACH على الترتيب، ومدد حياة شبكة مساوية 2767 و 3064 و 2958 جولة للبروتوكولات LEACH و MOD-LEACH و DEEC على الترتيب، بينما حقق بروتوكول SEP مدة حياة شبكة كاملة على مدى 5000 جولة عمل. أما بالنسبة لطريقة دورة العمل فقد حققت مدة استقرار شبكة تساوي 4027 جولة، ومدة حياة شبكة كاملة فلم تستنفذ الشبكة طاقة جميع حساساتها في أي جولة من الجولات المدروسة؛ تجدر الملاحظة بأن كلاً من طريقة دورة العمل وبروتوكول SEP حققا مدة حياة شبكة كاملة، لكن يجب التنويه بأن عند الجولة رقم 5000 كان عدد العقد الميتة في طريقة دورة العمل 14 عقدة، بينما في حالة البروتوكول SEP كان عدد العقد الميتة يساوي 99 عقدة.

مقارنة أداء شبكات الحساسات اللاسلكية المعتمدة على طريقة دورة العمل مع تلك المعتمدة على بروتوكولات التوجيه التراتبية

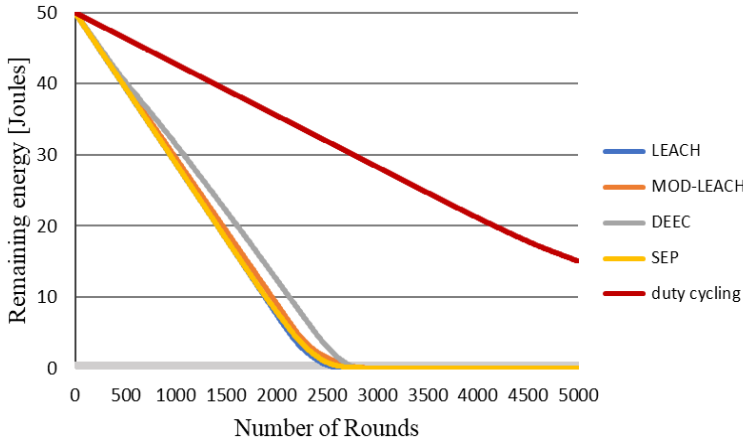
إن جميع القيم المُستنتجة من الشكل (28) والتي تعبر عن مدد استقرار ومدد حياة الشبكة لكلتا الطريقتين المدروستين في حالة حجم رزمة معطيات 2000 بت تساوي تقريباً ضعف القيم المحققة في حالة حجم رزمة معطيات 4000 بت والتي تم استخراجها من الشكل (27).

تبيّن الأشكال (29) و(30) منحنيات الطاقة المتبقية في الشبكة وتغير سلوكها على مدى جولات العمل، وذلك من أجل حالتين لحجم رزم المعطيات في الشبكة. بلغت قيمة الطاقة المتبقية في الشبكة في طريقة دورة العمل عند الجولة 5000، 0.09 جول و15 جول وذلك من أجل حجم رزمة المعطيات 4000 و2000 بت على الترتيب.



الشكل (29) الطاقة المتبقية في الشبكة من أجل حجم رزمة معطيات يساوي

4000 بت [الباحث]



الشكل (30) الطاقة المتبقية في الشبكة من أجل حجم رزمة معطيات يساوي 2000 بت [الباحث]

لأنه بانخفاض حجم الرزمة تنخفض الطاقة المستهلكة بفعل عمليات المعالجة، بالإضافة إلى انخفاض الطاقة اللازمة لإرسال واستقبال رزمة واحدة من المعطيات، ففيما يخص طريقة دورة العمل عند الجولة رقم 3000 نلاحظ بأن الطاقة الكلية المتبقية في الشبكة عند حجم رزمة يساوي 4000 بت تساوي 9.5 جول؛ بينما عند ذات الجولة في شبكة حجم رزم معطياتها يساوي 2000 بت فإن الطاقة الكلية المتبقية هي 28.3 جول، أي زيادة في الطاقة بما يقارب الثلاثة أضعاف ( $28.3/9.5$ )، بينما على سبيل المثال عند الجولة رقم 1000 نلاحظ بأن الطاقة الكلية المتبقية في الشبكة عند حجم رزمة مساوي لـ 4000 بت تساوي 35.6 جول بينما عند ذات الجولة في شبكة حجم رزم معطياتها يساوي 2000 بت يكون 42.7 جول تقريبا، أي أن الزيادة في الطاقة هي بنسبة 1.2 تقريبا ( $42.7/35.6$ ). كذلك الأمر فيما يخص طريقة بروتوكولات التوجيه التراتبية، حيث نلاحظ بأن الطاقة الكلية المتبقية في الشبكة على سبيل المثال عند الجولة 1000 وعند شبكة ذات حجم رزم معطيات يساوي 4000 بت تساوي 7.8 و 9.1 و 12.4 و 8.2 جول تقريبا للبروتوكولات LEACH و MOD-LEACH و DEEC و SEP على الترتيب. بينما عند ذات الجولة في شبكة حجم رزم معطياتها مساوي لـ 2000 بت تكون

قيم الطاقة 28.8 و 29.5 و 31.4 و 28.8 جول للبروتوكولات LEACH و MOD-LEACH و DEEC و SEP على الترتيب، أي أن الزيادة بنسبة 3.7 و 3.2 و 2.5 و 3.5 تقريباً للبروتوكولات السابقة على الترتيب.

### مقارنة النتائج مع نتائج دراسات سابقة

بالمقارنة مع الدراسة [18] والتي تشمل على تقييم مردود (كفاءة) بروتوكول قياس كفاءة المنطقة المدركة للطاقة المعتمدة على العتبة Threshold-based Energy-aware Zonal Efficiency Measuring (TEZEM)؛ والتي اعتمدت على البارامترات المبينة في الجدول (2) والتي قمنا أيضا باعتمادها في المنحنيات أدناه لضمان صحة المقارنة.

الجدول (2) بارامترات محاكاة الدراسة [18]

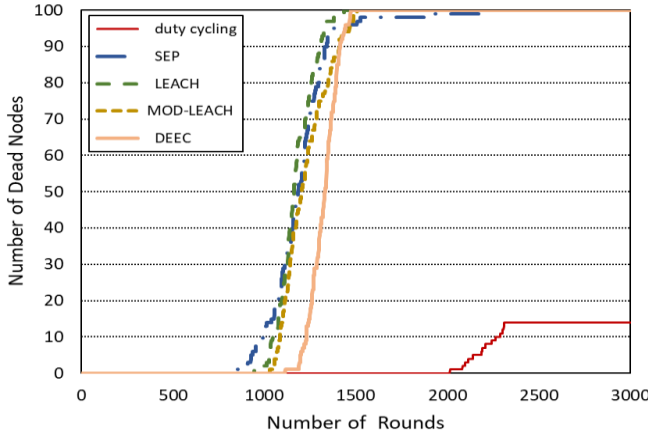
القيمة	البارامتر
100x100(m <sup>2</sup> )	المساحة المدروسة
ثابت (50,50)	موقع المحطة القاعدية
3000	عدد الجولات
100	عدد العقد (الحساسات)
عشوائي	توزيع العقد
0.5J	الطاقة الابتدائية لكل عقدة
50 nJ / bit	الطاقة المحررة في البت بدارة المرسل (ETx-elec)
50 nJ / bit	الطاقة المحررة في البت بدارة المستقبل (ERx-elec)
4000 bit	حجم رزمة معطيات
Matlab	المحاكي

- مقارنة عدد العقد الميئة بدلالة عدد الجولات

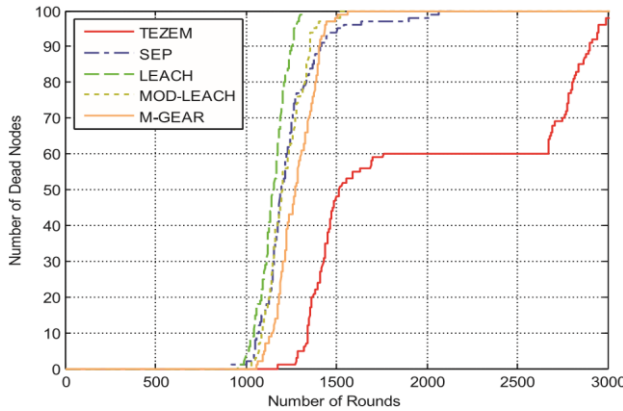
تتقاطع دراستنا مع الدراسة المرجعية لجعفري Jaffri وآخرون [18] في ثلاثة بروتوكولات مشتركة تنتمي إلى طريقة بروتوكولات التوجيه التراتبية وهي LEACH و MOD-LEACH، ولاحظنا من خلال مقارنة النتائج بأن سلوك

المنحني المعبر عن عدد العقد الميتة بدلالة عدد الجولات متقارب جداً كما هو مبين في الشكل (31).

كما تبين من المقارنة تفوق طريقة دورة العمل على البروتوكول المقترح في الدراسة المرجعية لجعفري Jaffri وآخرون [18]؛ حيث على سبيل المثال عند الجولة 2500 كان عدد العقد الميتة في طريقة دورة العمل يساوي 15 عقدة، بينما في البروتوكول TEZEM كان مساوياً للقيمة 60 عقدة عند ذات الجولة.



(a) [الباحث]



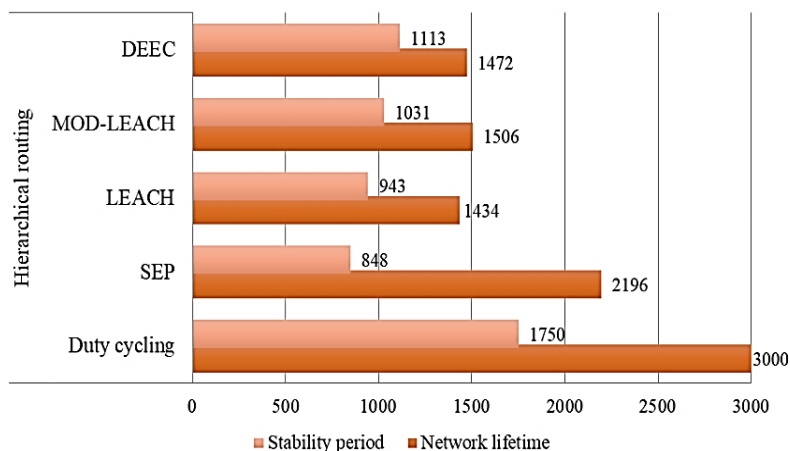
(b) [الدراسة المرجعية] [18]

الشكل (31) مقارنة عدد العقد الميتة بدلالة عدد الجولات (a) الباحث (b) الدراسة

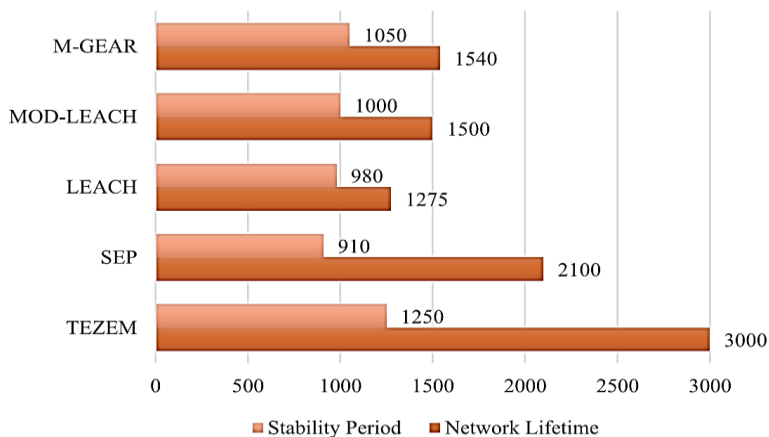
المرجعية [18]

- مقارنة مدد استقرار ومدد حياة الشبكة

قمنا أيضاً بمقارنة مدد استقرار ومدد حياة الشبكة المدروسة التي حصلنا عليها مع نتائج الدراسة المرجعية لجعفري [18].



(a) [الباحث]



(b) [الدراسة المرجعية] [18]

الشكل (32) مقارنة مدد استقرار ومدد حياة الشبكة (a) الباحث (b) الدراسة

المرجعية [18]

يلاحظ من الشكل (32) وبالمقارنة بين دراستنا والدراسة المرجعية [18] بأن البروتوكولات المشتركة بين الدراستين وهي SEP و LEACH و MOD-LEACH قد حققت قيم

مقارنة للغاية لمدد استقرار وحياء الشبكة مع الحفاظ على سلوك متطابق؛ كما حقق البروتوكول SEP أعلى مدة حياة للشبكة من بين هذه البروتوكولات، وأيضاً أقل مدة لاستقرار الشبكة، وتشابه السلوك يؤكد صحة دراستنا.

كما يمكن الاستنتاج من المقارنة تفوق طريقة دورة العمل على البروتوكول المقترح TEZEM في الدراسة المرجعية لجعفري [18] لكونها إضافةً إلى تحقيقها لمدة حياة شبكة كاملة، قد حققت مدة استقرار أكبر تساوي 1750 جولة.

### الاستنتاجات والتوصيات

#### أولاً: الاستنتاجات:

- تفوقت طريقة دورة العمل المعتمدة على منهجية واعية لخمول ولنشاط الحساسات والمقودة بالموضع على طريقة بروتوكولات التوجيه التراتبية، وذلك في جميع السيناريوهات المدروسة ومن أجل معظم مقاييس الأداء المعتمدة.
- حافظت كلتا الطريقتين المدروستين على مدة حياة شبكة أطول في حالة تموضع المحطة القاعدية داخل البيئة المدروسة وذلك حسب الإحصائيات الواردة في الشكل (14)، وذلك لأن الطاقة المصروفة للإرسال والاستقبال تتعلق بالمسافة بين المرسل والمستقبل، فعندما زادت المسافة بين رؤوس العناقيد والمحطة القاعدية أدى ذلك لصرف طاقة أكبر بموجب دراتيّ الإرسال والاستقبال وهذا موضح رياضياً في نموذج الطاقة الراديوي وعلى وجه التحديد بالعلاقة (1).

- أدى زيادة عدد حساسات الشبكة إلى زيادة مدة استقرار الشبكة لطريقة دورة العمل وذلك حسب النتائج المبينة في الشكل (22) ويعود ذلك إلى أنه في طريقة دورة العمل، المدى الأعظمي المحدد بين الحساسات هو 10m لتصبح أزواج وتتناوب بعملها بين جولة وأخرى، أما عند انخفاض عدد الحساسات فقد يصعب تحقيق شرط تشكيل الأزواج

مما سيؤدي إلى عمل بعض الحساسات بشكل دائم وهذا ما يقود إلى تخفيض فعالية طريقة دورة العمل عند عدد حساسات قليل، بينما لم تتأثر بروتوكولات التوجيه التراتبية بشكل كبير عند زيادة كثافة الشبكة لكون كل حساس مجهز بطاقته الابتدائية بشكل مستقل، وحتى أن عمله مستقل عن العقد المجاورة.

- تزداد مدة حياة الشبكة عندما يكون حجم رزم المعطيات صغيراً، وتعدّ النتيجة منطقية لأنه بانخفاض حجم الرزمة تنخفض الطاقة المستهلكة بفعل عمليات المعالجة، بالإضافة إلى انخفاض الطاقة اللازمة لإرسال واستقبال رزمة واحدة من المعطيات، وذلك على مستوى جميع أدوار عقد الشبكة (حساسات عادية، ورؤوس عناقيد، ومحطة قاعدية)؛ وهذا بدوره سيحسن من مدة حياة الشبكة ويساهم بإطالته، وتم تبيان النتائج عددياً في الشكلين (27) و (28).

#### ثانياً: التوصيات:

- بناء بروتوكول قابل للتكيف مع بعد المحطة القاعدية عن حقل العمل، آخذاً بعين الاعتبار وجود حساسات نقالة في الشبكة مزودة بطاقة أكبر من الحساسات العادية أو يمكن تزويدها بمصدر طاقة ثابت، يجري تفعيلها لنقل المعطيات من رؤوس العناقيد إلى المحطة القاعدية عندما تكون المحطة القاعدية خارج حقل العمل بمسافة معتمدة، وهذا بدوره يقود إلى الاستهلاك الرشيد لمخزون طاقة الحساسات العادية وعدم تأثرهم ببعد المحطة القاعدية.
- بناء بروتوكول هجين يجمع بين بساطة التنفيذ البرمجي لبروتوكولات التوجيه التراتبية وفعالية طريقة دورة العمل في حفاظها على الطاقة، بما أن أداء الطريقتين يكون شبه متماثل في بداية عمر الشبكة فيمكن اعتماد منهج بروتوكولات التوجيه التراتبية، وبعد عدد مدروس من الجولات يجري اعتماد آلية عمل طريقة دورة العمل فقط.



- [1]<https://www.fortunebusinessinsights.com/wireless-sensor-network-market-102625> .
- [2] Muhammad, S.A., et al, 2023– **Information and communication technology issues and challenges for wireless sensor networks**, Savannah Journal of Science and Engineering Technology, Vol 1.3, 31–36.
- [3] Al-Sulaifanie, A. I., & Al-Sulaifanie, B. K., 2021. **Hybrid access and adaptive duty cycle clustering protocol for ultra-low power wireless sensor networks**. IET Communications, Vol 15.9, 1158–1173.
- [4] Nawusu, Y. A. W., et al., 2023. **A Modified ZONAL STABLE ELECTION PROTOCOL FOR ENERGY EFFICIENCY IN HETEROGENEOUS WIRELESS SENSOR NETWORKS**. Journal of Applied Intelligent Systems & Information Sciences, Vol 4.1, 17–31.
- [5] Ahmmad, B.A., and ALABADY, S.A., 2022. **Energy-Efficient Routing Protocol Developed for Internet of Things Networks**. IET Quantum Communication, Vol 4.1, 25–38.
- [6] Ghorbanvirdi, M., & Mazinani, S. M, 2022– **Energy Efficient Multi-Clustering Using Grey Wolf Optimizer in Wireless**

**Sensor Network**. International Journal of Information and Communication Technology Research, Vol 14.1, 1-12.

[7] Khriji, S., et al, 2018- **Energy-Efficient Techniques in Wireless Sensor Networks**. In *Energy Harvesting for Wireless Sensor Networks: Technologies, Components and System Design*. Berlin, Germany: De Gruyter Oldenbourg.

[8] Chéour, R., et al, 2019- **Recent trends of FPGA used for low-power wireless sensor network**. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, Vol 34.10, 28-38.

[9] Yousif, Z., et al, 2021- **A Novel Energy-Efficient Clustering Algorithm for More Sustainable Wireless Sensor Networks Enabled Smart Cities Applications**. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, Vol 10.3, 1-21.

[10] Hamamreh, R. A., et al, 2018- **An Energy-Efficient Clustering Routing Protocol for WSN Based on MRHC**. International Journal of Digital Information and Wireless Communications, Vol 8.3, 214-222.

[11] Salih, M. A., & Sulaiman, D. R, 2023- **Throughput and Energy Efficiency Evaluation of WSN Using Efficient Routing Protocols**. *University of Thi-Qar Journal for Engineering Sciences*, Vol 13.1, 25-33.

- [12] Mahmood, D., et al, 2013– **MODLEACH: a Variant of LEACH for WSNs.** In 2013 Eighth International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications,158–163.
- [13] Banit, B., 2021. **Comparative Analysis of Mobility Based DEEC Protocol to Optimize the Efficiency in Wireless Sensor Networks.** IEEE 11th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering, 630–635.
- [14] Parvathi, C., & Talanki, S., 2021. **Energy Saving Hierarchical Routing Protocol in WSN. In Wireless Sensor Networks–Design, Deployment and Applications.** IntechOpen.
- [15] Faisal, S.,et al., 2013. **Z–SEP: Zonal–Stable Election Protocol for Wireless Sensor Networks.** Journal of Basic and Applied Scientific Research (JBASR), Vol 3.5, 132–135.
- [16] Martey, A.S. & Esenogho, E., 2022. **Improved Cluster to Normal Ratio Protocol for Increasing the Lifetime of Wireless Sensor Networks.** Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, Vol 26.2, 1135–1147.
- [17] Shah, T., et al., 2012. **Energy efficient sleep awake aware (EESAA) intelligent sensor network routing protocol.** In 2012 15th international multitopic conference (INMIC),317–322. IEEE.

- [18] Jaffri, Z. U. A., et al., 2022. **TEZEM: A New Energy-Efficient Routing Protocol for Next-Generation Wireless Sensor Networks**. International Journal of Distributed Sensor Networks, Vol 18.6, 1-18.
- [19] Vijayan, S., & Munusamy, N., 2022. **Deterministic Centroid Localization for Improving Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks**. Cybernetics and Information Technologies, Vol 22.1, 24-39.
- [20] Krishnan, K., et al., 2021. **energy-efficient cluster-based routing protocol for wsn based on hybrid bso-tlbo optimization model**. The Computer Journal, Vol 64.10.
- [21] Lopez-Ardao, J. C., et al., 2021. **Current trends on green wireless sensor networks**. Sensors, Vol 21.13.

## تقييم أداء السياسة المُحسَّنة لاستبدال ذاكرة التخزين

المؤقت بالاعتماد على شعبية المحتوى (ICCP) عند

استراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة في شبكات

### البيانات المسماة

د. م. يمان غازي<sup>1</sup>

م. عاصم الحمصيه<sup>2</sup>

#### الملخص

في الآونة الأخيرة، برزت شبكات البيانات المسماة (Named Data Networking) كعمارة إنترنت مستقبلية تعمل على تسليم البيانات بالاعتماد على أسماء البيانات وليس على عناوينها كما في معمارية IP. تضم شبكات البيانات المسماة العديد من الميزات مثل: حماية البيانات المُدمجة ضمنها، مستوى إعادة التوجيه المُحتفظ بالحالة، التخزين المؤقت داخل الشبكة، إعادة التوجيه متعدد المسارات، والاسترداد السريع للبيانات. يركّز هذا البحث على دراسة وتقييم أداء سياسة ICCP عند تفعيلها مع استراتيجيات إعادة التوجيه المُدمجة في محاكي ndnSIM، وهي: استراتيجية Best Route، استراتيجية SAF، استراتيجية Multicast، واستراتيجية Access. لقد أوضحت نتائج المحاكاة وتقييم الأداء أنّ سياسة ICCP تقدم أفضل أداء لها عند تفعيلها مع استراتيجية إعادة التوجيه Access وذلك بدلالة المقاييس: معدل تلبية رزم الاهتمام، معدل إصابة الـ cache، حركة المرور على الشبكة، التأخير، عدد القفزات إلى المنبع، وعدد عمليات إعادة الإرسال.

**الكلمات المفتاحية:** شبكات البيانات المُسماة، سياسة ICCP، التخزين المؤقت داخل

الشبكة، استراتيجيات إعادة التوجيه.

<sup>1</sup>مدرّس، قسم هندسة الشبكات والنظم الحاسوبية، كلية الهندسة المعلوماتية، جامعة البعث  
<sup>2</sup>طالب دراسات عليا (ماجستير)، قسم هندسة الشبكات والنظم الحاسوبية، كلية الهندسة المعلوماتية، جامعة البعث

## Performance Evaluation of the Improved Cache replacement policy based-on Content Popularity (ICCP) at Different Forwarding Strategies in Named Data Networking

<sup>3</sup>Dr. Eng. Yaman Ghazi

<sup>4</sup>Eng. Asim Al Himsya

### ABSTRACT

Named Data Networking (NDN) has appeared recently as a future Internet architecture where data delivery depends on the names of the data, not their addresses as in the IP architecture. NDN has many features such as built-in data security, stateful forwarding plane, in-network caching, multipath forwarding, and fast data retrieval. This research focuses on studying and evaluating the performance of the ICCP policy when implemented with the forwarding strategies embedded into ndnSIM simulator, which are Best Route strategy, SAF strategy, Multicast strategy, and Access strategy. Simulation and performance evaluation results show that the ICCP policy often performs best when implemented with Access forwarding strategy in terms of interest satisfaction rate, cache hit rate, network traffic, delay, number of upstream hops, and interest retransmissions.

**Keywords:** Named Data Networking, ICCP policy, in-network caching, forwarding strategies.

---

<sup>3</sup> Lecturer, Department of Network Engineering and Computer Systems, Informatics Engineering Faculty, Al Baath University.

<sup>4</sup> Postgraduate Student (M.A), Department of Network Engineering and Computer Systems, Informatics Engineering Faculty, Al Baath University.

## 1- مقدمة

تعتبر شبكات البيانات المسماة مفهوماً جديداً لبنية الإنترنت المستقبلية التي تتمحور حول البيانات المسماة القابلة لإعادة التوجيه. ويمكن أن تُعرفها بأنها إحدى معماريات شبكات المعلومات المركزية (Information Centric Networking) المُصمّمة لتكون معمارية جديدة متطورة في نظام الاتصالات. لقد تم تصميم NDN لتعتمد مبدأ تسمية البيانات بدلاً من عنوانها، وبالتالي يعتمد تسليم البيانات على أسماء البيانات وليس على عناوينها. يجري في NDN تحويل نموذج اتصالات الشبكة من التركيز على المُضيف إلى التركيز على البيانات. بمعنى أنها تغير اتجاه خدمة الشبكة من نهج تسليم الرزمة لعنوان هدف محدد إلى نهج جلب البيانات المحددة بواسطة اسم محدد [10]. يعد اختيار أفضل المسارات الممكنة لإعادة توجيه رزم الاهتمام عاملاً صعباً في NDN، نظراً لأنه من الممكن استرجاع رزم البيانات المخزنة داخل الشبكة من عدة مصادر [4]. يتناول هذا البحث مدى تأثير استراتيجيات إعادة التوجيه المختارة على أداء الشبكة. ومن جهة أخرى يفحص البحث مستوى توافق سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت ICCP مع كل من استراتيجيات إعادة التوجيه المدمجة في محاكي ndnSIM.

## 2- الهدف من البحث

يركز هذا البحث بشكل عام على دراسة معمارية NDN وطريقة عملها وآلية تقييم الأداء فيها باستخدام محاكي ndnSIM. بالإضافة إلى ذلك، يسعى البحث إلى دراسة منهجية إعادة توجيه رزم الاهتمام واستراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة في NDN بقصد تحديد خصائص كل استراتيجية عبر دراسة مقاييس الأداء المختلفة. على النحو الآخر، يركز هذا البحث بشكل خاص على اختبار مستوى توافق سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت ICCP مع مجموعة من استراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة وهي: استراتيجية Best Route، استراتيجية SAF، استراتيجية Multicast، واستراتيجية Access، ذلك عند

تقييم أداء السياسة المُحسَّنة لاستبدال ذاكرة التخزين المؤقت بالاعتماد على شعبية المحتوى  
(ICCP) عند استراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة في شبكات البيانات المسماة

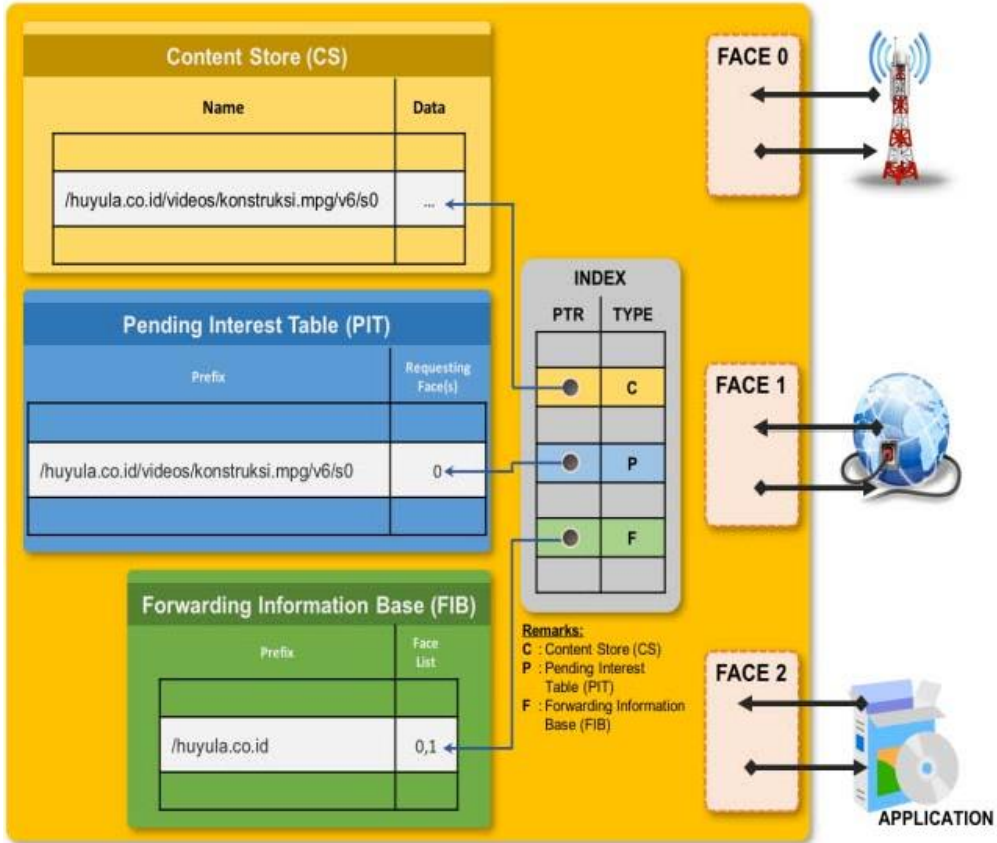
إجراء سيناريوهات محاكاة متعدّدة. في الختام، يقدّم هذا العمل توصيةً بشأن استراتيجية إعادة التوجيه ذات الأداء الأفضل عند اختيار سياسة ICCP على وجه التحديد كسياسة لاستبدال محتوى ذاكرة التخزين المؤقت.

### 3- معمارية شبكات البيانات المُسمّاة

تضم معمارية NDN ثلاثة عناصر أساسية هي: المُنتج (producer)، المُستهلك (consumer)، وجهاز توجيه NDN. كذلك يوجد نوعان من الرزم تستخدمهم NDN في عمليات الاتصال هما رزمة الاهتمام (interest packet) ورزمة البيانات (data packet). في بداية الأمر، يرسل المُستهلك إلى المُنتج رزمة اهتمام تحتوي على اسم البيانات المطلوبة التي يرغبها من مالك البيانات. ويستخدم جهاز التوجيه اسم البيانات الفريد هذا لإعادة توجيه رزمة الاهتمام إلى المُنتج. عندما تصل رزمة الاهتمام إلى العقدة التي تحتوي على البيانات المطلوبة، سنعيد العقدة رزمة بيانات تحتوي على الاسم والمحتوى. في الواقع [7]، يوجد داخل جهاز توجيه NDN ثلاثة مُكوّنات فاعلة في تنفيذ وظائف إعادة توجيه رزم الاهتمام/البيانات مشار إليها في الشكل (1) وهي:

- **مخزن المحتوى (CS):** هو مساحة تخزينية في جهاز التوجيه يحفظ فيها رزم البيانات التي يعيد توجيهها.
- **جدول طلبات الاهتمام المعلقة (PIT):** يُسجّل معلومات خاصة بإعادة توجيه رزم الاهتمام مثل اسم المحتوى والواجهات (faces) التي جاءت منها كل رزمة اهتمام. يحتفظ PIT برزم الاهتمام حتى يتم تلبيةها أو تنتهي صلاحيتها.
- **قاعدة معلومات إعادة التوجيه (FIB):** تُخزّن معلومات عن الواجهة التي أنت منها كل رزمة اهتمام ثم تعيد توجيهها إلى القفزة التالية. تحتفظ FIB ببيانات الأسماء (Name Prefixes) مع الواجهات المقابلة للمنتج الذي قد يكون لديه المحتوى المطلوب.





الشكل (1): مكونات جهاز توجيه NDN. [2]

#### 4- التوجيه وإعادة التوجيه في NDN

يقوم بروتوكول توجيه NDN بنشر تحديثات التوجيه ويحسب المسارات لبادئات الأسماء. نظراً لأن أسماء NDN منظمة بشكل هرمي، فإن أفضل حساب لمسار NDN يمكن أن يستخدم أيضاً من خوارزميات التوجيه التي تعمل مع IP، على سبيل المثال بروتوكول توجيه حالة الارتباط (Link-State Routing Protocol) أو بروتوكول توجيه شعاع المسافة (Distance-Vector Routing Protocol). ومع ذلك، يجب أن يكون بروتوكول

توجيه NDN قادراً على تقديم عدّة قفزات تالية لإعادة توجيه الرزم سعياً لدعم إعادة التوجيه متعدد المسارات. ويمكن أن تكون المسارات المتعددة إمّا باتجاه مُنتج بيانات واحد أو منتجين متعددين لنفس البيانات [8].

لقد تم بحسب [9] تصميم NDN مع فصل مستويات التوجيه وإعادة التوجيه، هذا الفصل يسمح بتطوّرهم بشكل منفصل. وكدور مُكَمَّل لإعادة التوجيه، تستخدم NDN التوجيه لإدارة التغييرات طويلة المدى وملء FIB. وبالنظر إلى أن مستوى التوجيه يحسب ويقرر مدى توفر المسارات، فإن مستوى إعادة التوجيه يتخذ قرارات لكل عقدة حول تفضيل واستخدام هذه المسارات بناءً على أدائها وحالتها. وهذا يعني أن مستوى التوجيه يبحث عن كلفة التوجيه نحو المحتويات المطلوبة ويحسبها ويقدمها إلى مستوى إعادة التوجيه.

#### 4-1 مستوى إعادة التوجيه المحفوظ بالحالة (Stateful Forwarding Plane)

يوجد في هذه النوع ثلاث ملاحظات موجزة لابدء من تسليط الضوء عليها وهي بحسب [10]:

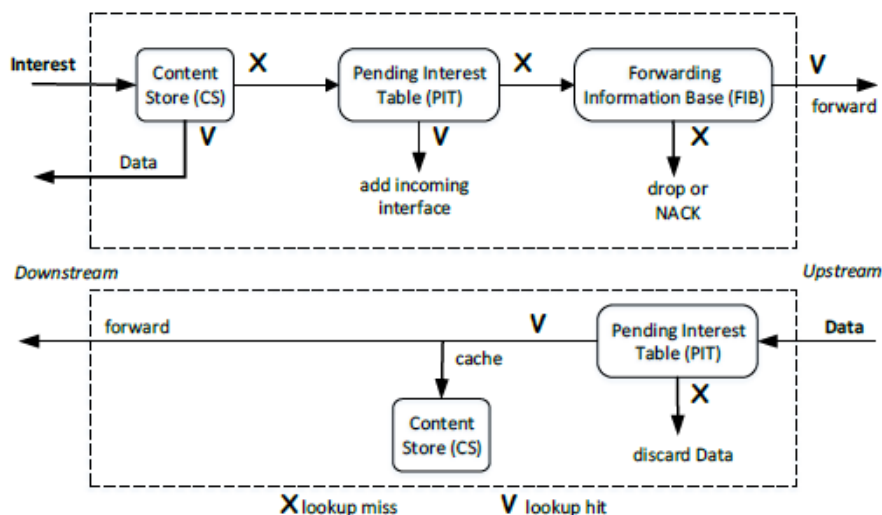
- تحتوي NDN على مستوى إعادة توجيه يحتفظ بالحالة أثناء تسليم البيانات والحالة هنا لكل رزمة، ولكل قفزة.
- يمكن لمستوى إعادة التوجيه الذي يحتفظ بالحالة والذي يتناسب حجمه مع تأخيرات سعة الوصلة أن يضع عبئاً كبيراً على ذاكرة جهاز التوجيه.
- يمكن لجهاز توجيه NDN تخزين رزم الاهتمام في PIT ورزم البيانات في CS، وهي ميزة فريدة تجعل NDN قادرة على الاتصال حتى أثناء الاتصال المنقطع في بيئة غير جيدة.

## 4-2 آلية إعادة التوجيه في NDN

يبدأ سير عمل NDN عندما يطلب المستهلك رزمة اهتمام عبر الشبكة. عندما تصل رزمة الاهتمام إلى أول جهاز توجيه في الشبكة كما في الشكل (2)، سيقوم جهاز التوجيه بالتحقق من مخزن المحتوى الخاص به والبحث داخله عن المحتوى المطلوب. فإذا كان المحتوى موجود، فسيتم إرجاع رزمة البيانات إلى المستهلك من خلال المسار العكسي لرزمة الاهتمام. أما إذا لم يكن المحتوى موجود، فسيمرّر جهاز التوجيه هذه المعلومات إلى جهاز التوجيه التالي وذلك من خلال البحث في PIT عن المعلومات التالية لجهاز التوجيه الهدف. في هذه الحالة، هناك ثلاثة خيارات مُحتملة تساعد PIT على تحديد الإجراء التالي كما يلي:

- سيقوم جهاز التوجيه بوضع الواجهة التي أتت منها رزمة الاهتمام في PIT وحذف رزمة الاهتمام إذا كان للإدخال الموجود في PIT اسم محتوى متجانس ولكن واجهة مختلفة.
- سيقوم جهاز التوجيه بحذف رزمة الاهتمام مباشرة إذا كان في الإدخال تطابق بين اسم محتوى والواجهات.
- من ناحية أخرى، سوف يرجع جهاز التوجيه إلى FIB الذي يقوم بتخزين العديد من معلومات المسار مع البادئات (prefixes) المقابلة.

بمجرد حصول جهاز التوجيه على البيانات من المُنتج، سيستخدم جهاز التوجيه المعلومات الموجودة في PIT لتمرير البيانات إلى المستهلك وتخزينها مؤقتاً في مخزن المحتوى [11].



الشكل (2): عملية إعادة توجيه رزم الاهتمام/البيانات في NDN [12].

#### 3-4 استراتيجيات إعادة التوجيه في NDN

في حقيقة الأمر، يمكن إعادة توجيه رزم الاهتمام عن طريق اختيار مجموعة فرعية من الواجهات (faces). لذلك، هناك حاجة إلى استراتيجيات إعادة توجيه فعالة لتحديد الواجهة الصادرة ليس فقط من خلال المطابقة الدقيقة عند البحث بسجلات FIB، ولكن بالنظر إلى سلوك الشبكة ومعلومات العقد المجاورة أيضاً. يوجد العديد من استراتيجيات إعادة التوجيه البارزة في NDN والتي تمت الإشارة لها في كل من [1]، [2]، [3]، [11]. يركّز هذا العمل تحديداً على أربعة استراتيجيات لإعادة التوجيه موجودة ضمن بيئة محاكي ndnSIM يمكن استعراضها كما يلي:

**استراتيجية أفضل مسار (Best Route):** هي استراتيجية إعادة توجيه تم تضمينها في محاكي ndnSIM منذ الإصدار الأول ولا تزال مدعومة حتى الإصدار الأحدث الحالي 2.8، علماً أنها مزودة بمجموعة من الوظائف لحساب عدد القفزات وتقديم النتائج

بأقل كلفة أثناء إعادة توجيه رزم الاهتمام [1]. ويقصد إدراك أفضل مسار، يتم إرسال رزم الاهتمام إلى الواجهات المتاحة بحسب تصنيفات الواجهة (face rank). وعلى هذا، سيتم إرسال رزمة الاهتمام إلى الواجهة الأعلى تصنيفاً إذا كانت متاحة. فإذا لم تكن متاحة، فسيتم إرسال الرزمة إلى الواجهة الأقل من السابقة في التصنيف. أخيراً، إذا لم تكن هناك واجهات متاحة فسيتم إسقاط رزمة الاهتمام. عموماً، تفترض استراتيجية Best Route أنّ عدد القفزات الأقل يتمتع بكلفة أقل [3].

استراتيجية إعادة التوجيه العشوائي التكيفي (SAF): تم تصميمها خصيصاً لتنفيذ إعادة التوجيه التكيفي لكل المحتوى أو لكل بادئة. وكذلك لتوفير إعادة توجيه فعالة حتى عندما تكون معلومات التوجيه غير كاملة. كما تكمن ميزتها في التعامل مع التغييرات غير المتوقعة في هيكل الشبكة (على سبيل المثال: فشل الوصلة)، واكتشاف المسارات غير المعروفة للنسخ المتماثلة المخزنة مؤقتاً. تتمتع استراتيجية SAF بإنتاجية متزايدة وتقدم استرداداً سريعاً للبيانات لأنها تختار وصلة بيانات إعادة التوجيه المحتملة بكفاءة عندما يكون هناك فشل في الوصلة الحالية. لقد تم تصميم SAF لتأخذ في الاعتبار سياق الشبكات ومحتواها لتحسين سلوك إعادة التوجيه الخاص بها. [2]، [3]

استراتيجية Multicast: هي استراتيجية يتم فيها إرسال رزم الاهتمام إلى جميع الواجهات الموجودة في FIB الخاص بكل عقد القفزة التالية. ترسل استراتيجية Multicast رزم الاهتمام إلى جميع المسارات عن طريق تنفيذ آلية تعدد المسارات (multipath mechanism) بشكل مستمر. ولكن عند حدوث أي مشكلة في الشبكة فإن Multicast تتجاهلها وتستمر بإرسال الرزم إلى جميع العقد المجاورة. لذلك تسبب هذه الحالة بأن تقوم Multicast بإسقاط العديد من رزم الاهتمام التي تم إنشاؤها من العقد غير المستخدمة. [1]

تقييم أداء السياسة المُحسَّنة لاستبدال ذاكرة التخزين المؤقت بالاعتماد على شعبية المحتوى (ICCP) عند استراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة في شبكات البيانات المسماة

**استراتيجية Access:** تقوم هذا الاستراتيجية بإنشاء آلية تعدد المسارات لتسليم رزم الاهتمام فقط لأول مرة. لذلك إذا كان المسار الذي تم اختياره بواسطة هذه الآلية لا يواجه أي مشكلة، فإن نقل البيانات يحتاج فقط إلى المرور عبر هذا المسار فقط. بعد ذلك، يتم إرسال رزم البيانات عبر أفضل مسار تملكه NDN. حيث سيتم استخدام أفضل مسار تم تحديده لإرسال الدفعة التالية من رزم الاهتمام.[1]

#### 5- السياسة المُحسَّنة لاستبدال الـ Cache بالاعتماد على شعبية المحتوى (ICCP)

هي سياسة تم اقتراحها وتحقيقها وتقييم أدائها في عمل سابق بغرض تحسين مفهوم التخزين المؤقت داخل الشبكة في NDN [13]. يعتبر التخزين المؤقت ميزة أساسية من ميزات NDN حيث يقوم جهاز توجيه NDN بتخزين المحتويات مؤقتاً داخل مخزن المحتوى من أجل تقديمها إلى عقد NDN التي تطلب المحتوى أثناء عملية إرسال رزم الاهتمام. يتمثل قرار استبدال الـ Cache في تحديد كيفية اختيار الرزم أو المحتويات الموجودة داخل مخزن المحتوى والتي يجب استبدالها عندما يصل جهاز التوجيه إلى قمة سعته.

تعتمد سياسة ICCP في اتخاذ قرار الاستبدال على مُعاملين هامّين وهما: معامل الازدحام (Congestion) ومُعامل جدول شعبية المحتويات المؤرشفة ( Archived Content Popularity Table). وبالاستناد إلى هذين المعيارين عند اتخاذ قرار الاستبدال سنحصل على مُعادلة جديدة لحساب شعبية المحتوى. هذه المعادلة الجديدة هي عبارة عن معادلة مُشتقة من معادلة حساب شعبية المحتوى في سياسة CCP. عندها سنقوم سياسة الاستبدال المُقترحة باستبدال المحتوى ذو الشعبية الأقل [13].

#### 5-1 كشف الازدحام

عندما يستلم جهاز توجيه NDN رزم اهتمام تطلب محتوى غير موجود داخل CS، عندها يقوم جهاز التوجيه بإضافة هذه الرزم إلى PIT. فإذا كان عدد رزم الاهتمام

الداخلة إلى جهاز التوجيه (عقدة NDN) كبيراً ولا يمكن تلبية من مخزن المحتوى، عندها سيمتلئ PIT ولن يتمكن من إضافة إدخالات جديدة. هذا الأمر يسبب ازدحام عند العقدة التي امتلئ فيها PIT والتي ستقوم بدورها بجعل قيمة الحقل CongestionMarkTag تساوي واحد. في واقع الأمر، يوجد في ترويسة رزمة البيانات التي ترسلها عقدة NDN حقل يسمى CongestionMarkTag. من خلال قيمة هذا الحقل تقوم العقدة بإعلام العقد الأخرى التي تطلب منها رزم البيانات عن وجود ازدحام يسببه هذا المحتوى المطلوب. فإذا كانت قيمة هذا الحقل مساوية واحد فهذا يشير إلى حدوث ازدحام وعدم قدرة العقدة على تلبية الطلب من مخزن المحتوى. وإذا كانت قيمة هذه الحقل مساوية صفر فهذا يشير إلى عدم وجود ازدحام أي يمكن تلبية الطلب من مخزن المحتوى مباشرةً [15].

### 5-2 جدول شعبية المحتويات المؤرشفة

أما بالنسبة لجدول شعبية المحتويات المؤرشفة فهو عبارة عن جدول سنحتفظ فيه بشعبية المحتويات التي تم إخراجها من مخزن المحتوى عند استبدالها بمحتوى وصل مؤخراً. بحيث يحتوي هذا الجدول فقط على معلومات عن المحتوى الذي خرج من مخزن المحتوى.

### 5-3 آلية عمل سياسة ICCP

عندما تستلم عقدة NDN محتوى جديد تقوم بالاستعلام عنه ما إذا كان موجوداً في مخزن المحتوى أم لا. فإذا كان موجوداً في مخزن المحتوى يتم زيادة قيمة إصابة الـ Cache بمقدار واحد. أما إذا لم يكن موجوداً في مخزن المحتوى، يتم بدايةً معرفة ما إذا كان اسم المحتوى موجود في قائمة الازدحام أم لا.

نعرف قائمة الازدحام على أنها قائمة يتم فيها تخزين اسم كل محتوى مع قيمة الازدحام الخاصة به بحيث كلما كانت  $getCongestionMark() > 0$  يتم زيادة قيمة الازدحام

(congestion) بمقدار واحد. إذا كان اسم المحتوى غير موجود في قائمة الازدحام عندها يتم إضافته مع قيمة ازدحام بدائية تساوي الصفر، وكلما كانت علامة الازدحام أكبر من الصفر نزيد قيمة الازدحام بمقدار واحد.

بعدها نعرف قيمة Archived\_P=0 وقيمة Archived\_H=0 على أنها شعبية المحتوى المؤرشفة المعتمدة على الازدحام وقيمة إصابة ال Cache المؤرشفة على التوالي.

بعد ذلك يتم التحقق ما إذا كان هذا المحتوى موجود في جدول المحتويات المؤرشفة أم لا. فإذا ما كان موجود يتم أخذ نسخة من معلومات هذا المحتوى ( Archived\_P, Archived\_H) لاستخدامها في حساب شعبية المحتوى المعتمدة على الازدحام الجديدة بدلاً من القيم الابتدائية التي تساوي الصفر. أما إذا كان هذا المحتوى غير موجود في جدول المحتويات المؤرشفة عندها سنقوم بما يلي:

- حساب شعبية المحتوى المعتمدة على الازدحام Con\_P حيث يتم تعريف شعبية المحتوى المعتمدة على الازدحام وفق المعادلة المقترحة كما يلي:

$$Con\_P[i + 1] = \frac{(N[i] * \alpha + P[i]) * 0.5}{(\alpha + 1)} + (0.5 * congestion)$$

تشير  $P[i]$  إلى شعبية المحتوى المخزن مؤقتاً، أما  $N[i]$  فتشير إلى عدد مرات إصابة ال Cache في دورة العدّ الحالية.  $\alpha > 1$  هو معامل الوزن (Weight coefficient) لشعبية المحتوى. يشير معامل الازدحام  $congestion$  الى عدد المرات التي كان فيها  $getCongestionMark()$  أكبر من الصفر لرزمة البيانات الحالية. وعلى اعتبار أن العقدة تستلم المحتوى في حالتين: الأولى إذا قامت بطلبه والثانية إذا قامت عقدة مرتبطة بها بطلبه، فإنه تم أخذ حالة واحدة من خلال ضرب المعاملات بالقيمة 0.5



• جعل قيمة إصابة الـ Cache تساوي واحد.

• تخزين هذا المحتوى في جدول شعبية المحتوى مع معلومات عنه.

الهدف من حساب شعبية المحتوى المعتمدة على الازدحام هو تخزين رزم البيانات التي يوجد في ترويبستها إشارة لوجود ازدحام وذلك عن طريق زيادة شعبيتها ليتم الحفاظ عليها في مخزن المحتوى وعدم استبداله. كلما زاد معيار الازدحام لمحتوى ما، ستقوم سياسة ICCP بزيادة شعبيته لكي يبقى داخل مخزن المحتوى ولا يتم استبداله عندما تمتلئ ذاكرة التخزين المؤقت.

إذا انتهت دورة العد T أو ما يُسمى دورة تحديث الـ Cache ننقل إلى الخطوة التالية أما إذا لم تنته دورة العد نكرر ما سبق لمحتوى جديد. عند انتهاء دورة العد يتم تحديث قيمة شعبية المحتوى المعتمدة على الازدحام لجميع المحتويات الموجودة في جدول شعبية المحتوى ومن ثم يتم ترتيبها وفق قيمة الشعبية. في النهاية تقوم سياسة ICCP بالتحقق ما إذا كان مخزن المحتوى ممتلئ أم لا. فإذا كان مخزن المحتوى غير ممتلئ ولم يتجاوز سعته، عندها يتم تخزين هذا المحتوى مباشرة في مخزن المحتوى. أما إذا كان مخزن المحتوى ممتلئ عندها يتم إخراج المحتوى الأقل شعبية من مخزن المحتوى ومن جدول شعبية المحتوى وتخزين المحتوى الذي وصل مؤخراً بدلاً عنه ومن ثم أرشفة المحتوى الذي تم إخرجه في جدول شعبية المحتويات المؤرشفة.

## 6- دراسات مرجعية

قام (Dodi وآخرون) في [1] بمقارنة عدة استراتيجيات إعادة توجيه في NDN عند وجود هجوم سرقة البادئة في الشبكة. وهو هجوم ضار على الشبكة، يحدث عندما يستخدم جهاز توجيه (مهاجم) بادئة لجهاز توجيه آخر ولا تنتمي معلومات هذه البادئة إلى نظام التوجيه العام. إذ يتسبب في انتقال حركة مرور بيانات الضحية إلى المهاجم. تم تنفيذ عمليات المحاكاة باستخدام ثلاث استراتيجيات لإعادة التوجيه وهي: استراتيجية

أفضل مسار (Best Route)، استراتيجية البث المتعدد (Multicast)، واستراتيجية الوصول (Access). حيث أنه وفقاً لاستراتيجيات إعادة التوجيه، هناك فكرة لإرسال رزم الاهتمام بأسرع وقت ممكن باستخدام آلية تعدد المسارات (multipath mechanism) والتي تستخدمها كل من استراتيجية Access واستراتيجية Multicast أثناء إعادة توجيه رزم الاهتمام. ومع ذلك، فإن هذه الآلية ليست دائماً متناسبة مع قدرة كلتا الاستراتيجيتين على تقليل الرزم المُهملَة (drop packets). أما بالنسبة للمقاييس المستخدمة في تقييم الأداء فهي: معدل تسليم الرزم وعدد الرزم المُهملَة. لقد تم إجراء سيناريوهات المحاكاة على طوبولوجيا شبكة تحتوي 6 عقد واستنتج الباحثون أنّ استراتيجية Access هي ذات الأداء الأفضل من حيث معدل تسليم الرزم يليها Best Route و Multicast بمعدل تسليم رزم مُتمائل تقريباً. كذلك بالنظر إلى الأداء من خلال عدد الرزم المُهملَة، فإن استراتيجية Best Route هي الأقل من حيث عدد كل الرزم المُهملَة.

أجرى (Marion وآخرون) في [2] تقييماً للعديد من استراتيجيات إعادة التوجيه البارزة في NDN أثناء دراسة جودة الخدمة (QoS) بناءً على ثلاثة أنواع مختلفة من تطبيقات المستخدم وهي: تطبيق نقل الصوت عبر بروتوكول الإنترنت (VoIP)، تدفق الفيديو، وبروتوكول HTTP. أما من ناحية استراتيجيات إعادة التوجيه التي تم تقييم أدائها فهي: استراتيجية البث (Broadcast)، استراتيجية NCC، استراتيجية Best Route، استراتيجية إعادة توجيه رزم الاهتمام نحو مسارات متعددة عند الطلب (OMPIF)، واستراتيجية إعادة توجيه العشوائي التكيفي (SAF). وفيما يتعلق بالمقاييس المستخدمة لتقييم الأداء فهي: متوسط نتيجة الجودة (MOS)، معدّل التحميل (Download Rate)، إجمالي حركة المرور على الشبكة (Network Traffic)، ومتوسط كلفة النقل (Cost). لقد تم إجراء عمليات المحاكاة على طوبولوجيا مكونة من 11 عقدة ومقسمة إلى ثلاث مجموعات من النظام المستقل (AS) واستنتج الباحثون أنّ استراتيجية SAF

تقدّم أفضل أداء، بينما استراتيجية Broadcast هي الأسوأ في هذا البحث. كما لاحظ الباحثون أنّ أداء استراتيجية NCC مشابه تقريباً لأداء كل من استراتيجيتي إعادة التوجيه Broadcast و OMPIF وأنّ أداء استراتيجية Best Route أفضل منهم بقليل.

اهتم (Raja وآخرون) في [3] بدراسة وتقييم أداء استراتيجية إعادة التوجيه العشوائي التكيفي (SAF) واستراتيجية أفضل مسار (Best Route) ومقارنة النتائج مع بعضها البعض. لقد تم دراسة تأثير وجود عدد متزايد تدريجياً من منتجي المحتوى مقابل عدد ثابت من منتجي المحتوى. تتمثل المقاييس التي تم تضمينها لتقييم الأداء بما يلي: معدل تلبية رزم الاهتمام (ISR)، معدل إصابة ذاكرة التخزين المؤقت (CHR)، عدد القفزات، التأخير، وعدد عمليات إعادة الإرسال. لقد تم إجراء تجارب المحاكاة على طوبولوجيا مكوّنة من عدد متغير من العقد بحيث يكون عدد العقد على الشكل التالي: 20 أو 40 أو 60 أو 80 أو 100 عقدة، ومقسّمة إلى خمس مجموعات من النظام المستقل (AS). بالتوازي مع ذلك، تم تنفيذ سيناريو محاكاة أول يحتوي على عدد متزايد من المستهلكين مقابل عدد ثابت من منتجي المحتوى. كما وتم تنفيذ سيناريو محاكاة ثاني يحتوي على عدد متزايد من المستهلكين مقابل عدد متزايد من منتجي المحتوى. كذلك تم استخدام سياسة LRU كسياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت. أظهرت نتائج المحاكاة باستخدام محاكي ndnSIM أنّ استراتيجية SAF تتفوق على استراتيجية Best Route من حيث جميع المقاييس المستخدمة باستثناء مقياس عدد القفزات. من ناحية أخرى، استنتج الباحثون أنّ استراتيجية SAF تقوم بتقييم أداء الوصلة (link) وهذا ما جعلها أفضل. أمّا استراتيجية Best Route فإنها مصمّمة للبحث عن أقصر طريق دون تقييم أداء الوصلة.

توجّه (Muhammed وآخرون) في [4] إلى تحليل وتقييم أداء استراتيجيتين لإعادة التوجيه في NDN وهما: استراتيجية أفضل مسار (Best Route) واستراتيجية البث

(Broadcast) أثناء استخدام تابع الكثافة الاحتمالية (PDF) وتابع التوزيع التراكمي (CDF) لتحسين توصيل المحتوى الصوتي في تطبيق NDN. لقد تم اختيار مقياس التأخير كمقياس لتقييم الأداء، وجرت عمليات المحاكاة على طوبولوجيا مكونة من 30 عقدة (25 مستهلك و 5 منتجين) مع مراعاة تغيير سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت بين FIFO و LRU و LFU وتغيير فترات المحاكاة كما يلي: 10 و 20 و 30 و 40 ثانية. لقد كشفت نتائج المحاكاة وتقييم الأداء بمحاكي ndnSIM أن استراتيجية Best Route لها تأخير أعلى وهذا ما يجعل استراتيجية Broadcast أفضل لتطبيقات نقل الصوت بسبب الحد الأدنى الواضح من التأخير الذي تقدّمه استراتيجية Broadcast. لاحظ الباحثون أيضاً أنّ عمليات المحاكاة اللاحقة تتطلب فترات زمنية أطول للحصول على تأخير أفضل.

ركّز (Bambang وآخرون) جهودهم في [5] على دراسة وتقييم أداء استراتيجية إعادة التوجيه لأقرب نسخة المثالية (NRR) مع زمرة واسعة من استراتيجيات إعادة التوجيه الموجودة في NDN، ذلك بالاعتماد على مجموعة من تطبيقات المستخدم وهي: الصوت، الفيديو، وبروتوكول HTTP. إن الاستراتيجيات التي تم مقارنة الأداء معها هي: استراتيجية Broadcast، استراتيجية NCC، استراتيجية Best Route، استراتيجية OMCCRF، استراتيجية OMPIF، واستراتيجية SAF. لقد تم تقييم الأداء وفقاً لعدّة مقاييس هي: متوسط نتيجة الجودة (MOS)، معدل التحميل (download rate)، إجمالي حركة المرور المنقولة (total transmitted traffic)، وكلفة النقل لكل كيلو بايت (cost per kilobyte). لقد تم إجراء عمليات المحاكاة على طوبولوجيا مكونة من 11 عقدة ومقسّمة إلى ثلاث مجموعات من النظام المستقل (AS) واستنتج الباحثون أنّ استراتيجية NRR تقدّم أداءً جيداً من حيث إجمالي حركة المرور المنقولة وكلفة النقل، لكنها ليست جيدة عند نقل الصوت، بينما استراتيجية Broadcast هي

الأسوأ في هذا البحث مشابهةً بذلك استراتيجية NCC. بالإضافة إلى ذلك توصل الباحثون إلى أنّ استراتيجية Best Route وقرت أداءً جيداً من حيث كلفة النقل فقط، وأنّ استراتيجية OMCCRF تقدم أداءً أفضل من الاستراتيجيات الأربعة السابقة، بينما تتفوق عليها استراتيجية OMPIF. وبشكل عام، قدّمت استراتيجية SAF أفضل النتائج من حيث متوسط نتيجة الجودة ومعدل التحميل، خصوصاً عند نقل الصوت.

قدّم العمل [13] سياسة جديدة لاستبدال الـ Cache مشتقة من سياسة CCP واسمها السياسة المحسّنة لاستبدال الـ Cache بالاعتماد على شعبية المحتوى (ICCP)، هذه السياسة المقترحة تعتمد في اتخاذ قرار الاستبدال على معاملين هامّين لم يتم أخذهما سابقاً بعين الاعتبار، وهما: معامل الازدحام ومعامل جدول شعبية المحتويات المؤرشفة. تم تقييم أداء سياسة ICCP مقابل سياسة الأقل استخداماً مؤخراً (LRU)، وسياسة الداخل أولاً يخرج أولاً ذات الأولوية (PRIORITY-FIFO)، وسياسة CCP. وقد تم إعداد 7 سيناريوهات مختلفة بحيث تكون أجهزة التوجيه مجهزة بمخازن المحتوى على المستويات التالية: 100% أو 80% أو 50% أو 40% أو 30% أو 20% أو 5% من إجمالي العقد. أما بالنسبة للمقاييس المستخدمة لتقييم الأداء فهي: CHR، تأخير الاسترداد، عدد القفزات إلى المنبع، حركة المرور على الشبكة، وعدد عمليات إعادة الإرسال. لقد تم إجراء سيناريوهات المحاكاة على طوبولوجيا أولى معروفة باسم شبكة Abilene وهي شبكة مكونة من 11 عقدة، وعلى طوبولوجيا ثانية معروفة باسم شبكة GÉANT وهي شبكة مكونة من 42 عقدة واستنتج الباحثون أنّ سياسة ICCP هي ذات الأداء الأفضل بين السياسات المدروسة.

إن أهم ما يميز هذا البحث عن غيره من الأبحاث هو أنه يقيم أداء سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت ICCP التي تم اقتراحها في العمل [13] وذلك عند تحقيقها مع كل من استراتيجيات إعادة التوجيه المُدمجة في محاكي ndnSIM. وبعبارةٍ أخرى، يركّز هذا

تقييم أداء السياسة المُحسَّنة لاستبدال ذاكرة التخزين المؤقت بالاعتماد على شعبية المحتوى  
(ICCP) عند استراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة في شبكات البيانات المسماة

العمل على اختبار مستوى ملائمة سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت ICCP لمجموعة من استراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة وهي: استراتيجية Best Route، استراتيجية SAF، استراتيجية Multicast، واستراتيجية Access. ببساطة يقدم هذا العمل توصيةً بشأن استراتيجية إعادة التوجيه ذات الأداء الأفضل عند اختيار سياسة ICCP على وجه التحديد كسياسة لاستبدال محتوى ذاكرة التخزين المؤقت.

## 7- محاكي ndnSIM

للقيام بعمليات المحاكاة وتقييم الأداء، يستخدم هذا العمل محاكي ndnSIM والذي يُعتبر أداة مفيدة جداً للمهتمين بإجراء أبحاث عن NDN، على اعتبار أنها تساعدهم في إنشاء طوبولوجيا المحاكاة، تحديد معلمات المحاكاة، محاكاة نموذج بروتوكول طبقة الاتصال، محاكاة الاتصال بين عُقد NDN المختلفة، وتسجيل أحداث المحاكاة. لقد تمّ تطوير هذا المحاكي مفتوح المصدر بالاعتماد على محاكي الشبكات NS-3 من أجل تحقيق مكُونات NDN على شكل وحدات (Modular Way) باستخدام مجموعة صفوف مكتوبة بلغة ++C لنمذجة سلوك كل مُكوّن من مكُونات معمارية NDN مثل: المُنتج، المُستهلك، PIT، FIB، CS، وما إلى ذلك [14].

## 8- إعداد بيئة المحاكاة

تم تنصيب محاكي ndnSIM 2.8 الذي يعتمد على محاكي الشبكات NS-3 وقد تم تشغيله على نظام التشغيل Ubuntu desktop release 22.04 LTS. تجري عمليات المحاكاة وتقييم الأداء على طوبولوجيا أولى معروفة باسم شبكة أبيلين (Abilene Network)\* وهي شبكة مكونة من 11 جهاز توجيه كما في الشكل (3) حيث يتم تنصيب المُستهلكين على 10 عقد بينما يتم اختيار أحد العقد لتنصيب المُنتج عليها.

\*شبكة يتم استخدامها لأغراض البحث والمحاكاة تكون مكونة من 11 عقدة و 14 وصلة فيما بينها.



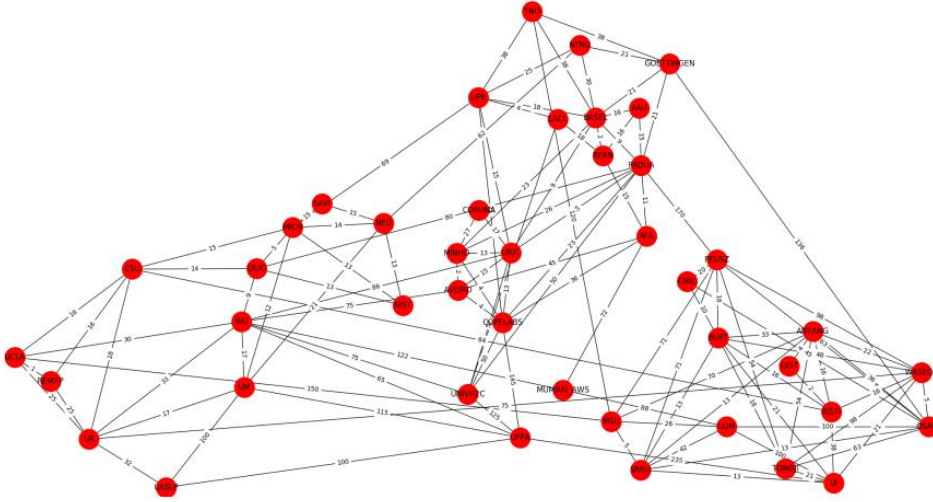
الشكل (3): طوبولوجيا شبكة أبلين. [6]

كما تجري أيضاً عمليات المحاكاة على طوبولوجيا ثنائية معروفة بشبكة جيانت (GÉANT Network)\*\* وهي شبكة مكونة من 42 جهاز توجيه كما في الشكل (4) حيث يتم تنصيب المُستهلكين على 41 عقدة بينما يتم اختيار أحد العُقد لتنصيب المُنتج عليها.

بالإضافة إلى ذلك، يتم إجراء تجارب المحاكاة وفق معلّّمات المحاكاة الواردة في الجدول (1).

\*\*شبكة يتم استخدامها لأغراض التعليم والبحث تكون مكونة من 42 عقدة و 112 وصلة فيما بينها.

تقييم أداء السياسة المُحسَّنة لاستبدال ذاكرة التخزين المؤقت بالاعتماد على شعبية المحتوى  
(ICCP) عند استراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة في شبكات البيانات المسماة



الشكل (4): طوبولوجيا شبكة جيانث. [6]

الجدول (1): معلّات المحاكاة التي تم وفقها تقييم الأداء.

القيمة	مُعَلَّم المحاكاة
100 رزمة/ثانية	رزم الاهتمام
5%, 20%, 30%, 40%, 50%, 80%, 100%	مستوى الـ cache
1000 محتوى	حجم CS
1000 نوع	أنواع المحتوى
نموذج (Zipf–Mandelbrot) *	نموذج طلب المحتوى
$\alpha = 1.1$	عامل النمذجة
Best Route, SAF, Multicast, Access	استراتيجيات إعادة التوجيه المدروسة
LCD	سياسة التخزين المؤقت
ICCP	سياسة استبدال الـ cache
240 ثانية	مدّة المحاكاة

\* هو توزيع احتمالي منفصل في نظرية الاحتمالات والإحصاء [15]



## 9- مقاييس تقييم الأداء

استخدام هذا البحث ستة مقاييس لمقارنة وتقييم أداء سياسة ICCP عند استراتيجيات إعادة التوجيه الموجودة ضمن بيئة محاكي ndnSIM، وقد تم بالفعل أخذها بعين الاعتبار أثناء مناقشة نتائج المحاكاة. يجري التعرّف على هذه المقاييس كما يلي [3]، [6]:

- **معدل تلبية رزم الاهتمام (ISR):** هو مقياس يشير إلى النسبة بين رزم الاهتمام التي تم تليبيتها وإجمالي رزم الاهتمام المرسله من قبل جميع المستهلكين. من المهم ملاحظة أنّ ارتفاع معدل تلبية رزم الاهتمام يعني إنتاجية أعلى.
- **معدل إصابة الـ Cache (CHR):** هو مقياس لفعالية أداء التخزين المؤقت عند تلبية طلبات المحتوى بدلاً من الاضطرار إلى تليبيتها من مكان تخزينها الأصلي. ويمكن تعريفه على أنه النسبة بين طلبات المحتوى التي نجحت تليبيتها بواسطة الـ Cache والعدد الكلي لطلبات المحتوى المرسله.
- **حركة المرور على الشبكة (Network Traffic):** مقياس يعبر عن كمية رزم الاهتمام ورزم البيانات (الداخلة إلى العُقد والخارجة منها) التي تتحرك عبر الشبكة.
- **عدد القفزات إلى المنبع (Number of Upstream Hops):** هو مقياس يشير إلى عدد القفزات المطلوبة للوصول للمحتوى المخزن مؤقتاً في الـ Cache.
- **التأخير (Delay):** مقياس يعبر عن التأخير بين وقت إصدار الطلب ووقت استلام المحتوى المقابل (بما في ذلك وقت إعادة الإرسال)، أي أنه التأخير الكامل في تسليم البيانات.

▪ عدد عمليات إعادة إرسال رزم الاهتمام (Interest Retransmissions):

مقياس يعبر عن عدد عمليات إعادة إرسال رزم الاهتمام في حال إخفاق الوصول إلى الـ Cache (Cache Miss).

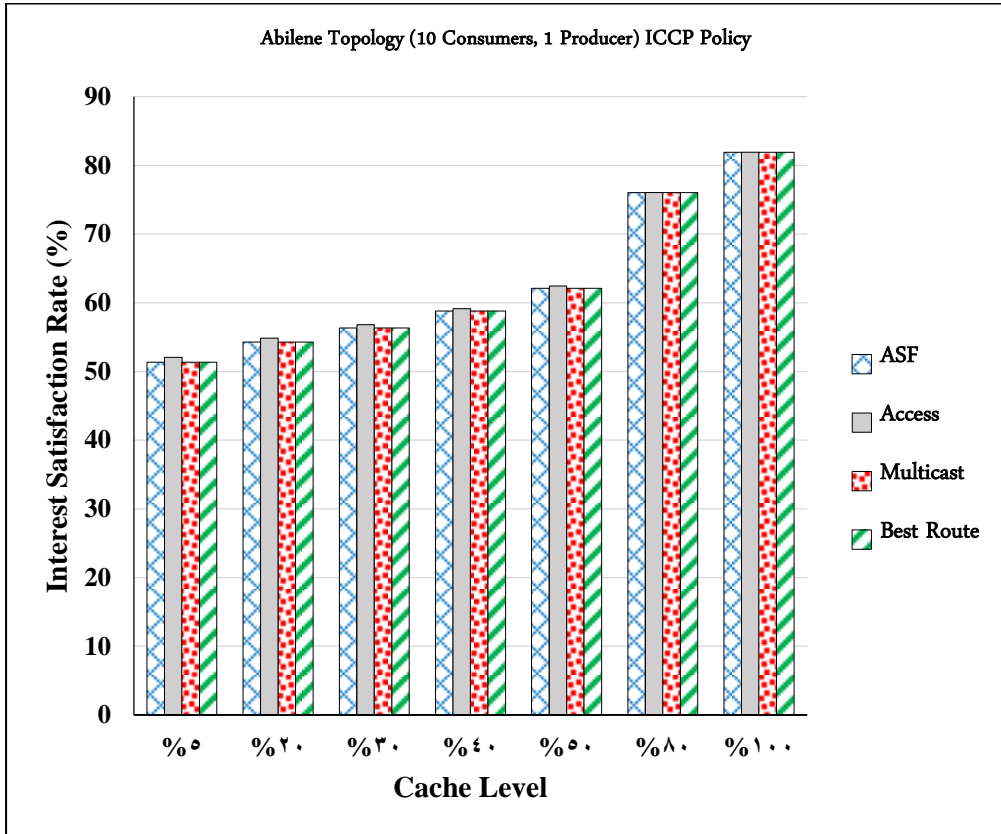
## 10- النتائج والمناقشة

يتضمن هذا الجزء من البحث النتائج العملية لجميع أعمال المحاكاة جنباً إلى جنب مع المخططات البيانية الموضحة لنتائج تقييم الأداء. مع التأكيد على أنّ مناقشة النتائج سيجري عرضها وفق المقاييس المشار إليها في [3]، [6]

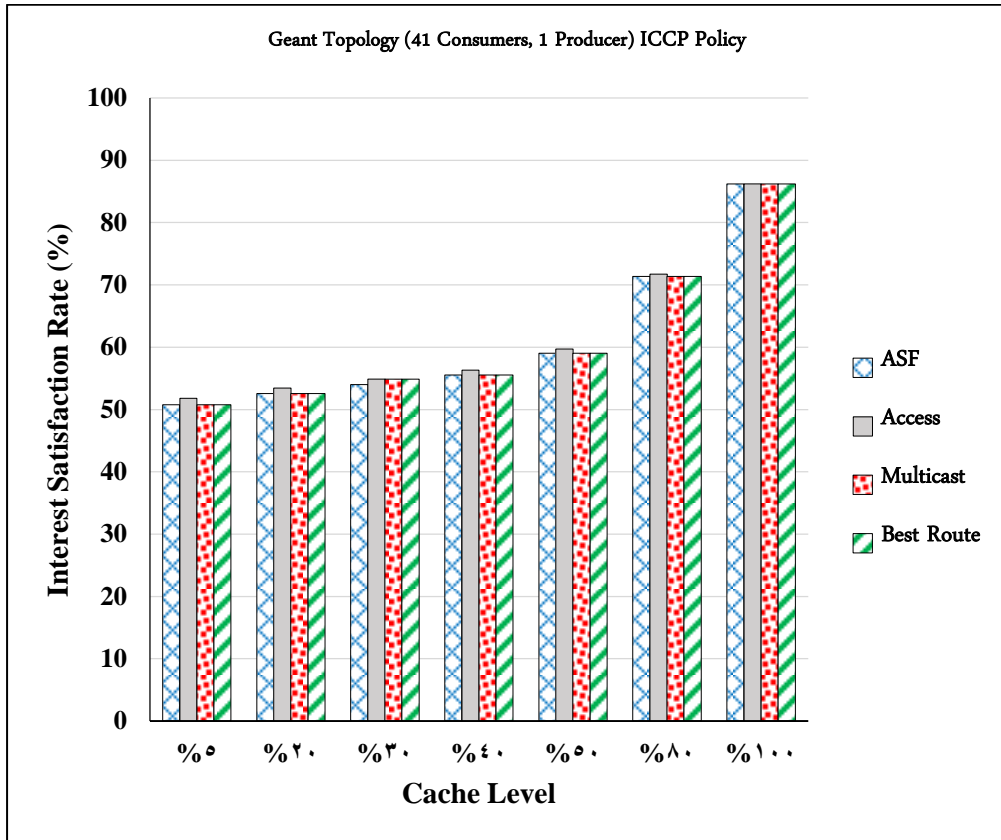
### 10-1 معدل تلبية رزم الاهتمام (ISR):

كشفت نتائج المحاكاة كما في الشكل (5) والشكل (6) أنّ سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت ICCP تُقدّم أفضل أداء لها عند تحقيقها مع استراتيجيات إعادة التوجيه Access. بعبارةٍ أخرى، تتفوق استراتيجية Access على استراتيجيات إعادة التوجيه الأخرى من حيث مقياس ISR عندما يكون عدد العقد المزودة بمخزن المحتوى أصغر أو يساوي 50% من العدد الكلي للعقد في طوبولوجيا Abilene وأصغر أو يساوي 80% من العدد الكلي للعقد في طوبولوجيا Geant.

كما وتقدّم استراتيجية Access أداءً مماثلاً لأداء استراتيجيات إعادة التوجيه الأخرى عندما يكون عدد العقد المزودة بمخزن المحتوى أكبر من 50% من العدد الكلي للعقد في طوبولوجيا Abilene وأكبر من 80% من العدد الكلي للعقد في طوبولوجيا Geant.



الشكل (5): ISR مقابل نسب مختلفة من مخزن المحتوى في طوبولوجيا Abilene



الشكل (6): ISR مقابل نسب مختلفة من مخزن المحتوى في طوبولوجيا Geant

يفسر سبب هذه النتيجة إلى أن استراتيجية Best Route تحتاج إلى وقت حتى تتعلم الطريق الأقصر، واستراتيجية SAF تحتاج إلى وقت حتى تقوم بتقييم أداء الوصلة وتنفيذ إمكانية الوعي بالسياق. كذلك بالنسبة لاستراتيجية Multicast فإنها ترسل رزم الاهتمام إلى جميع المسارات في FIB بشكل مستمر حتى لو كانت إحدى الواجهات لا تملك طريقاً إلى المنتج. على النحو الآخر فإن استراتيجية Access ترسل رزم الاهتمام وفق آلية الإرسال المتعدد لمرة واحدة فقط، ثم تحدد أفضل مسار لنقل البيانات وهذا ما يجعلها الأفضل.

بالإضافة إلى ذلك، فإن مقياس ISR يكون أعلى في طوبولوجيا Geant لأن عدد رزم الاهتمام المرسل مع عدد رزم الاهتمام التي تمت تلبيتها يكون أكبر في طوبولوجيا Geant منه في طوبولوجيا Abilene.

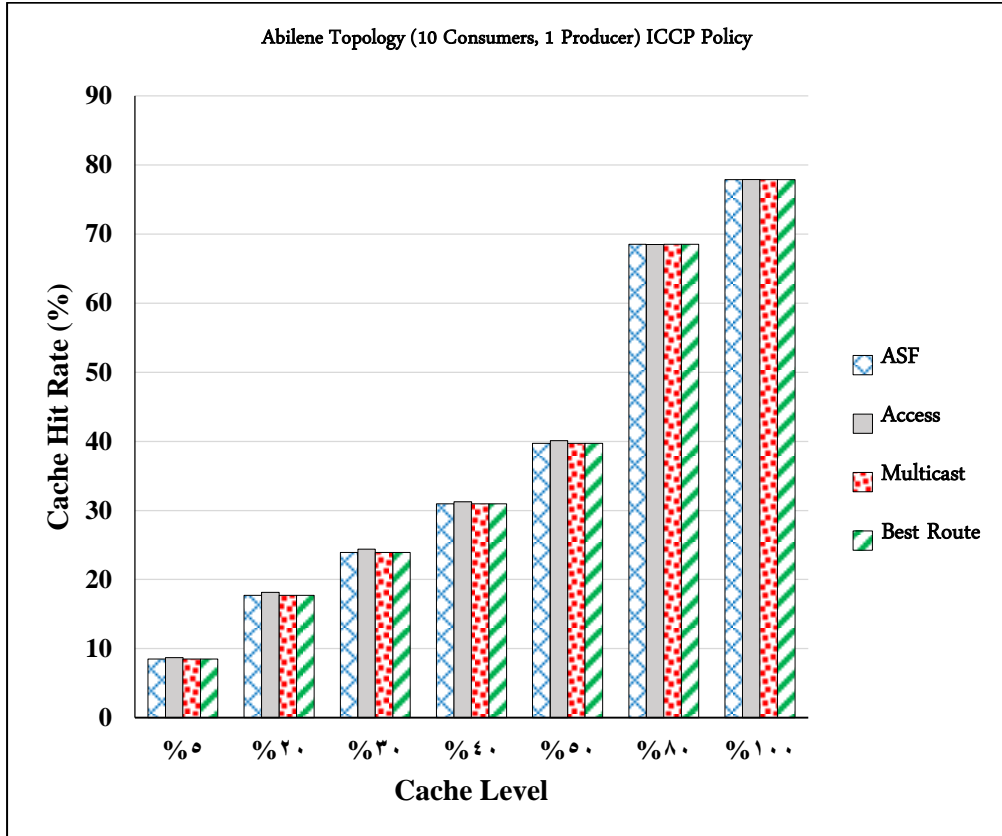
## 10-2 معدل إصابة الـ (CHR) Cache

أظهرت نتائج المحاكاة كما في الشكل (7) والشكل (8) أن سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت ICCP تُقدم أفضل أداء عند تحقيقها مع استراتيجية إعادة التوجيه Access. بعبارة أخرى، تتفوق استراتيجية Access على استراتيجيات إعادة التوجيه الأخرى بمقياس CHR عندما يكون عدد العقد المزودة بمخزن المحتوى أصغر أو يساوي 50% من العدد الكلي للعقد في طوبولوجيا Abilene وأصغر أو يساوي 80% من العدد الكلي للعقد في طوبولوجيا Geant.

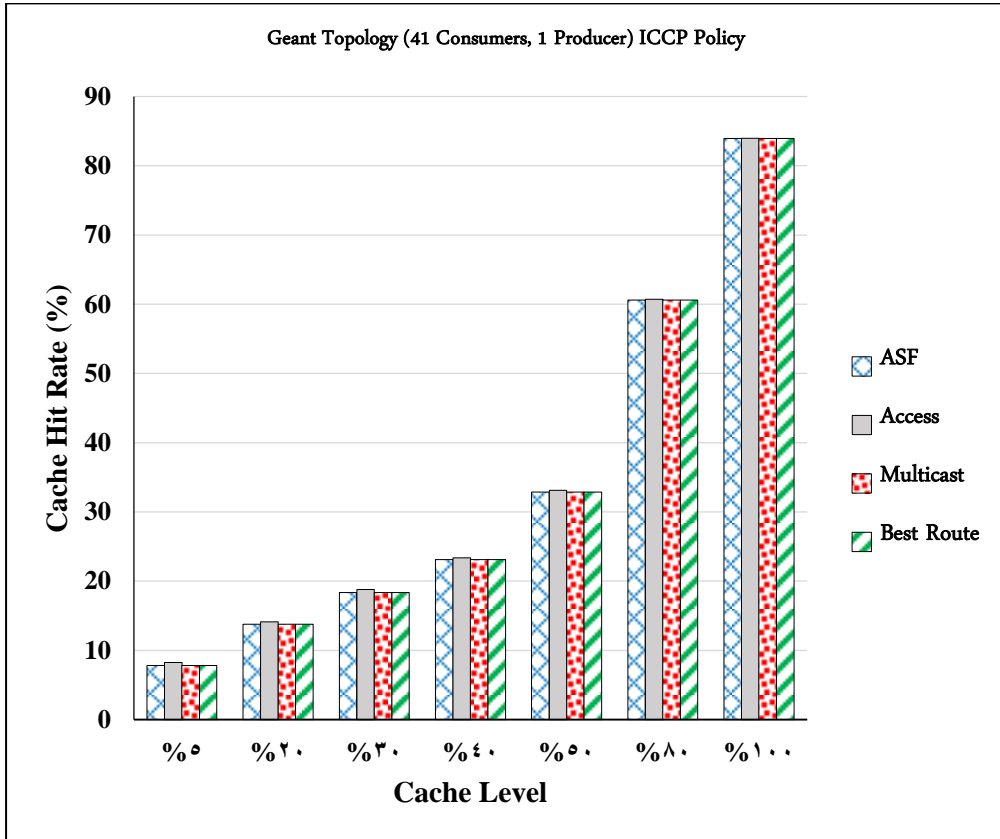
كما وتقدم استراتيجية Access أداء مماثلاً لأداء استراتيجيات إعادة التوجيه الأخرى عندما يكون عدد العقد المزودة بمخزن المحتوى أكبر من 50% من العدد الكلي للعقد في طوبولوجيا Abilene وأكبر من 80% من العدد الكلي للعقد في طوبولوجيا Geant. يمكن تفسير هذه النتيجة بأن استراتيجية Best Route تحتاج إلى وقت حتى تتعلم الطريق الأقصر، كذلك استراتيجية SAF تحتاج إلى وقت حتى تقوم بتقييم أداء الوصلة وتنفيذ إمكانية الوعي بالسياق. كذلك بالنسبة لاستراتيجية Multicast فإنها ترسل رزم الاهتمام إلى جميع المسارات في FIB بشكل مستمر حتى لو كانت إحدى الواجهات لا تملك طريقاً إلى المنتج. على النحو الآخر فإن استراتيجية Access ترسل رزم الاهتمام وفق آلية الإرسال المتعدد لمرة واحدة فقط، ثم تحدد أفضل مسار لنقل البيانات وهذا ما يجعلها الأفضل.

تقييم أداء السياسة المُحسَّنة لاستبدال ذاكرة التخزين المؤقت بالاعتماد على شعبية المحتوى  
(ICCP) عند استراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة في شبكات البيانات المسماة

ويمكن ملاحظة أن CHR يزداد مع زيادة عدد مخازن المحتوى في الشبكة. وسبب هذا السلوك هو أنه مع وجود المزيد من مخازن المحتوى في الشبكة يكون هناك احتمال أكبر للعثور على المحتوى المطلوب على طول المسار قبل الوصول إلى مُنتج المحتوى.



الشكل (7): CHR مقابل نسب مختلفة من مخزن المحتوى في طوبولوجيا Abilene

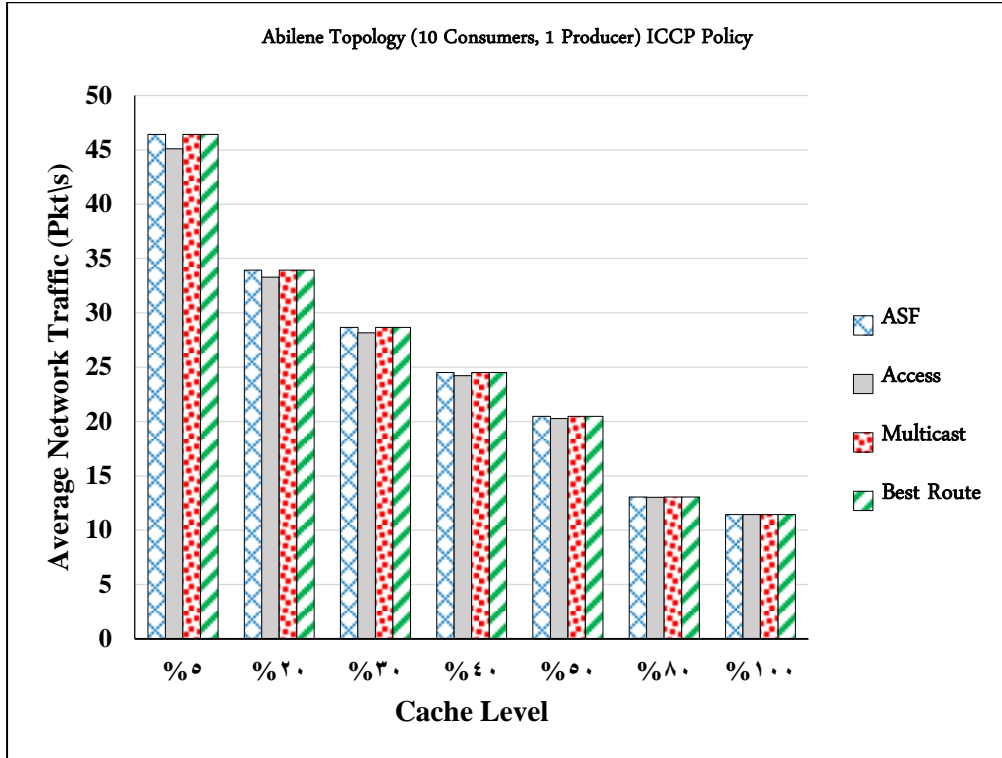


الشكل (8): CHR مقابل نسب مختلفة من مخزن المحتوى في طوبولوجيا Geant

بالإضافة إلى ذلك، فإن مقياس CHR يكون أعلى في طوبولوجيا Geant لأن عدد مخازن المحتوى في طوبولوجيا Geant أكبر منه في طوبولوجيا Abilene. الجدير بالذكر أنه عندما يكون عدد مخازن المحتوى قليل فإنه يتم ملء المخزن المتاح بسرعة، وبالتالي يحدث استبدال ذاكرة التخزين المؤقت بشكل متكرر. لذلك إن حجم مخزن المحتوى يلعب دوراً حيوياً في حجم النتائج المحققة.

### 10-3 حركة المرور على الشبكة

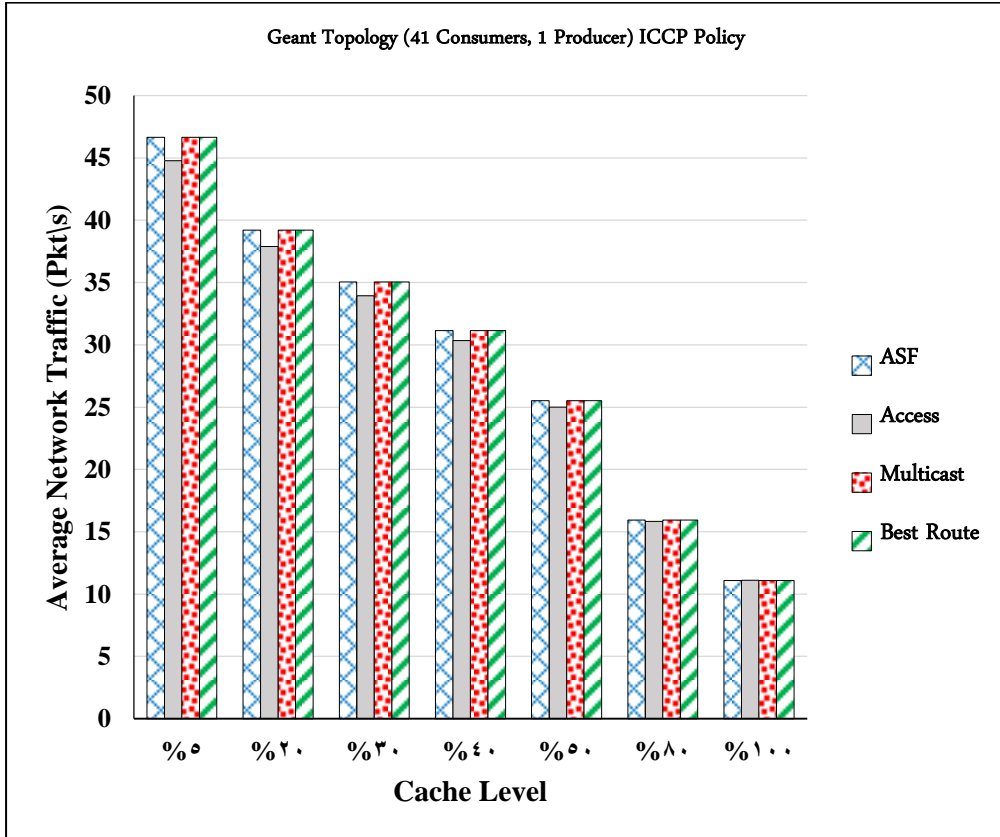
يبدو واضحاً من الشكل (9) والشكل (10) أنّ سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت Access تقدم أداءً أفضل إلى حد ما عند تحقيقها مع استراتيجية إعادة التوجيه Access من حيث متوسط حركة المرور على الشبكة. بمعنى آخر، تتفوق استراتيجية Access على استراتيجيات إعادة التوجيه الأخرى عندما يكون عدد العقد المزودة بمخزن المحتوى أصغر أو يساوي 50% من العدد الكلي للعقد في طوبولوجيا Abilene وأصغر أو يساوي 80% من العدد الكلي للعقد في طوبولوجيا Geant. كما وتقدم استراتيجية Access أداءً مماثلاً لأداء استراتيجيات إعادة التوجيه الأخرى عندما يكون عدد العقد المزودة بمخزن المحتوى أكبر من 50% من العدد الكلي للعقد في طوبولوجيا Abilene وأكبر من 80% من العدد الكلي للعقد في طوبولوجيا Geant.



الشكل (9): متوسط حركة المرور على الشبكة مقابل نسب مختلفة من الـ Cache في طوبولوجيا

Abilene





الشكل (10): متوسط حركة المرور على الشبكة مقابل نسب مختلفة من الـ Cache في طوبولوجيا Geant

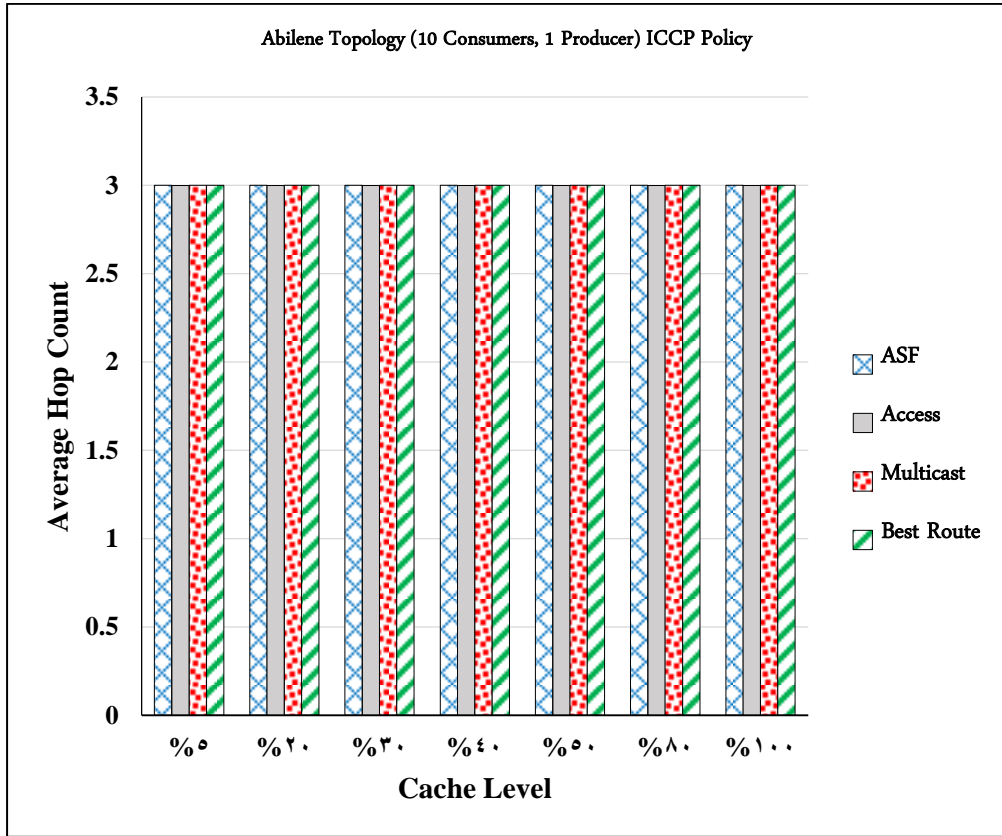
بالإضافة إلى ذلك، فإن متوسط حركة المرور يكون أكبر في طوبولوجيا Geant لأن عدد رزم الاهتمام/البيانات المرسله الداخلة إلى العقدة والخارجة منها يكون أكبر في طوبولوجيا Geant منه في طوبولوجيا Abilene.

#### 10-4 عدد القفزات إلى المنبع

أوضحت نتائج المحاكاة أنّ سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت ICCP تقدّم قيماً متساويةً لمتوسط عدد القفزات عند تحقيقها مع كل من استراتيجيات إعادة التوجيه

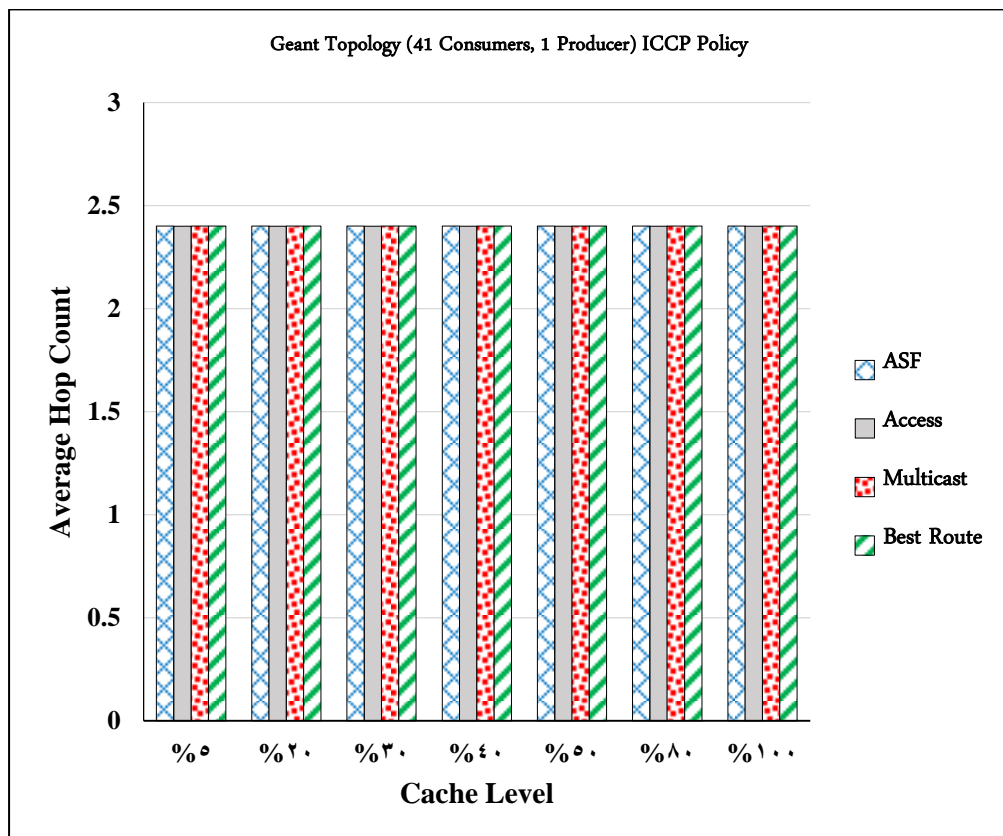
تقييم أداء السياسة المُحسَّنة لاستبدال ذاكرة التخزين المؤقت بالاعتماد على شعبية المحتوى  
 عند استراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة في شبكات البيانات المسماة (ICCP)

المدرسة، كما يُمكن من الشكل (11) والشكل (12) ملاحظة أنّ متوسط عدد القفزات يكون أقل في طوبولوجيا Geant. وسبب هذا السلوك هو أن عدد مخازن المحتوى في طوبولوجيا Geant أكثر من عدد مخازن المحتوى في طوبولوجيا Abilene، وبالتالي يكون احتمال العثور على المحتوى المطلوب في عقدة قريبة من طالب المحتوى (المستهلك) أعلى، ويتم تجنب الطرق الطويلة أي يتم تجنب عدد كبير من القفزات.



الشكل (11): متوسط عدد القفزات مقابل نسب مختلفة من الـ Cache في طوبولوجيا

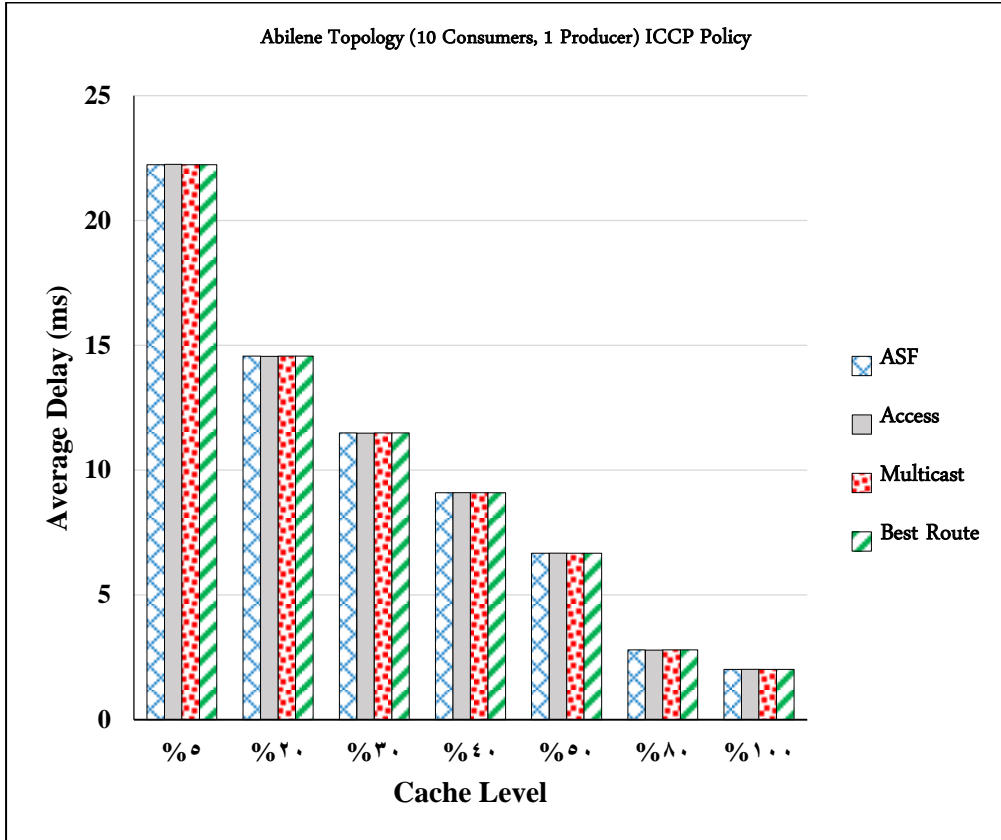
Abilene



الشكل (12): متوسط عدد القفزات مقابل نسب مختلفة من الـ Cache في طوبولوجيا Geant

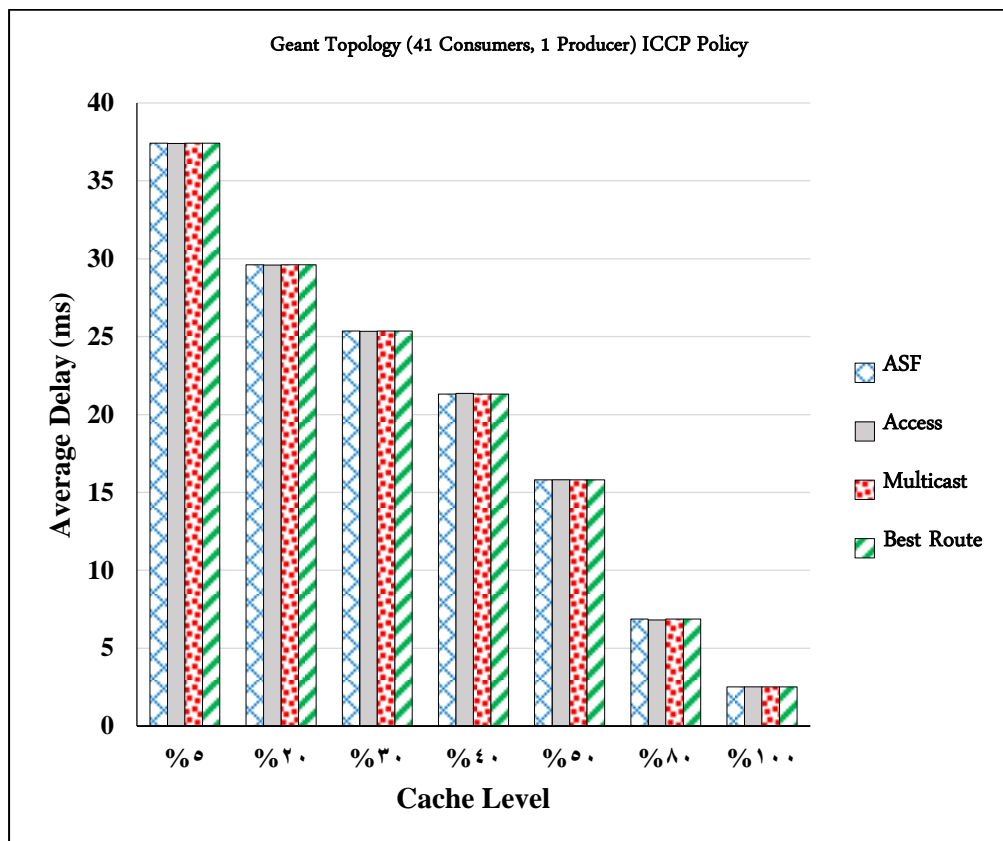
### 10-5 التأخير

لقد تبين كما في الشكل (13) والشكل (14) أنّ سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت ICCP تقدّم نفس الأداء عند تحقيقها مع كل من استراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة. كما يبدو واضحاً أنه مع عدد أكبر من مخازن المحتوى يكون لدينا تأخير أكبر لأنه في هذه الحالة يتم توجيه عدد أكبر من رزم الاهتمام إلى عقدة بعيدة مما يتطلب مزيد من القفزات، أي أنّ زمن الاستجابة سيكون أطول، لأن رزمة الاهتمام يتم إرسالها عبر مزيد من العقد كي تسترد المحتوى.



الشكل (13): متوسط التأخير مقابل نسب مختلفة من ال Cache في طوبولوجيا

Abilene



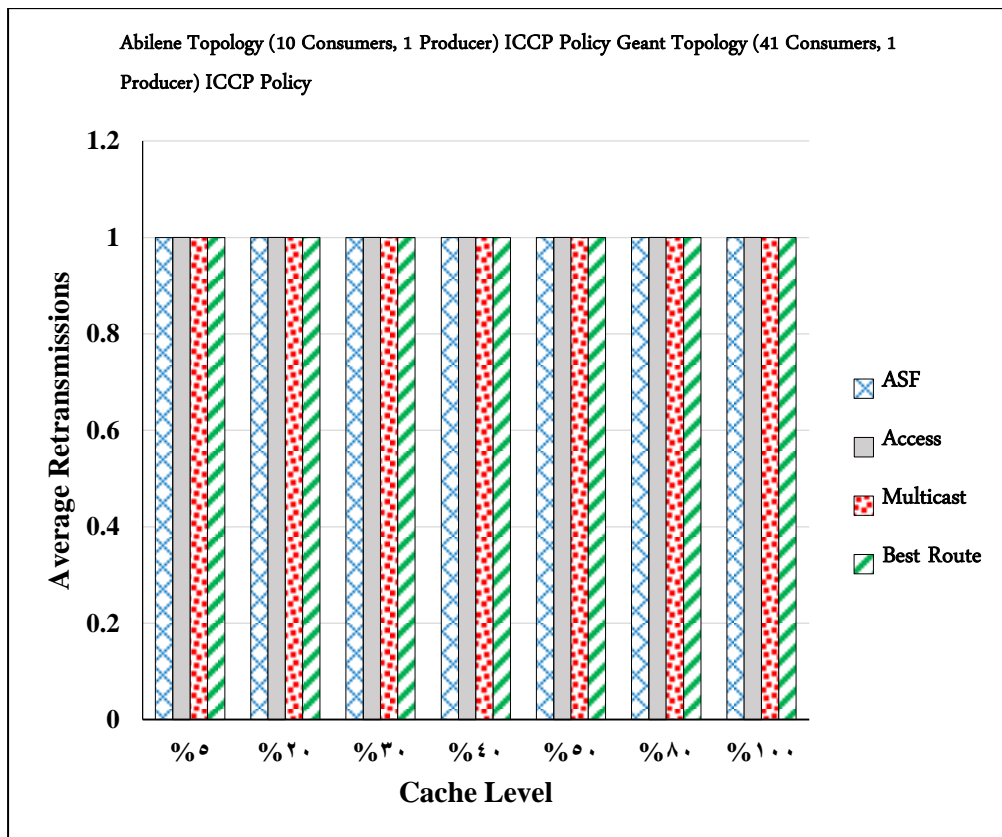
الشكل (14): متوسط التأخير مقابل نسب مختلفة من ال Cache في طوبولوجيا

Geant

وبالعودة إلى متوسط عدد القفزات الذي ناقشناه سابقاً فمن المعقول أن نجد متوسط التأخير الذي تقدمه استراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة متساوي فيما بينها، على اعتبار أن متوسط عدد القفزات كان متساوياً أي كلفة الوصول إلى المحتوى التي توفرها الاستراتيجيات الأربعة هي ذاتها.

### 10-6 عدد عمليات إعادة إرسال رزم الاهتمام

أظهرت نتائج المحاكاة أنّ سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت ICCP تقدّم نفس الأداء عند تحقيقها مع كل من استراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة. ويمكن ملاحظة أنّ متوسط عدد عمليات إعادة الإرسال يقدّم قيمةً متساويةً في كل من طوبولوجيا Abilene وطوبولوجيا Geant كما في الشكل (15)، حيث أنّه عند حدوث إسقاط للرزم فإن معدل إعادة إرسال رزم الاهتمام يعتبر منخفض ولم يؤثر على مقياس التأخير.



الشكل (15): متوسط عدد عمليات إعادة الإرسال مقابل نسب مختلفة من الـ Cache

في طوبولوجيا Abilene وطوبولوجيا Geant

## 11- الخلاصة

توجهت مساعي هذا البحث إلى دراسة وتقييم أداء سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت ICCP مع مجموعة من استراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة وهي: استراتيجية Best Route، استراتيجية Multicast، استراتيجية Access، واستراتيجية SAF ذلك عند إجراء سيناريوهات محاكاة متعددة. لقد كشفت نتائج المحاكاة وتقييم الأداء بمحاكي ndnSIM أن سياسة ICCP تقدم أفضل أداء لها عند اختيار استراتيجية Access كاستراتيجية لإعادة توجيه رزم الاهتمام. هذا يعني بإيجاز أنّ استراتيجية Access تتفوق على استراتيجيات إعادة التوجيه الأخرى من حيث: CHR، ISR، وحركة المرور على الشبكة من ناحية، وأنها تقدّم نفس الأداء من حيث عدد عمليات إعادة الإرسال، التأخير، وعدد القفزات من ناحية أخرى.

## 12- التوصيات والأعمال المستقبلية

من المستحسن تحقيق سياسة ICCP جنباً إلى جنب مع استراتيجية إعادة التوجيه Access، وذلك وفق نتائج المحاكاة التي أظهرت أن سياسة ICCP كثيراً ما تقدم أفضل أداء لها عند اختيار استراتيجية Access كاستراتيجية لإعادة توجيه رزم الاهتمام. من ناحية أخرى، يوصي هذا العمل باستخدام مقاييس متعدّدة عند تقييم الأداء بما لا يقل عن أربعة مقاييس. القصد من وراء ذلك هو إبراز التباين بين استراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة.

من المثير للاهتمام تقييم أداء سياسة ICCP مقابل استراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة وذلك ضمن تطبيقات شبكة حقيقية مبنية بمعماريّة NDN. من الممكن أيضاً توسيع العمل الحالي باستخدام استراتيجيات إعادة توجيه جديدة أخرى غير المضمنة داخل المحاكي ndnSim.

13- جدول المختصرات

AS	Autonomous System
CCP	Cache replacement policy based-on Content Popularity
CDF	Cumulative Distribution Function
CHR	Cache Hit Rate
CS	Content Store
FIB	Forwarding Information Base
FIFO	First In First Out
ICCP	Improved Cache replacement policy based-on Content Popularity
ICN	Information Centric Networking
ISR	Interest Satisfaction Rate
LCD	Leave a Copy Down
LCE	Leave a Copy Everywhere
LFU	Least Frequently Used
LRU	Least Recently Used
MOS	Mean Opinion Score
NDN	Named Data Networking
NRR	Nearest Replica Routing
OMCCRF	Optimal Multipath Congestion Control and Request Forwarding
OMPIF	On-demand Multi-Path Interest Forwarding
PDF	Probability Density Function
PIT	Pending Interest Table
SAF	Stochastic Adaptive Forwarding



#### 14- المراجع

- [1] Dodi W. Sudiharto, Anton Herutomo, Yunita N. Rohmah, "The Comparison of Forwarding Strategies between Best Route, Multicast, and Access on Named Data Networking (NDN). Case Study: A Node Compromised by the Prefix Hijack", Journal of Communications Vol. 12, No. 7, 2017.
- [2] Marion Renaldo Rotinsulu, Bambang Susilo, Alfian Presekal, et al, "Measuring Quality of Services (QoS) of Several Forwarding Strategies on Named Data Networking(NDN) using ndnSIM", IEEE International Conference on Cybernetics and Computational Intelligence, 2017.
- [3] Raja Azlina Raja Mahmood, Nor Faizah Jemangin, Masnida Hussin, "Performance Evaluation of an Adaptive Forwarding Strategy in Named Data Networking", International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering Volume 8, No.1.4, 2019.
- [4] Muhammed Zaharadeen Ahmed, Aisha Hassan Abdalla Hashim, Afaf Mirghani Hassan, Othman O. Khalifa, Abdulkadir H. Alkali, Abubakar Modibbo Ahmed, "Performance Evaluation of Best Route and Broadcast Strategy for NDN Producer's Mobility", International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) Volume 9, 2019.
- [5] Bambang Susilo, Marion Renaldo Rotinsulu, Riri Fitri Sari, "Performance Evaluation of ideal Nearest Replica Routing (NRR) against several Forwarding Strategies on Named Data Networking(NDN)", IEEE Region Ten Symposium (Tensymp), 2018.
- [6] Elidio Tomás da Silva, Joaquim Henriques Macedo, António Duarte Costa, "NDN Content Store and Caching Policies: Performance Evaluation", Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 2022.

- [7] Zhang, Lixia, Afanasyev, Alexander, Jacobson, Van, Burke, Jeffrey, et al, "Named data networking", ACM SIGCOMM Computer Communication Review Volume 44 Issue 3, 2014.
- [8] Lan Wang, Vince Lehman, Lixia Zhang, et al, "A Secure Link State Routing Protocol for NDN", Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2018.
- [9] Elidio Tomás da Silva, António Duarte Costa, Joaquim Henriques Macedo, "On the realization of VANET using named data networking: On improvement of VANET using NDN-based routing, caching, and security", International Journal of Communication Systems 35(18), 2022.
- [10] Alex Afanasyev, Jeff Burke, Tamer Refaei, Lan Wang, Beichuan Zhang, Lixia Zhang, "A Brief Introduction to Named Data Networking", Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2019.
- [11] Hila Ben Abraham; Patrick Crowley, "Forwarding strategies for applications in Named Data Networking", Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2017.
- [12] Sadaq Taher, Osman Ghazali, Suhaidi Hassan, "A Review on Cache Replacement Strategies in Named Data Network", Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 2022.
- [13] سياسة محسنة لاستبدال ذاكرة التخزين المؤقت في "يمان غازي، عاصم الحمصيه، مجلة جامعة البعث المجلد 46 ، 2024. "شبكات البيانات المسماة ،
- [14] Spyridon Mastorakis, Alexander Afanasyev, Lixia Zhang, "NDN Technical Report, ndnSIM 2: An updated NDN simulator for NS-3". [Online] Available: <https://named-data.net/wp-content/uploads/2016/11/ndn-0028-2-ndnsim-v2.pdf> [Accessed: 07-Feb-2024].
- [15] Madhurima Buragohain, Sukumar Nandi, "LPECN: Leveraging PIT placement and Explicit marking for Congestion control in NDN", 8th ACM Conference on Information-Centric Networking, 2021.

## تحسين أداء النظام الحراري لقناة مربعة الشكل عن طريق اضافة أضلاع داخلية مربعة ومثلثية الشكل

الباحثة. م. رنوة ضاهر \*

### ملخص

تم في هذا البحث انشاء نموذج تجريبي لدراسة تأثير اضافة اضلاع داخلية مربعة ومثلثية الشكل داخل مجرى على انتقال الحرارة في حالة الجريان المضطرب، وتمت المقارنة بين درجة حرارة الهواء داخل المجرى قبل وبعد اضافة الاضلاع.

تبين من خلال التجارب تحسن في انتقال الحرارة للمجرى عند إضافة الاضلاع مقارنة بالمجرى الفارغ، الاضلاع المربعة تعطي أفضل تحسين لانتقال الحرارة بنسبة زيادة % 11 مقارنة مع المجرى الفارغ، اما المجرى المزود بأضلاع مثلثية الشكل تراوحت نسبة التحسين بحدود % 3.

ومن اجل التحقق من البيانات التجريبية تم اجراء المحاكاة العددية للنموذج المستخدم حيث تمت مقارنة النتائج مع البيانات التجريبية، حيث تبين ان هناك توافق جيد بين البيانات التجريبية والنتائج العددية، لا تتجاوز التناقضات في قيم درجات الحرارة %12.

كلمات مفتاحية: انتقال الحرارة ، الجريان الداخلي ، رقم رينولدز .

\* عضو هيئة فنية في جامعة تشرين، قسم هندسة القوى الميكانيكية كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية جامعة تشرين، اللاذقية،

## **Improving the performance of the thermal system of a square channel by adding square and triangular internal ribs**

**\*Eng: Ranwa Daher**

### **Abstract**

In this research, an experimental model was created to study the effect of adding square and triangular internal ribs inside a duct on heat transfer in the case of turbulent flow, and a comparison was made between the air temperature inside the duct before and after adding the ribs.

Experiments showed an improvement in heat transfer to the duct when ribs were added compared to the empty duct. Square ribs give the best improvement in heat transfer with an increase of 11% compared to the empty duct. As for the duct equipped with triangular-shaped ribs, the improvement rate ranged around 3%.

In order to verify the experimental data, numerical simulations of the model used were conducted, and the results were compared with the experimental data. It was found that there is good agreement between the experimental data and the numerical results, and the discrepancies in the temperature values do not exceed 12%.

---

\*Technician member in Tishreen University, Department of Power Mechanical, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. E-Mail: ranwa.daher@tishreen.edu.sy

## المقدمة:

تحسين انتقال الحرارة هو اي طريقة تهدف الى زيادة اداء النظام الحراري او ارتفاع معامل انتقال الحرارة باستخدام تقنيات مختلفة، كثيرا ماتستخدم الزعانف او الاضلاع او الصفائح في داخل قناة لزيادة معدل انتقال الحرارة بالحمل مما يحسن من فعالية المبادل الحراري[4] [3] [2] [1].

لتحسين معدل انتقال الحرارة بالحمل من أي جسم هناك طرق مختلفة منها زيادة مساحة سطح التلامس مع المائع، يمكن زيادة سطح التلامس مع المائع بإضافة سطوح ممتدة إلى السطح الساخن مكونة ما يدعى بالجدران الحرارية ، تؤدي الاضلاع التي تركيب في القناة الى زيادة شدة الاضطراب في مستويات التبريد او التسخين مقارنة مع القناة ذات الجدران المستوية، والسبب الرئيسي لتحسن انتقال الحرارة لهذه القنوات المزودة بأضلاع يعود الى انقطاع الطبقة الحدية الحرارية والهيدروليكية حيث يصطدم التدفق بالأضلاع وينتشر على جدران القناة مما يحسن من انتقال الحرارة[6] [5].

## أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث الى تحسين انتقال الحرارة في المبادلات الحرارية وذلك عن طرق تركيب اضلاع داخل القنوات الداخلية للمبادل الحراري، حيث تم انشاء نموذج تجريبي وتم اجراء الاختبارات عليه.

تستخدم الاضلاع لتحسين انتقال الحرارة للمائع (الذي ينقل الطاقة ) واسطح انتقال الحرارة، حيث تعمل هذه الاضلاع كعائق للتدفق مما يولد اضطرابات ويحسن انتقال الحرارة .

طريقة البحث ومواده:

## 1. الدراسات المرجعية:

تظهر العديد من الأبحاث ان هناك بارامترات هندسية محددة يمكن ان تؤثر بمعامل انتقال الحرارة ومنها : اتجاه الاضلاع والنسبة بين خطوة الاضلاع الى ارتفاعها [8] [7] .

توصل الباحث ( Yovanovichet ) إلى علاقة لحساب معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر من سطح مزعنف بشكل شاقولي وكذلك من أسطوانة مزعنفة بزعانف حلقيه الشكل، آخذاً بنظر الاعتبار منطقة الجريان الغير تام التشكيل و منطقة الطبقة المتاخمة للمناطق الخارجية من السطح المزعنف [7] [8] .

استخدم الباحث ( Culham ) نموذج (META) كأداة لمحاكاة عرض انتقال الحرارة بالحمل الحر من سطوح مزعنفة بصورة شاقولية لغرض تحليل السلوك الحراري للدوائر الالكترونية حيث بينت النتائج توافق جيد بين النموذج المقترح (META) و النتائج العملية للباحث (Karagiozis) حيث كانت نسبة الخطأ بين النتائج (9%) [6] [5].

درس Park تأثير التغييرات في نسبة العرض الى الارتفاع وزوايا الاضلاع داخل القناة تجريبيا وبين ان هناك زوايا محددة للأضلاع تكون مناسبة لنسبة العرض الى الارتفاع وخصوصا الزوايا بين 45 - 60 التي تحقق افضل انتقال حرارة [4] [3].

اجرى Kukreja دراسات تجريبية على قناة بشكل حرف V ذات اضلاع بزواوية 45 و 60 واستنتج ان القناة ذات الاضلاع بزواوية 60 ينتج عنها زيادة عالية في انتقال الحرارة [6] [5] .

قام Han and Park باجراء دراسة لتأثير عدد الاضلاع حيث تبين ان أفضل انتقال للحرارة يحدث باستخدام 7 أضلاع موزعة بشكل متدرج بينما أقل انتقال للحرارة خلال القناة يحدث عند استخدام 8 أضلاع موزعة بشكل متقابل [2] [1].

قام Alkhamis بإجراء دراسة موسعة على الاضلاع بشكل حرف V ذات اضلاع  
بزاوية 45 ووجد انها تتمتع بأداء عالي في انتقال الحرارة مقارنة مع الاضلاع المائلة [2]  
[1].

## 2. المعادلات المستخدمة:

معادلة الاستمرارية:

$$\nabla (\rho U) = 0$$

عدد رينولدز :

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu}$$

## 3. جهاز الاختبار:

يبين الشكل (1) جهاز الاختبار المؤلف من وحدة تغذية الهواء - صمام تحكم  
بالتدفق - مقطع الاختبار - اجهزة القياس.

يدخل الهواء الى جهاز الاختبار عن طريق مروحة نابذية وتم التحكم بمعدل تدفق الهواء  
الداخل الى مقطع الاختبار عن طريق صمام التحكم بالتدفق.



الشكل (1): جهاز الاختبار.

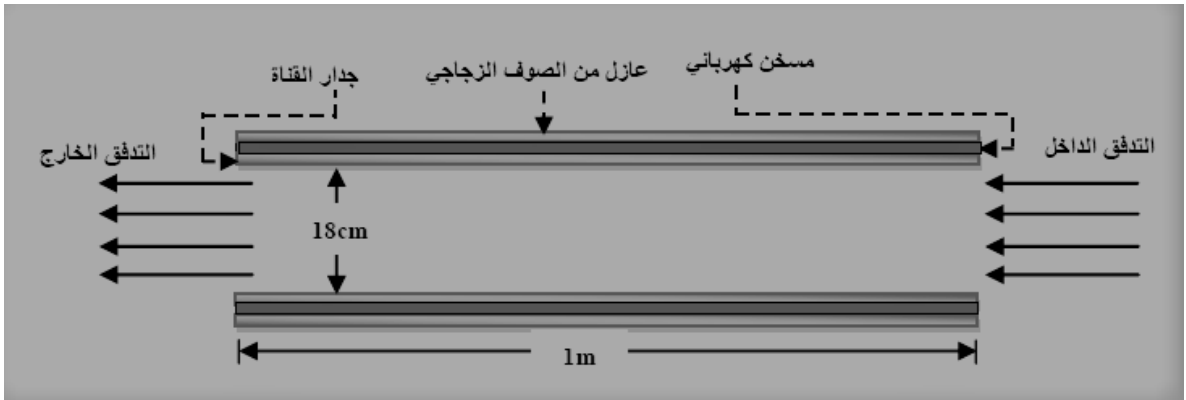
تحسين أداء النظام الحراري لقناة مربعة الشكل عن طريق اضافة أضلاع داخلية مربعة ومثلثية الشكل

#### 4. مقطع الاختبار:

عبارة عن مجرى مربع الشكل مصنوع من الفولاذ سماكته 3 mm وارتفاعه 0.18 m وطوله 1 m كما في الشكل (2).

يتضمن مقطع الاختبار جداري تسخين حيث تم تسخينهم بواسطة مسخن كهربائي 1 KW موصل على السطح العلوي والسفلي لمقطع الاختبار ليؤمن تدفق حراري متساوي. وتم عزل مقطع الاختبار بطبقة من الصوف الزجاجي سماكته 2 cm لتقليل ضياعات الحرارة بالتوصيل.

ومن اجل قياس درجة حرارة الهواء داخل مقطع الاختبار تم وضع 6 مزدوجات حرارية تبعد عن بعضها 20 cm.



الشكل(2): مقطع الاختبار.

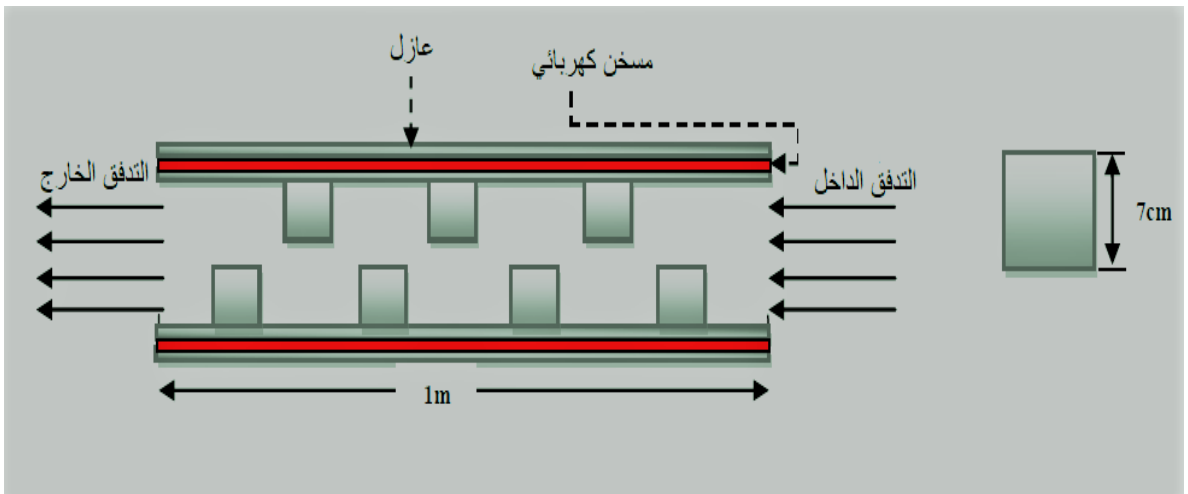
#### 5. الاضلاع المستخدمة:

مربعة الشكل طول ضلعها 7 cm وذات مساحة 0.0378 m<sup>2</sup> كما في الشكل (3) وعددها 7 ومتوضعة على الوجهين المتقابلين لمقطع الاختبار كما في الشكل (4).





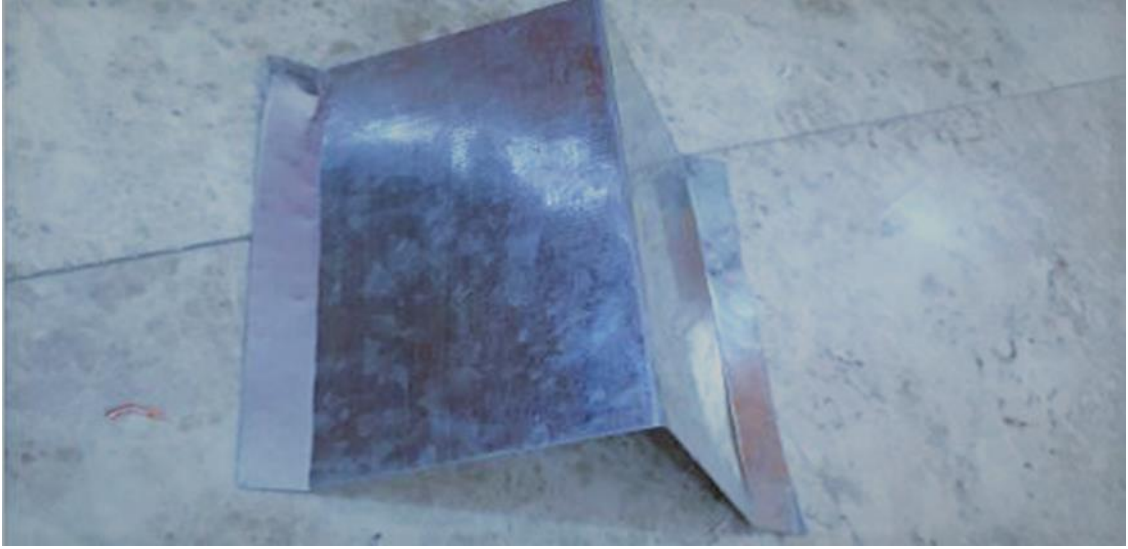
الشكل(3): الاضلاع مربعة الشكل.



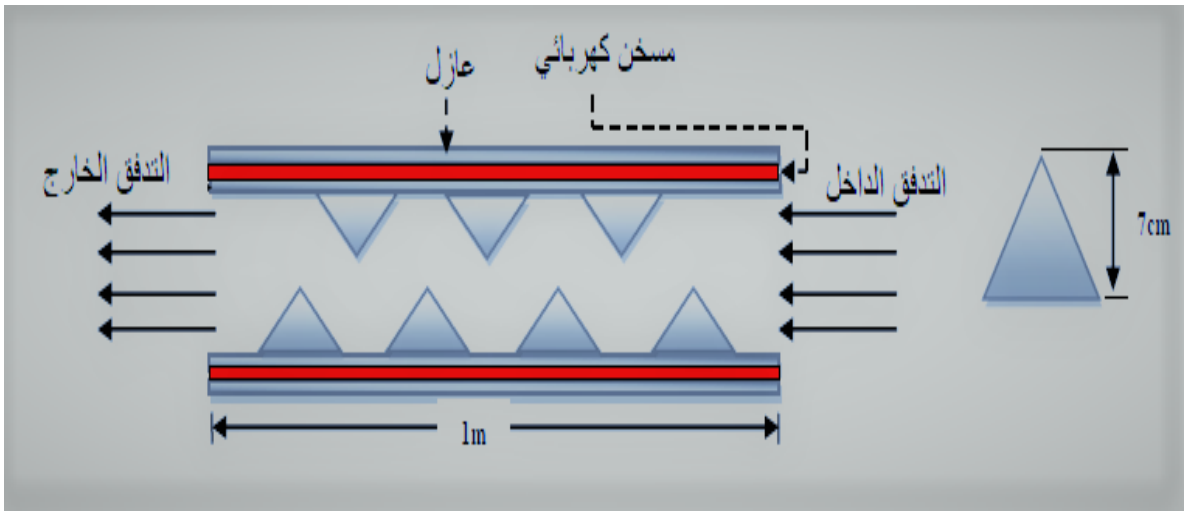
الشكل(4): توزيع الاضلاع في المجرى.

تحسين أداء النظام الحراري لقناة مربعة الشكل عن طريق اضافة اضلاع داخلية مربعة ومثلثية الشكل

مثلثية الشكل ذات مساحة  $0.0378 \text{ m}^2$  كما في الشكل (5) وعددها 7 ومتوضعة على الوجهين المتقابلين لمقطع الاختبار كما في الشكل (6).



الشكل(5):الاضلاع مثلثية الشكل



الشكل(6): توزيع الاضلاع في المجرى.

## 6. اجهزة القياس المستعملة:

مقياس حرارة ديجتال يتصل مع المزدوجات الحرارية الموضوعه داخل مقطع

الاختبار والمبين في الشكل(7).

مقياس سرعة الهواء والمبين في الشكل(8).



الشكل(7): مقياس الحرارة الدجيتال مع المزدوجات الحرارية.



الشكل (8): مقياس سرعة الهواء.

## النتائج والمناقشة:

### القسم التجريبي:

- اجريت التجارب عند رقم رينولدز 40500.
- اجريت التجارب عند تدفق حراري  $6888 \text{ W/m}^2$ .
- تم اجراء التجارب قبل وبعد اضافة الاضلاع المثلثية والمربعة الشكل.
- وضعت الاضلاع المثلثية والمربعة على جدران التسخين داخل المجرى.

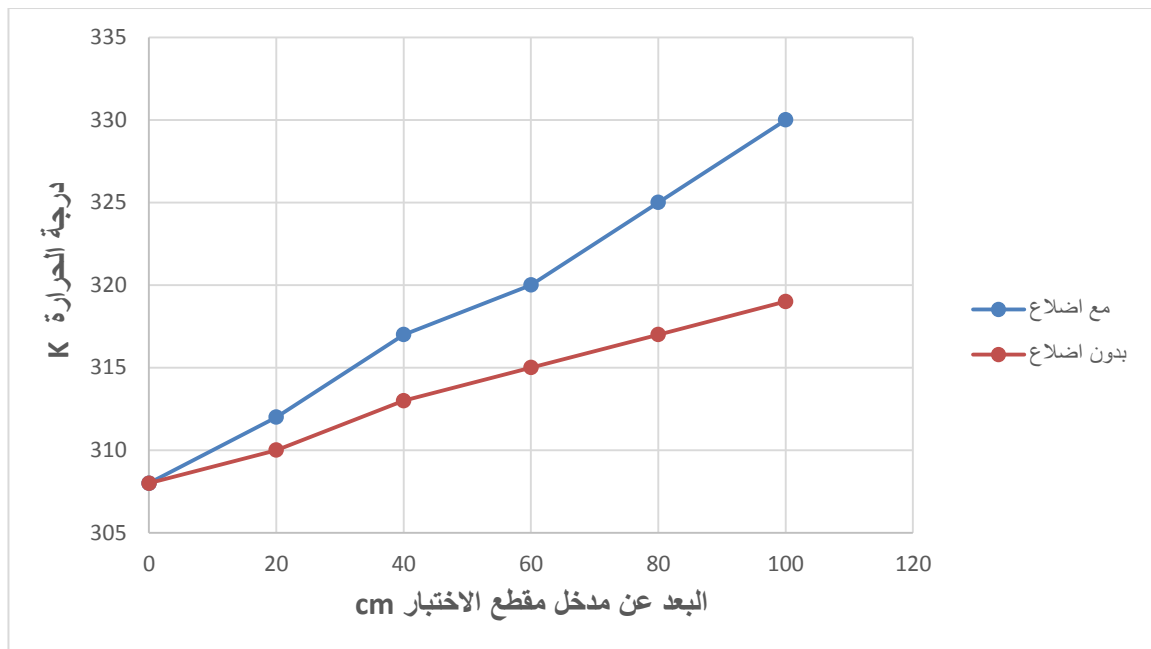
- تم اخذ القياسات بعد الوصول لحالة الاستقرار بعد حوالي 40 دقيقة حيث قمنا بقياس درجة حرارة الهواء داخل المجرى قبل وبعد اضافة الاضلاع المثلاثية والمربعة الشكل وكانت النتائج كالتالي:

1. من اجل الاضلاع المثلاثية الشكل:

الجدول(1): مقارنة بين درجة حرارة الهواء قبل وبعد اضافة الاضلاع المثلاثية الشكل.

الاضلاع	درجة حرارة الهواء قبل اضافة الاضلاع	البعء عن مدخل مقطع الاختبار
308 K	308 K	0 cm
312 K	310 K	20 cm
317 K	313 K	40 cm
320 K	315 K	60 cm
325 K	317 K	80 cm
330 K	319 K	100 cm

تحسين أداء النظام الحراري لقناة مربعة الشكل عن طريق اضافة اضلاع داخلية مربعة ومثلثية الشكل

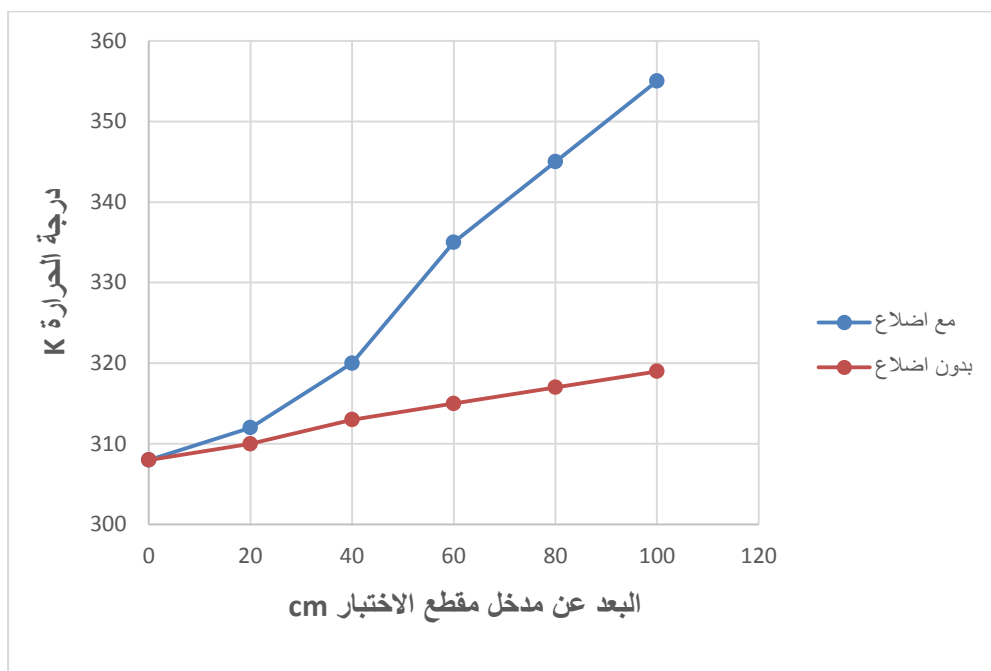


الشكل (9): مقارنة بين درجة حرارة الهواء قبل وبعد اضافة الاضلاع المثلثية الشكل

2. من اجل الاضلاع المربعة الشكل:

الجدول (2): مقارنة بين درجة حرارة الهواء قبل وبعد اضافة الاضلاع المربعة الشكل.

البعد عن مدخل مقطع الاختبار	درجة حرارة الهواء قبل اضافة الاضلاع	درجة حرارة الهواء بعد اضافة الاضلاع
0 cm	308 K	308 K
20 cm	310 K	312 K
40 cm	313 K	320 K
60 cm	315 K	335 K
80 cm	317 K	345 K
100 cm	319 K	355 K



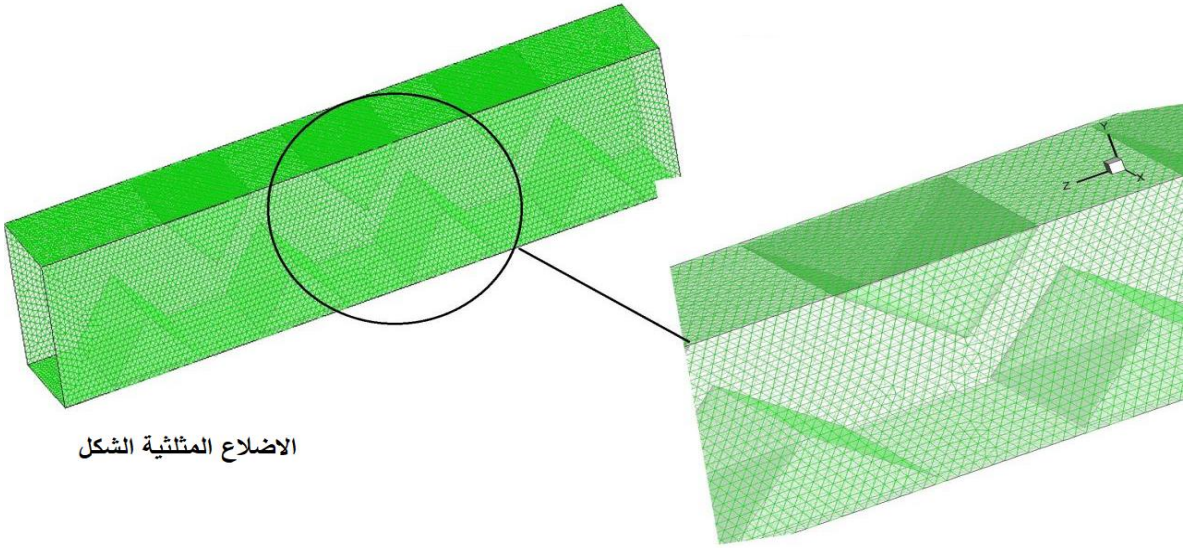
الشكل (10): مقارنة بين درجة حرارة الهواء قبل وبعد اضافة الاضلاع المربعة الشكل

### قسم المحاكاة:

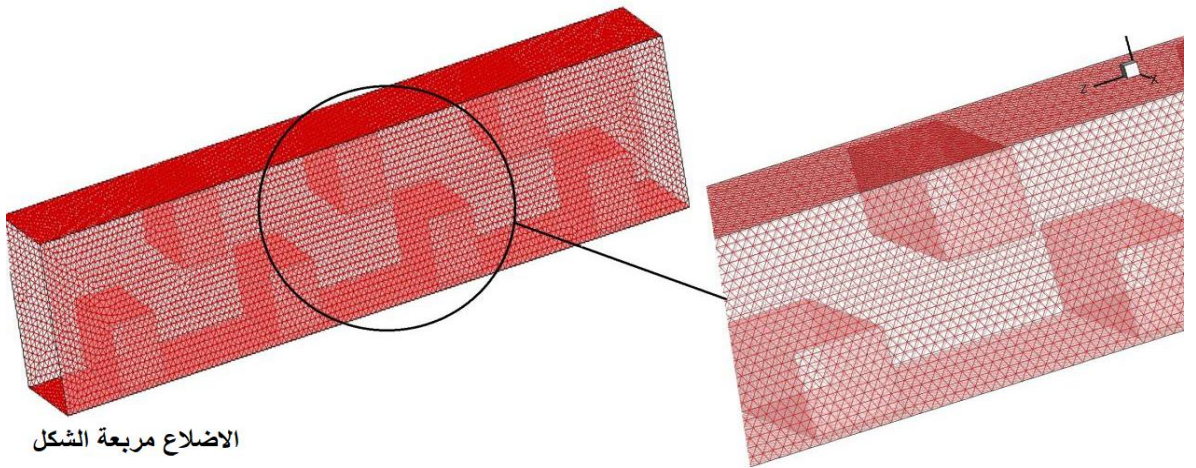
تم الحصول على نتائج الجزء العددي من العمل الحالي باستخدام برنامج FLUENT .

اجريت الاختبارات عند رقم رينولدز 40500 وتدفق حراري  $6888 \text{ W/m}^2$  ، ظهرت النتائج على شكل خطوط درجة الحرارة ، في المحاكاة العددية كانت النتائج التي تم الحصول قريبة من النتائج التجريبية للظروف المماثلة التي تم أخذها في الاعتبار لهذه الدراسة .

حيث تم الحصول على النتائج التالية:



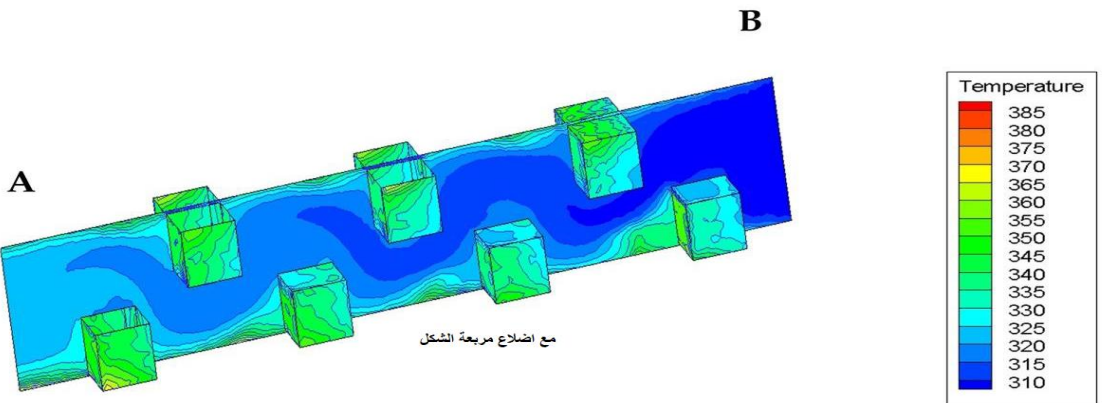
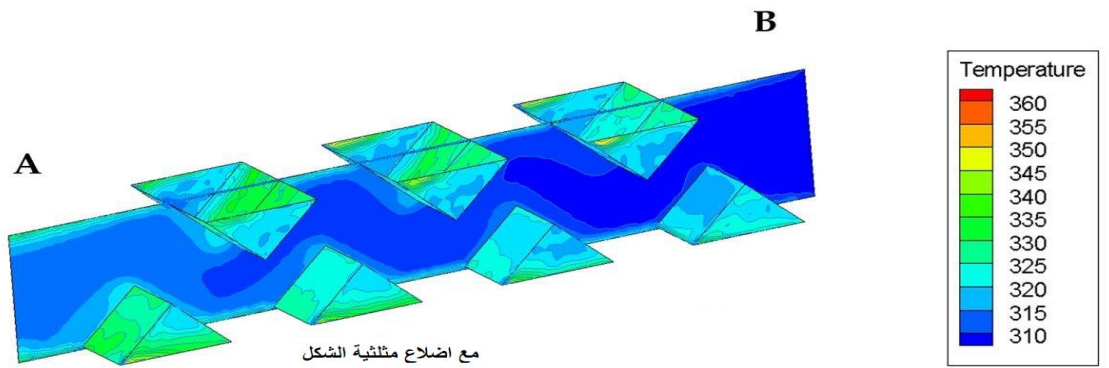
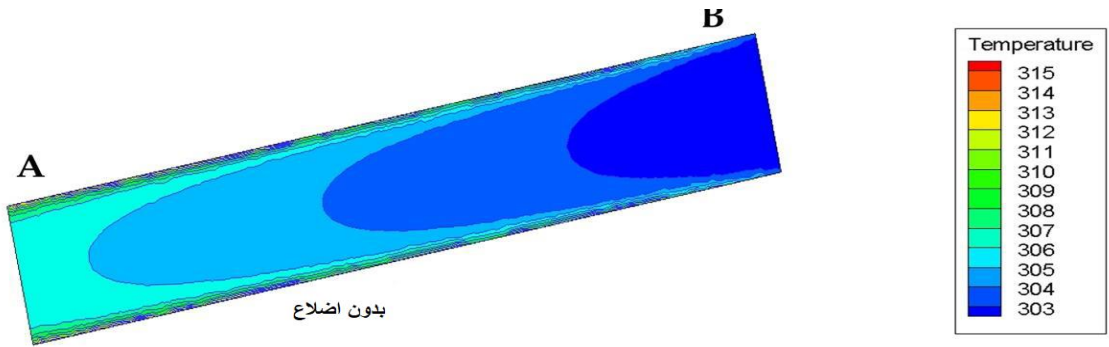
الاضلاع المثلثية الشكل



الاضلاع مربعة الشكل

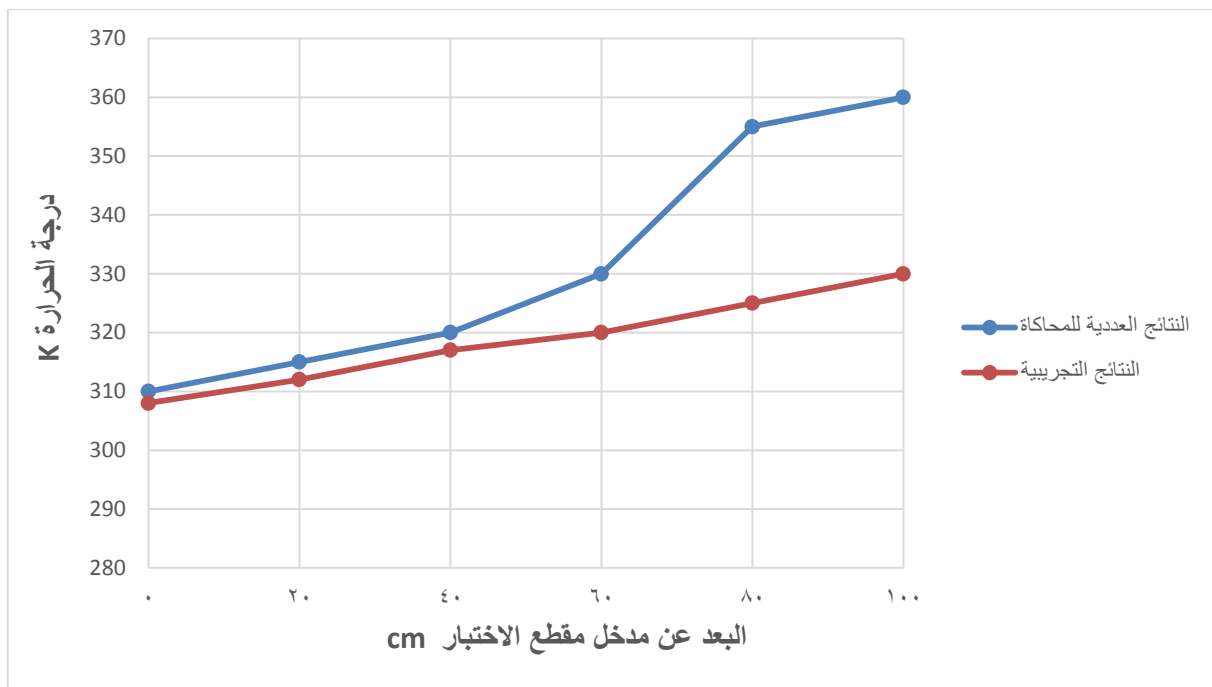
الشكل (11): النموذج المستخدم.



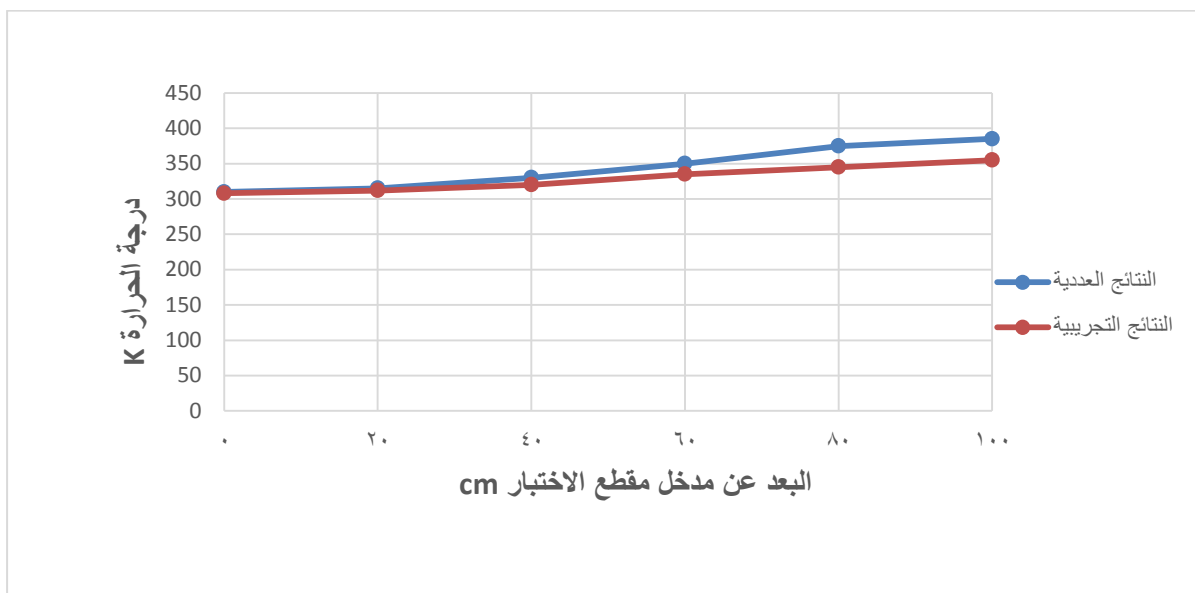


الشكل (12): توزيع درجة الحرارة لجميع أنواع الأضلاع.

تحسين أداء النظام الحراري لقناة مربعة الشكل عن طريق اضافة أضلاع داخلية مربعة ومثلثية الشكل



الشكل (13): مقارنة النتائج التجريبية والنتائج العددية للأضلاع المثلثية



الشكل (14): مقارنة النتائج التجريبية والنتائج العددية للأضلاع المربعة

## الاستنتاجات والتوصيات:

تبين من خلال التجارب تحسن في انتقال الحرارة للمجرى المزود بأضلاع مربعة ومثلثية مقارنة بالمجرى بدون اضلاع حيث ان المجرى المزود بأضلاع مثلثية يحسن من انتقال الحرارة بنسبة %3 والمجرى المزود بأضلاع مربعة يحسن من انتقال الحرارة بنسبة %11.

ويعود السبب في ذلك لكون القناة المزودة بأضلاع تولد حالة اضطراب وتزيد المساحة السطحية الحرارية وتزيد معامل انتقال الحرارة أكثر من القناة بدون اضلاع، حيث سيؤدي وجود الأضلاع إلى رفع معدل انتقال الحرارة بسبب إنشاء تدفقات دوامية طولية رئيسية كتدفق حلزوني بسبب اختلاط الموائع الأقوى بين مناطق الجدار والقلب وهذا يؤدي إلى قوة دوامة عالية ومسار تدفق أطول وتدفقات اصطدام.

الأضلاع المربعة تقسم التدفق إلى مجموعات، وتنقل الحد الأقصى للتدفق من المنطقة المركزية إلى منطقة الجدار القريبة، وذلك لخلط الموائع بشكل أكثر واقعية وزيادة الأداء مقارنة بالأشكال الأخرى للأضلاع.

ومن اجل التحقق من البيانات التجريبية تم اجراء المحاكاة العددية للنموذج المستخدم حيث تمت مقارنة النتائج مع البيانات التجريبية، حيث تبين ان هناك توافق جيد بين البيانات التجريبية والنتائج العددية، لا تتجاوز التناقضات في قيم درجات الحرارة %12.

يمكن اقتراح تجربة اضلاع بأشكال مختلفة ودراسة انتقال الحرارة قبل وبعد اضافة الاضلاع.

المراجع:

- [1] Cengel Y. A. 'HEAT TRANSFER A PRACTICAL APPROACH' McGraw-Hill, Int. 2001.
- [2] Lienhard IV J. H. and Lienhard V J. H. 'A *HEAT TRANSFER TEXTBOOK*' Third ed. Cambridge, MA: Phlogiston Press, 2006.
- [3] Arkan and Hasasn Ali "Experimental and Numerical Investigation of Convective Heat Transfer in a Circular Tube with Internal square ribs" Journal of Babylon University/Engineering Sciences/ No.(4)/ Vol.(22): 2014.
- [4] Tuqa Abdulrazzaq, Hussein Togun, M. K. AAriffin, S. N. Kazi, NM Adam, and S. Masuri "Numerical Simulation on Heat Transfer Enhancement in Channel by Triangular Ribs", International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering Vol:7, No:8, 2013.
- [5] Fifi N.M. Elwekeel, Antar M. M. Abdala, Qun Zheng, "Numerical Investigation of Heat Transfer Coefficient in Ribbed Rectangular Duct with Various Shape Ribs and Different Coolants", Proceedings of 2012 International Conference on Mechanical Engineering and Material Science (MEMS 2012).
- [6] Wang, L. and Sunden, B, 2007, "Experimental Investigation of Local Heat transfer in a Square Duct with Various-Shaped Ribs," Heat and Mass Transfer, Vol. 43, pp. 759-766.
- [7] Abhilash Kumar, R. Saravana Sathiya Prabhahar," Numerical Investigation of Heat Transfer Characteristics in A Square Duct with Internal RIBS", International Journal of Innovative Research in Science Volume 3, Special Issue 1, February 2014.
- [8] Han, J. C. Y. M. Zhang, C. P. Lee, 1991, "Augmented heat transfer in square channels with parallel, crossed and V-shaped angled ribs", ASME J. Heat Transfer 113 590-59.