

مجلة جامعة حمص

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 47 . العدد 4

1447 هـ - 2025 م

الأستاذ الدكتور طارق حسام الدين رئيس جامعة حمص

المدير المسؤول عن المجلة

أ. د. وليد حمادة	رئيس تحرير مجلة جامعة حمص للعلوم الإنسانية
أ. د. درغام سلوم	رئيس تحرير مجلة جامعة حمص للعلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية

عضو هيئة التحرير	د. محمد فراس رمضان
عضو هيئة التحرير	د. مضر سعود
عضو هيئة التحرير	د. ممدوح عبارة
عضو هيئة التحرير	د. موفق تلاوي
عضو هيئة التحرير	د. طلال رزوق
عضو هيئة التحرير	د. أحمد الجاعور
عضو هيئة التحرير	د. الياس خلف
عضو هيئة التحرير	د. روعة الفقس
عضو هيئة التحرير	د. محمد الجاسم
عضو هيئة التحرير	د. خليل الحسن
عضو هيئة التحرير	د. هيثم حسن
عضو هيئة التحرير	د. أحمد حاج موسى

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة حمص

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

. هاتف / فاكس : ++ 963 31 2138071

. موقع الإنترنت : www.homs-univ.edu.sy

. البريد الإلكتروني : journal.homs-univ.edu.sy

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة حمص

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 ورد 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 حمص

1. دفع رسم نشر (50000) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (200000) ل.س مئة ألف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مننًا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (15000) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
38-11	محسن خضر د. مجد الدين العلي	دراسة تأثير طوبولوجيا النشر لشبكات الحساسات اللاسلكية على استهلاك الاستطاعة للعقد وفق بروتوكول RPL
56-39	محمد رامي الجندي د. عبّاد كاسوحة	دراسة تأثير المعالجة الحرارية ذات الارجاع المتكرر على خواص متانة التخطم للكرات الطاحنة المصنوعة من حديد الصب عالي الكروم
86-57	د. يتول الساطي	التحكم بالتيار باستخدام المتحكم التباطوي للمحرك متغير الممانعة ذو الأقطاب (6/4)
110-87	عاصم الحمصيه	تقييم فعالية سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت ICCP مقابل LRFU في شبكات البيانات المسماة
130-111	عبد الكريم الحسن د. عبد الكريم السالم	تصميم هوائي شرنحي قابل لإعادة ضبط التردد لتطبيقات الجيل الخامس 5G

156-131	علي ابراهيم د. بسيم عمران	اختبار أهم خوارزميات قواعد البيانات المعرفية المستخدمة في كشف الاحتيال وتحسين دقتها باستخدام قواعد البيانات المعتمدة على سلوك المستخدم
---------	------------------------------	---

دراسة تأثير طوبولوجيا النشر لشبكات الحساسات اللاسلكية على استهلاك الاستطاعة للعقد وفق

برتوكول RPL

الدكتور المهندس مجد الدين العلي*

المهندس محسن خضر**

الملخص

يوماً بعد يوم يتزايد الاهتمام بشبكات الحساسات اللاسلكية بسبب أهميتها وتنوع تطبيقاتها في مجال المراقبة والتحكم والصحة وغيرها ، ومع انتشارها الواسع تزايد عددها وتزايدت أنواع عقدها وتطبيقاتها مما يتطلب وجود تقنية لربط هذا العدد الكبير من الشبكات والتحكم بها وربطها بالإنترنت وبالتالي ظهرت تقنية انترنت الأشياء التي تحقق ما سبق و تتيح العديد من المميزات الإضافية ، ولكن تعد مشكلة استهلاك الاستطاعة هي أكبر مشكلة تواجه شبكات الحساسات اللاسلكية مما يفرض العديد من القيود عند استخدامها وبالتالي يجب إيجاد حلول لمواجهة هذه المشكلة وتجنب خروج العقد من الخدمة .

يتضمن التصميم دراسة شبكة حساسات لاسلكية تعتمد تقنية انترنت الأشياء لمراقبة منطقة حدودية ، حيث تم دراسة تأثير طوبولوجيا النشر على معدل استهلاك الاستطاعة للعقد ، تم دراسة شبكة مكونة من 20 عقدة ومصوب Sink باستخدام عدة أنواع من طوبولوجيا النشر: (Ring , Tree ,Bus , Mesh , Random) وحساب الاستطاعة المستهلكة ضمن الشبكة والمقارنة بينها .

وبتحليل نتائج المحاكاة تبين ان الطوبولوجيا الحلقية Ring هي الاقل استهلاكاً للاستطاعة
تليها العشوائية Random ثم الشبكية Mesh ثم الشجرية Tree ثم المستقيمة Bus عند
استخدام دالة الهدف OF_0 .

مما يعطي طوبولوجيا Ring افضلية عند استخدامها في مراقبة الحدود او في تطبيقات
مشابهة.

كلمات مفتاحية: انترنت الأشياء، بروتوكول التوجيه، حساسات لاسلكية ، طوبولوجيا
Bus، طوبولوجيا Mesh ، طوبولوجيا Ring , طوبولوجيا Tree.

Studying effect of topology of wireless sensor network on power consumption of nodes that uses RPL routing protocol

Abstract

Day after day, interest in wireless sensor networks is increasing due its importance and diversity of its applications in the monitoring, control, health, etc , and due its wide spread , its number has increased and the types of its nodes and applications have increased, which requires a technology to connect this large number of networks , control them and connect them to the Internet, and thus the Internet

of Things technology appeared that achieves the above and provides many additional features, but problem of energy consumption is the biggest problem faces Wireless sensor networks, which imposes many restrictions when using it, and therefore solutions must be found to overcome this problem and avoid nodes being out of service .

The design includes a study of a wireless sensor network that adopts the Internet of Things technology to monitor a border area, As we studied effect of the deployment topology on the rate of power consumption of the nodes , we studied network from 20 nodes and one sink using (Random, Ring , Tree ,Bus , Mesh) topology , the consumed power was calculated , then compare between 5 scenarios.

By analyzing the simulation results, it was found that the power consumption for the Ring topology is the smallest then Random topology then Mesh then Tree and Bus in the end when using objective function OF_0 .

which gives Ring topology an advantage when used in boundary monitoring or in similar applications .

Keywords: IoT, Routing Protocol, WSN , Bus topology , Mesh topology, Ring topology, Tree topology, Random topology .

إن التطور الكبير في الشبكات اللاسلكية وصناعة الدارات المتكاملة و الأنظمة المدمجة، أدى لظهور جيل جديد من شبكات الحساسات اللاسلكية والمعالجات الصغيرة ، والتي تناسب مجموعة من التطبيقات التجارية والصناعية والعسكرية، ومن المتوقع أن تسبب هذه التقانة ثورة في طريقة عيشنا وعملنا وتفاعلنا مع البيئة المحيطة بنا، وذلك من خلال نشر حساسات صغيرة الحجم ورخيصة الثمن تستطيع استشعار مختلف الظواهر الفيزيائية قيد الدراسة (مثل مراقبة حركة المركبات والكائنات الحية ضمن بيئتها، الكشف المبكر عن الحرائق في الغابات، مراقبة خطوط الانتاج في المصانع....) وبالتالي باستطاعة هذه الشبكات تزويد مشغليها بمعلومات دقيقة وحديثة قادمة مباشرة من بيئة الظاهرة قيد الدراسة.

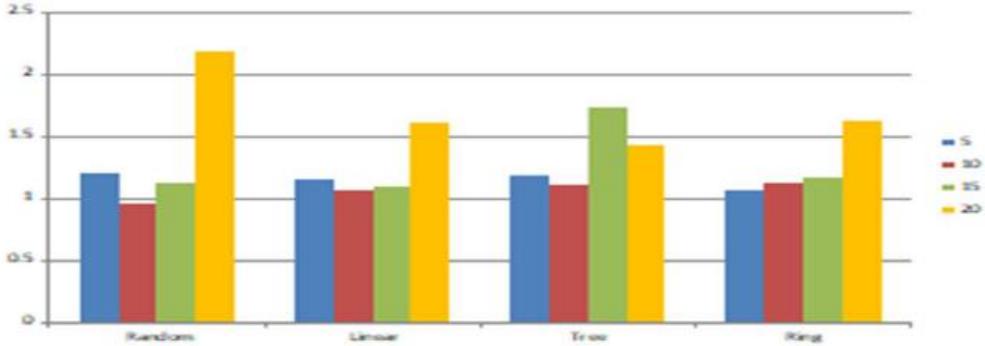
ومع التزايد المستمر لشبكات الحساسات اصبح من الضرورة ايجاد طريقة لربط هذه الشبكات والتحكم بها وتنظيمها وهذه التقنية هي انترنت الاشياء.

وتعرف تقنية انترنت الاشياء بأنها نظام يتكون من بنية حاسوبية او الكترونية او ميكانيكية يحقق اتصال مختلف الأجهزة المادية بشبكة الإنترنت إضافة إلى قدرة كل جهاز على التعريف بنفسه للأجهزة الأخرى وأداء وظائف محددة عبر بروتوكولات الانترنت. وهي أيضاً التجسيد للخدمات الذكية التي نتجت عن تحول الأشياء إلى أشياء ذكية ومتصلة وقادرة على التفاعل مع محيطها.

في هذا البحث سوف نقوم بدراسة وتحليل معدل استهلاك الاستطاعة لبروتوكول التوجيه RPL وفق طوبولوجيات النشر المناسبة للمناطق الحدودية (, Ring , Random , Mesh , Bus , Tree) ، اذ تطرقت دراسات سابقة لتحليل طوبولوجيات النشر لهذا البروتوكول وفق معدل استهلاك الاستطاعة ابرزها الدراسة [11] (Suneeta Mishra ,) (2023, Vidushi Sharma and Neeti Gupta) التي قامت بتحليل استهلاك

الاستطاعة وفق الطوبولوجيات (Random, Linear, Tree, Ring) وتبين ان الطوبولوجيا الشجرية هي الافضل من حيث معدل استهلاك الاستطاعة تليها الخطية من اجل 20 عقدة وذلك وفق دالة الهدف MRHOF.

Average power consumption vs Network Topology with scalability



الشكل (1) مقارنة استهلاك الاستطاعة من اجل طوبولوجيا (Random, Linear,)

[11](Tree, Ring)

2 - هدف البحث:

- التعريف بأنواع طوبولوجيا النشر لشبكات الحساسات اللاسلكية
- التعريف ببروتوكول التوجيه في شبكات انترنت الاشياء
- تحليل اداء بروتوكول التوجيه من حيث استهلاك الاستطاعة لعقد الشبكة وفقا لطوبولوجيا النشر

3- مواد وطرق البحث :

3-1 نظام التشغيل Contiki:

تم تطوير نظام (Contiki OS) ، الذي يعتمد على لغة البرمجة C والمصدر المفتوح ، لشبكات الاستشعار اللاسلكية خفيفة الوزن ومرنة ومنخفضة الاستطاعة.

تكوين Contiki القياسي لجهاز التحكم الدقيق هو ذاكرة الوصول العشوائي RAM ب 2 كيلو بايت و 40 كيلو بايت لذاكرة القراءة فقط ROM. بالإضافة إلى ذلك ، يمكن لـ Contiki توفير اتصال عبر IPv4 و IPv6 و Rime Network Stack [9].

3-2 محاكي الشبكات Cooja:

COOJA عبارة عن محاكي مرن قائم على Java مصمم لمحاكاة شبكات الحساسات التي تعمل بنظام التشغيل Contiki. يحاكي COOJA شبكات الحساسات حيث يمكن أن تكون كل عقدة من نوع مختلف ؛ تختلف ليس فقط في البرامج المنصبة ، ولكن أيضا في العتاد المادي المراد محاكاته.[8]

COOJA قادر أيضا على محاكاة العقد غير التابعة لـ Contiki ، مثل العقد المنفذة في Java أو حتى العقد التي تشغل في نظام تشغيل آخر.[10]

4- شبكات المراقبة اللاسلكية :

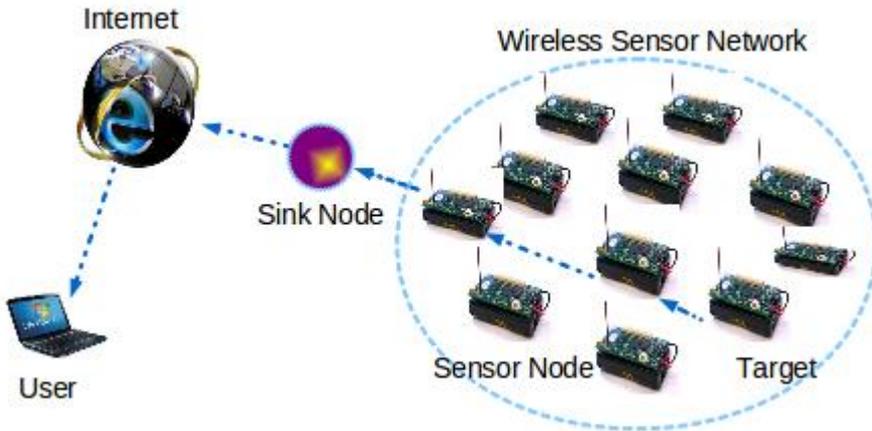
4-1 الحساسات اللاسلكية WSN:

تعد شبكات الحساسات اللاسلكية عبارة عن شبكات مؤلفة من مجموعة من الأجهزة الإلكترونية المستشعرة، التي تتصل بشبكة لاسلكية محلية وتمكن الأجهزة من التواصل

وتحميل البيانات بالطريقة اللاسلكية. هذه الأجهزة تستخدم لجمع البيانات الثابتة أو المتحركة وتحليلها لتحسين الأداء واتخاذ القرارات.

حيث تم استخدام شبكات الحساسات اللاسلكية في العديد من التطبيقات مثل وضع طرق سيارات ذاتية القيادة، مراقبة الجو، تقييم أداء الروبوتات، وغيرها [1].

ويوضح الشكل (2) نموذج لشبكة حساسات مكونة من مجموعة عقد تحسس و مصب Sink مع ربطها بشبكة الانترنت.



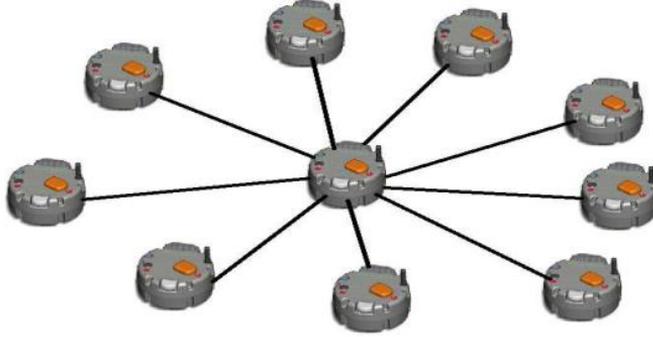
الشكل (2) نموذج لشبكة حساسات لاسلكية

4-2- طوبولوجيا النشر في شبكات الحساسات اللاسلكية:

4-2-1 طوبولوجيا النجمية Star Topology [3]:

حيث يتم نشر العقد بشكل نجمي وتتميز هذه الطريقة بأنها اقل استهلاكاً للطاقة كما انها قابلة للتوسع scalable

ومن مساوئها عدم وجود اتصال موثوق reliable communication و وجود مسار واحد وبالتالي عدم وجود مسار بديل ويوضح الشكل (3) مثال بسيط عن تركيب الشبكة النجمية.



الشكل (3) الطوبولوجيا النجمية Star Topology

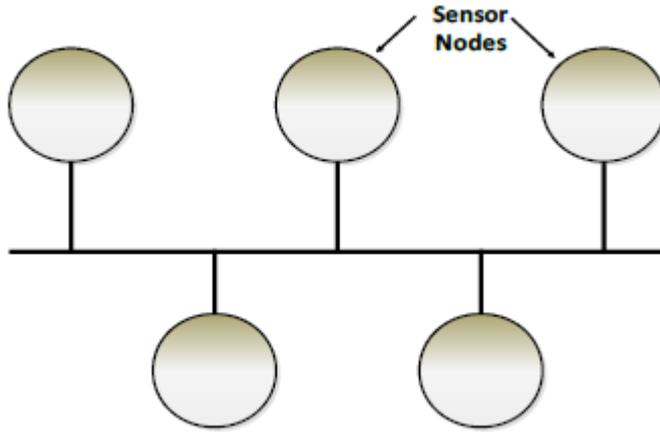
2-2-4 طوبولوجيا Bus Topology [4]:

تستخدم في الشبكات الصغيرة وتتميز:

- ذات كلفة منخفضة
- سهولة الفهم والتركيب
- يمكن توسيع الشبكة واطافة المزيد من العقد ببساطة

اما سلبياتها فهي:

- في حال حدوث فشل في أي وصلة سوف تتوقف الشبكة
- اداء الشبكة ينخفض عند وجود كمية معدل نقل عالي heavy traffic
- تبادل المعلومات ضمن الشبكة ابطء مقارنة بالطوبولوجيات الاخرى



الشكل (4) طوبولوجيا Bus Topology

3-2-4 طوبولوجيا الشبكة Mesh Topology [3]:

تعتمد تقنية النقل متعدد القفزات multi-hopping system كما انها تتميز بـ:

- ذات وثوقية عالية بسبب تعدد المسارات
 - بأنها قابلة للتوسع scalable
 - احتمالية فقدان بيانات اقل بسبب وجود مسار بديل
- اما سلبياتها فهي :
- الكلفة العالية لبعض التصميمات .
 - وجود بعض المسارات غير مستخدمة (لا حاجة لها) .
 -



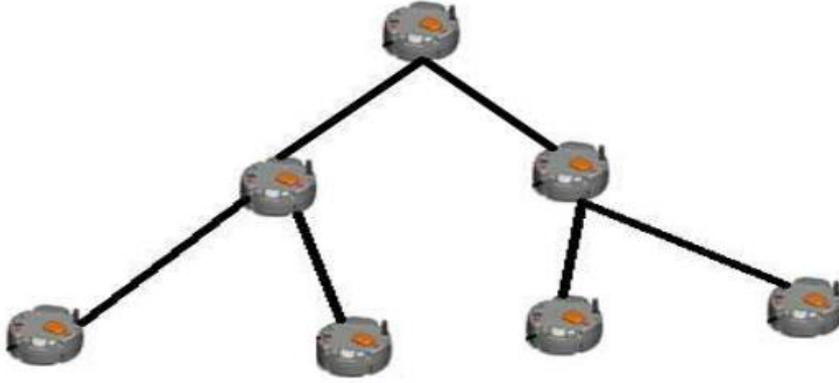
الشكل (5) طوبولوجيا الشبكة Mesh Topology

4-2-4 الطوبولوجيا الشجرية Tree Topology [3]:

تتكون هذه الشبكة من عقدة رئيسية ومجموعة عقد طرفية بحيث تقوم العقد الطرفية بتمرير بياناتها الى العقدة الرئيسية ومن ثم يتم تجميع كل البيانات المرسلة. تتميز هذه الطوبولوجيا بانها اقل استهلاكاً للطاقة.

سليبياتها :

- تستهلك وقتاً أطول من غيرها
- اذا خرجت العقدة الرئيسية من الخدمة فستخرج الشجرة الفرعية المتصلة بها من الخدمة
- سوف تستهلك العقد القريبة من العقدة الرئيسية طاقة اكبر من العقد البعيدة من خلال توجيهها للرزق.



الشكل (6) الطوبولوجيا الشجرية Tree Topology

3-4 تقنية إنترنت الأشياء وبرتوكول RPL:

- تقنية إنترنت الأشياء تعرّف عمومًا على أنه "بنية تحتية ديناميكية للشبكة العالمية ذات قدرات تكوين ذاتي تستند إلى المعايير وبرتوكولات الاتصال القابلة للتشغيل؛ المادية والافتراضية .

كما يمكن التعامل مع تقنية إنترنت الأشياء على أنها مجموعة شاملة من توصيل الأجهزة التي يمكن التعرف عليها بشكل فريد من خلال تقنيات الاتصال قريب المدى الموجودة (NFC) حسب (المعهد الأوروبي لمعايير الاتصالات 2013). [2]

- بروتوكول التوجيه RPL (Routing Protocol for Low power and Lossy networks):

يعرف بأنه بروتوكول توجيه مصدر وشعاع مسافة مصمم للعمل على طبقات وصلات متنوعة مثل IEEE 802.15.4 PHY و Medium Access MAC (Control)، إن هذا البروتوكول مصمم من أجل الشبكات المعتمدة على التجميع، حيث تقوم العقد بالإرسال الدوري للقياسات إلى عقدة المجمع أو المصب، وتصنف

شبكة هذا البروتوكول ضمن اتصالات عدة نقط إلى نقطة واحدة وأيضا تدعم اتصالات
نقطة إلى عدة نقط وكذلك نقطة إلى نقطة . [5]

تمركز دور بروتوكول RPL في طبقة الشبكة لحزمة المعيار 6LoWPAN [6] حيث
يستند في العمل فوق طبقة الملازمة (Adaptation Layer) الوسيطة بين طبقة
وصل المعطيات وطبقة الشبكة.

يعمل بروتوكول RPL وفق مفهوم الطوبولوجيا — (DAGs Direct Acyclic
Graphs) حيث يمثل بنية شجرية تحدد المسارات الافتراضية بين العقد في شبكة
LLN. بشكل مخصص أكثر فإن RPL ينظم العقد في مخطط (Destination-
Oriented DAGs) حيث أن أكثر عقد الوجهة شعبية مثل المصب (Sink node)
أو التي تؤمن مسار افتراضي إلى الانترنت (Gateway) تمثل جذر (Root) هذه
الشجرة. [5]

يصنف البروتوكول RPL ثلاثة أنواع من العقد:

- الموجهات الطرفية ذات الفقد ومنخفضة الاستطاعة (LBRs):
تمثل جذر مخطط (DODAG) ونقطة تجميع الشبكة (Sink node) وتملك إمكانية بناء
شجرة DAG، وكذلك يعمل كبوابة ليوصل شبكة LLN إلى الانترنت وشبكات IPv6.
- الموجهات Routers: الأجهزة التي تمتلك إمكانية توجيه وتوليد البيانات لا تستطيع
بناء الشجرة لكن تشارك في تشكيلها.
- العقد النهائية Hosts: العقد الموجودة في اخر الشجرة وتدعي أوراق Leaf تقوم
فقط بتوليد البيانات. [5]

أثناء عملية تشكيل طوبولوجيا الشبكة كل موجه يحدد مجموعة مستقرة من العقد الآباء في سبيل إنشاء مسار باتجاه الجذر ويختار الأب المفضل، حيث يتم اختياره بالاعتماد على دالة الهدف (Objective function). [7].

توابع الغرض التي يوظفها البروتوكول RPL:

OF_0: دالة الهدف الأساسي الذي لا يحتاج إلى أي مقاييس لكي يُحسب حيث يستخدم الاعدادات الافتراضية لكي يصل إلى تخفيض قيمة عدد القفزات (Hop count) [11] ويعتمد في تشكيل المسارات على قيمة الصف (الرتبة) للعقد .

MRHOF: يعمل دالة الهدف هذا على إيجاد المسارات ذات الكلفة الأقل بحيث يقلل الحمل في الشبكة، ويستخدم ETX كمقياس توجيه حيث أن ETX عدد الرسائل المتوقع . يقوم بذلك عن طريق تقنيتين:

الأولى (Minimum Rank): إيجاد المسار ذو الكلفة الأقل، المسار ذو الصف الأدنى.

الثانية (Hystersis): يحول إلى المسار ذو الصف الأدنى فقط إذا كان أقصر من المسار الحالي بعتبة معينة، التراجع أو التباطؤ Hystersis.

لكي يعمل دالة الهدف يجب على العقد أن تدعم مقياس ETX وعلى الأقل المقاييس Hop count, Latency.

إن المسار من عقدة محددة إلى جذر (DODAG) يحدد بأصغر مجموع لـ ETX من بين المسارات المتاحة.

4-6 تصميم الشبكة والمخطط التدفقي للمحاكاة:

دراسة تأثير طوبولوجيا النشر لشبكات الحساسات اللاسلكية على استهلاك الاستطاعة للعقد وفق
بروتوكول RPL

سيتم بناء التصميم وتنفيذ المحاكاة باستخدام محاكي الشبكات Cooja المضمن في نظام التشغيل Contiki الخاص بتقنية انترنت الأشياء.

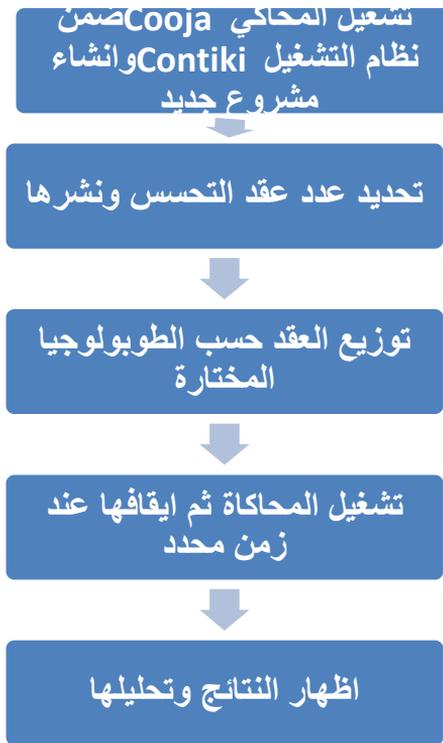
سنقوم بتصميم شبكة IOT لمراقبة منطقة حدودية وفق خمسة سيناريوات لكل سيناريو طوبولوجيا نشر مختلفة (Random, Bus, Tree, Ring, Mesh) ونقوم بتحليل ادائها ومقارنة استهلاك الاستطاعة لكل طوبولوجيا منها وفق دالة الهدف OF_0، يوضح الجدول التالي بارامترات اعداد المحاكاة:

الجدول (1) بارامترات المحاكاة

القيمة	البارامتر
محاكي الشبكات Cooja في نظام التشغيل Contiki 3.0	بيئة المحاكاة
Unit Disk Graph Medium (UDGM), with distance lose	الوسط الراديوي
Sky mote	نوع العقد
20	عدد العقد
Random, Bus, Tree, Ring, Mesh	طوبولوجيا النشر
OF_0	دالة الهدف
250 kbps	معدل النقل
2.4 GHz	التردد المستخدم
RPL	بروتوكول التوجيه
m90	مدى الارسل

100m	مدى التداخل
610s	زمن المحاكاة
90 m	المسافة بين العقد

يبين الشكل (7) المخطط التدفقي لمراحل المحاكاة وفق تسلسل العمل:



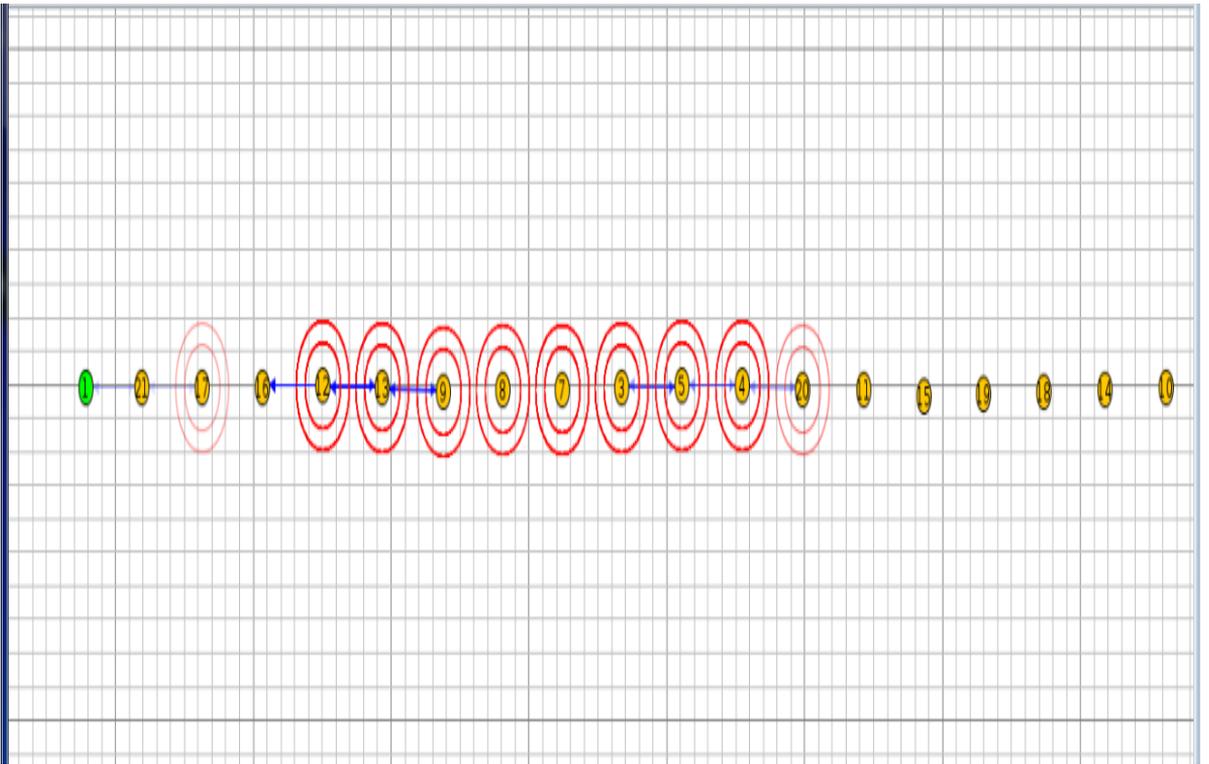
الشكل (7) المخطط التدفقي للمحاكاة

• السيناريو الاول:

دراسة تأثير طوبولوجيا النشر لشبكات الحساسات اللاسلكية على استهلاك الاستطاعة للعقد وفق
برتوكول RPL

سنقوم بإنشاء شبكة حساسات لاسلكية لمراقبة الحدود تعتمد تقنية انترنت الأشياء وفق طوبولوجيا Bus مكونة من 20 عقدة ومصب Sink لتجميع البيانات التي تم تحصيلها ، علما ان زمن المحاكاة لكلا الشبكتين هو 610 ثانية وقد تم اعادة تشغيل المحاكاة 5 مرات للتأكد من تطابق قيم استهلاك الاستطاعة عند تطبيق نفس الطوبولوجيا .

كما في الشكل أدناه:

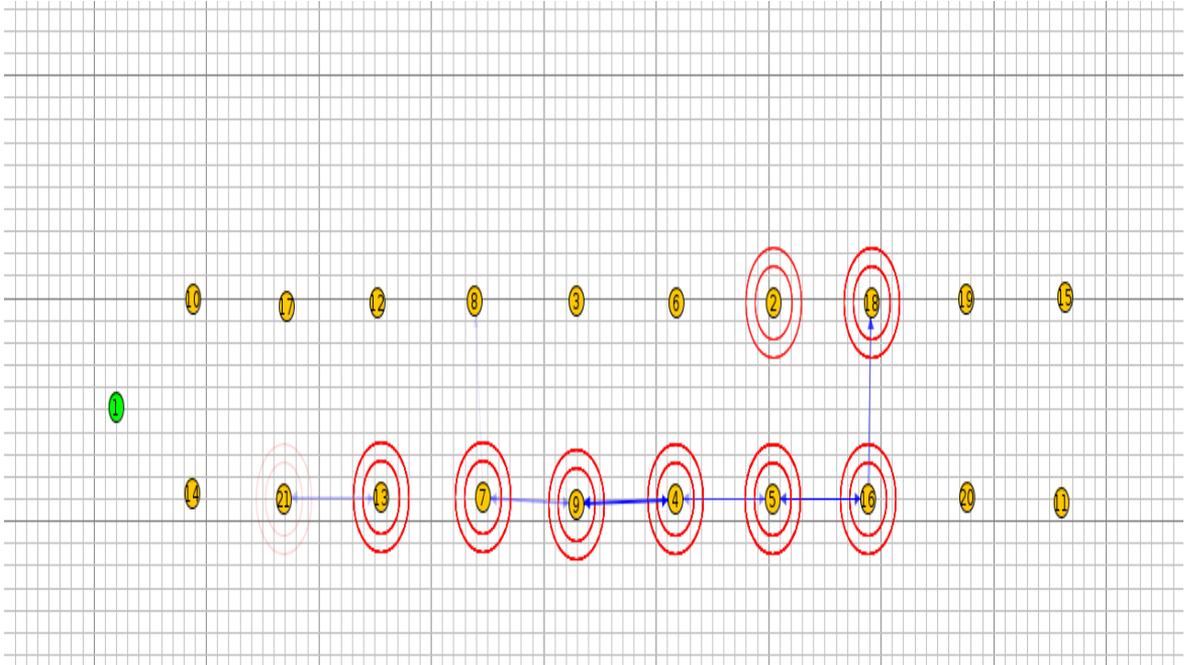


الشكل (8) بناء الشبكة وفق طوبولوجيا Bus

- العقد الملونة بالأصفر هي عقد التحسس
- العقدة الملونة بالأخضر هي عقدة المصب Sink
- الدوائر الحمراء تمثل تحسس الوسط
- الاسهم الزرقاء تمثل عملية الارسال مع المسار
- يتم اختيار عدد العقد ونموذج النشر فيقوم المحاكي بتوزيع العقد وترقيمها عشوائياً.

• السيناريو الثاني:

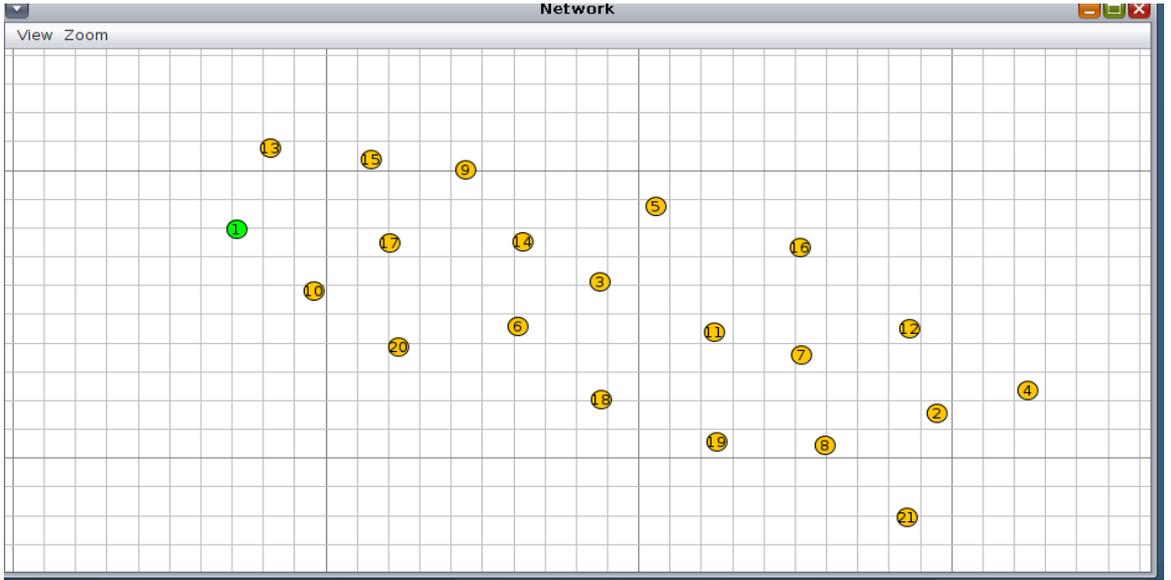
سنقوم بإنشاء الشبكة وفق طوبولوجيا Mesh معدلة مكونة من 20 عقدة ومصب للبيانات:



الشكل (9) بناء الشبكة وفق طوبولوجيا Mesh

• السيناريو الثالث:

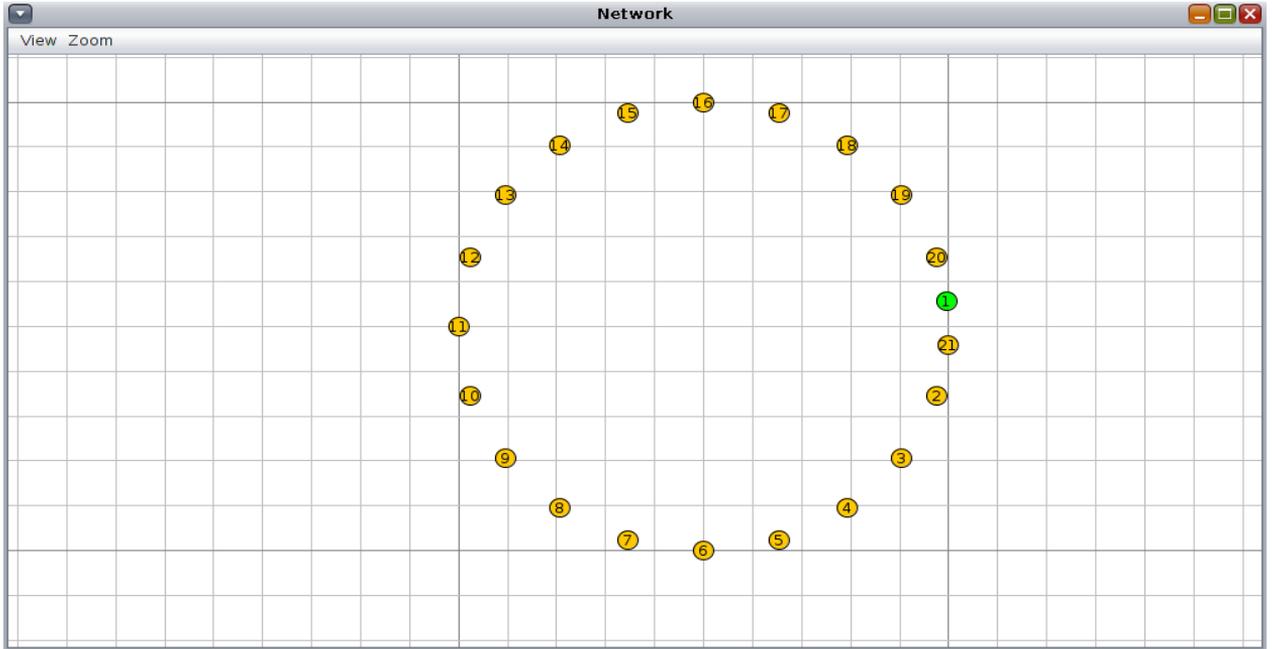
سنقوم بإنشاء الشبكة وفق طوبولوجياً Random مكونة من 20 عقدة ومصب للبيانات:



الشكل (10) بناء الشبكة وفق طوبولوجيا Random

• السيناريو الرابع:

سنقوم بإنشاء الشبكة وفق طوبولوجيا Ring مكونة من 20 عقدة ومصب للبيانات:

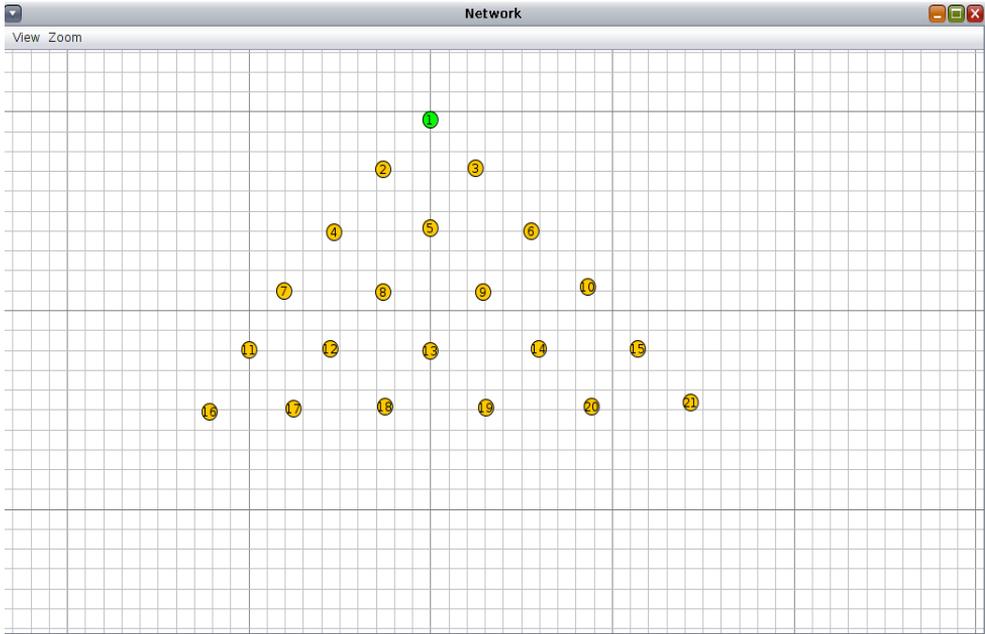


الشكل (11) بناء الشبكة وفق طوبولوجيا Ring

• السيناريو الخامس:

سنقوم بإنشاء الشبكة وفق طوبولوجيا Tree مكونة من 20 عقدة ومصب للبيانات:

دراسة تأثير طوبولوجيا النشر لشبكات الحساسات اللاسلكية على استهلاك الاستطاعة للعقد وفق
برتوكول RPL

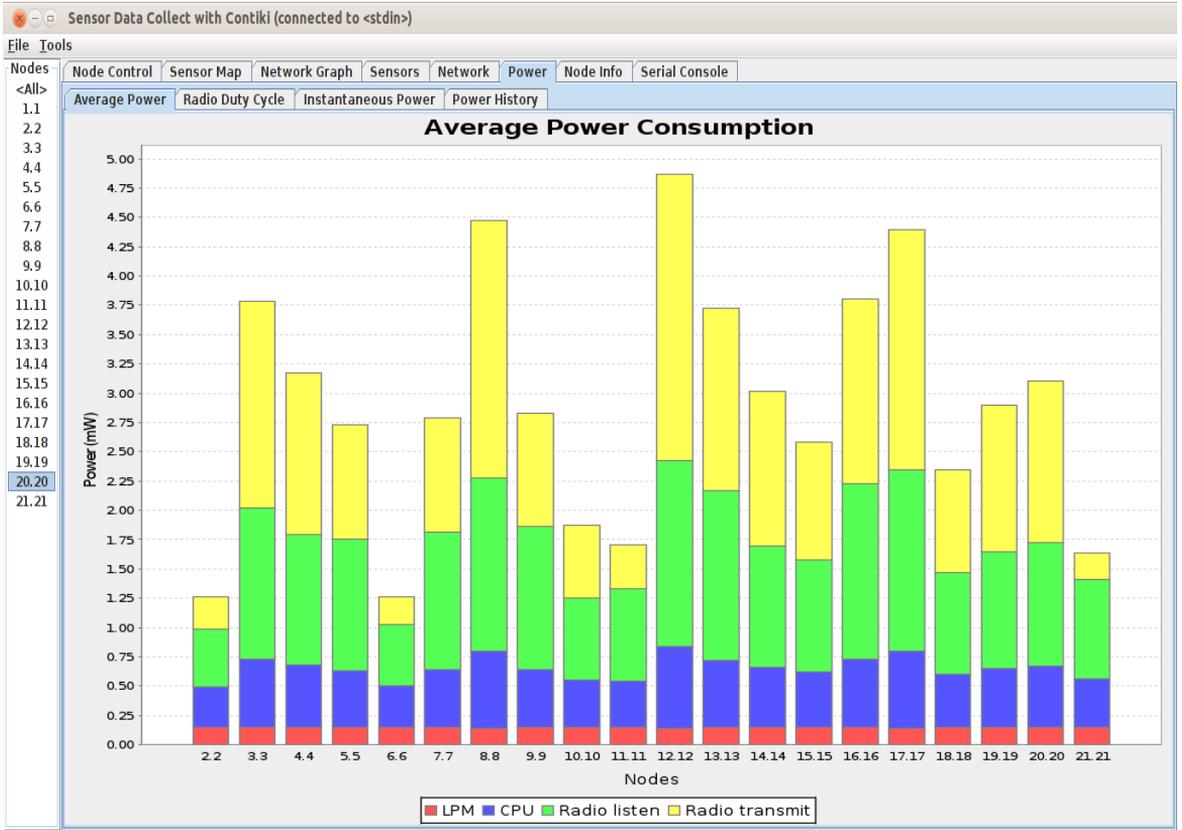


الشكل (12) بناء الشبكة وفق طوبولوجيا Tree

- النتائج ومناقشتها:

يبين الشكل (13) استهلاك الاستطاعة في السيناريو الاول وفق طوبولوجيا Bus، ويتبين أن أعلى استهلاك للاستطاعة عند العقدة 12 يساوي 4.8 واط ومعدل استهلاك الاستطاعة 2.912 واط ، وقد قمنا بحسابه وفق العلاقة:

$$P_{avr} = \sum P_i / N = 58.24 / 20 = 2.912 \text{ WAT} \quad (1)$$



الشكل (13) مخطط استهلاك الاستطاعة للعقد وفق السيناريو الاول

وتتقسم الاستطاعة المستهلكة في كل عقدة الى 4 اقسام:

- Radio Transmit : الاستطاعة المستهلكة خلال الارسال وهي القسم الاكبر

من الاستهلاك .

- Radio listen : الاستطاعة المستهلكة خلال الاستلام

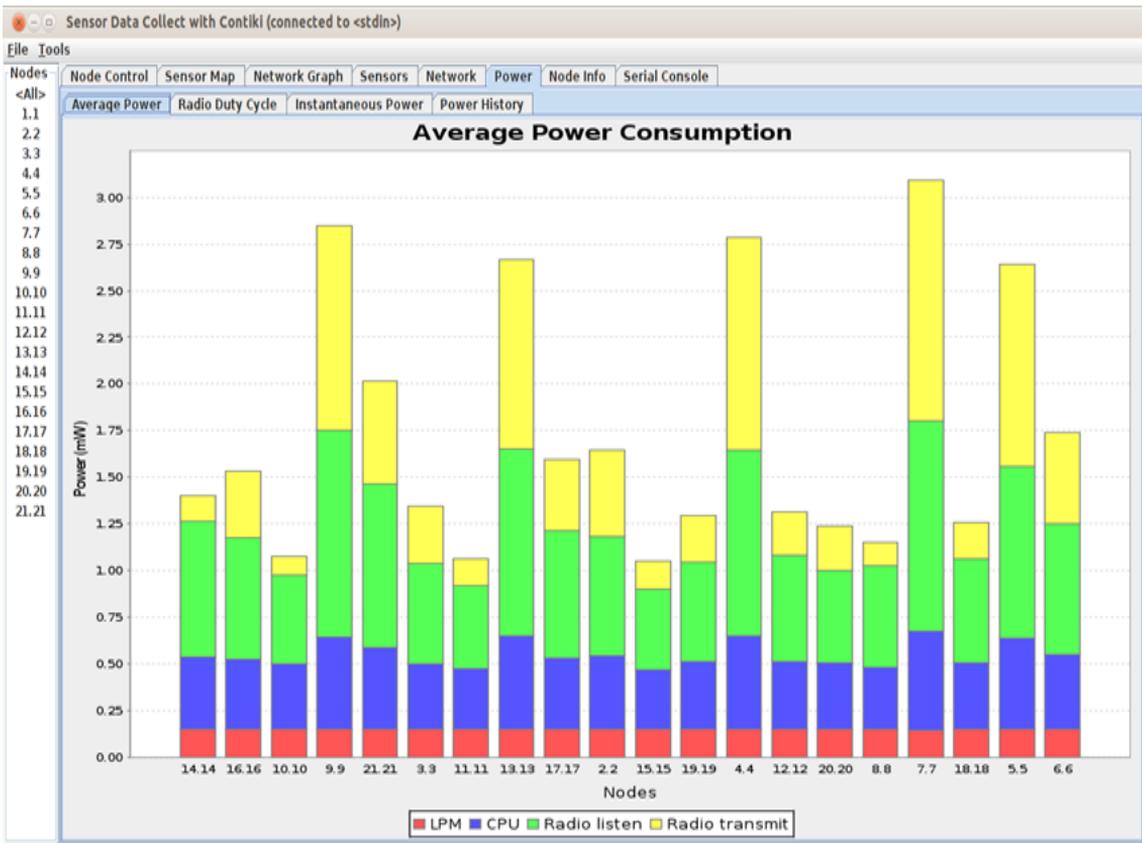
- CPU : الاستطاعة المستهلكة خلال المعالجة

• LPM : الاستطاعة المستهلكة خلال فترة النوم

بينما يبين الشكل (14) استهلاك الاستطاعة في السيناريو الثاني وفق طوبولوجيا Mesh

، ويتبين أن أعلى استهلاك للاستطاعة عند العقدة 7 يساوي 3.1 واط ومعدل استهلاك

الاستطاعة 1.738 واط وفق العلاقة (1).

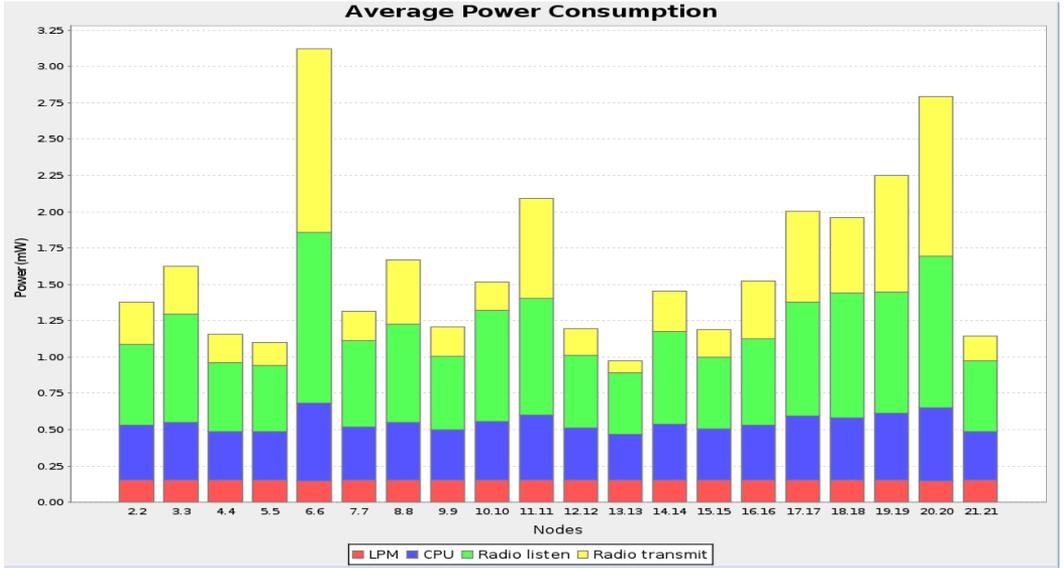


الشكل (14) مخطط استهلاك الاستطاعة للعقد وفق السيناريو الثاني

بينما يبين الشكل (15) استهلاك الاستطاعة في السيناريو الثالث وفق طوبولوجيا

Random ، ويتبين أن أعلى استهلاك للاستطاعة عند العقدة 6 يساوي 3.1 واط

ومعدل استهلاك الاستطاعة 1.633 واط وفق العلاقة (1).



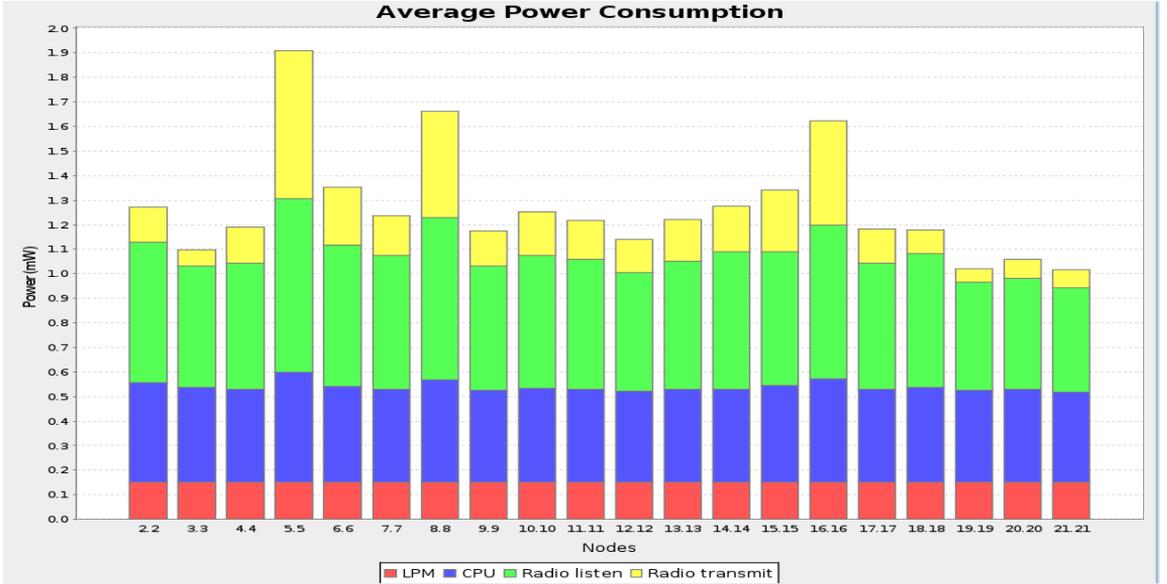
الشكل (15) مخطط استهلاك الاستطاعة للعقد وفق السيناريو الثالث

يبين الشكل (16) استهلاك الاستطاعة في السيناريو الرابع وفق طوبولوجيا Ring ، حيث

أن أعلى استهلاك للاستطاعة عند العقدة 5 يساوي 1.9 واط ومعدل استهلاك الاستطاعة

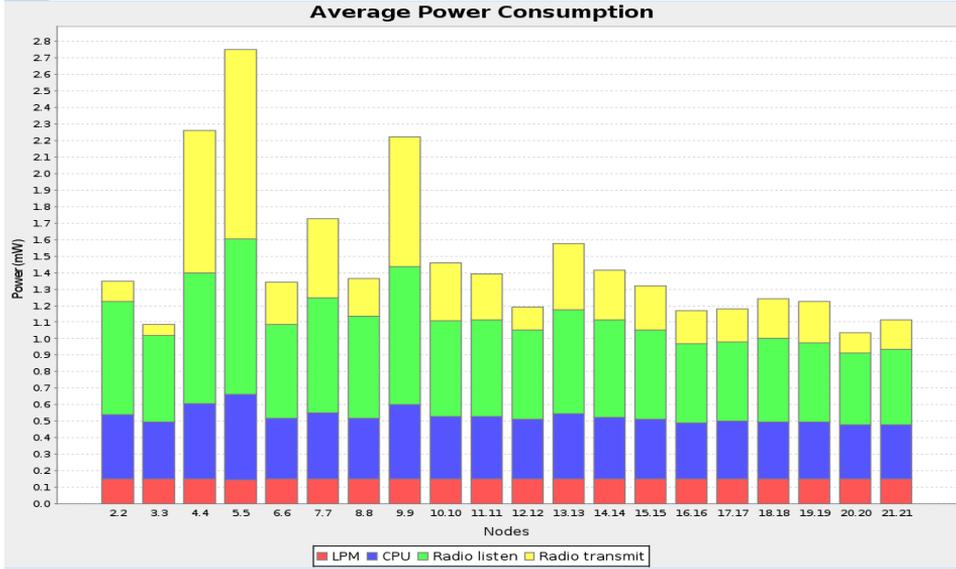
1.272 واط وفق العلاقة (1).

دراسة تأثير طوبولوجيا النشر لشبكات الحساسات اللاسلكية على استهلاك الاستطاعة للعقد وفق بروتوكول RPL



الشكل (16) مخطط استهلاك الاستطاعة للعقد وفق السيناريو الرابع

يبين الشكل (17) استهلاك الاستطاعة في السيناريو الخامس وفق طوبولوجيا Tree، ويتبين أن أعلى استهلاك للاستطاعة عند العقدة 5 يساوي 2.75 واط ومعدل استهلاك الاستطاعة 1.471 واط وفق العلاقة (1).



الشكل (17) مخطط استهلاك الاستطاعة للعقد وفق السيناريو الخامس

بالمقارنة تبين ان طوبولوجيا الحلقة Ring هي الاقل استهلاكاً للاستطاعة تليها العشوائية Random ثم الشبكية Mesh ثم الشجرية Tree ثم المستقيمة Bus.

حيث اننا في الطوبولوجيا الحلقية يوجد مسارن لعملية الارسال أحدها مع عقارب الساعة والآخر عكس عقارب الساعة مما يقلل عمليات الفشل في الارسال وكذلك يقلل عمليات اعادة الارسال وبالتالي يقلل استهلاك الاستطاعة.

6- الاستنتاجات:

تم في هذه المقالة استعراض تقنية انترنت الاشياء وبرتوكول التوجيه الخاص به RPL بالإضافة الى انواع طوبولوجيا النشر في شبكات الحساسات اللاسلكية وميزاتها ومساوئها كما تم محاكاة شبكة حساسات لاسلكية عبر تقنية انترنت الأشياء لمراقبة منطقة حدودية.

وتم إنجاز محاكاة الشبكة باستخدام محاكي COOJA Contiki بتطبيق 5 سيناريوهات وفق طوبولوجيا: (Random Ring , Tree , Bus , Mesh) ومقارنة استهلاك الاستطاعة لكل منهما.

حيث تبين ان الطوبولوجيا الحلقية Ring هي الاقل استهلاكاً للاستطاعة تليها العشوائية Random ثم الشبكية Mesh ثم الشجرية Tree ثم المستقيمة Bus عند استخدام دالة الهدف OF_0. وانه باستخدام طوبولوجيا Ring بإمكاننا توفير الاستطاعة مما يحقق عمراً أطول للشبكة المدروسة، بينما في الدراسة المرجعية [11] تبين ان الطوبولوجيا الشجرية هي الافضل من حيث معدل استهلاك الاستطاعة وذلك لأنه تم تطبيق دالة الهدف MRHOF في هذه الدراسة. نستنتج من ذلك أن بروتوكول التوجيه RPL يحقق استهلاكاً أقل للاستطاعة عند تطبيقه وفق طوبولوجيا النشر Ring ودالة الهدف OF_0 مقارنة بتطبيقه عند طوبولوجيا أخرى.

مع التأكيد انه لا يمكننا تعميم النتائج السابقة لأنها مرتبطة ارتباطاً تاماً بنوع العقد وطريقة توزيعها والمسافة بينها والبارامترات المدخلة الأخرى خصوصاً دالة الهدف.

7- التوصيات:

من اجل الاعمال المستقبلية اوصي بتطبيق الدراسة على طوبولوجيا السلسلة Chain كونها تمثل أحد طوبولوجيات النشر على الحدود وتحليل اداء البروتوكول RPL وفق هذه الطوبولوجيا.

[1]–Dionisis Kandris 1,* , Christos Nakas 1 , Dimitrios Vomvas 1 and Grigorios Koulouras 2 .2020 Applications of Wireless Sensor Networks: An Up-to-Date Survey ,applied system innovation, ;
doi:10.3390/asi3010014

[2]– Flammini, A., & Sisinni, E. 2014, *Wireless sensor networking in the Internet of things and cloud computing era*. Procedia Engineering, 87, 672–679. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.577>

[3]– Shamneesh Sharma , Keshav Kishore . 2013 , Wireless Sensor Networks– A Review on Topologies and Node Architecture . International Journal of Computer Sciences and Engineering . Vol.–1(2), pp (19–25) Oct 2013.

[4]– Sameer Dewangan*, Ashish Kumar Pandey, Nilmani Verma, Deepak Xaxa . 2015 . A COMPARATIVE ASSESSMENT OF TOPOLOGIES AND THEIR ISSUES IN WIRELESS SENSOR NETWORKS . INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES & RESEARCH TECHNOLOGY.

[5]– GOZUACIK,N. 2015, *PARENT-AWARE ROUTING ALGORITHM FOR RPL IN IOT NETWORKS*. ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY F GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE ENGINEERING AND TECHNOLOGY.

[6]– Lakshmi Devasena, C. 2016, IPv6 low power wireless personal area network (6LoWPAN) for networking Internet of things (IoT) – Analyzing its suitability for IoT. Indian Journal of Science and Technology, 9(30). <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i30/98730>

[7]– Thubert,P, Ed. 2012, RPL: IPv6 Routing Protocol for Low–Power and Lossy Networks, *Rfc 6550 RPL, Internet Engineering Task Force (IETF)*.

[8] – م. مجد علي ، 2021 ، تأثير عدد العقد على اداء شبكة الحساسات اللاسلكية المستخدمة لبروتوكول التوجيه RPL ، مجلة جامعة طرطوس للعلوم الهندسية، سوريا، 14 صفحة.

[9]– E.Sesli, Gökçe Hacıoğlu." Contiki OS Usage in Wireless Sensor Networks (WSNs)." Turkish Journal of Electromechanics & Energy, Turk J Electrom Energ Vol.: 2 No: 2 Page: 1–6 (2017)

[10]– Mr. Manifavas Charalambos, "CoAP–enabled Sensors for the Internet–of–Things. TECHNOLOGICAL EDUCATIONAL INSTITUTE OF CRETE Department of Applied Informatics & Multimedia," Crete 2014 ©

[11]– Suneeta Mishra, Vidushi Sharma, " Effect of Network Topology on RPL Performance

Metric," EasyChair 2023©

دراسة تأثير المعالجة الحرارية ذات الإرجاع المتكرر على خواص متانة التحطم للكرات الطاحنة المصنوعة من حديد الصب عالي الكروم

د. عباد كاسوحة**

*م. محمد رامي الجندي

ملخص البحث

أجريت مجموعة من الاختبارات بهدف دراسة تأثير تكرار عملية الإرجاع بعد التقسية على خواص متانة التحطم للكرات الطاحنة المصنوعة من حديد الصب عالي الكروم وفق محتوى % 15.23 كروم والتي كانت تعاني من سرعة التحطم والفشل في مطاحن الاسمنت الأسطوانية ذات الكرات ، تم تطبيق مجموعة من المعالجات الحرارية من أجل تحسين البنية المجهرية للكرات الطاحنة المدروسة بالاعتماد على التسخين الى درجة حرارة الطور الأوستنيتي $C \square 1000$ متبوعا بالسقاية بالزيت ثم القيام بعملية معالجة حرارية بإرجاعين متتاليين عند درجات حرارة مختلفة $C \square 500$ و $C \square 550$ و $C \square 600$ بغرض تأكيد إزالة الاجهادات الناتجة عن السقاية وضمان ترسيب الكربيدات الثانوية في البنية الناتجة حيث وصل عدد الصدمات التي تتلقاها الكرة في اختبار السقوط الحر قبل الانهيار الى 12818 صدمة قبل الانهيار بعد أن كان بحدود 2100 صدمة من خلال المعالجة الحرارية (1000 HRC / 1.5 H + 2 X 500 C / 2 H) والتي أنتجت انخفاضاً في القساوة الى 47.2 HRC وتحسناً في الطاقة الممتصة قبل الانهيار في اختبار صدم تشاربي من 1.844 Joules الى 7.26 Joules ، أظهرت تحليلات البنية المجهرية أن البنية الناتجة هي بنية مارتينسيتية مع نسبة من كربيدات الحديد والكروم بلغت % 11.9 بالإضافة الى نسبة من الأوستنيت المتبقي.

تعتبر عملية المعالجة الحرارية التي تتبع السقاية المتبوعة بتكرار عملية الإرجاع والتي تؤدي الى تخفيض نسبة الكربيدات في البنية من اهم عوامل تحسين متانة تحطم الكرات الطاحنة المصنوعة من الحديد الصب عالي الكروم مع أهمية تأمين القساوة اللازمة للحفاظ

دراسة تأثير المعالجة الحرارية ذات الإرجاع المتكرر على خواص متانة التحطم للكرات الطاحنة
المصنوعة من حديد الصب عالي الكروم

على مقاومة الاهتراء، حيث يعد تأمين التوافق بين متانة التحطم ومقاومة الاهتراء هو
التحدي الأبرز عند إجراء تعديلات في البنية المجهرية للكرات.

كلمات مفتاحية

الحديد الصب، التقسية، الإرجاع، المارتينسيت، الكربيدات.

*طالب دكتوراه - هندسة التصميم والإنتاج - قسم هندسة التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية
والكهربائية - جامعة حمص - حمص - سوريا rami.al.jundi92@gmail.com

** أستاذ مساعد - قسم هندسة التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة
حمص - حمص - سوريا.

Experimental Study on the Effect of Repeating Tempering Heat Treatment process on The Fracture Toughness Properties of High Chromium Cast Iron Grinding Balls

***Engineer: Mohamad Rami Al Jundi Dr. Abbad
Kassouha****

ABSTRACT

Experimental tests were carried out to study the effect of repeating the tempering process after hardening heat treatment on the High Chromium Cast Iron Grinding Balls, with 15.23 % Cr content, that suffered from the rapid fracture and failure in the cement grinding balls mills, many heat treatment processes were applied for improving the microstructure of the studied balls by heating to the Austenite phase about 1000 C° and oil quenching followed by double tempering process with a varied temperatures 500 C° , 550 C° and 600 C°, aimed to insure relieving the residual stresses after hardening and precipitation of carbides, the number of impacts in the drop balls test was improved from 2100 impacts to 12818 impacts, by the applied heat treatment of (1000 C° /2 H + 2 X 500 C° / 1.5 H) that also resulted decrease of the hardness till 47.2 HRC, and the absorbed energy of Charpy impact test was improved till 7.26 Joules, the analyzed microstructure was shown a martensitic microstructure with 11.9 % carbides and retained austenite.

The heat treatment process of hardening with double tempering processes was considered as a practical solution for improving the fracture toughness of the high chromium cast iron grinding balls with the full care of matching between the required wear resistance other properties especially when the microstructure is modified.

Key Words

Cast iron, hardening, tempering, martensite, carbides.

***PhD Student-Design and Production Engineering- Design and Production Engineering Department-Homs University-Homs-Syria.**

****Assistant professor- Design and Production Engineering Department-Homs University-Homs-Syria.**

1- المقدمة

تُستخدم سبائك الحديد الصب عالي الكروم على نطاق واسع في التطبيقات التي تتطلب مقاومة جيدة للاهتراء الناتج عن التآكل ومتانة صدمية مرتفعة، مثل معالجة المعادن، وتصنيع الأسمنت، يُعزى هذا السلوك المقاوم للتآكل بوضوح إلى البنية المجهرية الدقيقة والأطوار المشاركة فيها، سواءً في ظروف الصب As Cast أو بعد المعالجة الحرارية. تُعدّ البنية المجهرية الناتجة، والأطوار الثانوية، والأطوار الكريبيدية الأولية مسؤولة عن مقاومة الاهتراء والتحطم الناتج عن التآكل والصدم المتكرر لهذه السبائك ويعتقد أن للأطوار المارتنسيكية تأثيرًا إيجابيًا على مقاومة التآكل، بينما تزيد البنى البيرليتيكية والفريتيكية عمومًا من فقدان الأجزاء من السبائك العاملة من خلال الاهتراء أو التشطي بينما تعطي البنى الأوستنيتية نتائج متناقضة بسبب تأثير التقسية المتزايدة، والذي يؤثر بدوره على

سلوك مقاومة الاهتراء. يجب دراسة تأثير وجود الكربيد الثانوي إلى جانب عوامل أخرى، مثل ظروف التآكل، والبيئة، والوسائط المسببة للتآكل.

يتكون التركيب الأولي للسبائك المصنوبة أساساً من بنية شجيرية أوستنيتية وخليط يوتكتيكي من الأوستنيت وكربيدات M7C3. يمكن العمل على تحويل هذا الشكل الأولي بشكل كبير من خلال معالجات حرارية حرجة ودون حرجة مختلفة. يتمثل مجال المعالجات الحرارية عموماً في ترسيب جسيمات الكربيد الثانوية مصحوباً بنزع استقرار الأوستنيت المتزامنة مع تحوله إلى أطوار أخرى، والأهم أن يتحول إلى طور المارتينيسيت.

تُجرى المعالجات الحرارية الحرجة (نزع الاستقرار) عند درجة حرارة $920-1060\text{ C}$ ، لمدة 6-1 H. عادةً ما تتبع المعالجات دون الحرجة معالجات نزع الاستقرار، حيث تُجرى عند درجة حرارة $200-600$ درجة مئوية لمدة 2-6 ساعات. وقد بحثت العديد من الجهود البحثية في تأثير هذه المعالجات على سلوك الحديد الصلب الأبيض عالي الكروم. (Karantzalis، 2008)

درس الباحثون ترسيب وتحويل الكربيدات الثانوية في الحديد الصلب $Cr-16\%$ بعد التعرض لمعالجة حرارية لنزع الاستقرار. وخلصوا إلى ترسيب نوعين من جسيمات الكربيد الثانوية $(Fe,Cr)_{23}C_6$: أحدهما ذو شكل مكعب ذي اتجاه محدد بالنسبة للبنية، والآخر ذو شكل حبيبي بدون اتجاه محدد. ويرجح أن الأخير قد تشكل خلال مرحلة التبريد في عملية نزع الاستقرار. كما لوحظ أنه بعد فترات إبقاء طويلة، تحولت جسيمات $(Fe,Cr)_{23}C_6$ إلى كربيدات شجيرية من M7C3.

ركزت جهود بحثية متنوعة على تكوين ومورفولوجيا وخصائص الكربيدات الثانوية المتكونة أثناء المعالجات الحرارية. يعتمد تكوين الكربيدات الثانوية على عدد من العوامل، بما في ذلك التركيب الكيميائي، ودرجة حرارة ومدة المعالجة الحرارية، ومعدل التبريد بعد المعالجة الحرارية. كما يمكن أن يختلف مورفولوجيا وخصائص الكربيدات تبعاً لهذه العوامل، يمكن أن تختلف هياكل وأحجام وتوزيعات بلورية هذه الكربيدات

داخل البنية، ويمكن أن تؤثر على خصائص مثل الصلابة، ومقاومة التآكل، والمتانة.

(Abdel-Aziz، 2017)

2- الهدف من البحث:

تحسين متانة التحطم والخواص المتعلقة بها من أجل زيادة العمر الفني للكرات الطاحنة من خلال دراسة تأثير المعالجات الحرارية على البنية المجهرية وخواص متانة التحطم للكرات الطاحنة المصنوعة محلياً من حديد الصب عالي الكروم عبر تطبيق المعالجة حرارية بالتقسية ثم تكرار عملية الارجاع عند درجات حرارة مختلفة.

3- المواد والأدوات ومنهجية البحث:

3-1- المواد والأدوات:

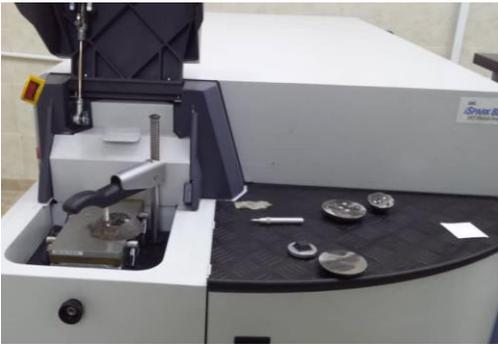
1. كرات طاحنة محلية الصنع مصنوعة من الحديد الصب عالي الكروم بمحتوى كروم % 15.23.
2. جهاز اختبار السقوط الحر.
3. جهاز اختبار صدم تشاربي.
4. فرن معالجة حرارية.
5. حوض تبريد بالزيت.
6. جهاز تحضير العينات مع أوراق شحذ.
7. مواد التنميش (محلول النيّال 5%) والتلميع (مسحوق الألومينا).
8. جهاز التحليل الطيفي لتحديد التركيب الكيميائي.
9. جهاز اختبار قساوة روكويل.
10. مجهر ضوئي.
11. برنامج تحليل صوري.



الشكل 1 جهاز قساوة روكويل وجهاز اختبار السقوط الحر



الشكل 2 - جهاز قص العينات بالسلك وجهاز صدم تشاربي وآلة شحذ وتحضير العينات

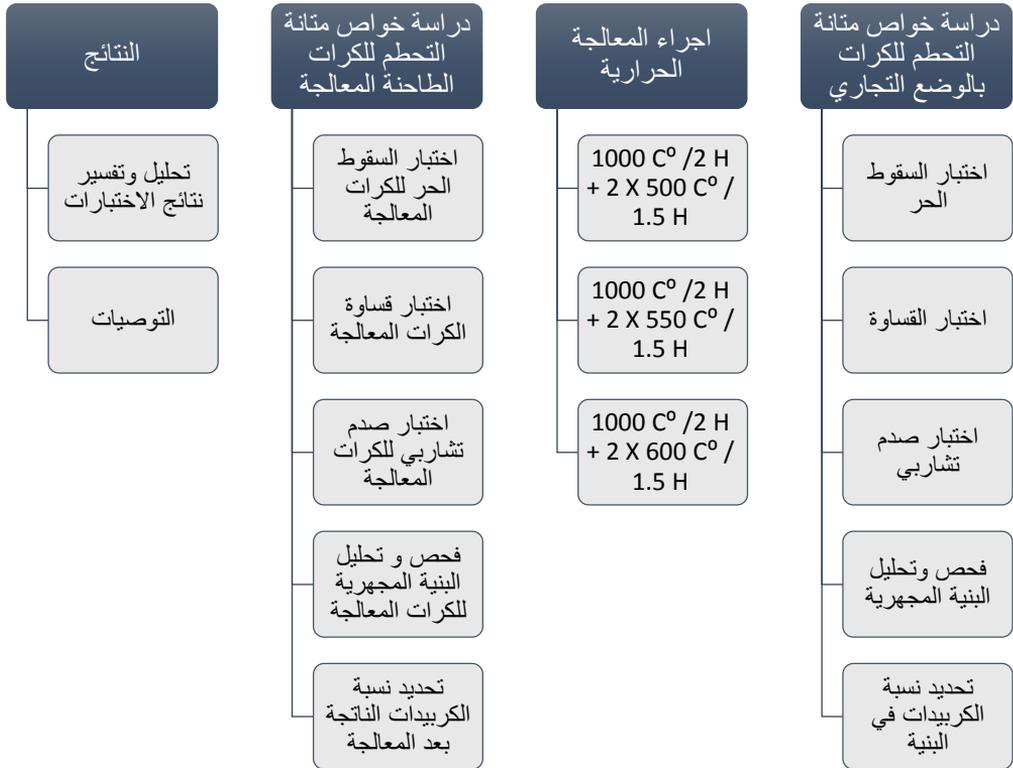


الشكل 3- فرن المعالجة الحرارية وجهاز التحليل الطيفي

2-3- منهجية البحث:

سيتم دراسة خواص الكرات الطاحنة محلية الصنع بوضعها التجاري ثم العمل على تحسين متانة التحطم لها من خلال اجراء المعالجات الحرارية بالسقاية بالزيت ثم تطبيق عمليتي ارجاع وبثلاث درجات حرارة ارجاع مختلفة وفق ما يلي في مخطط منهجية

البحث:



المخطط 1- منهجية البحث وخطواته

4- النتائج ومناقشتها:

تم اجراء الاختبارات المذكورة في خطة البحث حيث أجري تحليل للتركيب الكيميائي للكرات الطاحنة المختبرة تلاه تحديد قيمة القساوة ثم أجري اختبار السقوط الحر من أجل تحديد عدد الصدمات التي تتلقاها الكرة قبل التحطم وبالتالي عمرها الفني بما يحاكي الصدمات التي تتعرض لها في مطاحن الاسمنت، كما أجري اختبار صدم تشاربي من أجل التأكد من نتائج المعالجة الحرارية وتأثيرها على خواص متانة التحطم للكرات الطاحنة المدروسة.

يبين الجدول التالي نتائج الاختبارات المطبقة قبل وبعد اجراء المعالجة الحرارية:

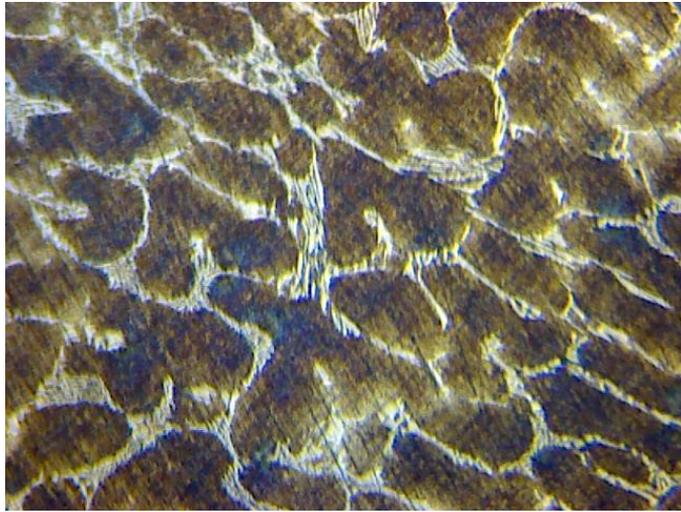
الاختبار	الوضع التجاري	1000 C□/2 H + 2 X 500C□ / 1.5 H	1000 C□/2 H + 2 X 550C□ / 1.5 H	1000 C□/2 H + 2 X 600C□ / 1.5 H
السقوط الحر (1)	1855	11900	4464	3400
السقوط الحر (2)	2100	13100	4700	2960
السقوط الحر (3)	1940	13454	4120	3110
المتوسط (صدمة)	1965	12818	4228	3157
القساوة HRC	54.4	47.2	45.8	44.3
صدم تشاربي Joule	1.844	7.26	4.8	4.06
نسبة الكربيدات %	18.8	11.9	10.8	8.9

الجدول 1- نتائج الاختبارات

ملاحظة: تم اجراء كافة الاختبارات بثلاث كرات وأخذ المتوسط الحسابي كنتيجة للاختبار.

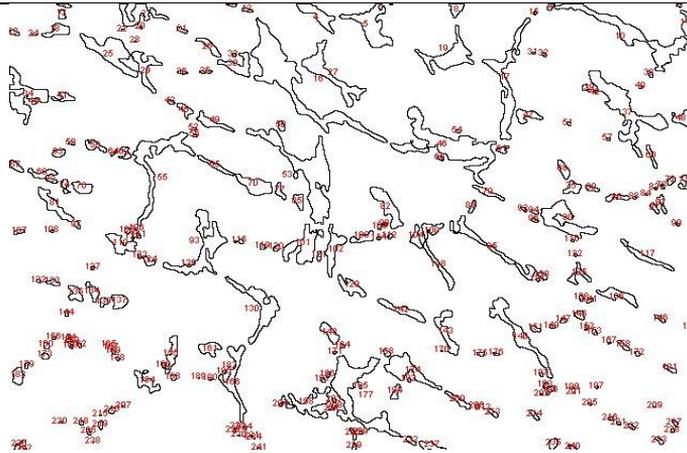
- الكشف عن البنى المجهرية للكرات الطاحنة المختبرة:

أجري تحليل لصورة البنية المجهرية الناتجة بعد تطبيق المعالجة الحرارية $1000\text{ C} \square$ / 1.5 H حيث أظهرت الصورة المأخوذة بالمجهر الضوئي بنية مارتينسيتية مع شجيرات كربيدية بنسبة 11.9% وبوجود الأوستينيت المتبقي، كما تبين الصور المدرجة أدناه للبنية الناتجة وصورة تحليل البنية باستخدام برنامج التحليل الصوري J Image.



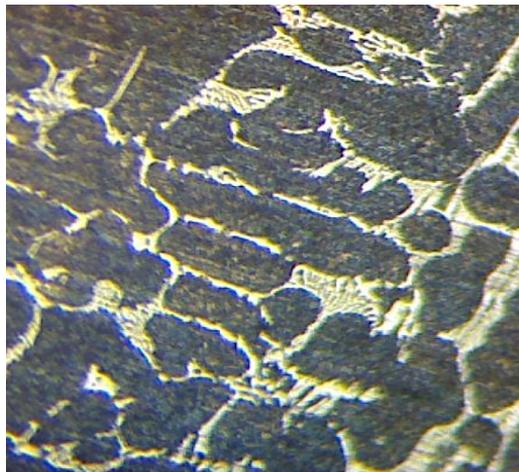
الشكل 4 صورة البنية المجهرية للعينه المعالجة وفق $1000\text{ C} \square$ / $2\text{ H} + 2\text{ X } 500$

$\text{x}800\text{ C} \square$ / 1.5 H)



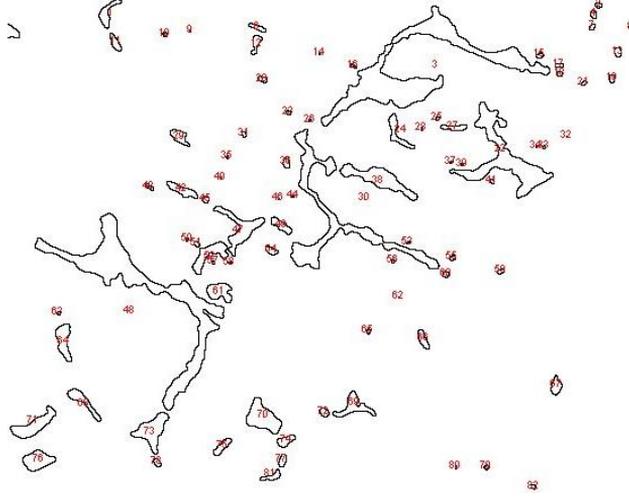
الشكل 5 صورة تحليل البنية المجهرية للعينة المعالجة وفق $1000 \text{ C} \square / 2 \text{ H} + 2 \text{ X}$ (استخدام برنامج Image J $500 \text{ C} \square / 1.5 \text{ H}$)

بينما أظهرت البنية المجهرية الناتجة عن المعالجة الحرارية الثانية $1000 \text{ C} \square / 2 \text{ H} + 2 \text{ X}$ انخفاضا أكبر في نسبة الكربيدات وصل الى 10.8% ضمن بنية مارتينسيتية وبوجود نسبة من الاوستنيت المتبقي كما تبين صورة المجهر الضوئي للبنية المجهرية المعالجة وتحليلها بواسطة برنامج Image J.



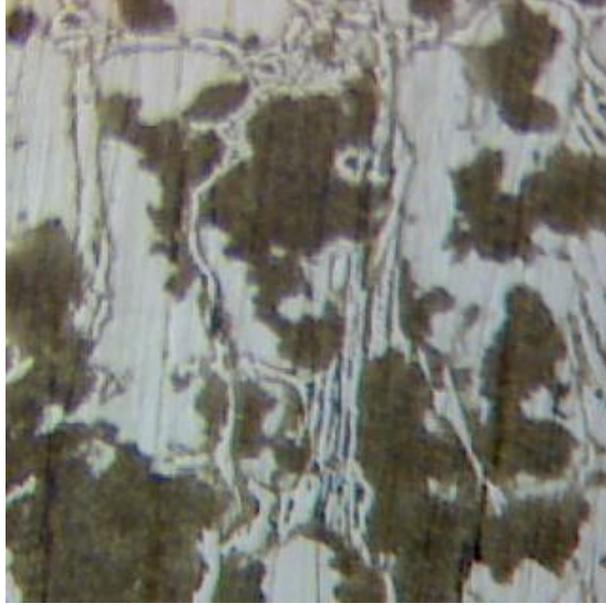
الشكل 6 صورة البنية المجهرية للعينة المعالجة وفق $1000 \text{ C} \square / 2 \text{ H} + 2 \text{ X } 550 \text{ C} \square$ (استخدام برنامج Image J $800 \text{ C} \square / 1.5 \text{ H}$)

دراسة تأثير المعالجة الحرارية ذات الارجاع المتكرر على خواص متانة التحطم للكرات الطاحنة
المصنوعة من حديد الصب عالي الكروم



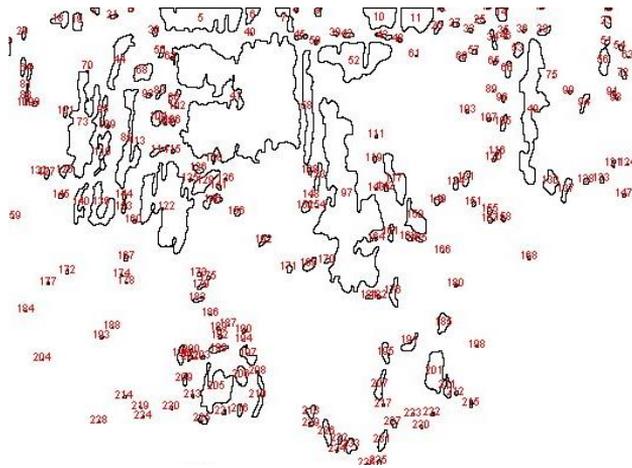
الشكل 7 صورة تحليل البنية المجهرية للعيينة المعالجة وفق $1000\text{ C}^\circ / 2\text{ H} + 2\text{ X}$
(Image J باستخدام برنامج $550\text{ C}^\circ / 1.5\text{ H}$)

كما لوحظ انخفاضاً آخرأ في نسبة الكربيدات في البنية المارتنسييتية الناتجة الى 8.9% مع وجود بعض الاوستنيت المتبقي من خلال تحليل صورة البنية المجهرية المأخوذة بالمجهر الضوئي للعيينة المعالجة وفق $1000\text{ C}^\circ - 2\text{ H} - \text{oil} / 600\text{ C}^\circ - 1.5\text{ H X2}$ كما يظهر الشكلان أدناه:



الشكل 8 صورة البنية المجهرية للعيينة المعالجة وفق $1000 C \square / 2 H + 2 X 600$

$C \square / 1.5 H$



الشكل 9 صورة تحليل البنية المجهرية للعيينة المعالجة وفق $1000 C \square / 2 H + 2 X$

$600 C \square / 1.5 H$ باستخدام برنامج Image J

5- الاستنتاجات والتوصيات:

دراسة تأثير المعالجة الحرارية ذات الارجاع المتكرر على خواص متانة التحطم للكرات الطاحنة
المصنوعة من حديد الصب عالي الكروم

أظهرت الكرات الطاحنة المصنوعة من الحديد الصب عالي الكروم تحسناً كبيراً في عدد الصدمات التي تتلقاها الكرة في اختبار السقوط الحر حيث ازداد عدد الصدمات حوالي ست أضعاف من 2100 صدمة الى 12818 صدمة بالتزامن مع ازدياد كمية الطاقة الممتصة من العينات قبل الانهيار في صدم تشاربي من 1.844 Joule الى 7.26 Joule مع المحافظة على قيمة قساوة جيدة بحدود 47.2 HRC وبوجود نسبة كربيدات في البنية المارتنسيئية % 11.9 والتي تشير الى توزيع متجانس للكربيدات في البنية بالكامل ناتج عن تكرار عملية الارجاع بعد التقسية والسقاية بالزيت من الدرجة C □ 1000 متبوعة بإرجاعين عند الدرجة C 500.

بينما لم تظهر الكرات المعالجة عند عملية الارجاع بعد التقسية والسقاية بالزيت من الدرجة C □ 1000 متبوعة بإرجاعين عند الدرجة C □ 550 نفس التحسن الظاهر في العملية السابقة حيث بلغ عدد الصدمات التي تلقتها الكرة قبل الانهيار 4428 صدمة بالتزامن مع قيمة قساوة 45.2 HRC والتي أبدت انخفاضاً في قيمة لقساوة ما يؤدي الى انخفاض في القساوة مع تحسن بسيط في متانة التحطم حيث بلغت قيمة الطاقة الممتصة ن العينة قبل الانهيار في اختبار صدم تشاربي 4.8 Joule ووجد ان نسبة الكربيدات في البنية المارتنسيئية الناتجة كانت % 10.8.

ثم تبين من خلال تحليل نتائج اختبارات الكرات المعالجة وفق عملية الارجاع بعد التقسية والسقاية بالزيت من الدرجة C □ 1000 متبوعة بإرجاعين عند الدرجة C □ 600 انخفاضاً أكبر في عدد الصدمات التي الكرات قبل الانهيار الى 3157 صدمة ووصلت قيمة القساوة المقاسة بعد المعالجات الحرارية الى 44.3 HRC كما ترافقت هذه القيم مع انخفاض في قيمة الطاقة الممتصة في اختبار تشاربي الى 4.06 Joule بما لا يبدي تحسناً في أداء الكرة التي تهدف معالجاتها الى تأمين متانة التحطم والمقاومة للاهتراء المثلى.

وبالتالي يمكن الوصول الى الاستنتاجات التالية:

1- يؤدي تكرار عملية الأرجاع بعد التقسية الى تحسين متانة التحطم للكرات الطاحنة المصنوعة من الحديد الصب عالي الكروم من خلال تأمين إزالة الاجهادات الناتجة عن عملية التقسية وضمان توزيع متجانس للكربيدات المترسبة في البنية خلال عمليات المعالجة الحرارية.

2- يؤدي تخفيض نسبة الكربيدات في البنية المارتنسييتية الناتجة الى حدود 12 % الى تأمين متانة التحطم اللازمة دون المساس بمقاومة الاهتراء للكرات الطاحنة المصنوعة من الحديد الصب عالي الكروم.

3- يمكن الاعتماد على نتائج اختبار صدم تشاربي كوسيلة مساعدة للحكم على نتائج المعالجات الحرارية المتبعة والحكم على نتائج اختبار السقوط الحر المطبق.

- التوصيات:

1- اجراء دراسة تأثير عمليات الأرجاع عند مجالات حرارية أخرى لما لها من تأثير على البنى المجهرية الناتجة.

2- اجراء تجارب عملية على تطبيق معالجات حرارية متبوعة بعدد مرات متغير من الأرجاع على سبائك الحديد الصب عالي الكروم.

3- اجراء دراسات تجريبية عن تأثير نسبة الاوستنيت المتبقي في البنية على متانة التحطم للكرات الطاحنة المصنوعة من الحديد الصب عالي الكروم.

References

1. **Abdel-Aziz, Kh., El-Shennawy, M., & Omar, A.A.** 2017. *Microstructural Characteristics and Mechanical Properties of Heat Treated High-Cr White Cast Iron Alloys*, International Journal of Applied Engineering Research, Vol. 12, No. 14, pp.
2. **Karantzalis, A.E., Lekatou, A., & Mavros, H.** 2009. *Microstructural Modifications of As-Cast High-Chromium White Iron by Heat Treatment*, Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 18, No. 2, pp. 174–181
3. **MDPI.** 2023. *Development of High Chromium White Cast Irons (HCWCIs) for Wear–Corrosive Environments: A Critical Review*, Metals, Vol. 13, Issue 11, Article 1831.
4. **Springer.** 2020. *Wear Mechanism of High Chromium White Cast Iron and Its Microstructural Evolutions During the Comminution Process*, Tribology Letters, Vol. 68, Article 17.
5. **Ningguo Hexin.** 2023. *Heat Treatment Process for High Chromium Grinding Ball*.
6. **Blickensderfer, R., Tylczak, J. H., & Laird, G.** 1989. *Spalling of High-Chromium White Cast Iron Balls Subjected to Repetitive Impact*.
7. **Younes, R., Sadeddine, A., Bradai, M. A., Aissat, S., & Benabbas, A.** 2021. Investigation on the Influence of Tempering on Microstructure and Wear Properties of High Alloy Chromium Cast Iron, *Advances in Materials Science*, Vol. 21, 66-73.

8. **Moema, J. S., Papo, M. J., Slabbert, G. A., & Zimba, J.** 2009. Grinding Media Quality Assurance for the Comminution of Gold Ores, *World Gold Conference*, 27-31.
9. **Wiengmoon, A.** 2010. Carbides in High Chromium Cast Irons, Department of Physics, Faculty of Science, Naresuan University.
10. **Kootsookos, A., Gates, J. D., & Eaton, R. A.** 1995. "Development of a White Cast Iron of Fracture Toughness $40\text{MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$." *International Journal of Cast Metals Research*, Vol. 7, 239-246.
11. **Blickensderfer, R., & Tylczak, J. H.** 1989. "Evaluation of Commercial US Grinding Balls by Laboratory Impact and Abrasion Tests." *Minerals & Metallurgical Processing*, Vol. 6, 60-65.
12. **Filipovic, M., Kamberovic, Z., Korac, M., & Gavrilovski, M.** 2013. Correlation of Microstructure with the Wear Resistance and Fracture Toughness of White Cast Iron Alloys. *Metals and Materials International*, Vol. 19, 473-481.
13. **Gates, J. D., Bennet, P. J., McInnes, L. J., & Tunstall, B. R.** 2015. The Challenge of Accurate Prediction of Industrial Wear Performance from Laboratory Tests. *UQ Materials Performance*, The University of Queensland

دراسة تأثير المعالجة الحرارية ذات الارجاع المتكرر على خواص متانة التحطم للكرات الطاحنة
المصنوعة من حديد الصب عالي الكروم

التحكم بالتيار باستخدام المتحكم التباطؤي

للمحرك متغير الممانعة ذو الأقطاب (6/4)

د. بتول الساطي

ملخص

هدف هذا البحث لدراسة المحرك متغير الممانعة ذو الأقطاب (6/4) والتحكم به من خلال متحكم التيار التباطؤي. يوجد نمطين للتقطيع عند تطبيق طريقة التحكم بالتيار من خلال المتحكم التباطؤي وهما التقطيع الناعم والقاس، وتم تطبيق طريقة التقطيع الناعم في هذا البحث كونها الأكثر ملائمة لعمل الآلة بوضعية المحرك. تم تطبيق عدة قيم لتوتر المنبع المستمر للقالبة المسؤولة عن تغذية المحرك لمعرفة أداء المحرك وسلوكه كلما زادت قيمة التوتر والتي تعد من أهم البارامترات في عملية التبديل أثناء التحكم بالمحرك. تم تطبيق دارة التحكم بالمحرك باستخدام برنامج الماتلاب 2021a. تم استخلاص منحنيات السرعة والتيار والفيض وعزم المحرك الكهرومغناطيسي وعزم الحمولة. تبين من خلال النتائج أن التيار يزداد بزيادة التوتر المستمر وبالمقابل زيادة التوتر المستمر قد تؤثر على اللحظة التي يدخل فيها منحنى سرعة دوار المحرك إلى الحالة المستقرة ولذا ينبغي انتقاء قيمة التوتر بشكل دقيق.

الكلمات المفتاحية: المحرك متغير الممانعة، التبديل، التحكم بالتيار.

Current Control Using Hysteresis Controller for Switched Reluctance Motor with Poles (4/6)

Abstract

The aim of this research is to study the switched reluctance motor with poles (4/6) and control it through the hysteresis controller. There are two switching patterns when applying the current control method through the hysteresis controller, which are soft and hard switching. The soft switching method is applied in this research as it is the most suitable for the machine to operate in the motor mode. Several values of the DC source voltage of the inverter responsible for feeding the motor are applied to know the motor performance and behavior as the voltage value increases, which is one of the most important parameters in the switching process during motor control. The motor control circuit is implemented using the MATLAB 2021a program. The speed, current, flux, electromagnetic motor torque and load torque curves were extracted. The results showed that the current increases with increasing DC voltage, and in contrast, increasing DC voltage may affect the moment at which the motor rotor speed curve enters the steady state, so the voltage value should be selected carefully.

Key words: switched reluctance motor, switching, current control.

1. مقدمة:

يعد محرك متغير الممانعة (SRM) مثالاً لتطبيقات المركبات الكهربائية (EV) نظراً لبنينه القوية وعزم دورانه العالي، ونطاق السرعة الواسع والأداء الجيد أثناء الحمل الزائد، وبوجود الأعطال. حيث تعتبر المحركات القابلة للتحكم والقيادة (كالمحركات متغيرة الممانعة)، أساساً لأنواع مختلفة من المركبات التي تعمل بالطاقة المتجددة، وذلك انطلاقاً من السعي للحصول على مزايا انبعاثات الكربون الأقل وكفاءة الوقود العالية وانخفاض الضوضاء، حيث أصبحت المركبات الكهربائية تحظى بشعبية متزايدة في قطاع النقل [1]. يعتمد المحرك متغير الممانعة على عزم الممانعة للدوران بدلاً من العزم الكهرومغناطيسي. يأتي مصطلح (التبديل) من أنّ المحرك يعتمد بشكل كبير على الترانزستورات من أجل التشغيل [2].

يتمتع المحرك متغير الممانعة بمجموعة من الميزات، كالسعر المنخفض والبنية الثابتة والبسيطة، وتنظيم السرعة الجيد، وأداء جيد أثناء الإقلاع، بالإضافة إلى الكفاءة التشغيلية العالية [3]. إنّ خصائص المحرك SRM كالفيض المتشابك والعزم، بالإضافة إلى تغير الممانعة المغناطيسية وآثار الإشباع كلها عبارة عن توابع لخطية لموضع الدوار وتيار الطّور، مما يجعل تمثيل المحرك رياضياً عملية معقّدة [4]. ظهر المحرك متغير الممانعة واستخدم بشكل فعلي في العام 1970 نتيجة توافر الأجهزة الالكترونية في ذلك الوقت. حالياً جذب هذا المحرك الانتباه بشكل لافت نظراً لمزاياه بالمقارنة مع المحركات التقليدية [5].

2. مشكلة البحث:

زاد مؤخراً الاهتمام بشكل بالغ في التطبيقات المتعلقة بالمركبات الكهربائية، ويجري العمل على تطويرها وتطوير المعدات الخاصة بها ومنها المحركات متغيرة الممانعة. يعتبر المحرك متغير الممانعة من الآلات الخاصة التي تتميز بعدم وجود ملفات أو مغناط على الجزء

الدوار بخلاف الآلات التحريضية وذات المغناطيس الدائمة. انطلاقاً مما سبق، ناقشت هذه الدراسة فعالية التحكم بالمحرك متغير الممانعة باستخدام طريقة التحكم بالتيار عن طريق المتحكم التباطوي. يعتبر توتر المنبع المستمر الخاص بالقالبة من أهم البارامترات التي تؤثر على عملية التبديل وبالتالي من الضروري انتقاء القيمة المناسبة التي تحقق أداء المحرك بشكل فعال.

3. أهمية البحث

تتجلى أهمية البحث في تنفيذ ومناقشة فعالية طريقة التحكم بالتيار للمحرك متغير الممانعة (6/4)، وتأتي أهمية دراسة هذا النوع من المحركات وأهمية التحكم به من استخدامه في المركبات الكهربائية، والطائرات وغيرها من التطبيقات.

4. أهداف البحث

1-دراسة المحرك متغير الممانعة ذو الأقطاب (6/4)، مع حمولة متغيرة، وتغير بالسرعة والتوتر المستمر.

2-تصميم دائرة التحكم بالتيار باستخدام المتحكم التباطوي باستخدام الماتلاب واستخراج منحنيات السرعة والعزم الكهرومغناطيسي وعزم الحمولة وملاحظة تغير هذه المنحنيات بتغير الحمولة وتوتر القالبية المستمر.

5. أدوات البحث:

تم تطبيق البحث من خلال تمثيل المحرك متغير الممانعة (6/4) ودائرة التحكم بالتيار الخاصة به باستخدام برنامج Matlab 2021a.

6. الدراسات السابقة:

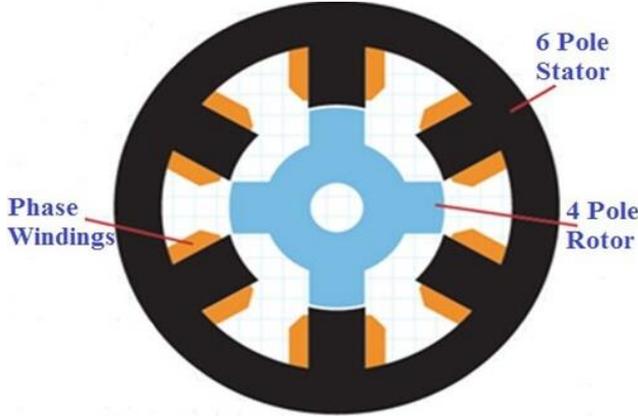
دراسة [6] قدمت مراجعة حول الآلات الكهربائية التي تتضمن العديد من بنى الآلات متغيرة الممانعة بالإضافة إلى الآلات التقليدية كالألات المتزامنة ذات المغناطيس الدائمة، رصدت الدراسة أداء هذه الآلات من خلال قياس كالمردود، وتعرجات العزم، الاهتزاز والضجيج، وحالات العطل، وأثبتت الدراسة من خلال نتائجها أن البنى المغناطيسية الحديثة كالمحرك متغير الممانعة يمكن أن يكون بديلاً عن الآلات ذات المغناطيس الدائمة في تطبيقات الجر الكهربائي. دراسة [7] درست الموديل الرياضي للمحرك متغير الممانعة غير الخطي بالاعتماد على تحريضية طور ملف الثابت. عندما يكون للمحرك خصائص لاختبية فإنه يلزم بالإضافة إلى الموديل الرياضي أن يتم فهم عمل المحرك وتصميمه والتحكم به. من خلال المعادلات والتمثيل الرياضي للمحرك قام الباحث بنمذجة المحرك متبدل الممانعة 8/6. ودراسة [8] ناقشت التطورات والعقبات التي تواجه المحركات متغيرة الممانعة والرؤية المستقبلية للتطبيقات، وتصف الصعوبات الأساسية في دارات التحكم في المحرك متغير الممانعة والتي ينبغي أن تؤخذ في الاعتبار عند قيادة المحرك، اقترحت الدراسة خريطة أعمال مستقبلية لتحقيق استراتيجية تحكم موثوقة تعزز عمل المحرك في التطبيقات المستقبلية. في حين أن الدراسة [9] قدمت مراجعة مفصلة عن المحركات متغيرة الممانعة وأنظمة قيادتها في السيارات الكهربائية، وبينت أن هذا النوع من المحركات استخدم بشكل شائع في تطبيقات المركبات الكهربائية نتيجة بنيتها الموثوقة، والتصميم الخالي من المغناطيس، وناقشت الدراسة أهم طرق قيادة هذا النوع من المحركات. أما الدراسة [10] فقد بينت أهم مزايا المحركات متغيرة الممانعة ومساوئها، وذكرت أن زيادة عدد الأقطاب في هذه المحركات يقلل من تعرجات العزم فيها. وبين أن البنية الهندسية للدوار تؤثر بشكل أساسي على قدرة المحرك على الإقلاع من أي موضع للدوار، وبينت أن بيانات الموضع للتحكم بالمحرك والحصول على أفضل أداء يعد من أهم التحديات في عمل المحرك. كما أن البنية البارزة المضاعفة تسبب ضجيج وتعرجات بالعزم. الدراسة [11] طبقت تشغيل المحرك باستخدام

المتحكم التباطوي بالاعتماد على الحلقة المغلقة، وبين أن متحكم التيار يستخدم لتتبع تيار الدوار ومقارنته مع قيم التيار المرجعي، وقدّمت الدراسة مخطط للتحكم بالمحرك (6/4) بناء على مفهوم الحلقة المغلقة، واعتماداً على المبدلة غير المتناظرة والمتحكم التباطوي. وذكر الباحث أن تشغيل الأطوار المختلفة في المبدلة يعتمد على موضع الدوار والذي يستخرج بناء على السرعة والزاوية θ على مخرج المحرك. دراسة [12] بينت أن المحرك متغير الممانعة يعمل بشكل أساسي في منطقة التشبع لأن عامل الاستطاعة أقل في المنطقة الخطية مما يجعل عملية نمذجة المحرك صعبة، واقترح الباحث إنشاء نماذج وبنى محددة للمحركات تأخذ بعين الاعتبار حالة اللاخطية، وذكر أن غياب المغناط في بنية المحرك يجعل تكاليف إنتاجه وإعادة تدويره أقل مقارنة مع الآلات ذات المغناط. كما أن كل طور مستقل كهربائياً ومغناطيسياً من بقية الأطوار مما يزيد من موثوقية عمله في حالات العطل، ويجعل من عمليات الصيانة أسهل. دراسة [13] حللت أداء المحرك ثلاثي الطور 6/4 من حيث إشارات التيار والتدفق وعزم الدوران والسرعة. وبين أنه عندما تكون سرعة المحرك منخفضة يرتفع التيار بسرعة، في حين أنه إذا كانت السرعة كبيرة تكون الزيادة في التيار منخفضة، وأنه في منطقة السرعة المنخفضة يمكن التحكم بالتيار باستخدام التحكم بالمتحكمات التباطوية. يتم تطبيق جهد $\pm V_{dc}$ بطريقة يتحد التيار وفق نطاق حزمة، بحيث تكون قيم الحزمة العلوية والسفلية حول القيمة المرجعية للتيار، وبعد السرعة الأساسية ينبغي الحفاظ على التيار، ولا يمكن أن يزداد التيار بسرعة لأن السرعة تصبح كبيرة، وبدلاً من الحفاظ على ثبات التيار في هذه المنطقة يجب اعتبار الاستطاعة. في حين عندما تكون السرعة كبيرة ينبغي أن يتراكم التيار من خلال التبديل وتسمى الزاوية التي يتم التبديل من خلالها زاوية التقدم التي يتقدم فيها تطبيق الجهد.

7. الإطار المفاهيمي للبحث

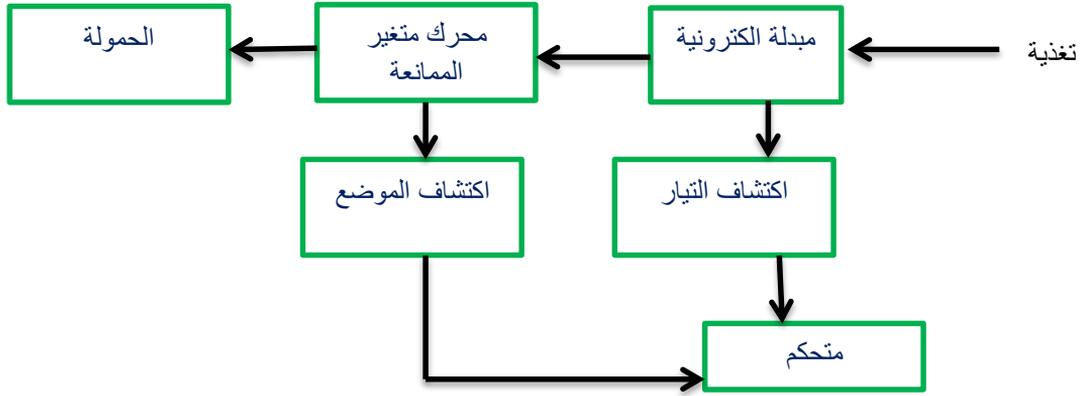
1.7 تركيب المحرك متغير الممانعة:

إن المحرك متغير الممانعة ذو ست أقطاب للثابت وأربع أقطاب للدوار موضح بالشكل (1)، وقد يكون عدد الأقطاب زوجياً أو فردياً، يتم تصنيع غالبية المحركات بـ(ست أو ثماني) أقطاب للثابت. هذه الأقطاب تحمل وشائع الحقل. تتصل وشائع الحقل للأقطاب المعاكسة على التسلسل بحيث تكون القوى المحركة الكهربائية تراكمية، وتسمى ملفات الطور. الوشيعة المفردة أو مجموعة الوشائع تكوّن ملفات الطور، كل من هذه الملفات يتصل إلى طرف المحرك. هذه الأطراف تتصل مع أطراف الخرج لدارة التبديل الالكترونية التي يكون دخلها مستمر dc [14]. إن المحرك متغير الممانعة له أقطاب بارزة على الثابت والدوار، بدون أية وشائع أو مغناط دائمة على الدوار ويشار إليه بالآلة مضاعفة الأقطاب البارزة. تكون أقطاب الثابت أكبر من أقطاب الدوار [15]. ينتج العزم في هذه الآلة نتيجة لتغير الممانعة في الثغرة الهوائية بين الثابت والدوار، وتنتج حركة المحرك من خلال ميل الدوار إلى الحركة إلى الموقع حيث تكون ممانعة الملف المتهيج أقل ما يمكن [16].



الشكل [مقطع عرضي في المحرك متغير الممانعة (6/4)

عدد أقطاب الدوار في هذا المحرك تختلف عن عدد أقطاب الدائر (4 أو 6). يحمل محور الدوار حساس الموضع. الإيقاف والتشغيل لمختلف العناصر في دارة المبدلة تتأثر بشكل أساسي بالإشارات التي يتم الحصول عليها من حساس موضع الدوار [2]. تستخدم وحدة الكشف عن الموضع من أجل الكشف عن إشارة موضع دوار المحرك ووحدة اكتشاف التيار يستخدم بشكل أساسي لجمع تيار طور ملف الثابت. تتحكم آلية التبديل الخاصة بدارة المبدل بإشارة الدخل [17].



الشكل 2 مخطط تنظيم السرعة للمحرك متغير الممانعة

إن الجزء الأساسي في دارة عمل المحرك متغير الممانعة هو التحكم بالسرعة، تعمل تقنية التحكم على نقل الاختلاف بين السرعة المرجعية والسرعة المقاسة إلى وحدة التحكم بالسرعة ، وبالتالي يتم توليد إشارات التيار المرجعية عبر تيار مرجعي وفقاً لموضع الدوار. إن التيار الناتج عن التباين بين التيار المقاس والمرجعي يُقدَّم إلى متحكم تيار تباطوي (هايسترس) كدخل. يقوم هذا المتحكم بإرسال إشارات التحكم للقالبة التي تغذي المحرك [18].

2.7 مميزات المحرك SRM:

للمحركات متغيرة الممانعة الكثير من المميزات نذكر منها [6]:

- تركيب بسيط وتكلفة منخفضة نتيجة غياب ملفات الدوار والمغانط الدائمة.
- لا تحصل صدمات أثناء الأعطال بين باسبارات DC في المبدلة وذلك لأن كل ملف دوار يتصل على التسلسل مع المبدلة.
- غالبية الضياعات تتركز في الثابت مما يجعل عملية التبريد أسهل.
- مميزات العزم – السرعة للمحرك يمكن تعديلها حسب متطلبات التطبيق بسهولة.
- عطالة الدوار أقل ونسبة العزم إلى العطالة عالية.

وبالرغم من المميزات التي يحظى بها المحرك إلا أنه يعاني من تعرجات العزم والضجيج، كما أن العزم ذو التعرجات العالية يسبب تعرجات في التيار في وحدة التغذية DC مما يستوجب مكثف ذو سعة كبيرة للترشيح [19].

3.7 التمثيل الرياضي للمحرك متغير الممانعة:

ليكن الفيض التشابكي للوشية λ يتناسب طردياً مع تيار الطور i الذي يمر عبر الوشية وتحريضية الطور (L) فإن:

$$V = iR_s + \frac{d\lambda}{dt}(\theta, i)$$

1

$$\lambda = L(\theta, i)i$$

2

حيث (R_s) مقاومة الطور، θ موضع الدوار.

ومن ثم نقوم باشتقاق المعادلة (1) حيث نفترض أن التيار متغير، والمفاعلة (L) ثابتة. وتكتب معادلة التوتر لطور واحد وفق الآتي [20]:

$$V = iR_s + \frac{L(\theta, i)}{dt} di + i \frac{dL}{dt}(\theta, i) \quad 3$$

$$V = iR_s + \frac{L(\theta, i)}{dt} di + i \frac{d\theta}{dt} \frac{dL}{d\theta}(\theta, i) \quad 4$$

إن مشتق الموضع الزاوي للدوار (θ) بالنسبة للزمن يمثل السرعة الزاوية للمحرك (ω_m) وبالتالي:

$$V = iR_s + \frac{L(\theta, i)}{dt} di + i\omega_m \frac{dL}{d\theta}(\theta, i) \quad 5$$

المعادلات السابقة تصف المحرك متغير الممانعة كهربائياً [20].

القوة المحركة الكهربائية المتحرضة في المحرك تعطي بالعلاقة [21]:

$$e = i\omega_m \frac{dL}{d\theta}(\theta, i) = i\omega_m K_b \quad 6$$

العزم المتولد في كل طور يعطى بالمعادلة:

$$T_e(\theta, i) = \sum_{phase} \frac{1}{2} i^2 \frac{dL(\theta, i)}{d\theta} \quad 7$$

المعادلة الميكانيكية للمحرك تعطى بالمعادلة:

$$T_e - T_L = J_m \frac{d\omega_m}{dt} + B_m \omega_m \quad 8$$

حيث أن B_m يمثل معامل الاحتكاك، J_m تشير إلى كمية العطالة، T_L : عزم الحموله [21].

4.7 تمثيل المحرك متغير الممانعة في برنامج الماتلاب:

مبدأ متحكم التيار التباطؤي: يستخدم متحكم التيار التباطؤي مع المحرك متغير الممانعة للتحكم بتيارات الأطوار لتكون ضمن حزمة حول القيمة المرجعية. تستخدم هذه الاستراتيجية بشكل واسع في تشغيل المحركات متغيرة الممانعة بسبب إمكانية الوصول للتيار المباشر بسهولة، استراتيجية التحكم بالاعتماد على تشغيل مفاتيح المبدلة عندما يكون تيار الطور الحد الأدنى من الحزمة، وتطفئ عندما يتجاوز التيار حد الأعلى للحزمة. يمكن الحصول على الحد الأدنى والأعلى وفقاً لمتطلبات التحكم وتردد التبديل للمبدلة الخاصة بالمحرك متغير الممانعة إن متحكمات التباطؤ تنقسم إلى نوعين (تقطيع ناعم، وتقيع قاس)، هذين النوعين يستخدمان في المبدلة الجسرية غير المتناظرة. يتم التحكم بتيار من خلال مستويين (الحد العلوي، والحد الأدنى) المساوي لـ $i_{refj} \mp \frac{\Delta i}{2}$ حيث i_{refj} يمثل التيار المرجعي لكل طور و $\frac{\Delta i}{2}$ حزمة التباطؤ والتي تكون قيمها مقبولة حول القيمة المرجعية للتيار. يتحقق التحكم بالتيار من خلال التحكم بالحلقة المغلقة ويوجد نمطين للتقطيع ناعم وقاس حيث:

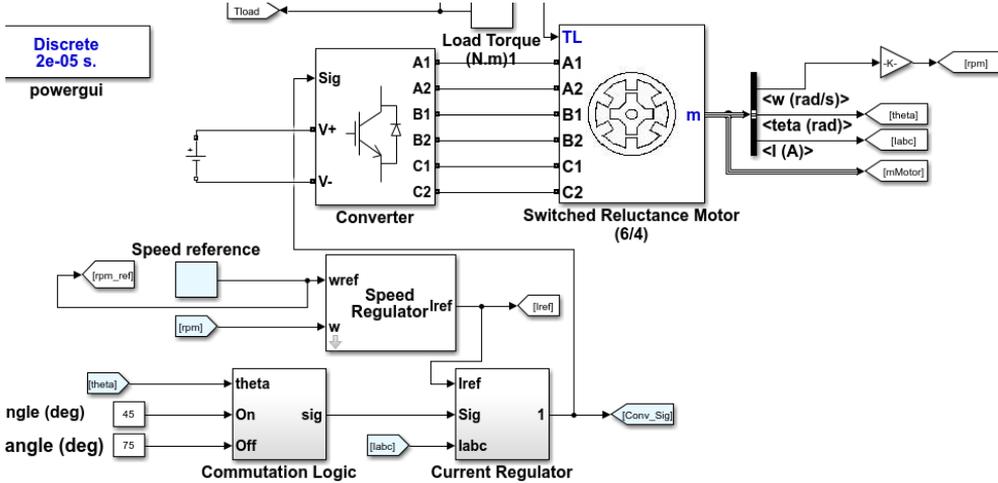
-الناعم: يكون توتر الطور متراوح بين الصفر و $+U$.

-القاسي: توتر الطور يكون بين قيمتين $+U, -U$.

في هذه الدراسة تم تطبيق النمط الناعم لمعرفة أداء المحرك متغير الممانعة ذو الأقطاب (4/6) في حالة الحمل، والذي يعتبر أفضل بالنسبة لحالة عمل الآلة كمحرك. تعتبر قيمة حزمة التباطؤ من أهم البارامترات في عملية التحكم والتي ينبغي أن تكون أصغر ما يمكن لتقليل تعرجات التيار. كما أن اختيار قيمة المنبع وزوايا التبديل تعتبر أساسية للحصول على استراتيجية التبديل المناسبة. الفكرة الأساسية للتحكم بالتيار هي الحصول على عزم مستقر قدر الإمكان في حالة التشغيل اللاخطي وإذا دار المحرك في الحالة الخطية. تعتمد خطية العزم على زوايا التبديل لجعل تيار الأطوار في حالة تراكم وإنتاج تيار كلي قريب من تيار dc من أجل تعظيم قيمة العزم الكلي للمحرك. وبالتالي نستخدم زوايا التبديل

التحكم بالتيار باستخدام المتحكم التباطوي للمحرك متغير الممانعة ذو الأقطاب (6/4)

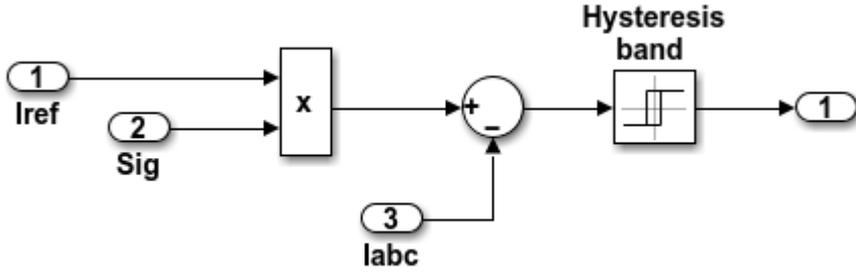
للتشغيل بين $\theta_{on} = 45^\circ, \theta_{off} = 75^\circ$. يبين الشكل (6/4)، تمثيل دائرة التحكم بالمحرك متغير الممانعة (6/4) ثلاثي الطور في برنامج الماتلاب بوجود أحمال.



الشكل 3 تمثيل دائرة التحكم بالمحرك متغير الممانعة (6/4) في برنامج الماتلاب

دائرة منظم التيار:

ونجد أن الحلقة التحكمية مكونة من التيار مرجعي، والقطاع الناتج من حساس موضع الدوار حيث تتم مقارنة الناتج مع إشارة التيار المقاسة من خرج المحرك، لنحصل على الإشارة التي تمثل دخل متحكم التباطؤ ذو الحزمة.



الشكل 4 المتحكم التباطؤي للتيار

حالات العمل المدروسة بوجود الحمل:

تم إجراء محاكاة للمحرك متغير الممانعة ذو الأقطاب (6/4) والبرامترات المستخدمة في دارة المحرك موضحة بالجدول (1)، للتحقق من أداء المحرك باستخدام التحكم التباطؤي بالتيار، وتم استخلاص منحنيات السرعة والتيار والعزم الكهرومغناطيسي وعزم الحمولة للمحرك بوجود حمولة متغيرة وتم تمثيل هذا التغير وفق الآتي:

من 0-0.15 sec (15 N.m)

من 0.15-0.5 sec (75 N.m)

الأجزاء الأساسية لدارة التحكم بالمحرك:

-منظم السرعة: يقارن سرعة المحرك المقاسة مع السرعة المرجعية. إذا كان المحرك بحاجة لأن يتسارع فإن المنظم يزيد التيار المرجعي لإنشاء العزم. إذا كانت سرعة المحرك أكبر من المرجعية فإن المنظم يقلل من التيار المرجعي.

-حساس موضع الدوار: بالاعتماد على موضع الدوار (الممثل بإشارة θ من المحرك متغير الممانعة) وزوايا الإطفاء والتشغيل. يساعد هذا الجزء من دائرة التحكم في تكوين إشارات التحكم للحصول على تتابع مناسب لإنتاج العزم.

-منظم التيار: بالاعتماد على التيار المرجعي، وإشارات التبديل يتم إنشاء التيار المرجعي لكل من الأطوار الثلاثة، كل تيار مرجعي يقارن مع القيمة المقاسة لتيار الثابت. وإشارة الخطأ الناتجة تدخل نطاق حلقة التباطؤ الموجبة. يتم إرسال أمر التوصيل إلى القالبية الجسرية المناسبة. عندئذ تطبق المبدلة توتر موجب على ملفات الثابت بحيث يمر تيار موجب في الملف، في الفترة التي لا تتواجد فيها نبضات على القالبية، يتم تطبيق توتر سالب على الملف، ويتم إرجاع الطاقة المختزنة إلى المنبع المستمر عبر الديودات. وتتم الآلية وفق التالي:

في موضع الدوار (1) يطبق توتر موجب على الملفات A1 A2، والفيض المغناطيسي الناتج يؤدي إلى إنشاء عزم ممانعة يجبر قطب الدوار ليتحاذى مع قطب الثابت المغذى في هذه المرحلة. عندما يصل المحرك إلى الموضع (2) تفصل التغذية عن الملفات A1 A2، وتتغذى الملفات B1 B2 للحفاظ على تشغيل الدوار مع عقارب الساعة، وذلك كون الدوار يسعى ليتحاذى مع هذه الملفات. وأخيراً الموضع 3، حيث تفصل B1 B2، ويتم تغذية C1 C2. يتكرر هذا التتابع كل 90° كون الدوار لديه أربع أقطاب، وذلك لأن دوار المحرك ذو أربع أقطاب. في هذه الدراسة يتم الحفاظ على زوايا التشغيل والإطفاء ثابتة على 45° و 75° .

الجدول 1 بارامترات المحرك متغير الممانعة (6/4)

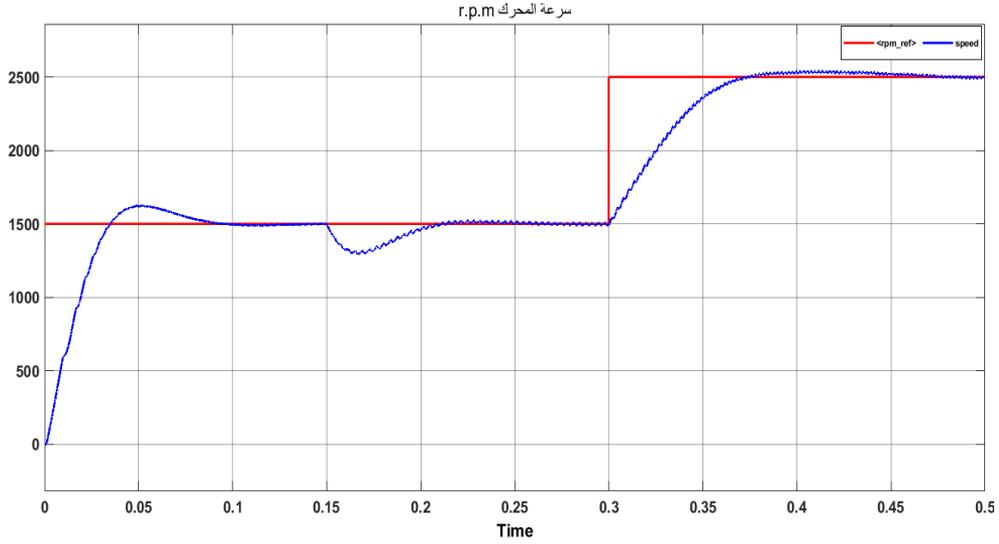
الواحدة	القيمة	البارامتر
Ω	0.0061	مقاومة الثابت R_s

N.m.s	0.22	الاحتكاك F
H	1.500e-04	تحريضية الإشباع L_{sa}
-	3	عدد أطوار المحرك
-	6	عدد أقطاب الثابت
-	4	عدد أقطاب الدوار
-	± 20	حزمة التباطؤ
-	0.34	الثابت التناسبي لمتحكم السرعة
-	18.01	الثابت التكامل لمتحكم السرعة

• التوتر المستمر 220 V على دخل المبدلة:

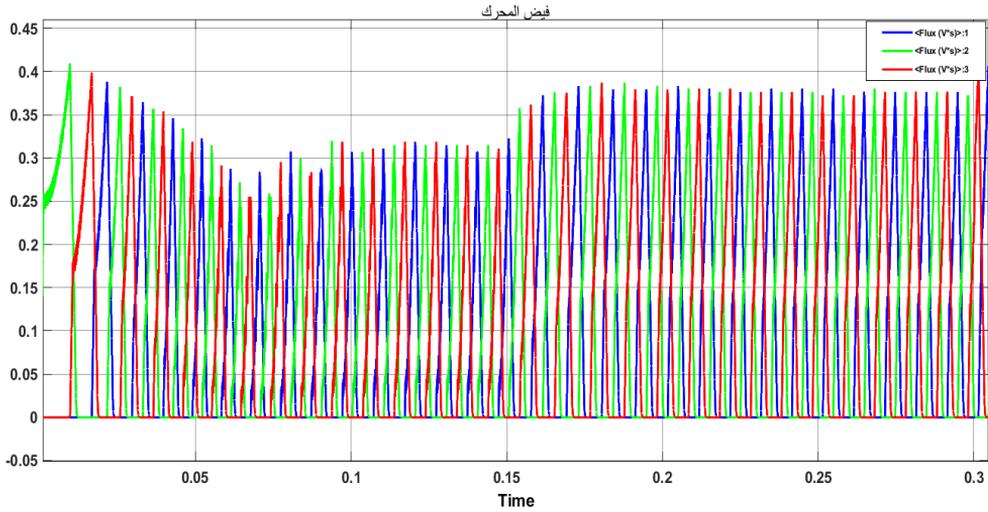
يبين الشكل (5) أن المحرك يتحرك بسرعة من 0 إلى 1500 r.p.m مع عزم حمولة 15 N.m عند 0.15 sec، يزداد عزم الحمولة إلى 75 N.m. يزيد نظام التحكم التيار المرجعي للحفاظ على سرعة 1500 r.p.m. عند الزمن 0.3 sec تنتقل السرعة المرجعية إلى 2500 r.p.m. للوصول إلى السرعة المناسبة، يقوم نظام التحكم بإنتاج عزم أكبر بشكل لحظي لزيادة تيارات المحرك.

التحكم بالتيار باستخدام المتحكم التباطوي للمحرك متغير الممانعة ذو الأقطاب (6/4)



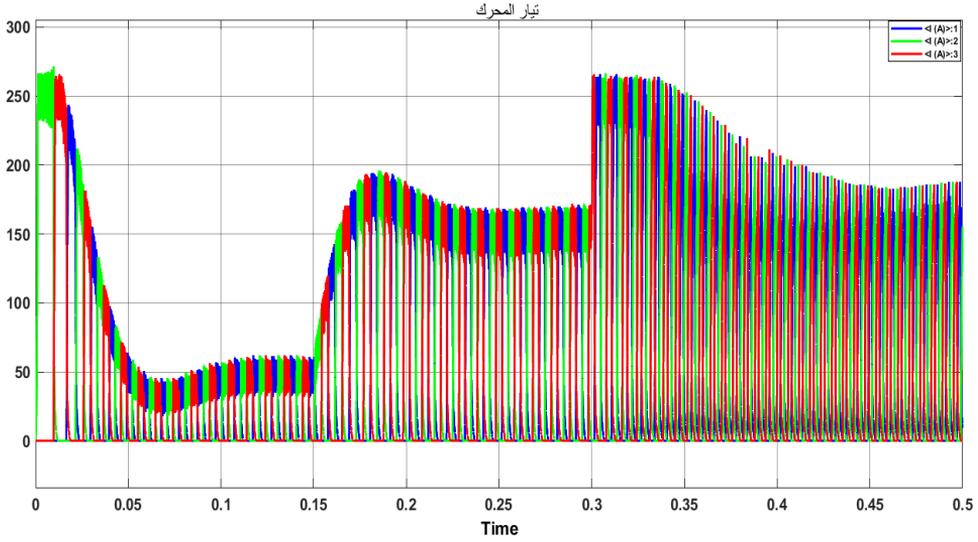
الشكل 5 سرعة المحرك باستخدام التقطيع الناعم عند توتر 220V مستمر

يبين الشكل (6) فيض المحرك متغير الممانعة (6/4) للأطوار الثلاثة، نلاحظ تغير الفيض عند اللحظة $t=0.15$ sec والتي توافق تغير حمولة المحرك.



الشكل 6 فيض المحرك باستخدام التقطيع الناعم عند توتر 220V مستمر

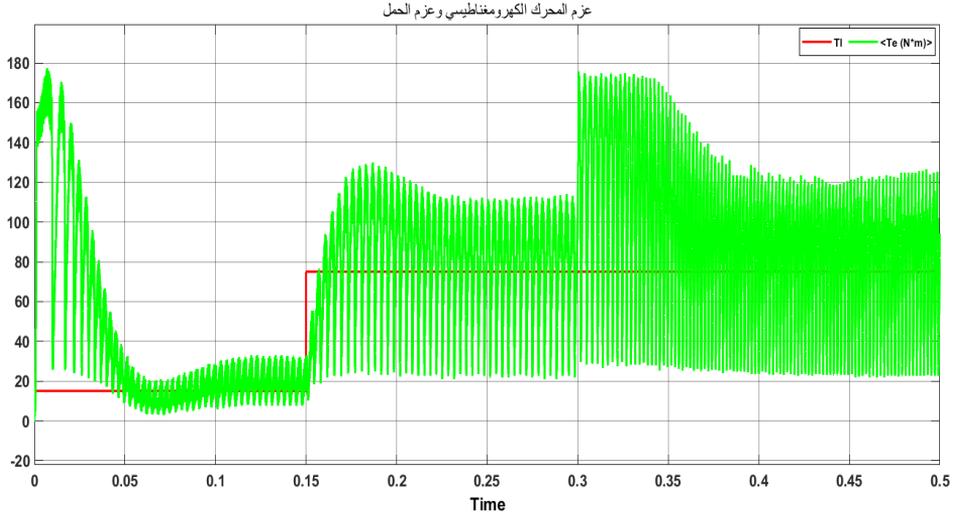
يبين الشكل (7) تيار المحرك متغير الممانعة عند $U = 220 \text{ V}$.



الشكل 7 تيار المحرك باستخدام التقطيع الناعم عند توتر 220 V مستمر

يبين الشكل (8) عزم المحرك الكهرومغناطيسي للمحرك متغير الممانعة $(6/4)$ ، عند تطبيق توتر مستمر 220 V .

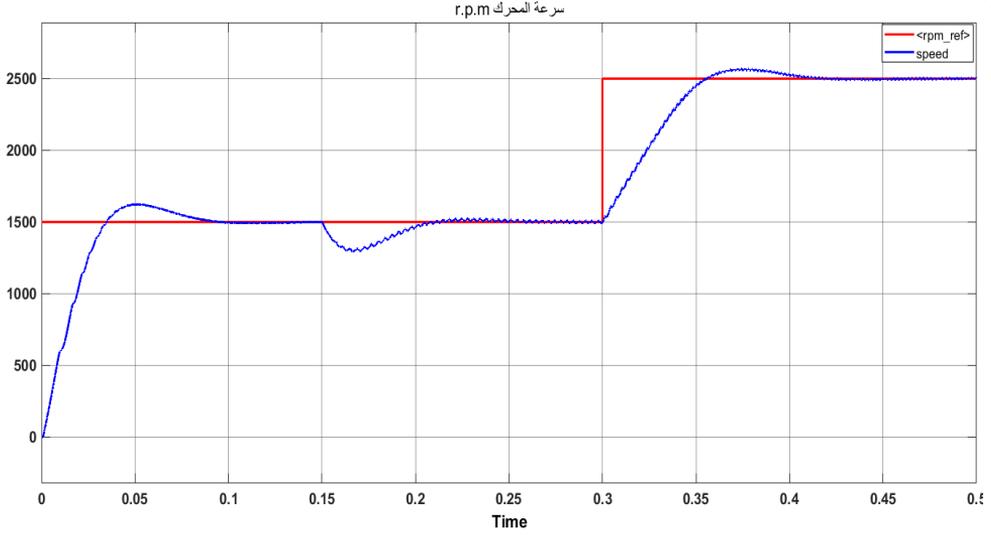
التحكم بالتيار باستخدام المتحكم التباطوي للمحرك متغير الممانعة ذو الأقطاب (6/4)



الشكل 8 عزم المحرك الكهرومغناطيسي وعزم الحمولة للمحرك باستخدام التقطيع الناعم عند توتر 220V مستمر

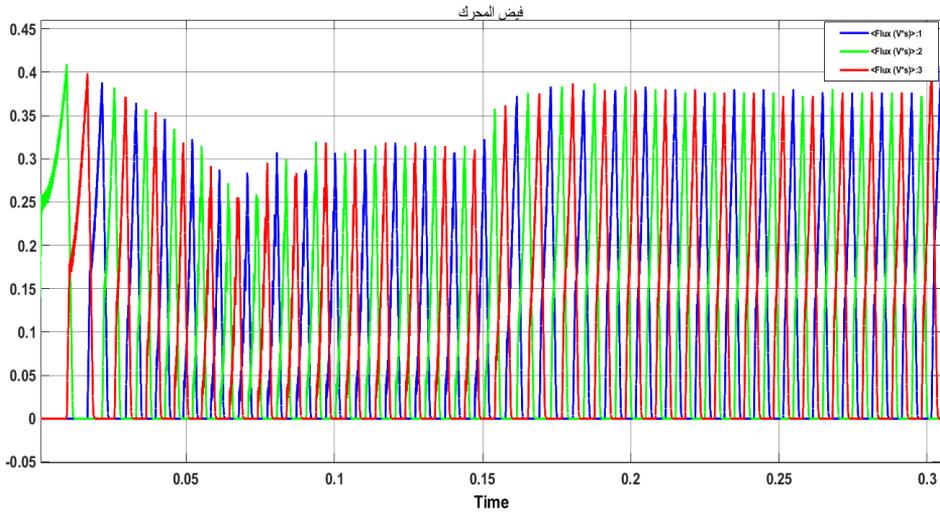
- التوتر المستمر 240 : في هذه المرحلة تم زيادة قيمة التوتر المستمر المطبق على القالبية للتعرف على أثر زيادة التوتر المستمر على أداء المحرك.

يبين الشكل (9) أن منظم السرعة يعمل بكفاءة أكبر عند زيادة التوتر إلى 240 V حيث عند تغير السرعة من 1500 r.p.m إلى 2500 r.p.m نجد أن سرعة المحرك تلاحق الإشارة المرجعية وتصل إلى 0.4 sec، وهي أفضل بالمقارنة مع الحالة السابقة عندما كان التوتر 220 V حيث تحقق استقرار السرعة على القيمة المرجعية عند زمن 0.415 .sec



الشكل 9 سرعة المحرك باستخدام التقطيع الناعم عند توتر 240V مستمر

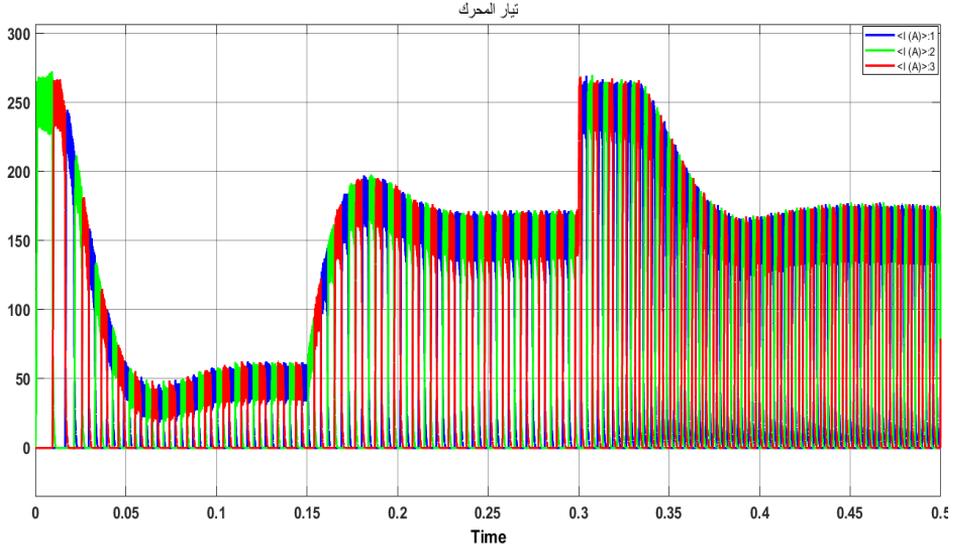
يبين الشكل (10) فيض المحرك متغير الممانعة ذو الأقطاب (6/4) عند تطبيق توتر مستمر 240 V ويتبين أن الفيض لا يتأثر بتغير التوتر.



الشكل 10 فيض المحرك باستخدام التقطيع الناعم عند توتر 240V مستمر

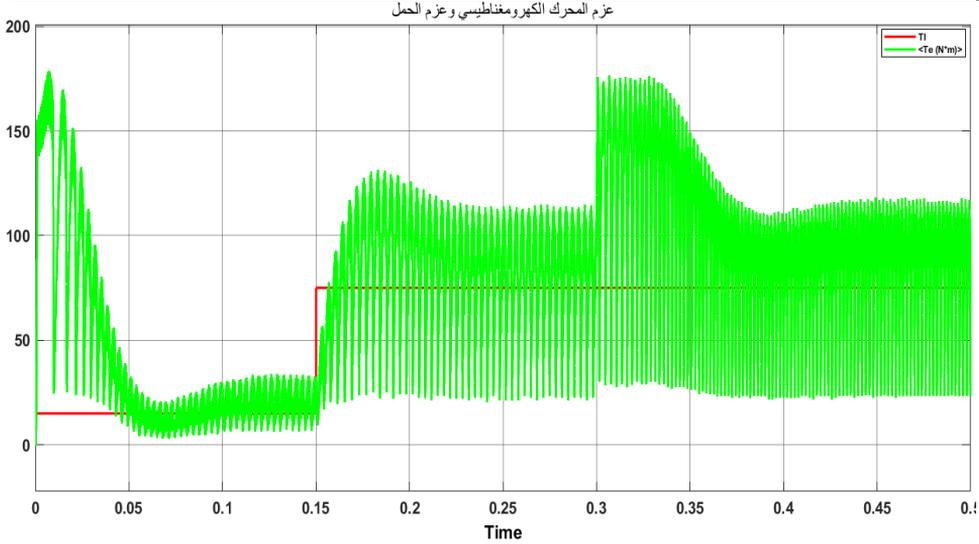
التحكم بالتيار باستخدام المتحكم التباطوي للمحرك متغير الممانعة ذو الأقطاب (6/4)

نجد من الشكل (11)، أن منظم التيار يقوم بزيادة التيار ليتوافق مع زيادة الحمل عند الزمن 0.15 sec، كما يزداد عندما تتغير السرعة من 1500 r.p.m إلى 2500 r.p.m. وبالمقارنة مع الحالة السابقة التي كانت فيها قيمة التوتر 220 V نجد أن التيار يزداد عند زيادة التوتر المستمر.



الشكل 11 تيار المحرك باستخدام التقطيع الناعم عند توتر 240V مستمر

نلاحظ من الشكل التالي (12) تغير عزم المحرك عند اللحظة 0.15 sec، مع تغير الحمل. بالإضافة إلى تغير عزم الحمل عند تغيير السرعة المرجعية في اللحظة 0.3 sec. وعلى الرغم من أن زيادة التوتر تؤدي لزيادة التيار وبالتالي العزم إلا أن الزيادة التي حصلت في قيمة العزم تعتبر طفيفة وغير ملحوظة.

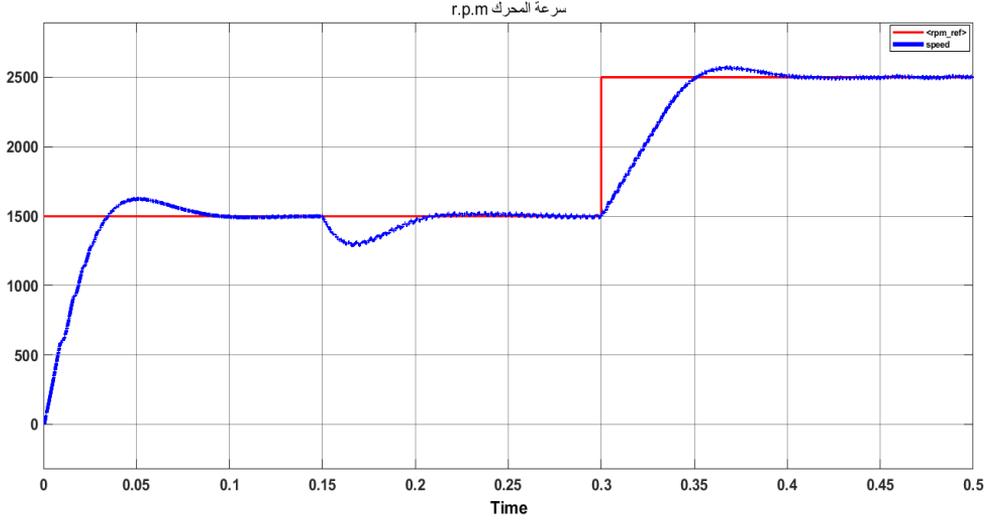


الشكل 12 عزم المحرك الكهرومغناطيسي وعزم الحمولة للمحرك باستخدام التقطيع الناعم عند توتر 240 V مستمر

• التوتر المستمر 550

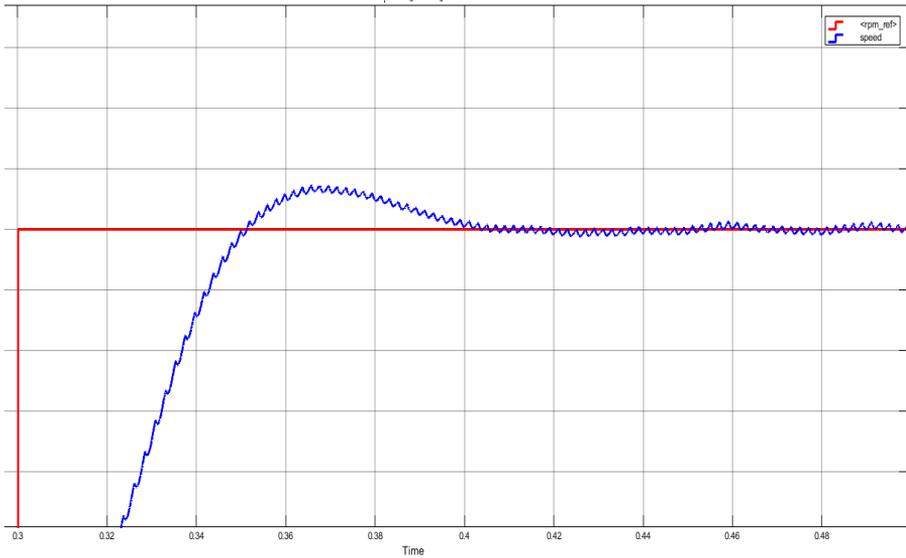
في هذه المرحلة تم تغيير قيمة التوتر المستمر إلى 550 V لتغذية القالبية. وفي هذه الحالة نجد من منحنى السرعة، عند تغيير الحمولة في اللحظة 0.3 sec نجد أن منظم السرعة يؤدي لملاحقة سرعة المحرك لتتوافق مع السرعة المرجعية، إلا أن الإشارة تكون غير مستقرة تماماً كلما زدنا التوتر بالمقارنة مع الحالات السابقة، حيث تزداد التعرجات في الإشارة، الشكل (13).

التحكم بالتيار باستخدام المتحكم التباطوي للمحرك متغير الممانعة ذو الأقطاب (6/4)



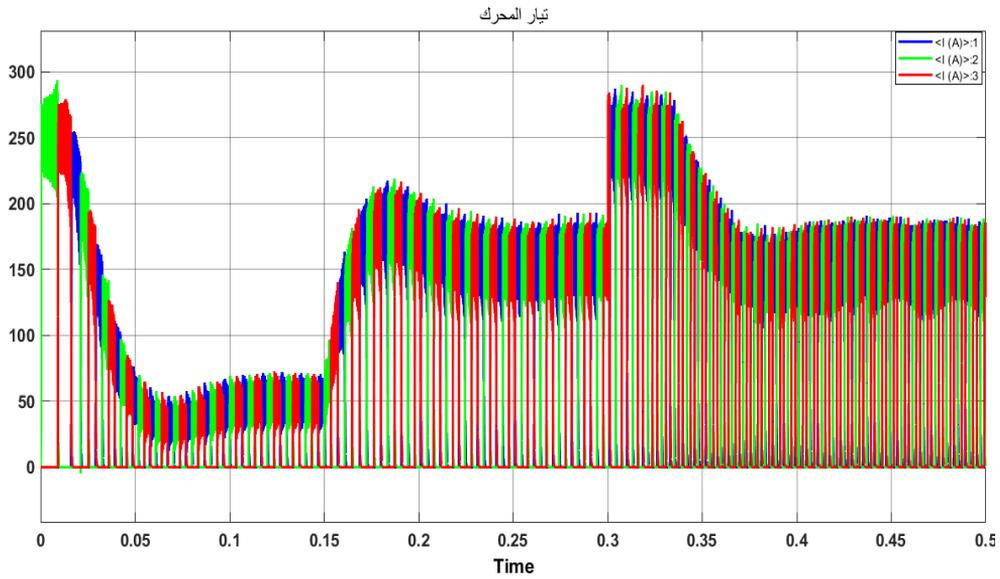
الشكل 13 سرعة المحرك باستخدام التقطيع الناعم عند توتر 550 V مستمر

يبين الشكل (14) أن موجة السرعة في المجال من 0.4 sec إلى 0.5 sec تزداد التعرجات في موجة السرعة مما يجعلها تتحرف بشكل بسيط عن القيمة المرجعية.



الشكل 14 التعرجات في موجة السرعة عند زيادة التوتر إلى 550 V

يبين الشكل (15) أن قيمة التيار تزداد بزيادة التوتر إلى 550 V.

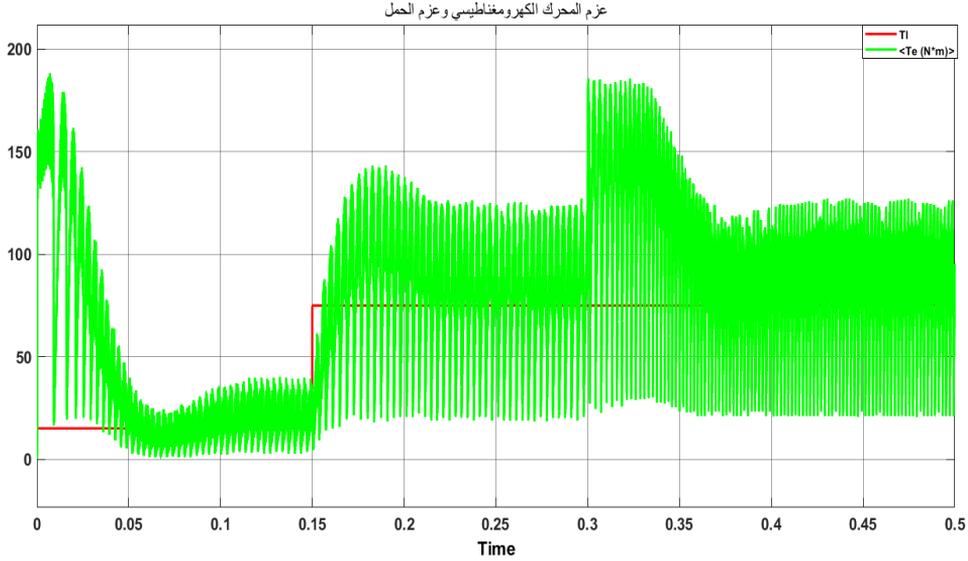


الشكل 15 تيار المحرك باستخدام التقطيع الناعم عند توتر 550 V مستمر

أدت زيادة التوتر المستمر (550 V) إلى زيادة عزم المحرك بالمقارنة مع قيم العزم

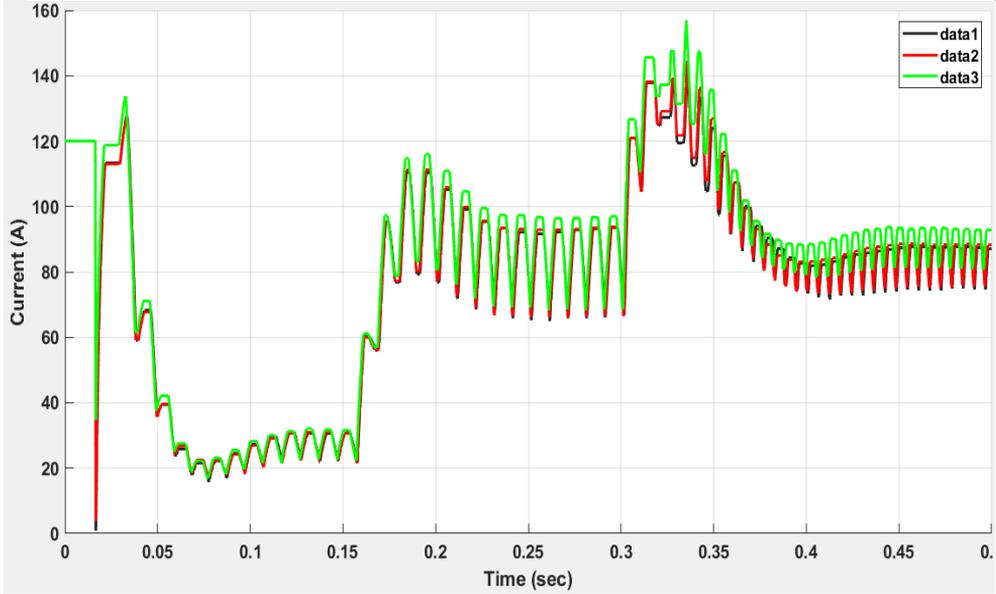
الكهرومغناطيسي في الحالات السابقة، الشكل (16)

التحكم بالتيار باستخدام المتحكم التباطوي للمحرك متغير الممانعة ذو الأقطاب (6/4)



الشكل 16 عزم المحرك الكهرومغناطيسي وعزم الحمولة باستخدام التقطيع الناعم عند توتر 550V مستمر

يبين الشكل (17) مقارنة بين موجات تيار المحرك الناتجة عن الحالات السابقة حيث نلاحظ أنه كلما زادت قيمة التوتر المستمر فإن تيار المحرك يزداد بالمقابل.



الشكل 17 مقارنة قيم التيارات عند قيم التوتر المختلفة

نستنتج مما سبق أن التيار يزداد بزيادة توتر المنبع المستمر، وكذلك العزم الكهرومغناطيسي يزداد بزيادة التوتر المستمر على دخل القالبية التي تغذي المحرك متغير الممانعة

8. التوصيات والمقترحات:

يوصي البحث بضرورة دراسة أداء المحرك باستخدام طرق تحكم أخرى، ومقارنة النتائج مع نتائج التحكم بالتيار. كما يوصي البحث بضرورة إجراء دراسة متممة تتناول أثر قيمة حزمة المتحكم التباطوي وانقواء القيمة الأمثل التي تحقق أفضل أداء للمحرك.

المراجع

- [1] Vuddanti S., Karknalli V., and Salkuti S. R., 2021. **Design and comparative analysis of three phase , four phase and six phase switched reluctance motor topologies for electrical vehicle propulsion**, vol. 10, no. 3, doi: 10.11591/eei.v10i3.3054.
- [2] Ahn J.-W. and Lukman G. F., 2018. **Switched reluctance motor: Research trends and overview**, *CES Trans. Electr. Mach. Syst.*, vol. 2, no. 4, pp. 339–347.
- [3] Bian H., Chen H., and Wang R., 2020. **Modeling and simulation of three-phase 6 / 4 switched reluctance motor speed control system** **Modeling and simulation of three-phase 6 / 4 switched reluctance motor speed control system**, doi: 10.1088/1742-6596/1684/1/012139.
- [4] Ilhem D., Walid H., and Djamel R., 2019. **Sizing and Control of a Typical 6 / 4 Switching Reluctance Motor**, vol. 21, no. 1, pp. 19–25.
- [5] Djamel and Terzic A. E., M. V., Bilgin H. Li, B., 2018. **Comparison of Experimental Methods for**

Electromagnetic Characterization of Switched Reluctance

Motors, 2018 XIII Int. Conf. Electr. Mach. (ICEM),

Alexandroupoli, pp. 1881–1888.

- [6] Bostanci E., Moallem M., Parsapour A., and B. Fahimi, 2017. **Opportunities and challenges of switched reluctance motor drives for electric propulsion: A comparative study**, *IEEE Trans. Transp. Electrification*, vol. 3, no. 1, pp. 58–75.
- [7] Chaple M. and Bodkhe S. B., 2017. **The simulation and mathematical modeling of switched reluctance motor based on phase winding inductance,** in *2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)*, IEEE, pp. 3048–3052.
- [8] Valencia D. F., Tarvirdilu R. –Asl, C. Garcia, J. Rodriguez, and A. Emadi, 2021. **Vision, challenges, and future trends of model predictive control in switched reluctance motor drives**, *IEEE Access*, vol. 9, pp. 69926–69937.
- [9] Lan Y. *et al.*, 2021. **Switched reluctance motors and drive systems for electric vehicle powertrains: State of the art analysis and future trends**, *Energies*, vol. 14, no. 8, p.

2079.

- [10] Ibrahim M. A. and Alsammak A. N. B., 2023. **Switched Reluctance Motor Drive Challenges – A review**, vol. 2, no. 4, pp. 9–23.
- [11] Kurian S. and Nisha G. K., 2015. **Closed loop operation of switched reluctance motor with hysteresis controller**, *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 10, no. 17, pp. 37645–37650,.
- [12] Brouri A., Kadi L., Tounzi A., Ouannou A., and Bouchnaif J., 2021. **Modelling and identification of switched reluctance machine inductance**, *Aust. J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 18, no. 1, pp. 8–20, doi: 10.1080/1448837X.2020.1866269.
- [13] Lokeshwar C., Kumar P. S., Rao J. V., and Sharanya M., 2023. **Performance Analysis of Switched Reluctance Motor by Using Closed Loop Current Control Technique**, vol. 35, no. 6, pp. 1393–1401.
- [14] Online, 2024. **Rohini college of engineering & technology**.
- [15] Al–Amyal F. and Számel L., 2022. **Research on novel hybrid torque sharing function for switched reluctance**

- motors**, *IEEE Access*, vol. 10, pp. 91306–91315,.
- [16] Bilgin and A. E., B., Jiang J. W., 2019. **Switched Reluctance Motor Drives: Fundamentals to Applications.**
- [17] Fabianski B. and Zawirski K., 2016. **Simplified model of Switched Reluctance Motor for real-time calculations,** *Przegląd Elektrotechniczny*, pp. 19–23,.
- [18] Kolluru A. K. and Kumar M. K., 2021. **Artificial neural network vector controlled common high-side switch asymmetric converter fed switched reluctance motor drive,** *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 24, no. 2, pp. 697–703,.
- [19] Krishnan R., 2017. **Switched reluctance motor drives: modeling, simulation, analysis, design, and applications.** CRC press.
- [20] Hameed H. S., Al Azze Q., and Hasan M. S., 2023. **Speed control of switched reluctance motors based on fuzzy logic controller and MATLAB / Simulink,** vol. 31, no. 2, pp. 647–657, doi: 10.11591/ijeecs.v31.i2.pp647–657.
- [21] Ibrahim M. A. and Alsammak A. N. B., 2023. **Dynamic Modelling and Current Control for Switched Reluctance**

Motor Drives in Electric Vehicles, in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, p. 12006.

تقييم فعالية سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت ICCP مقابل LRFU في شبكات البيانات المسماة

1 م. عاصم الحمصيه

ملخص

شبكات البيانات المسماة (NDN) Named Data Networking هي إحدى معماريات شبكات المعلومات المركزية (ICN) Information Centric Networking، وهي مصممة لتكون بنية متقدمة جديدة في أنظمة الاتصالات. تركز شبكات البيانات المسماة على اسم المحتوى بدلاً من عنوان مصدر المحتوى. في بحث سابق، تم اقتراح ICCP كسياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت المحسنة المعتمدة على شعبية المحتوى. تتمثل مساهمة هذا البحث من خلال تقييم أداء سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت ICCP مقابل سياسة LRFU المدمجة حديثاً وذلك عبر سيناريوهات محاكاة مختلفة باستخدام محاكي ndnSIM. بالإضافة إلى ذلك، يدعو هذا البحث إلى التبني الدائم لسياسات الاستبدال القائمة على شعبية المحتوى، مثل ICCP. يتم إجراء عمليات المحاكاة على طوبولوجيا شبكة GÉANT في سيناريوهين. في السيناريو (أ)، يرسل المستهلك رزم الاهتمام بمعدل 100 رزمة في الثانية. تم إعداد سبع تكوينات مختلفة، مع أجهزة توجيه مجهزة بـ مخزن محتوى بمستويات 100% و 80% و 50% و 40% و 30% و 20% و 5%. في السيناريو (ب)، يرسل المستهلك رزم الاهتمام بمعدل 500 رزمة في الثانية، مع ضبط مستويات ذاكرة التخزين المؤقت على 100% و 80% و 50%. تُظهر نتائج المحاكاة وتقييم الأداء أن ICCP تتفوق على LRFU من حيث معدل الوصول إلى ذاكرة التخزين المؤقت (CHR) بنسبة 4.4% في السيناريو (أ) و 5.4% في السيناريو (ب). هناك نتيجة أخرى وهي أن ICCP تقلل من متوسط تأخير الاسترداد بمقدار 1 ملي ثانية مقارنة بـ LRFU في السيناريو (أ) وبمقدار 0.5 ملي ثانية في السيناريو (ب). أخيراً، فإن متوسط حركة المرور على الشبكة

1باحث (مرشّح دكتوراه) - ماجستير في الهندسة المعلوماتية - قسم هندسة الشبكات والنظم الحاسوبية - كلية الهندسة المعلوماتية - جامعة حمص.

في ICCP أقل بمقدار 1.3 رزمة في الثانية مما هو عليه في LRFU في السيناريو (أ) وأقل بمقدار 5.7 رزمة في الثانية في السيناريو (ب).

الكلمات المفتاحية: شبكات البيانات المسماة، التخزين المؤقت داخل الشبكة، سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت المحسنة المعتمدة على شعبية المحتوى، سياسة الأقل تكراراً واستخداماً مؤخرًا.

Evaluating the Effectiveness of ICCP vs. LRFU Cache Replacement Policies in Named Data Networking (NDN)

² Eng. Asim Al Himsya

ABSTRACT

Named Data Networking (NDN) is one of the Information-Centric Networking (ICN) architectures, designed to be an advanced new architecture in communication systems. NDN focuses on the content name rather than the source address of the content. In previous work, ICCP was proposed as an Improved Cache replacement policy based on Content Popularity. The contribution of this paper is to evaluate the performance of the ICCP cache replacement policy against the newly integrated LRFU policy across various simulation scenarios using the ndnSIM simulator. Additionally, this paper advocates for the permanent adoption of content popularity-based replacement policies, such as ICCP. Simulations are conducted on the GÉANT network topology under two scenarios. In scenario (a), the consumer sends Interest packets at a rate of 100 packets per second. Seven different configurations are set up, with routers equipped with Content Store (CS) at levels of 100%, 80%, 50%, 40%, 30%, 20%, and 5%. In scenario (b), the consumer sends Interest packets at a rate of 500 packets per second, with cache levels set at 100%, 80%, and 50%. Simulation and

² Researcher (PhD Candidate) - Master's degree in informatics engineering -Department of Network Engineering and Computer Systems - Informatics Engineering Faculty - Homs University.

performance evaluation results show that ICCP outperforms LRFU in terms of Cache Hit Rate (CHR) by 4.4% in scenario (a) and 5.4% in scenario (b). Another finding is that ICCP decreases the average retrieval delay by 1 ms compared to LRFU in scenario (a) and by 0.5 ms in scenario (b). Finally, the average network traffic under ICCP is 1.3 packets per second lower than under LRFU in scenario (a) and 5.7 packets per second lower in scenario (b).

Keywords: Named Data Networking (NDN), In-network Caching, ICCP policy, LRFU policy.

1. Introduction

Named Data Networking (NDN) represents a shift from the host-centric architecture of IP towards a content centric architecture, where the primary function of the network is not delivering packets to specific addresses, but fetching data identified by unique names [1]. And thus, data delivery depends on data names rather than data addresses. NDN provides many benefits such as in-network caching, multipath forwarding, built-in data security, and fast data retrieval [2]. There are three main components in NDN communication system: Consumer, Producer, and NDN router. NDN uses two fundamental types of packets in its communication: Interest packet and Data packet [3]. When a consumer wants to request content, it puts the unique name of that content into an Interest packet and sends it to the network. Routers in the network then forward the Interest towards the producer. Once the Interest packet reaches a node that has the named data, the node returns a Data packet carrying the data to the consumer [4]. An NDN router (NDN node) contains three main structures: Content Store (CS), Pending Interest Table (PIT), and Forwarding Information Base (FIB), as illustrated in Figure 1.

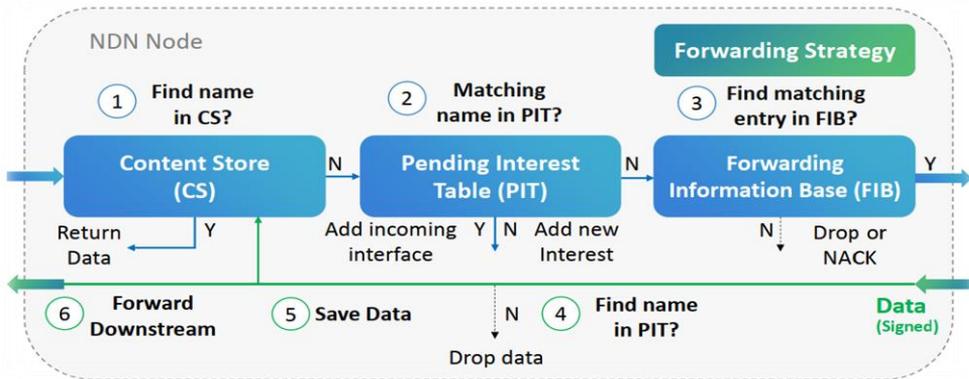


Figure 1: forwarding Interest/Data packets between the components of the NDN node [5].

CS is a cache memory that stores the Data packets temporarily. PIT is a table that contains the name of the data and the faces on which the Interest packet was received. The PIT keeps Interest packets until they are satisfied or expire. FIB is a table that stores the path information about the face from which each Interest packet came and forwards it to the next hop [6].

The goal is to identify the superior cache replacement policy through various simulation scenarios, offering insights into their efficiency and addressing the challenge of content store management in NDN architecture. Previous studies indicate that the LRFU policy outperforms traditional replacement policies like LRU and Priority-FIFO. However, its performance in comparison to ICCP has not been explored.

2. Research Motivation

Cache replacement policies play a crucial role in determining which data to keep and which to evict, directly impacting network performance. However, a cache is not able to keep the entire requested data because of its limited size. Therefore, a competent caching policy has become one of the crucial directions in NDN research domain and affects the efficiency of content distribution [7].

This research strives to evaluate and compare the performance of the ICCP policy proposed in previous work [8] with the LRFU policy [9] which recently included in the ndnSIM simulator to reach a definitive decision on whether content popularity-based policies are superior to traditional policies.

3. Related Work

Existing studies often assume ideal network conditions, ignoring factors such as network congestion and node failure. Existing replacement policies rarely prioritize content popularity, potentially discarding other important factors like content popularity tables and cache hit rates. However, this research examines scenarios where network congestion occurs, and some content stores are configured to have zero size. Additionally, this research focuses on the concept of popularity in comparison to traditional approaches.

Past findings indicate that in LRFU, more recent and frequently accessed content will have higher scores. In contrast, the ICCP assigns higher scores to more popular content. LRFU calculates the weighting function using the time difference between referenced Interest packets and the importance of recency and frequency. On the other hand, ICCP calculates the popularity function using the congestion factor, the Archived Content Popularity Table factor, and the number of times the cache was hit in the current counting cycle. Both ICCP and LRFU can adapt better than static policies like LRU or LFU. ICCP performs better than LRFU in environments with limited cache storage [8][9].

Nana et al. [9] proposed the Least Recently Frequently Used (LRFU) policy, and then compared the performance of the proposed policy with both LRU and Priority-FIFO policies. The LRFU is a combination of LRU and LFU and relies on making the replacement decision by combining two parameters: frequency of content requests and the content usage time. Consequently, a Combined Recency Frequency (CRF) value is assigned to each data packet requested by

the consumer. The metric used to evaluate the performance is Cache Hit Rate (CHR). Simulation results showed that the proposed LRFU policy outperforms both traditional replacement policies LRU and Priority-FIFO regarding CHR.

Antonio et al. [10] studied and evaluated the performance of cache replacement policies in network topologies with variable cache levels. Specifically, the performance of the Least Recently Used (LRU), Least Frequently Used (LFU), First in First Out (FIFO), and Random Replacement (RR) policies were evaluated. The metrics used to evaluate the performance are: CHR, retrieval delay, number of upstream hops, network traffic, and interest re-transmissions. The simulation scenarios were performed on a first topology known as the Abilene network, which is a network of 11 nodes, and on a second topology known as the GÉANT network, which is a network of 42 nodes. The researchers concluded that the LFU policy performed the best among the studied policies.

Ying et al. [11] proposed a Content-Popularity and Betweenness Based Replacement Scheme (PBRs), which integrates the popularity of cached contents and the betweenness of the node in the network. An intra-domain Resource Adaptation Resolving Server (RARS) has been setup to retain the cache status. The routers inform the RARS with cache information and then the RARS keeps the cache status of the whole intra-domain. The metrics used to evaluate the performance are: CHR and average hops. The simulation results showed that the proposed scheme outperforms LRU and LFU cache replacement policies by increasing CHR and decreasing average hops.

YingQi Li et al. [12] proposed a new cache replacement policy based on hierarchical popularity and compared its performance with FIFO, LRU, and LFU policies. The proposed policy assumes that the popularity factor cannot be simply categorized as popular and unpopular. Instead, it divides content popularity into five levels from PL1 to PL5, so that each content belongs to only one popularity level, allowing multiple contents to belong to the same popularity level. A

popularity value is assigned to each content that reaches the cache. When the cache is full, the less popular content is replaced by gradually searching the Popularity Level lists, starting from PL5 (the least popular), and if it is empty, the Popularity Level list PL4 is searched, and so on until reaching the Popularity Level PL1 (the most popular). The performance metric used is CHR. Simulation results showed that the hierarchical popularity-based cache replacement policy outperforms FIFO, LRU and LFU in terms of CHR.

Ding et al. [13] proposed a new cache replacement policy called Cache Replacement Policy Based-on Content Popularity (CCP). The performance of the proposed CCP policy was then compared and evaluated with both LRU and LFU policies. The proposed scheme calculates the content popularity by adding a new data structure called Content Popularity Table (CPT) in addition to the weight factor for content popularity. The content popularity value is updated after each specific counting cycle called cache refresh cycle. The CPT contains the cache hit value, current popularity value, and previous popularity value for each content. When the content cache is full, the less popular content will be replaced. The performance metrics used include Cache Hit Rate (CHR), network traffic, and server load. The researchers concluded that the proposed CCP policy outperforms all the studied policies.

In [8], a new cache replacement policy derived from CCP policy was developed, called the Improved Cache Replacement Policy based-on Content Popularity (ICCP). This policy relies on two important factors that were not previously considered: the congestion factor and the archived content popularity table. The performance of ICCP policy was evaluated against Least Recently Used (LRU), Priority-FIFO, and CCP cache replacement policies. Seven different scenarios were prepared where the routers are equipped with different levels of CS. The performance metrics are: CHR, retrieval delay, number of upstream hops, network traffic, and number of re-transmissions. The simulation scenarios were conducted on Abilene network, which is a

network of 11 nodes, and on a second topology known as the GÉANT network, which is a network of 42 nodes. The researchers concluded that the ICCP policy outperforms LRU, Priority-FIFO, and CCP policies in terms of CHR, retrieval delay, and network traffic.

The contribution of this paper is that it evaluates the performance of the ICCP cache replacement policy proposed in [8] against the newly integrated LRFU policy in the ndnSIM simulator. In other words, this study is particularly significant as it assesses the effectiveness of content popularity-based replacement policies against traditional cache replacement policies. By conducting this evaluation, the paper can provide a clear recommendation on which cache replacement policy offers superior performance.

4. Research Background

Cache replacement policies have an important effect on network performance and efficiency. Every cache replacement policy has a replacement decision that determines how to choose the Data packets to be replaced when the CS reaches its top capacity. As a result, the replacement policy decides which Data to keep and which Data to evict, and accordingly the effectiveness of the replacement policy changes [6].

In NDN architecture, there are traditional cache replacement policies based on content arrival time, content accessed time, and content frequency. *LRU* is the most common cache replacement policy because it is simple and easy to implement. *LRU* policy evicts data that has not been used for the longest time. *LFU* replaces the less often requested content. The drawback of this policy is some contents keep their place in cache for a long time even without using them. *FIFO* replaces the content that arrived first to the CS with the content that arrived most recently [10][14]. *Random Replacement (RR)* simply evicts random contents from CS. *Priority-FIFO* like FIFO but with three queues of relative priorities: the unsolicited queue, the stale

queue, and the FIFO queue [15]. The above are five traditional cache replacement policies in NDN.

4.1. Improved Cache replacement policy based-on Content Popularity (ICCP)

It is a policy that was proposed, implemented, and evaluated in a previous work [8] to improve in-network caching in NDN [13]. Caching is a key feature of NDN where the NDN router caches contents in the CS to serve incoming content requests. To make the cache replacement decision, the ICCP policy relies on two key factors: the congestion factor and the Archived Content Popularity Table factor.

Based on these two parameters, we can get a new computation formula to calculate the content popularity. This new formula derived from the CCP policy computation method. Then the proposed ICCP will replace the content with less popularity.

4.1.1 ICCP Workflow

According to [8], when an NDN node receives a new content, it checks whether it is already in the CS or not. If it is, the cache hit value is increased by one. If not, it first verifies whether the content name is in the congestion list or not. Congestion list stores the name of each content along with its congestion value. Whenever `getCongestionMark()` is greater than zero, the congestion value is increased by one. If the content name isn't in the congestion list, it is added with an initial congestion value of zero. Each time the `CongestionMark` exceeds zero, the congestion value is increased by one. Then `Archived_P=0` and `Archived_H=0` are defined as the congestion-based popularity of the archived content and the cache hit value, respectively.

Next, we check whether this content exists in the Archived Content Popularity Table. If it does, a copy of this content's information (`Archived_P`, `Archived_H`) is kept to be used to calculate the congestion-based content popularity (`Con_P`), instead of starting with

initial values of zero. If this content is not in the Archived Content Popularity Table, we proceed with the following:

Calculating the Con_P where the congestion-based content popularity is defined according to the proposed formula [8] below:

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

$P[i]$ indicates popularity of the cached content. $N[i]$ is number of times the cache was hit in the current counting cycle (cache refresh rate). α is the weight coefficient of the content popularity. *congestion* indicates the number of times `getCongestionMark()` was greater than zero for the current Data packet. After that, we set the cache hit value to one and store this content in the Content Popularity Table along with its information [8].

If the counting cycle (T) ends, we move to the next step. But if T does not end, we repeat the above for new content. When T ends, Con_P is updated for all contents in the Content Popularity Table and then they are sorted by their popularity value.

Finally, the ICCP checks whether CS is full or not. If it isn't, the content is stored directly in the CS. On the other hand, If the CS is full, then the less popular content is removed from both the CS and the Content Popularity Table and the most recently arrived content is stored instead. Then, the removed content (which was removed earlier) is stored in the Archived Content Popularity Table [8].

4.2. Least Recently Frequently Used (LRFU)

The LRFU cache replacement policy is designed to manage CS by considering both the recency and frequency of content access. The LRFU aims to improve the efficiency of content retrieval in NDN. As a reminder, the LFU policy removes the less often requested content from the cache to make place for new incoming content. LRU removes content that has not been used for the longest time [9].

LRFU keeps track of how recently and how frequently each Data packet has been accessed. A Combined Recency Frequency (CRF) value is assigned to each data packet requested by the consumer. CRF is a combination of how recently and how frequently the content has been accessed. More recent and frequently accessed content will have higher scores. The weighting function of LRFU defined by the following formula [9]:

$$F(x) = \left(\frac{1}{2}\right)^{\lambda x} \text{ Where: } 0 < \lambda < 1$$

λ balances the importance of recency and frequency. When λ is close to 0, the policy behaves more like LFU, giving more weight to the frequency of access. When λ is close to 1, the policy behaves more like LRU, giving more weight to the recency of access. x indicates the time difference between referenced Interest packets. When the cache is full, the content with the lowest score is replaced first. This approach helps in making better decisions about which Data to keep in the cache and which to evict [9].

5. Performance Evaluation

This paper uses ndnSIM to evaluate the performance of cache replacement policies in NDN. ndnSIM is an effective open-source simulator based on NS-3. It is valuable for researchers interested in conducting NDN studies and simulations. ndnSIM offers the ability to set up simulation topologies, define simulation parameters, model the communication layer protocols, simulate interactions between various NDN nodes, and record simulation events [16].

The limitations of the study include increasing interest packets beyond 500 packets per second or reducing the CS below 50%. In these scenarios, hardware resource exhaustion and unresponsiveness were realized.

5.1. Simulation Setup

ndnSIM was installed and run on Ubuntu 22.04 LTS. The simulations and performance evaluations are conducted on the GÉANT Network topology, which consists of 42 routers. Consumers are installed on 41 routers, while one router is designated for the producer, as shown in Figure 2.

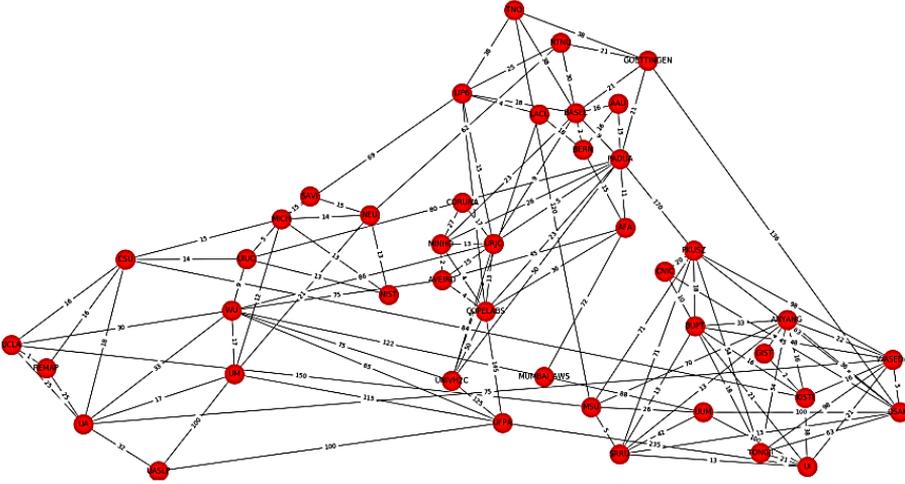


Figure 2: GÉANT Network topology [10].

Simulations and performance evaluations are conducted under two cases. In the first case, the consumer sends Interest packets at a rate of 100 packets per second. Seven different scenarios are set up, with routers equipped with CS at levels of 100%, 80%, 50%, 40%, 30%, 20%, and 5%. These varying CS levels provide a comprehensive view of network performance and help evaluate cache replacement policies under different conditions, such as node failure or limited CS size within a node. In the second case, simulations are conducted with the consumer sending Interest packets at a rate of 500 packets per second. The cache levels are set at 100%, 80%, and 50%. It's important to note that reducing the CS below 50% in this scenario led to hardware resource exhaustion and unresponsiveness, so only these three levels were considered. Additionally, CS size is set to 1000, with 1000 different contents generated by the producer.

Consumers request content based on the Zipf–Mandelbrot model, a discrete probability distribution in probability theory and statistics [17], with a modeling factor of $\alpha = 1.1$. This means the traffic generated follows the Zipf–Mandelbrot popularity distribution, reflecting the popularity weight of the traffic generated by the nodes [18].

The Best Route strategy [19] is selected as the forwarding strategy. Leave a Copy Down (LCD) policy [20] is used as the default cache placement policy, as this research focuses on studying replacement policies only. The simulation runs for 240 seconds.

Simulation parameters conducted in these experiments [10] are detailed in Table1 below.

Table1: Simulation parameters.

Parameter	Value
Interest Packets	100 packets/s (a), 500 packets/s (b)
Cache level	100%, 80%, 50%, 40%, 30%, 20%, 5%. (a) 100%, 80%, 50% (b).
Cache size	1000 contents
Content name	1000 different names
Content Request Model	Zipf–Mandelbrot
Modeling Factor	$\alpha = 1.1$
Forwarding Strategy	Best Route
Cache Placement Policy	LCD
Cache Replacement Policy	ICCP, LRFU
Metrics	CHR, Retrieval Delay, Network Traffic
Simulation time	240 seconds

5.2. Results and Discussion

This work uses three performance evaluation metrics [10], which are as follows:

- Cache Hit Rate (CHR) measures the effectiveness of caching by determining how well content requests are satisfied from

the CS instead of the original source (producer). This is defined as the ratio of Interest packets successfully satisfied by the CS to the total number of Interest packets sent. CHR can be calculated from the following formula [10]:

$$\text{Cache Hit Rate} = \frac{\sum \text{hit}}{\sum(\text{hit} + \text{miss})} * 100\%$$

$\sum \text{hit}$: Total number of cache hits.

$\sum(\text{hit} + \text{miss})$: Total number of cache hits and misses.

- Retrieval Delay indicates the time taken from when an Interest packet is sent to when the corresponding Data packet is received (including time for re-transmissions) [14].
- Network Traffic refers to the total amount of interest Packets and Data Packets moving across the network at any time.

5.2.1. Cache Hit Rate

The simulation results presented in Figure 3 indicate that ICCP outperforms LRFU. Additionally, it is evident that the CHR improves as the number of content stores in the network increases. The reason for this behavior is that with more content stores in the network, there is a higher possibility of finding the requested content along the path before reaching the content producer.

It is important to note that when the number of content stores is limited, they fill up quickly, leading to frequent cache replacements. Consequently, the size of CS significantly impacts the results achieved. Another key point is that the performance disparity between cache replacement policies becomes more obvious when there are fewer content stores in the network.

It has been agreed that LRFU policy relies on content arrival time and frequency to make the replacement decision, while ICCP policy considers congestion factor, Archived Content Popularity Table, and content popularity, so it performs better. When content stores are

present in 50% of the network nodes, ICCP outperforms LRFU by 4.4% in case (a) and 5.4% in case (b).

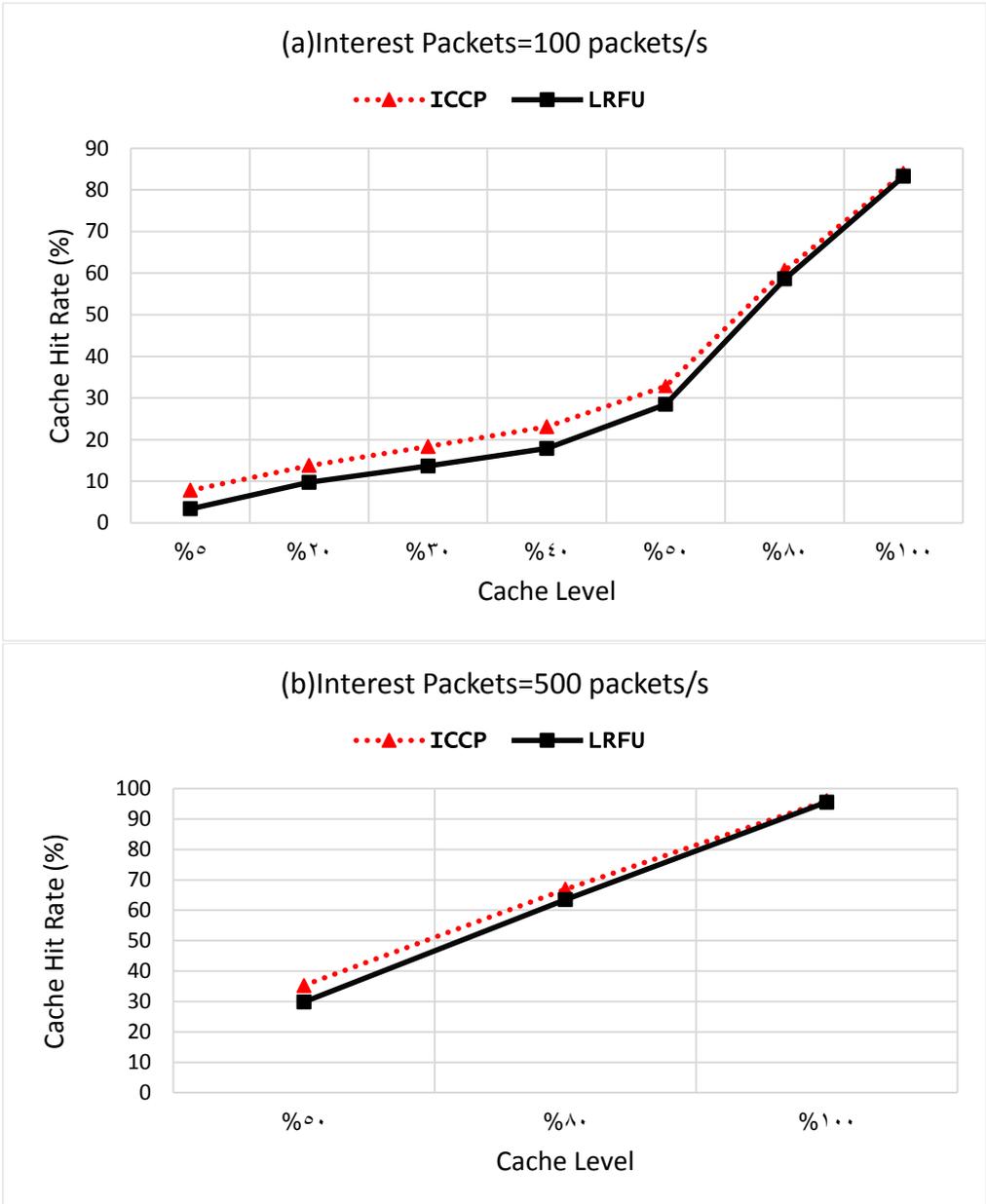


Figure 3: CHR with variable number of CS.

5.2.2. Retrieval Delay

The results in Figure 4 demonstrate that ICCP outperforms LRFU in terms of average retrieval delay. The observed delay in milliseconds represents the total delay, including content retrieval delay during retransmissions.

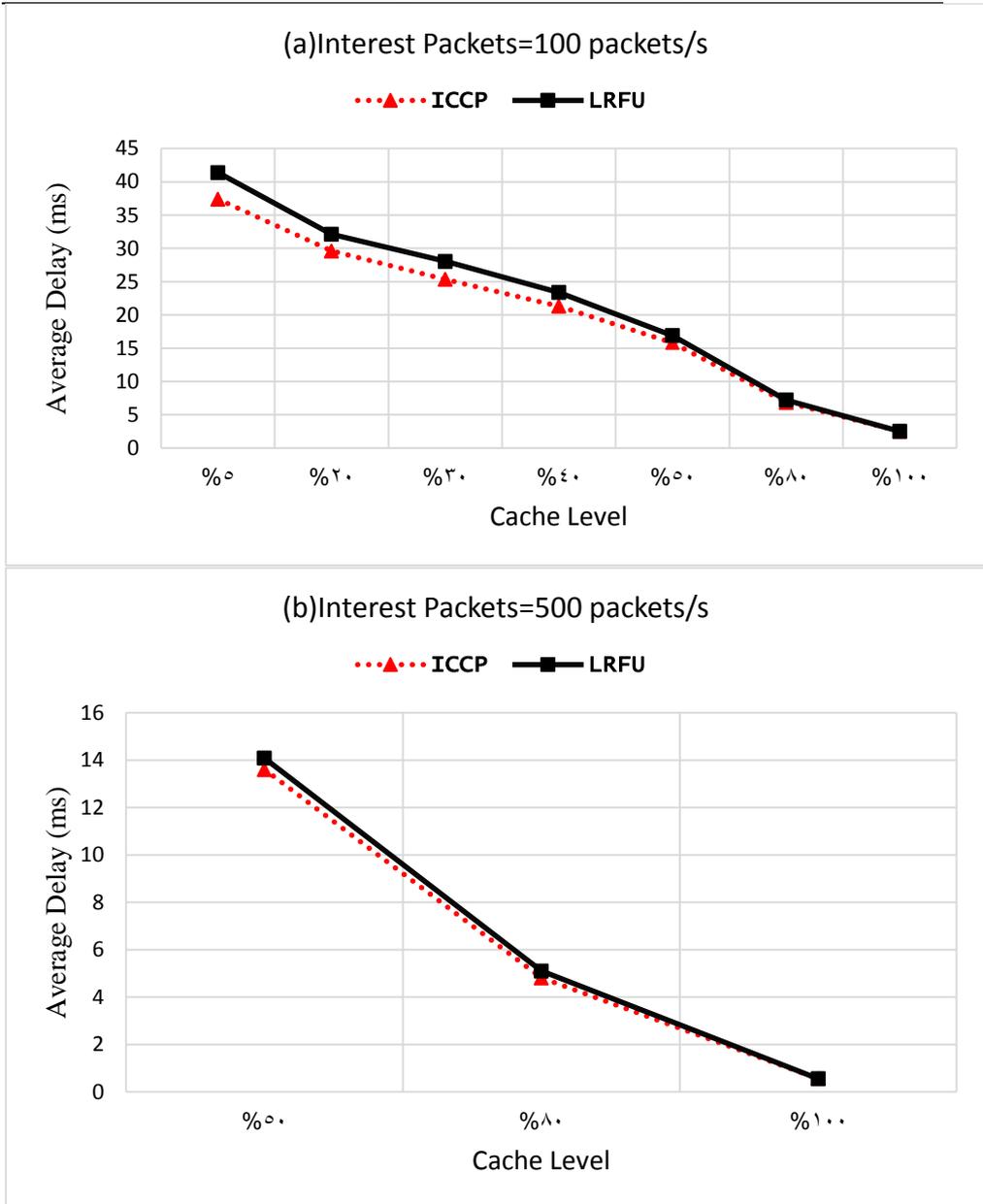


Figure 4: Average Retrieval Delay with variable number of CS.

It also shows that with fewer content stores, the delay is significantly larger. This is because Interest packets are forwarded to distant nodes, requiring more hops. Thus, the response time is longer as the Interest packet traverses more nodes to retrieve the content.

When the number of content stores is greater, the probability of retrieving the content with fewer hops is high, meaning the content is likely retrieved from a nearby CS. However, when the content is not retrieved, then the retransmission process will occur, and the producer will send a negative acknowledgment (NACK). When content stores are present in 50% of the network nodes, the ICCP reduces the average retrieval delay by 1 ms compared to the LRFU in case (a) and by 0.5 ms in case (b).

5.2.3. Network Traffic

Regarding network traffic, Figure 5 shows that ICCP outperforms LRFU in terms of average network traffic. Additionally, the results indicate that with fewer content stores, the network traffic is high. As the number of content stores increases, the network traffic decreases. The reason behind this behavior is that with fewer content stores in the network, each node that receives an Interest packet forwards it to a more distant node towards the producer. Similarly, each node that receives a Data packet forwards it back towards the node that requested the content (consumer), which increases the network traffic. As the number of content stores in the network increases, the possibility of the requested content being in a node close to the consumer is higher. Consequently, Interest packets and Data packets travel shorter paths, reducing the network traffic.

When content stores are present in 50% of the network nodes, the average network traffic under ICCP is 1.3 packets/s lower than under LRFU in case (a) and 5.7 packets/s lower in case (b).

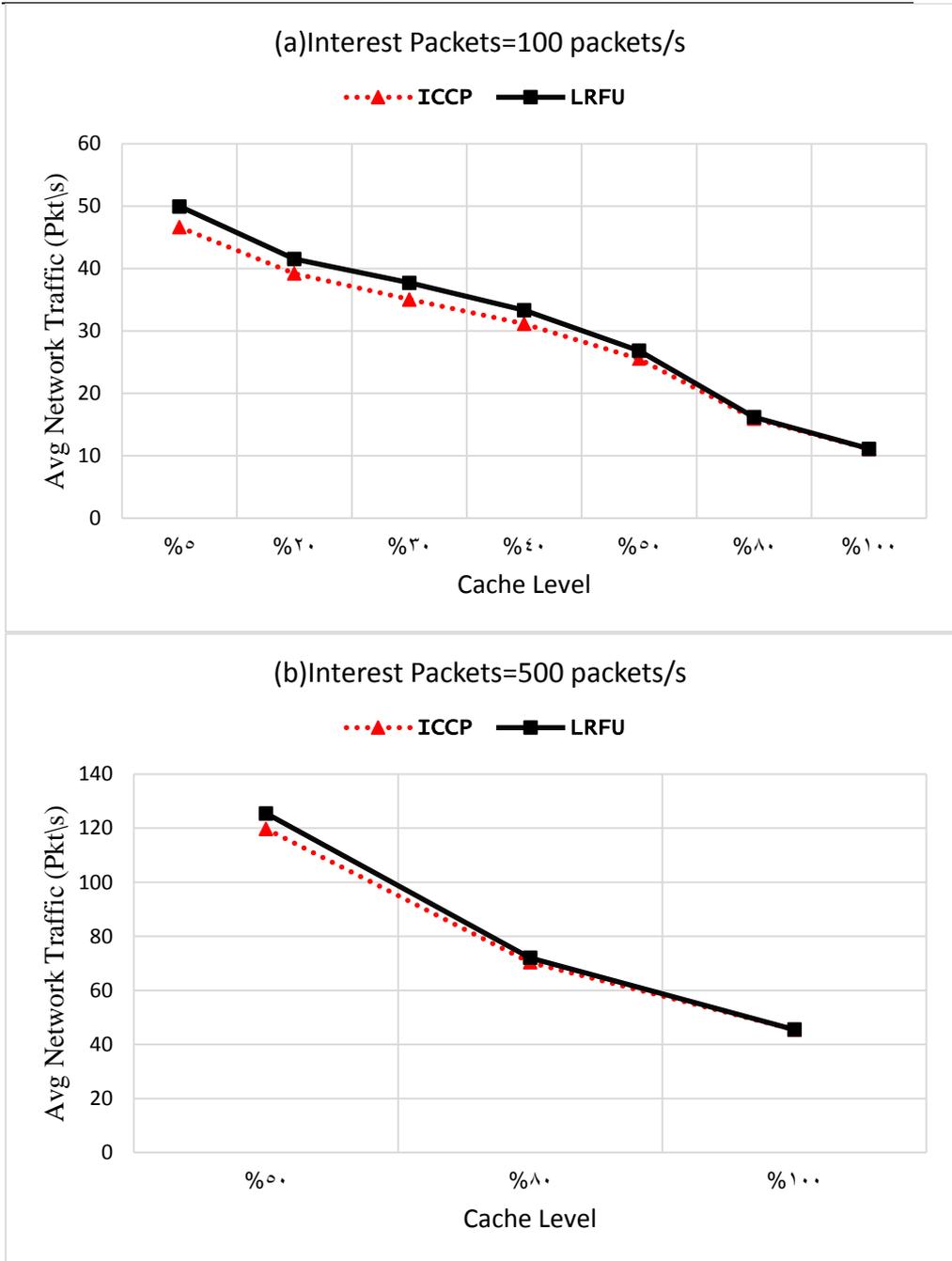


Figure 5: Average Network Traffic with variable number of CS.

6. Conclusion and Future Work

The ICCP policy can speed up the data retrieval process and increase the CHR. This research aimed to evaluate the performance of the ICCP cache replacement policy versus the LRFU policy across multiple simulation scenarios. Using ndnSIM for simulations and performance evaluations, the results demonstrated that ICCP outperforms LRFU in terms of CHR by 4.4% in scenario (a) and 5.4% in scenario (b). The ICCP decreases the average retrieval delay by 1 ms compared to LRFU in scenario (a) and by 0.5 ms in scenario (b). Finally, the average network traffic under ICCP is 1.3 packets/s lower than under LRFU in scenario (a) and 5.7 packets/s lower in scenario (b).

ICCP manages limited cache storage more effectively than LRFU, which is essential in resource-constrained environments. Additionally, ICCP improves cache hit rates and reduces delays compared to traditional policies like LRFU and LRU.

The ICCP policy maintained its superior performance even as the number of Interest packets increased. Our previous findings showed that ICCP outperforms CCP, LRU, and Priority-FIFO. This research further concludes that ICCP also outperforms LRFU. Our literature review revealed that cache replacement policies based on content popularity consistently outperform traditional replacement policies. Therefore, this study recommends the permanent adoption of content popularity-based replacement policies, such as ICCP. For future work, it would be interesting to evaluate the performance of content popularity-based replacement policies, such as CCP, ICCP, PBRs, and hierarchical popularity-based cache replacement policies, in IoT environments.

7. Abbreviations

CCP	Cache replacement policy based-on Content Popularity
CHR	Cache Hit Rate
CPT	Content Popularity Table
CRF	Combined Recency Frequency
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
LCD	Leave a Copy Down
LCE	Leave a Copy Everywhere
LFU	Least Frequently Used
LRFU	Least Recently Frequently Used
LRU	Least Recently Used
NDN	Named Data Networking
PBRS	Content-Popularity and Betweenness Based Replacement Scheme
PIT	Pending Interest Table
RARS	Resource Adaptation Resolving Server
RR	Random Replacement

8. References

[1] Afia Anjum, Paul Agbaje, Arkajyoti Mitra, Emmanuel Oseghale, Ebelechukwu Nwafor, Habeeb Olufowobi, "Towards named data networking technology: Emerging applications, use cases, and challenges for secure data communication," Future Generation Computer Systems Volume 151 Pages 12-31, 2024.

[2] Ahmed Khalid, Rana Asif Rehman, Byung-Seo Kim, "Caching Strategies in NDN Based Wireless Ad Hoc Network: A Survey,"

Computers, Materials and Continua Volume 80, Issue 1 Pages 61-103, 2024.

[3] Sabuzima Nayak, Ripon Patgiri, Angana Borah, "A survey on the roles of Bloom Filter in implementation of the Named Data Networking," Computer Networks Volume 196, 2021.

[4] Lixia Zhang, Van Jacobson, Beichuan Zhang, et al, "Named Data Networking: Motivation & Details", [Online] Available: <https://named-data.net/project/archoverview/> [Accessed: 07-Oct-2024].

[5] Ahmed Benmoussa, Chaker Abdelaziz Kerrache, Nasreddine Lagraa, Spyridon Mastorakis, Abderrahmane Lakas, Abdou El Karim Tahari, "Interest Flooding Attacks in Named Data Networking: Survey of Existing Solutions, Open Issues, Requirements and Future Directions," ACM Computing Surveys Volume 55 Issue 7, 2022.

[6] Mehran Hosseinzadeh, Neda Moghim, Samira Taheri, Nasrin Gholami, "A new cache replacement policy in named data network based on FIB table information," Telecommunication Systems Volume 86 pages 585–596, 2024.

[7] Bashaer Alahmri, Saad Al-Ahmadi, Abdelfettah Belghith, "Efficient Pooling and Collaborative Cache Management for NDN/IoT Networks," IEEE Access vol 9, 2021.

[8] Yaman Ghazi, Asim Al-Himsya, "An Improved Cache Replacement Policy for Named Data Networking," Homs University Journal - Mechanical, Electrical and Information Engineering Sciences Series Volume 46 Issue 5, 2024.

[9] Nana Rachmana Syambas, Hamonangan Situmorang, Made Adi Paramartha Putra, "Least Recently Frequently Used Replacement Policy in Named Data Network," International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI), 2019.

[10] Elidio Tomás da Silva, Joaquim Henriques Macedo, António Duarte Costa, "NDN Content Store and Caching Policies: Performance Evaluation", Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 2022.

[11] Ying Liu; Ting Zhi; Haidong Xi; Wei Quan; Hongke ZhangA "Novel Cache Replacement Scheme against Cache Pollution Attack in

Content-Centric Networks," IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC), 2019.

[12] YingQi Li, Meiju Yu, Ru Li, "A Cache Replacement Strategy Based on Hierarchical Popularity in NDN", Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2018.

[13] Jianhua Ran, Na Lv, Ding Zhang, Yuanyuan Ma, Zhenyong Xie, "On Performance of Cache Policies in Named Data Networking," International Conference on Advanced Computer Science and Electronics Information (ICACSEI), 2013.

[14] Mohssen Abboud, Alaa Al Hamdan, "Packet Scheduling Algorithm in MANET," Homs University Journal - Mechanical, Electrical and Information Engineering Sciences Series Volume 45 Issue 21, 2023.

[15] Alexander Afanasyev, Junxiao Shi, Beichuan Zhang, Lixia Zhang, et al, "NFD Developer's Guide". [Online] Available: <https://named-data.net/publications/techreports/ndn-0021-11-nfd-guide/> [Accessed: 12-Oct-2024].

[16] 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-Oct-2024].

[17] Martin Tunnicliffe, Gordon Hunter, "Random sampling of the Zipf-Mandelbrot distribution as a representation of vocabulary growth", ScienceDirect Physica A: Statistical Mechanics and its Applications Volume 608 Part 1, 2022.

[18] Mohamed Hefeeda, Osama Saleh, "Traffic Modeling and Proportional Partial Caching for Peer-to-Peer Systems", IEEE/ACM Transactions on Networking 16(6):1447-1460, 2008.

[19] Raja Azlina Raja Mahmood, Nor Faizah Jemangin, Masnida Hussin, "Performance Evaluation of an Adaptive Forwarding Strategy in Named Data Networking", International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA), 2019.

[20] Chengyu Fan, Susmit Shannigrahi, Christos Papadopoulos, Craig Partridge, "Discovering in-network Caching Policies in NDN Networks from a Measurement Perspective", 7th ACM Conference on Information-Centric Networking, 2020.

تصميم هوائى شرائحي قابل لإعادة التردد

لتطبيقات الجيل الخامس 5G

طالب الماجستير: عبد الكريم الحسن⁽¹⁾ الدكتور المشرف : أ. د. عبد الكريم
السالم⁽²⁾

(1) طالب في جامعة حمص - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - قسم هندسة
الالكترونيات والاتصالات.

(2) أستاذ دكتور في قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات اختصاص /اتصالات
وأمواج مكروية / جامعة حمص

الملخص:

يركز هذا البحث على تصميم هوائي شرائحي قابل لإعادة ضبط التردد يلبي متطلبات الجيل الخامس، حيث أن إعادة الضبط هي خاصية هامة تمكن الهوائي من تلبية متطلبات التطبيقات المختلفة ويقوم على مبدأ قدرة الهوائي على تغيير أحد بارمتراتة (التردد - نمط الإشعاع - الاستقطاب) مع الحفاظ على بقية البارمترات، يركز البحث على إعادة ضبط التردد من خلال استخدام مفاتيح PIN-Diode لتحقيق إعادة الضبط بين المجالات الترددية، يتألف الهوائي من طبقة أرضي مصنوعة من النحاس وفوقها طبقة أساس من النوع Rogers RT5880 ذات ثابت العازلية الكهربائية $\epsilon_r = 2.2$ ومن ثم في الأعلى طبقة الناقل (Patch) مصنوعة من النحاس، تظهر النتائج في حالتها الوصل والقطع للمفتاح أن الهوائي يعمل عند عدة ترددات للأموح الميلليمترية المستخدمة في عدة تطبيقات للجيل الخامس وهي (19.58 - 50 - 32.27) GHz في حالة القطع و (16 - 25.39 - 32.24 - 50.35) GHz في حالة الوصل ويقوم عامل انعكاس أقل من 10 dB وبالتالي يستقبل الهوائي ويشع عند هذه الترددات بشكل جيد، تمت عملية المحاكاة باستخدام البيئة البرمجية CST Studio وتم من خلالها دراسة أداء الهوائي المقترح.

كلمات مفتاحية: إعادة ضبط التردد، الجيل الخامس، الهوائي الشرائحي، المفتاح PIN، الأمواح الميلليمترية.

Frequency Reconfigurable Microstrip Antenna Design For 5G Applications

Abstract:

This work is based on designing a frequency Reconfigurable patch antenna that meets the requirements of the fifth generation 5G. As Reconfiguration is an important property that enable the antenna to meet the requirements of different applications and is based on the principle of the antenna's ability to change one of its parameters (frequency - radiation pattern - polarization) while maintaining the rest of the parameters, This work focuses on frequency Reconfiguration where PIN-Diode switches were used to achieve Reconfiguration between frequency bands. The antenna consists of a ground layer made of copper and above it a Rogers RT5880 substrate layer with a dielectric constant $\epsilon_r=2.2$ and then on top of it a copper radiator layer. The results in the ON and OFF cases of the switch show that the antenna operates at several frequencies of millimeter waves used in several 5G applications, which are (19.58 - 32.27 - 50) GHz in the OFF case and (16 - 25.39 - 32.24 - 50.35) GHz in the ON case and with S_{11} values less than -10 dB and $VSWR \leq 2$, thus the antenna receives and radiates as required at these frequencies. The simulation and the antenna performance have been analyzed using the CST Studio environment.

Keywords: Frequency Reconfiguration, 5G, patch antenna, PIN switch, millimeter wave.

مقدمة:

أضاف ظهور الجيل الخامس العديد من المتطلبات التصميمية للأجهزة، من حيث استهلاك الطاقة أو ترددات العمل أو حتى حجم الجهاز، مما دعا للعديد من التطويرات على بنية الأجهزة لتنتمشى مع متطلبات الجيل الخامس الذي دفع بسرعة نقل البيانات لأضعاف عما هي عليه في الجيل الرابع، ومن أهم المتطلبات لأجهزة الاتصال اللاسلكية في الجيل الخامس هي تقنية إعادة التشكيل للهوائيات باعتبار الهوائي هو أهم عنصر في منظومة الاتصال اللاسلكية، والتي تعني قابلية الهوائي لإعادة ضبط تردد العمل أو نمط الإشعاع أو الاستقطاب أو إعادة ضبط مزيج من البارامترات السابقة (إعادة ضبط هجين) [1] تلبية لمتطلبات التطبيقات الحديثة، مثل الراديو الإدراكي و أنظمة MIMO [2] و الأقمار الصناعية والتطبيقات الطبية وبمجال ترددي واسع ينقسم لقسمين، القسم الأول ترددات SUB 6GHz يشمل الترددات الأقل من 6 GHz والقسم الثاني يمتد من 20 GHz حتى 71 GHz، كما إن هذه التقنية تساهم في تقليل عدد الهوائيات المطلوب في المنظومة وبالتالي تبسيط بنية المنظومة وتخفيف تكلفة بنائها، وبشكل أهم وأساسي لزيادة الاستخدام الفعال للطيف الترددي [3]، وبالنظر في إعادة ضبط التردد فهناك عدة تقنيات مستخدمة لتحقيق ذلك وهي تعتمد بشكل أساسي على فصل ووصل اجزاء مختلفة من الهوائي مع بعضها لتغيير أبعاد الهوائي وإعادة توزيع التيارات السطحية فيه وبالتالي تغيير تردد العمل، وذلك باستخدام مجموعة مفاتيح كهربائية أو ضوئية مثل (RF-MEMS, Varactor PIN) وبقيّة بارامترات الهوائي، ولكن عند العمل على الأمواج المليمترية التي تعتمد عليها شبكات الجيل الخامس كطبقة فيزيائية لنقل البيانات [5] فيفضل استخدام مفاتيح PIN لأنها الأكثر فعالية في التعامل مع هذه الترددات العالية [1] مقارنة ببقية أنواع المفاتيح وقد قامت عدة دراسات بمقارنة أنواع المفاتيح مع بعضها وتأثيرها على أداء الهوائي [6] ولكن يبقى هناك قاعدة مهمة هو أن كثرة عدد المفاتيح في التصميم يزيد من تعقيد الدارة وذلك بسبب بنية دارة

الانحياز التي يجب إضافتها للهوائي من أجل فصل ووصل المفاتيح لتغيير نمط أو تردد العمل.

تنظيم البحث:

تم تنظيم البحث وفق الترتيب التالي: تم البدء بمقدمة عن العمل المنجز ثم ذكر الهدف من البحث وطرائقه، وبعدها تم إجراء دراسة مرجعية في الفقرة 1 تستعرض أحدث الأبحاث التي تم إنجازها عن إعادة ضبط التردد، ثم تم في الفقرة 2 و 3 شرح تصميم الهوائي المقترح وأخيراً تم مناقشة النتائج التي تم الحصول عليها في الفقرة 4 وتحليلها مع مقارنة هذه النتائج مع الأبحاث السابقة في الفقرة 5.

هدف البحث:

يهدف البحث لتصميم هوائي قابل لإعادة ضبط التردد قادر على العمل على ترددات الجيل الخامس وتقييم بارمتراته وملائمته لمتطلبات تطبيقات الجيل الخامس.

مواد وطرق البحث:

يعتمد البحث على الطرق التجريبية والتسنيدي المرجعي وتمت المحاكاة باستخدام برنامج CST Studio 2019 لتصميم الهوائي واختبار أدائه وذلك على حاسب بمواصفات RAM 12 GB و CPU 2.70 GHz ونظام تشغيل Windows 10.

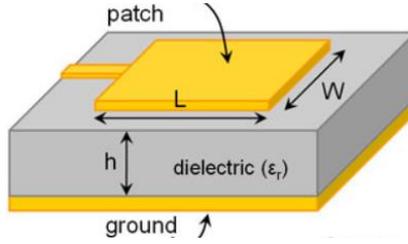
1 دراسة مرجعية

اهتمت أبحاث عديدة بدراسة تقنية إعادة ضبط التردد للهوائيات الشرائحية وتم استخدام عدة تقنيات لزيادة كفاءة عمل الهوائي وتحسين أدائه، حيث قام (Alwahishi et al، 2022) في [1] بتصميم هوائي شرائحي بأبعاد صغيرة تبلغ $5 \times 6 \times 0.254 \text{ mm}^3$ وباستخدام طبقة أساس من النوع Rogers RT 5880 ومفتاح واحد من النوع PIN-Diode، بعد عملية المحاكاة تم الحصول على هوائي وحيد الحزمة يعمل عند التردد 28 GHz عند حالة الفصل

وتردد 38 GHz عند حالة وصل المفتاح بقيمة ربح أعظمية 3.5 dBi، وفي الدراسة [7] قام (Rasool et al، 2023) بتصميم هوائي شرائحي نصف دائري مدمج مع نصف حلقة وبأبعاد $9.8 \times 13 \times 0.787 \text{ mm}^3$ على طبقة أساس من النوع Rogers RT 5880 ومفتاحين من النوع PIN-Diode ليحصل على هوائي وحيد الحزمة يعمل عند الترددات 25.17/26.75 /27.64 GHz وبقيمة ربح أعظمية 4.397 dBi، كما قام (Refaat et al، 2023) في [8] بتصميم هوائي شرائحي بأبعاد $18 \times 11.25 \times 0.787 \text{ mm}^3$ وتم اقتطاع أجزاء من حواف الهوائي على شكل قطع زائد وذلك على طبقة أساس من النوع Rogers RT 5880 واستخدام 14 مفتاح من النوع PIN Diode لفصل ووصل عدة أجزاء في الهوائي مع بعضها للتحكم بتوزيع التيار السطحي وبالتالي تغيير تردد العمل إضافة لوضع عناصر ناقلة صغيرة بجانب خط التغذية لزيادة كفاءة الإشعاع فتم الحصول على هوائي متعدد المجالات يعمل عند الترددات 28 / 38 / 28.38 GHz عند ثلاث حالات مختلفة للمفاتيح وبقيمة ربح أعظمية وصلت لـ 7.4 dBi ، وفي البحث [9] قام (Rahayu et al، 2023) بتصميم هوائي شرائحي بأبعاد $15 \times 20 \times 0.254 \text{ mm}^3$ على طبقة أساس من النوع RT Duroid 5880 وتم وضع شق على شكل حرف + في منتصف الهوائي لإزاحة تردد العمل للحصول على التردد المرغوب، كما تم استخدام مفتاح واحد من النوع PIN-Diode بين الهوائي الأساسي والناقل (patch) المضاف في أعلى التصميم فتم الحصول على الترددات 28/38 GHz في حالتها فصل ووصل المفتاح وبقيمة ربح أعظمية 8.5 dBi، وأخيراً في الدراسة [12] قام (Rasool et al، 2023) بتصميم هوائي شرائحي بأبعاد $28 \times 14 \times 1.5 \text{ mm}^3$ على طبقة أساس من النوع FR-4 وتم استخدام 3 أجزاء ناقلة بجانب الناقل (patch) الرئيسي و3 مفاتيح من النوع PIN-Diode لفصل ووصل هذه الأجزاء مع بعضها فتم الحصول على هوائي ثماني المجالات قابل لإعادة ضبط التردد يعمل عند الترددات التالية والتي تقع ضمن مجال SUB-6 GHz للجيل الخامس وهي 4.31 / 3.91 / 4.31 / 3.91 / 4.31 / 3.91 / 4.31 / 3.91 GHz ، وبقيمة ربح أعظمية 2.51 dBi.

2 تصميم الهوائي:

تتعدد أنواع الهوائيات الشرائحية من المستطيلة للدائرية للمربعة وغيرها من الأنواع الشهيرة، ويعتبر الهوائي الشرائحي المستطيل من أبرز الأنواع وأكثرها استخداماً ويبين الشكل 1 بنية هذا الهوائي



شكل 1 الهوائي الشرائحي المستطيل

عند تصميم الهوائي الشرائحي المستطيل تُعتمد عدة علاقات رياضية لتحديد أبعاد الهوائي [13]:

لحساب عرض الناقل (patch) يتم استخدام العلاقة التالية

$$W = \frac{c}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

حيث أن:

c سرعة الضوء وتبلغ $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

ϵ_r ثابت العازلية الكهربائية لطبقة الأساس

f تردد العمل

وتستخدم العلاقة التالية لحساب ثابت العازلية الفعال لطبقة الأساس

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \sqrt{1 + 12 \frac{h}{W}} \quad (2)$$

حيث h هي سماكة طبقة الأساس

ولحساب الطول الفعال للناقل يتم استخدام العلاقة

$$L_{reff} = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (3)$$

ثم يتم حساب امتداد طول الناقل من العلاقة

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \quad (4)$$

ويتم استخدام العلاقة التالية لحساب طول الناقل (patch)

$$L = L_{reff} - 2\Delta L \quad (5)$$

أما بالنسبة للهوائي الشراحي الحلقي فيوجد علاقة رئيسية تحدد قطر الحلقة [7]

$$r = \frac{F}{\sqrt{1 + \frac{2h}{\pi\epsilon_r F} \left[\ln \left(\frac{\pi F}{2h} \right) + 1.7726 \right]}} \quad (6)$$

حيث أن r نصف قطر الحلقة و h ارتفاع طبقة الأساس وكلاهما مقدر بالـ cm

ومن العلاقة (7) نحدد تردد الرنين f_r الناتج عن الحلقة

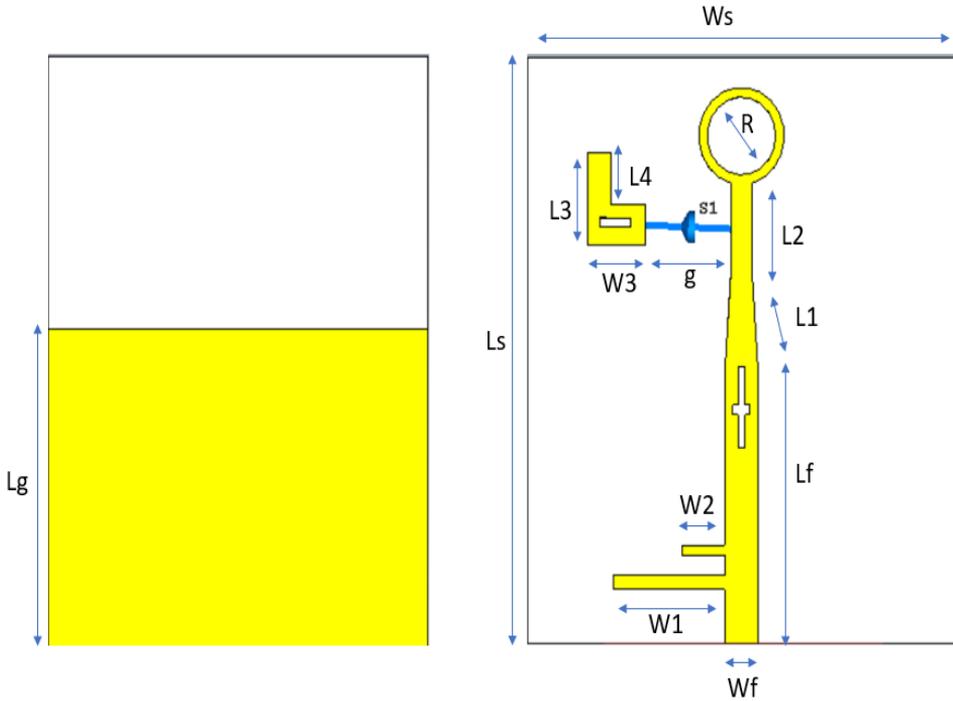
$$F = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (7)$$

يظهر الشكل 2 بنية الهوائي المقترح، يمثل الشكل (a-1) الشكل الأمامي للهوائي والشكل

(b-1) الشكل الخلفي للهوائي، يتألف الهوائي من طبقة أرضي بسماكة 0.035 mm وهي

مقطعة أي أنها لا تغطي كامل مساحة طبقة الأساس وذلك لتوفيق الممانعة مع خط التغذية

وزيادة كفاءة الإشعاع [7] ، أما طبقة الأساس فهي من النوع Rogers RT5880 ذات ثابت العازلية الكهربائية $\epsilon_r = 2.2$ وبسماكة $h=0.254$ mm، ويعلو هذه الطبقة طبقة ناقلة (patch) تمثل المشع مصنوعة من النحاس وبسماكة طبقة الأرضي نفسها حيث أن طبقة المشع تتكون من عنصرين monopole وحلقة (للحصول على ميزة تعدد المجالات [7]) يفصل بينهما مفتاح ثنائي S1 يعمل عند الترددات العالية من النوع (MACOM MADP- (000907-14020) وتم استخدام الدارة المكافئة له في حالتي الوصل والفصل لمحاكاة عمله، أما من الأسفل بجانب خط التغذية فيوجد عنصران بطول $W1$ و $W2$ متصلان بالخط من الجانب لتحسين الاستجابة الترددية للهوائي [8]، كما تم استخدام الشقوق ضمن بنية الهوائي وذلك لإزاحة تردد العمل للحصول على الترددات المطلوبة وذلك من خلال تغيير حجم الشق وموضعه [9].



شكل 2 (b-1) مسقط خلفي للهوائي

شكل 2 (a-1) مسقط أمامي للهوائي

يبين الجدول 1 أبعاد الهوائي الذي تم تصميمه حيث أن الواحدة بال mm لجميع البارامترات، ونلاحظ من الأبعاد أن الهوائي المقترح يملك حجماً تصميمياً صغيراً جداً ($5 \times 6 \times 0.254$ mm³) مما يجعله مناسباً للاستخدام والعمل عند ترددات الأمواج الميليمترية

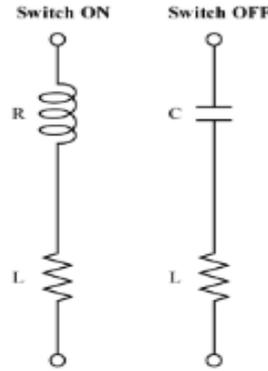
جدول 1 أهم بارامترات وأبعاد الهوائي المقترح والمستخدمة في المحاكاة

البارمتر	قيمه mm
<i>Ws</i>	5
<i>Ls</i>	6
<i>Wf</i>	0.39
<i>Lf</i>	2.78
<i>L1</i>	1
<i>L2</i>	0.94
<i>L3</i>	0.95
<i>L4</i>	0.53
<i>W1</i>	1.3
<i>W2</i>	0.5
<i>W3</i>	0.67
<i>g</i>	1
<i>R</i>	0.8
<i>Lg</i>	3.23
<i>h</i>	0.254

2.1 الدارة المكافئة للثنائي PIN

عند إدراج عنصر الثنائي كمفتاح في برنامج CST Studio فإننا نعتمد على الدارة المكافئة له وهي دارة RLC والتي تأخذ قيم مختلفة في حالتها الفصل والوصل للثنائي وتختلف هذه القيم أيضاً تبعاً لنوع الثنائي المستخدم، وفي الهوائي المقترح فإن الدارة المكافئة للثنائي (MACOM MADP-000907-14020) هي دارة RL في حالة ON بقيم ($R_{d,on}=7.8$) ودارة LC في حالة OFF بقيم ($L_{d,on}=30$ pH , $C_{d,off}=28$ fF)

[10] كما هو مبين بالشكل 3



شكل 3 الدارة المكافئة للتنائي PIN المستخدم كمفتاح

3 النتائج

تمت محاكاة الهوائي المبين في الشكل 1 وبعتماد بامترات المحاكاة في الجدول 1 والتوصل للنتائج التالية:

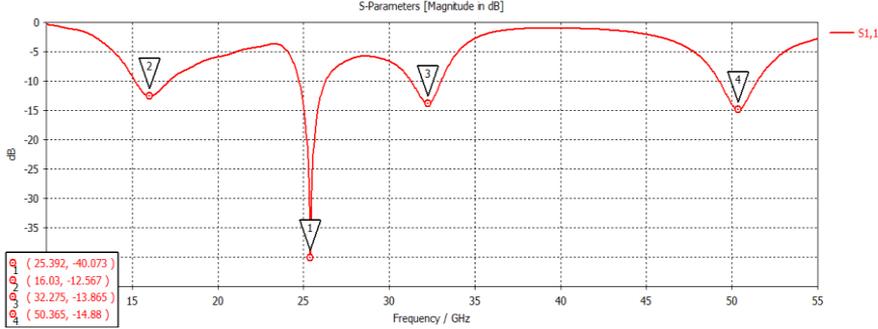
1- عامل الانعكاس S_{11}

يعد عامل الانعكاس أهم مقاييس أداء الهوائي والذي يتحدد من العلاقة:

$$|\Gamma| = \frac{Z_o - Z_i}{Z_o + Z_i} \quad (8)$$

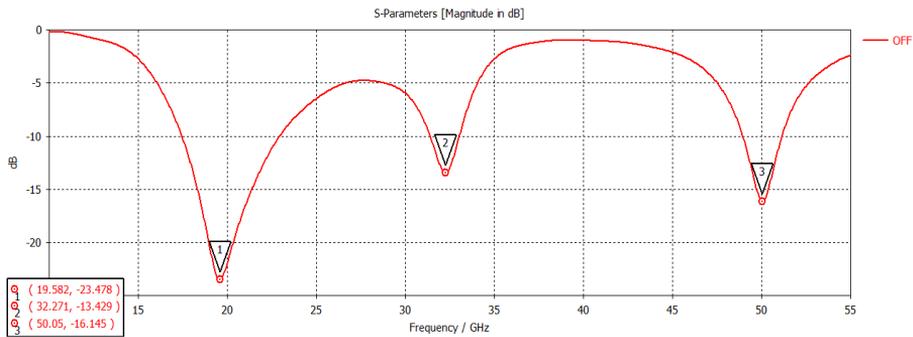
حيث أن Z_i ممانعة دخل الهوائي و Z_o ممانعة خط النقل وتوافق هاتين الممانعتين سيؤدي لأداء أفضل للهوائي [11]، وسنبين قيم عامل الانعكاس في حالتي فصل ووصل المفتاح، ففي حالة وصل التنائي يبين منحنى عامل الانعكاس (الشكل 4) أن الهوائي يعمل عند الترددات (50.365 , 32.275 , 16.03 , 25.392) GHz بقيم عامل انعكاس dB (-14.88 , -13.865 , -12.567 , -40) على الترتيب وهذا يخدم عدة تطبيقات في الجيل الخامس إضافة لعدة تطبيقات أخرى مثل الرادار للتردد 25 GHz [13] واتصالات الأقمار الصناعية (Ku-band) للتردد 16 GHz [14] وتطبيقات

MIMO في الاتصالات الخليوية للتردد 32 GHz [15] وتطبيقات WPAN للتردد 50 GHz [16] ويكون الهوائي في هذه الحالة متعدد المجالات يعمل عند 4 ترددات في نفس الوقت وهذا يعطي إمكانية استخدامه لتلبية أكثر من تطبيق في نفس الوقت وهو أمر هام في تطبيقات الجيل الخامس.



شكل 4 عامل الانعكاس في حالة ON

أما في حالة الفصل فيأخذ عامل الانعكاس الشكل التالي مبيناً قيم الترددات الجديدة التي ينتقل لها الهوائي وهي (19.582 , 32.271 , 50.05) GHz بقيم عامل انعكاس dB (-16.145 , -13.429 , -23.478) على الترتيب وهذا يخدم عدة تطبيقات وهي الاتصالات الخليوية للتردد 32 GHz وتطبيقات WPAN للتردد 50 GHz و الاتصالات الفضائية للتردد 20 GHz [17]



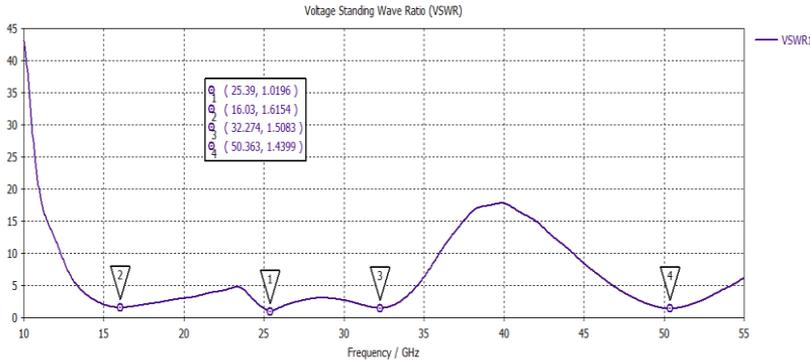
شكل 5 عامل الانعكاس في حالة OFF

2- نسبة الأمواج المستقرة VSWR

تعتبر VSWR من أهم مقاييس الأداء للهوائيات كما أنها مؤشر على مقدار عدم التوافق بين الهوائي وخط التغذية المتصل به، ويُعرف أيضاً باسم نسبة الموجة المستقرة (SWR) حيث يتراوح نطاق قيم VSWR من (1 إلى ∞)، وتُعتبر قيمة VSWR الأقل من 2 مناسبة لمعظم تطبيقات الهوائي وتعطى بالعلاقة

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (9)$$

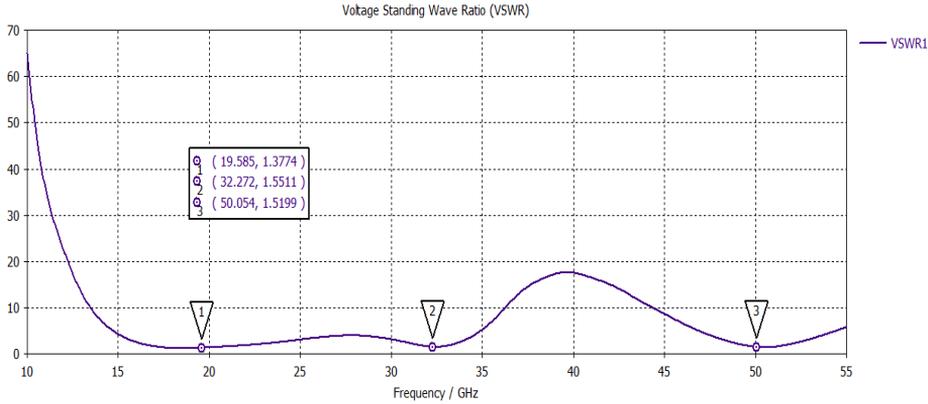
في حالة وصل المفتاح تكون قيم VSWR كما يبين الشكل 6



شكل 6 قيم VSWR في حالة ON

يتبين من الشكل أن VSWR تأخذ عند الترددات GHz (, 16.03 , 32.275 , 25.392 , 50.365) قيم (1.01 , 1.61 , 1.50 , 1.43) على الترتيب وجميعها تقع ضمن المجال المقبول لقيم VSWR.

أما في حالة فصل المفتاح فينتج لدينا مجموعة قيم ل VSWR حسب الترددات الجديدة كما هو مبين في الشكل 7



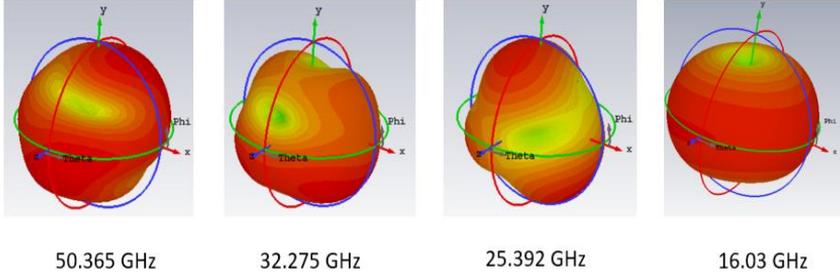
شكل 7 قيم VSWR في حالة OFF

يتبين من الشكل أن VSWR تأخذ عند الترددات (19.582 , 32.271 , 50.05) GHz قيم (1.37 , 1.55, 1.51) على الترتيب وجميعها أيضاً تقع ضمن المجال المقبول لقيم VSWR.

3- نمط إشعاع الحقل البعيد

يعتبر نمط الإشعاع للهوائي من المقاييس الأساسية المعتمدة لتقييم الأداء ويمكن تعريفه كدالة رياضية أو تمثيل بياني لخصائص إشعاع الهوائيات كتابع لإحداثيات الفضاء الفراغية [4] ومن خلال هذا المنحني في CST يمكن تحديد قيمة الريح وهو نسبة شدة الإشعاع للهوائي في اتجاه معين إلى شدة الإشعاع التي يمكن الحصول عليها بواسطة هوائي إيزوتروبي يتغذى بنفس الاستطاعة ويتم قياسه بوحدة ديسيبل [4] إضافة لإمكانية تحديد قيمة الاتجاهية التي هي نسبة شدة الإشعاع في اتجاه معين من الهوائي إلى شدة الإشعاع المتوسطة على جميع الاتجاهات. بعبارة أخرى، تقيس اتجاهية الهوائي.

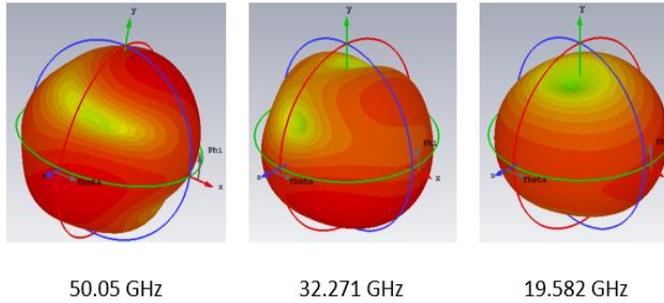
في حالة وصل المفتاح ينتج لدينا 4 ترددات عمل يكون عندها شكل نمط الإشعاع كما هو مبين في الشكل 8 والذي تم من خلاله قراءة قيم الاتجاهية والريح للهوائي عند كل تردد تم الحصول عليه



شكل 8 نمط إشعاع الحقل البعيد في حالة وصل المفتاح

يشع الهوائي عند وصل المفتاح بقيم ريح على النحو (2.19 , 2.01 , 2.78 , 0.389) dBi وقيم اتجاهية (2.59 , 3.41 , 4.08 , 2.69) عند الترددات (16.03 , 25,392 , 32.275 , 50.365 GHz) على الترتيب

أما في حالة الفصل فيشع الهوائي كما هو مبين في الشكل 9



شكل 9 نمط إشعاع الحقل البعيد في حالة فصل المفتاح

يشع الهوائي عند فصل المفتاح بقيم ريح (3.09 , 2.54 , 0.5 dBi) وقيم اتجاهية (3.54 , 2.93 , 3.12) عند الترددات (19.582 , 32.271 , 50.05 GHz) على الترتيب .

4 مقارنة مع الدراسات السابقة

بعد دراسة وتحليل مقاييس الأداء المعتمدة للهوائي المقترح تم في هذا البحث إجراء مقارنة بين الهوائي المقترح وبعض الدراسات المرجعية الحديثة حيث تمت مقارنة بارمترات عمل الهوائي المقترح مع بقية البارمترات وتم التركيز على حجم الهوائي وتردد العمل والريح ونوع المفاتيح وعددها إضافة لميزة تعدد المجالات.

يبين الجدول 2 مقارنة بين نتائج البحث ونتائج الأعمال السابقة ذات الصلة

جدول 2 مقارنة مع الأعمال ذات الصلة

الدراسة	الحجم mm ³	ترددات العمل GHz	الريح dBi	نوع المفاتيح	عدد المفاتيح	متعدد المجالات
[1]	5 × 6 × 0.254	28 / 38	3.5 / 3.5	PIN Diode	1	x
[12]	28×14×1.5	4.31 / 3.91 , 6.95 / 3.2 , 5.9 / 3.06, 5.65 , 7.92	2.51 / 2.21 , 2.06 / 1.78 , 1.93 / 1.59, 2.1, 1.92	PIN Diode	3	✓
[7]	9.8×13×0.787	25.17 /26.75 / 27.64	2.769 / 4.397 / 4.193	PIN Diode	2	x
[8]	18×11.25×0.787	28 / 38 / 28 , 38	7.4 / 5.11 / 6.72 , 5.71	PIN Diode	14	✓
[9]	15 × 20 × 0.254	38 / 28	8.36 / 8.5	PIN Diode	1	x
Our Work	5 × 6 × 0.254	25.392 , 16.03 , 32.275 , 50.365 / 19.582 , 32.271 , 50.05	2.19 , 2.01 , 2.78 , 0.389 / 3.09 , 2.54 , 0.5	PIN Diode	1	✓

يتبين من النتائج السابقة أن التصميم الخاص بالبحث المقترح يتقارب مع البحث [1] من حيث حجم الهوائي لكنه يتفوق عليه بميزة تعدد المجالات، كما انه يتفوق على البحث [12] من حيث الحجم ويستخدم مفتاح واحد فقط أما البحث [12] فيستخدم 3 مفاتيح وهذا أمر ذو تأثير سلبي عند التنفيذ العملي لأن تيارات التحيز المستخدمة لفتح وإغلاق المفتاح ستسبب تأثيرات على تردد العمل ونمط الإشعاع للهوائي، أما البحث [7] فنلاحظ أن البحث المقترح يتفوق عليه بميزة الحجم وتعدد المجالات لكن البحث [7] يملك قيم ربح أفضل،

ونلاحظ في البحث [8] وجود ميزة تعدد المجالات ووجود قيم ربح أفضل لكن تم استخدام 14 مفتاح وحجم الهوائي كبيرة مقارنة بحجم الهوائي المقترح لدينا، وأخيراً بالمقارنة مع البحث [9] نلاحظ أن الهوائي المقترح يتفوق من حيث الحجم ومتعدد المجالات ولكن قيم ربح البحث [9] أفضل من قيم ربح الهوائي المقترح.

5 خاتمة

تم تصميم هوائي شرائحي قابل لإعادة ضبط التردد ويعمل على ترددات الجيل الخامس، وتمتع الهوائي المقترح بميزة تعدد المجالات مما يجعله قادراً على تلبية عدة تطبيقات في نفس الوقت كما تم استخدام مفتاح واحد فقط وهذا امر مهم لتخفيف تعقيد التصميم، حصلنا على ترددات عمل (16.03, 25,392 , 32.275 , 50.365 GHz) في حالة وصل المفتاح و(19.582 , 32.271 , 50.05 GHz) في حالة الفصل.

المراجع

- [1] Alwahishi, Rabeia & Ali, Mohamed Mamdouh & Denidni, Tayeb. (2022). A Reconfigurable 28/38 GHz Omni-directional Antenna Design for Future 5G Applications. 1480-1481. 10.1109/AP-S/USNC-URSI47032.2022.9886383.
- [2] Ebrahim, Abdalrahim, (2020). The Effect of Antenna Number on Orthogonal and Non- orthogonal Multiple Access massive MIMO Systems, Al-Baath University Journal.
- [3] Al Ahmad, Mahmoud & kabeer, Saifudeen & Abu Sanad, Ala & Olule, Lillian. (2021). Compact single- varactor diode frequency-reconfigurable microstrip patch antenna. IET Microwaves, Antennas & Propagation. 15. 10.1049/mia2.12117.
- [4] Nur Farahwahida binti Ab Aziz. (2019). Design and Construction of Pattern Reconfigurable Antenna with Fine Direction Resolution. Electronic and Computer Engineering Department, Brunel University, London.
- [5] Khalil, Elie.(2021). Hybrid Beamforming in 5G Network using Singular Value Decomposition. Al-Baath University Journal.

- [6] Ojaroudi Parchin, Naser & Jahanbakhsh, Haleh & Al-Yasir, Yasir & Abdulkhaleq, Ahmed & Abd-Alhameed, Raed. (2020). Reconfigurable Antennas: Switching Techniques- A Survey. Electronics. 10.3390/electronics9020336.
- [7] Abd, Ali & Rasool, Jamal. (2023). Low-profile frequency-reconfigurable antenna for 5G applications. TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control). 21. 486. 10.12928/telkomnika.v21i3.24028.
- [8] Refaat, Samar & Mohamed, Hesham & Mahmoud, Abdelhady & Mohra, Ashraf. (2023). A 28/38 GHz tuned reconfigurable antenna for 5G mobile communications. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. 31. 248. 10.11591/ijeecs.v31.i1.pp248-258.
- [9] Rahayu, Yusnita & Pradana, Yoga & Yamada, Yoshihide. (2023). Dual-band frequency reconfigurable 5G microstrip antenna. SINERGI. 27. 81. 10.22441/sinergi.2023.1.010.
- [10] Zhuohang, Zhang & Pan, Zhongming. (2019). Time Domain Performance of Reconfigurable Filter Antenna for IR-UWB, WLAN, and WiMAX Applications. Electronics. 8. 1007. 10.3390/electronics8091007.
- [11] M. SREEDHAR REDDY, RENJU PANICKER. (2020). ANTENNA AND WAVE PROPAGATION.MALLA REDDY COLLEGE OF ENGINEERING & TECHNOLOGY
- [12] Abd, Ali & Rasool, Jamal. (2023). Octa-band reconfigurable monopole antenna frequency diversity 5G wireless. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). 13. 1606. 10.11591/ijece.v13i2.pp1606-1617.
- [13] Touko, Borel & Priyadarshini, Rashmi. (2023). A Microstrip Patch Antenna Designed for 25 GHz Applications. 10. 134-139.
- [14] Shin, Dong & Chang, Dong-Pil & Yom, In & Ryu, Keun. (2006). A 8/16 GHz frequency doubler MMIC for space application. 2. 10.2514/6.2006-5435.
- [15] Zamir Wani, Mahesh Pandurang Abegaonkar, and Shibhan Kishen Koul, "A 28-GHz Antenna for 5G MIMO Applications," Progress In Electromagnetics Research Letters, Vol. 78, 73-79, 2018.
- [16] Panda, Ribhu & Mishra, Debasis. (2016). Perturbed Elliptical Patch Antenna Design for 50 GHz Application. 10.1007/978-81-322-2728-1_47.
- [17] Y. Fu, H. Yao, Y. Dai, Y. Wu and G. Huang, "A 20GHz LC-VCO for Satellite Microwave Communication Application," 2020 IEEE

MTT-S International Microwave Workshop Series on Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications (IMWS-AMP), Suzhou, China, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/IMWS-AMP49156.2020.9199678

اختبار أهم خوارزميات قواعد البيانات المعرفية المستخدمة في كشف الاحتيال وتحسين دقتها باستخدام قواعد البيانات المعتمدة على سلوك المستخدم

إعداد: علي إبراهيم

إشراف: د. بسيم عمران

ملخص

أنظمه الكشف عن الاحتيال: هي الأنظمة التي تهدف بشكل أساسي الى تحديد نوع المناقلة الحالية للمستخدم هل هي عمليه شرعيه أم عمليه نصب احتيالي، حيث تهدف أنظمة الكشف عن الاحتيال الى الحد من الآثار السلبية للاحتيال ودراسة طرق عملها وخوارزمياتها المتطورة بشكل دائم وذلك بهدف تقليل الخسائر المادية الناتجة عن عمليات النصب عن طريق الاحتيال.

قام الباحث بتحسين دقة خوارزميات قواعد البيانات المعرفية المستخدمة في كشف الاحتيال من خلال تطبيق هذه الخوارزميات على مجموعة بيانات معتمدة على سلوك المستخدم (من خلال دراسة خصائص المستخدم وسلوكه وتفاعله مع الموقع)، ومقارنة نتائج هذا الاختبار مع اختبار تطبيق هذه الخوارزميات على مجموعة بيانات لا تأخذ سلوك المستخدم كمعيار

أساسي في بنائها وكان هناك تحسن واضح في الدقة ولا سيما مع ازدياد عدد السجلات الموجودة في مجموعة البيانات.

الكلمات المفتاحية: قواعد البيانات المعرفية، كشف الاحتيال، قاعدة البيانات Kaggle، خوارزميات الكشف عن الاحتيال [1].

Abstract:

Fraud detection systems: are systems which mainly aim to determine the type of user's current transaction, whether it is a legitimate or a fraud transaction. Fraud detection systems aim to reduce the negative effects of fraud and permanently study its working methods and advanced algorithms, to reduce its effects.

In this Article, researcher has improved the accuracy of KDD's algorithms by using user behavior's datasets, (this dataset has built by studying attributes, behavior and interactions of user with website), after that, he has compared the results of this study with results of applying KDD's algorithms on datasets which don't take user's behavior as basic standard in building. There was a clear improvement in accuracy, especially with the increase in the number of records in the database.

Key Words: KDD, Fraud Detection, Kaggle.com database, fraud detection algorithms

مقدمة

تعتبر دراسة الخصائص التي يتم عليها بناء مجموعة البيانات التي تتعامل معها خوارزميات نظام كشف الاحتيال من العوامل الأساسية والمهمة في نجاح عملية الكشف، وبالتالي فإن معرفة الخصائص التي تساعد في تحسين دقة هذه الأنظمة من أهم الأسس التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار عند تصميم وبناء أنظمة كشف الاحتيال [2].

قام الباحث بالاعتماد على منصة Kaggle العالمية التي تقدم طيف واسع من مجموعات البيانات التي لها علاقة بالاحتيال في مواقع التجارة الإلكترونية، وقام بتطبيق خوارزميات قواعد البيانات المعرفية على مجموعة البيانات هذه [3]، ودراسة تأثير زيادة عدد السجلات في انخفاض دقة النتائج، وقام الباحث بتحسين دقة هذه الخوارزميات وحل مشكلة انخفاض الدقة بازدياد عدد السجلات من خلال إضافة خصائص خاصة بسلوك المستخدم وتفاعله مع موقع التجارة الإلكترونية، ودراسة النتائج وتحليلها، فكان لها أثر إيجابي من ناحية تحسين الدقة بشكل جيد، وكانت طريقة ناجحة في حل مشكلة انخفاض الدقة بمرور الزمن وزيادة عدد السجلات.

مشكلة البحث

يعتبر التحسين على دقة النتائج الخاصة بنظام كشف الاحتيال الهدف الأساسي والمعياري الأهم في تقييم أداء أي نظام يستخدم لكشف الاحتيال في مواقع التجارة الإلكترونية، كما تعتبر بنية وطبيعة خصائص مجموعة البيانات التي يتعامل معها أي نظام لكشف الاحتيال من العوامل التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار أثناء عملية بناء أنظمة كشف الاحتيال [4].

أهداف البحث

يهدف البحث إلى دراسة تأثير بنية وطبيعة البيانات التي يتعامل معها نظام كشف الاحتيال في دقة النتائج المقدمة، وذلك بهدف تحسين دقة النتائج ولا سيما مع ازدياد عدد السجلات ضمن مجموعة البيانات، من خلال إضافة خصائص المرتبطة بسلوك المستخدم على مجموعة البيانات وأثر هذه الخصائص في تحسين الدقة.

أهمية البحث

تأتي أهمية البحث من خلال دراسة أهم الخصائص التي تأخذ سلوك المستخدم بعين الاعتبار، وتبيان أثر بناء مجموعة بيانات (تعتمد على خصائص مرتبطة بسلوك المستخدم) في تحسين الدقة بشكل واضح، وجعل هذه الدقة تتزايد بمرور الزمن مع زيادة عدد السجلات المدروسة، الأمر الذي يعطي نظام لكشف الاحتيال يحقق النتائج المرجوة من بنائه ويخفف الخسائر المالية الكبيرة الناتجة عن عملية الاحتيال.

منهج وفرضيات البحث

يعتمد هذا البحث على المنهج التطبيقي وذلك من خلال استخدام برنامجي Weka, RStudio وتضمين الخوارزميات المدروسة وقاعدة البيانات ضمن البرنامجين، ومقارنة الخوارزميات من ناحية معايير الدقة المطلوبة.

مجموعة البيانات Kaggle الأساسية والموسعة:

تقدم المنصة الإلكترونية Kaggle عدد كبير من مجموعات البيانات الخاصة بمواقع التجارة الإلكترونية كونها مفتوحة المصدر وتسمح بالحصول على مجموعات بيانات خاصة بمناقشات موقع تجارة إلكترونية وبشكل مجاني، وعليه قام الباحث بالاعتماد على مجموعة البيانات Credit Card Fraud Detection DataSet والتي تحتوي على جداول مناقشات خاصة بالمستخدمين ضمن الموقع، حيث قام الباحث باختيار مجموعة بيانات تحتوي هذه المجموعة على 284808 سجل خاصة بالمناقشات بين المستخدمين وموقع التجارة الإلكترونية، وتحتوي على 22 خاصية من الخصائص من بينها المنتجات التي قام المستخدم بشرائها، يضاف لها الخصائص التالية:

- 1- الزمن Time: وهو الوقت الذي استغرقه المستخدم للقيام بعمليات الشراء عبر موقع التجارة الإلكترونية.
- 2- الكمية Amount: وهي كمية المنتجات التي قام بها صاحب البطاقة.
- 3- الصنف Class: هل هذه المناقشة هي مناقشة شرعية أم أنها عملية احتيالية.

حيث تم أخذ عينات من قاعدة البيانات التي تم جمعها ابتداءً من عام 2013 حتى عام 2022، وهي تحوي على عمود أخير يحدد فيما إذا كانت المناقشة الحالية شرعية أم لا، بغية مقارنة نتائج الطول المقدمة والخوارزميات التي تتم تطبيقها على قاعدة البيانات واختبار الدقة. قام الباحث لجعل عملية التحليل واختبار الدقة الخاصة بعمليات المقارنة بين الخوارزميات بتوسعة قاعدة البيانات وذلك من خلال زيادة عدد السجلات المدروسة إلى 532251 من خلال دمج مجموعة بيانات أخرى لموقع Kaggle بنفس الخصائص.

حيث قام الباحث بالاعتماد على مجموعة البيانات kaggle وذلك لكونها مجموعة بيانات غير متوازنة واتساقية وخالية من الضجيج حيث لا يوجد حاجة إلى إعادة معالجة البيانات، حيث تمت دراسة سلوك نحو 4112 مستخدم ، والجدير بالذكر أن مجموعة البيانات Kaggle تحتوي على عمود أخير يحدد هل المناقشة الحالية شرعية أم أنها احتيالية، بقيمة

1= للحالات الشرعية وقيمة =0 للحالات الاحتمالية، الأمر الذي مكن الباحث من التأكد من دقة النتائج ،حيث تقدر عدد الحالات الاحتمالية ضمن مجموعة البيانات الأساسية ب 6222 حالة احتمالية و 278586 مناقلة شرعية، أما في قاعدة البيانات الموسعة يوجد لدينا نفس عدد المستخدمين ، بينما تقدر عدد الحالات الاحتمالية ب13225 مناقلة احتمالية و 519026 مناقلة شرعية.

يوضح الجدول التالي بينة مجموعة البيانات المقدمة من قبل kaggle:

Trans ID	User ID	Time	Amount	Class	Product1	Amount1	Product 2	transType
----------	---------	------	--------	-------	----------	---------	-----------	-----------

الجدول (1) يوضح بنية مجموعة البيانات الخاصة بالمناقلات المقدمة من مجموعة البيانات

كما يوضح الجدول التالي بينة الجدول الخاص بمعلومات المستخدمين ضمن الموقع :

User ID	User Firstnamre	Last Name	Age	Education	Credit Card ID	User Name	Password
---------	-----------------	-----------	-----	-----------	----------------	-----------	----------

الجدول (2) يوضح معلومات المستخدمين ضمن مجموعة البيانات

كما يوضح الجدول التالي المعلومات الخاصة ببطاقات الائتمان :

Credit ID	User _Id	Credit _Card_Num	Credit Card password	Credit Card_Bank
-----------	----------	------------------	----------------------	------------------

الجدول (3) يوضح معلومات بطاقات الائتمان ضمن مجموعة البيانات

مجموعة البيانات المعتمدة على سلوك المستخدم:

اعتمد الباحث في بناء مجموعة البيانات المعتمدة على سلوك المستخدم على تسجيل تفاعلات المستخدم ضمن الموقع وتسجيل تحركاته ورغباته والمنتجات التي قام بالاطلاع

اختبار أهم خوارزميات قواعد البيانات المعرفية المستخدمة في كشف الاحتيال وتحسين دقتها باستخدام قواعد البيانات المعتمدة على سلوك المستخدم

عليها أو التفاعل معها أو شرائها، حيث يوجد لدينا جدولين:
الجدول الأول: هو **Complete User behavior** وهو يحتوي على المعلومات التالية:

Attribute	Description
User_Behavior_ID	رقم المستخدم ضمن الجدول
User_ID	رقم المستخدم من جدول المستخدمين
User_Type	نوع المستخدم وهو إما جديد أو يحتوي على عدد قليل من المناقلات أو يحتوي على عدد جيد من المناقلات
User_Name	اسم المستخدم
Average_Session_Time	المدة المتوسطة للجلسة
NPS(Net Promoter Score)	عدد النقرات التي يقوم بها المستخدم ضمن الجلسة
Summary_Reading	قراءة ملخص المنتج قبل شراؤه
Reading_All_Summary	قراءة كل الملخصات قبل الشراء
Read_similar_product	قراءة منتجات مشابهة للمنتج الحالي
Speed_in_typing	سرعة المستخدم في الكتابة(وهي المتوسط الحسابي لعشر إدخلات للمستخدم في الجلسة الواحدة
amount_in_transaction	كمية الشراء التي يقوم بها المستخدم في الجلسة الواحدة هل هي كبيرة أو متوسطة أو قليلة

Changing_Ip	هل المستخدم يقوم بتغيير IP بشكل مستمر أم لا
Last_IP	آخر عنوان IP للمستخدم
Changing_Tanspotation_location	هل المستخدم يغير عنوان الشحن بشكل مستمر [6]
Direct_Purchase	هل المستخدم يقوم بالشراء مباشرة أم لا
Purchase_from_many_Credit_Cards	هل المستخدم يقوم بالشراء من أكثر من بطاقة ائتمانية
Required Discountig	هل المستخدم يطلب حسم أم لا
Times Between Transaction	الفترة الزمنية بين طلبي شراء (هل هنالك فترة زمنية بين طلبي شراء أم لا)
Purchase_Porduct	هل المستخدم يقوم بشراء منتجات ذات أسعار مرتفعة
Product_Type	هل المستخدم يقوم بشراء منتجات متنوعة في نفس الجلسة أم لا
Trasaction Type	هل المناقلة الحالية شرعية أم غير شرعية

الجدول (4) يوضح الخصائص المدروسة والمضافة من قبل الباحث

يضاف إلى الجدول السابق جدول ثان هو ملخص عن تفاعلات المستخدم ضمن الموقع وهو User Profile يتم فيها تسجيل وتعديل هذا السجل بشكل دوري بناء على تفاعلات المستخدم ، حيث يتم التعديل في حال كانت المناقلة الحالية للمستخدم شرعية، بحيث يتم أخذ متوسط حسابي لبعض الخصائص مثل: متوسط سرعة الكتابة، الفترة الزمنية بين جلسيتين، المدة الزمنية للجلسة، يضاف إلى ما سبق التعديل على بعض الخصائص مثل:

هل المستخدم قام بتغيير عنوان الشحن، هل المستخدم قام بتغيير IP البلد الذي يشتري أو يتصفح منها عادة، وغيرها من الأمور الأخرى. حيث تم أخذ كل أصناف المستخدمين بعين الاعتبار وخاصة المستخدمين أصحاب الاهتمامات المتغيرة والسلوك المتغير بمرور الوقت، حيث يعتبر هذا النوع من أصعب أنواع المستخدمين من ناحية تقييم أداؤهم وسلوكهم، حيث يوجد لدينا العديد من أصناف المستخدمين [4] ، نذكر منها:

- 1- المستخدم الذي يتفاعل بشكل كبير خلال فترة زمنية قصيرة.
- 2- المستخدم الذي يتفاعل بشكل كبير خلال فترة زمنية طويلة.
- 3- المستخدم الذي يتفاعل بشكل قليل خلال فترة زمنية طويلة [5].
- 4- المستخدم الذي يتفاعل بسلوك ثابت وبأنواع محدد من المنتجات.
- 5- المستخدم الذي يتفاعل بسلوك متغير وبأنواع مختلفة من المنتجات [6].

حيث تم أخذ هذه الأصناف بعين الاعتبار خلال عملية المقارنة وبناء قاعدة البيانات الخاصة بسلوك المستخدمين.

مراحل الدراسة البحثية:

لقد تم تنفيذ الدراسة البحثية من خلال القيام بأربع مراحل من عمليات الاختبار التالية:

- 1- المرحلة الأولى: اختبار الخوارزميات على قاعدة البيانات الأساسية والتي تحتوي على 284808 سجل.
- 2- المرحلة الثانية : اختبار الخوارزميات على قاعدة البيانات الموسعة والتي تحتوي على 532251 سجل.
- 3- المرحلة الثالثة: اختبار الخوارزميات على قاعدة البيانات الخاصة بسلوك المستخدم والتي تحتوي على 320102 سجل.
- 4- المرحلة الرابعة: اختبار الخوارزميات على قاعدة البيانات الموسعة الخاصة بسلوك المستخدم والتي تحتوي على 634112 سجل.

أهم الدراسات المرجعية السابقة:

تم تقديم العديد من الأنظمة الخاصة بعمليات الكشف عن الاحتيال في مواقع التجارة الإلكترونية، نذكر منها:

1- RAPTIDAR,R, 2021- Fraud Detection using GA and AI [8] :

قام الباحث بالدمج بين الشبكات العصبونية والخوارزميات الجينية وقسم الحل على ثلاث مراحل، حيث اعتمد في المرحلة الثانية على خوارزمية SVM لزيادة الدقة، وطبق الحل على قاعدة بيانات Kaggl، وعلى الرغم من الدقة التي تم الحصول عليها (95.923%) إلا أن النظام يتميز بالتعقيد وزمن التنفيذ العالي، إضافة إلى الصعوبة في التطوير والتعديل على الحل، حيث اعتمد النظام على تحديد المعلومات المستخدمة الخاصة ببطاقة الإئتمان من ناحية عنوان الشراء ، وقيمة الشراء ، وعنوان الشحن، ومقارنة المعلومات المذكورة مع المعلومات المخزنة ضمن قاعدة البيانات وذلك لاتخاذ قرار هل المناقلة شرعية أم أنها احتيالية، حيث نلاحظ أن المعلومات التي يتم التعامل معها في عملية الكشف لا تساعد بشكل كبير في عملية الكشف ، وبالتالي فإن إضافة خصائص لها علاقة أكبر بسلوك المستخدم سيكون له أثر واضح من ناحية تحسين الدقة في عملية كشف الاحتيال.

2- Keveort,A -2018. Faud Dtection Using Decision tree and Smote Decision Tree[9]

قام الباحث بتقديم نظام يعتمد على خوارزمية شجرة دعم القرار وشجرة دعم القرار المعدلة وقام بتطبيق الحل على قاعدة البيانات kaggle، حيث قسم الباحث الحل إلى مرحلتين : الأولى تعتمد على تطبيق خوارزمية شجرة أخذ القرار المعدلة، ومن ثم تطبيق خوارزمية شجرة دعم القرار وكانت دقة النتائج أقل من الحل السابق (94.281%)، ويزيادة عدد

السجلات سنحصل على دقة أقل وسيكون سرعة التنفيذ أكبر وبالتالي الحل غير مفيد في حال قواعد البيانات الضخمة.

3- يعتمد البحث Extracting and reasoning about implicit behavioral evidences for detecting fraudulent online transactions in e-Commerce للباحث Zhao, Jic [10] على دراسة السلوك المضمن للمستخدم ضمن موقع التجارة الإلكترونية واختبار النتائج من خلال خوارزمية Random Forest، حيث يعتمد الباحث على دراسة سلوك المستخدم من ناحية طبيعة المنتجات التي يتعامل معها، والقيمة الشرائية للمناقلة، والمعلومات الخاصة بعملية الشراء مثل عنوان IP التي تم الشراء منها ومقارنتها مع العنوان السابق، عنوان الشحن. تعتبر تلك المعلومات مهمة في عملية كشف الاحتيال، ولكن لم تأخذ الدراسة بعين الاعتبار إمكانية حصول المحتال على تلك المعلومات وخاصة معلومات بطاقة الائتمان من ناحية أن تكون بطاقة الائتمان مسروقة أو تم الحصول عليها من السوق السوداء، وإمكانية حصول المحتال على كمية كبيرة من المعلومات عن المستخدم من خلال التصيد الاحتمالي والهندسة الاجتماعية، بالتالي فإن الحصول على معلومات أكثر دقة عن تفاعل المستخدم مع الموقع سيعطي نتائج أفضل وسيكون له أثر كبير في زيادة دقة نظام كشف الاحتيال، كما أن استخدام خوارزميات مثل شجرة دعم القرار أو SVM سيكون له أثر أكثر إيجابية في دقة النتائج التي سيتم الحصول عليها من النظام المقدم من قبل الباحث.

4- كما تضمن البحث IDENTIFYING FRAUDLENT ACTIVITIES DETECTION IN E-COMMERCE WEBSITES للباحثين P V KUMAR , V. SAI GANESH, V. NAGARAJU [11]and CH.VENKATESWARA RAO دراسة لسلوك المستخدم ضمن الموقع

بالاعتماد على معلومات بطاقة الإئتمان، ومعلومات الجهاز الذي يقوم المستخدم بالشراء منه ، كما يضاف له وقت الشراء ، ووقت تسجيل الدخول وتطبيق هذه المعلومات على خوارزميات KNN,Decision Tree, Random Forest حيث أعطت الدراسة نتائج دقة Random Forest=0.85,KNN =0.77,Decision Tree=0.77 ونلاحظ أن النتائج ما تحتاج إلى مزيد من التحسين سواء من ناحية المعلومات المدروسة أو الخوارزمية التي تتعامل مع هذه البيانات وذلك للحصول على نظام كشف يتميز بدقة متزايدة بزيادة عدد السجلات.

5- Holland,J,2021- Using logistic Regression and KNN to detect fraud Transaction in e-Commerce حيث قام الباحث بتقديم حل يعتمد على الدمج بين خوارزمية logistic Regression وخوارزمية الجار الأقرب [12] ، حيث اعتمد الباحث في المرحلة الأولى على استخدام خوارزمية الجار الأقرب ثم طبق خرج هذه المرحلة كمدخل لخوارزمية Logistic Regression ،حيث أعطت نتائج أفضل من تطبيق كل خوارزمية على حدا وكانت الدقة (96.341%)، ولكن الحل المقترح لم يأخذ كامل الخصائص الواجب دراستها بعين الاعتبار، كما أن الحل المقدم يتميز بالتعقيد وزمن التنفيذ العالين وصعوبة التطوير والتعديل على هذا النموذج.

مما سبق يتبين أن أغلب الحلول المقدمة سابقاً لا تأخذ السلوك الفعلي للمستخدم مثل:

- 1- سرعة كتابة المستخدم.
- 2- تغيير عنوان IP المستخدم بشكل دائم.
- 3- تغيير عنوان الشحن بشكل مستمر.
- 4- المدة الزمنية للجلسة.
- 5- قراءة المستخدم لمعلومات المنتج قبل شرائها .

اختبار أهم خوارزميات قواعد البيانات المعرفية المستخدمة في كشف الاحتيال وتحسين دقتها باستخدام قواعد البيانات المعتمدة على سلوك المستخدم

وغيرها من المعلومات الأخرى بعين الاعتبار، وبالتالي فإن دراسة تأثير الدقة مع إضافة خصائص مرتبطة ارتباط وثيق بسلوك المستخدم سيكون موضوع البحث لدينا.

تستخدم خوارزميات قواعد البيانات المعرفية على نطاق واسع في مجال كشف الاحتيال، وفيما يلي أكثر هذه الخوارزميات استخداماً: [13]:

- 6- KNN for K=3 and K=7.
- 7- SVM.
- 8- Decision Tree.
- 9- Smote Decision Tree.
- 10- Logistic Regression.
- 11- Navie Bayes.
- 12- Smote Navie Bayes.
- 13- Random Forest.

وعليه سيقوم الباحث باختبار هذه الخوارزميات من حيث دقة الكشف وإجراء مقارنة فيما بينها بعد تطبيقها على كل من قاعدة البيانات الأساسية الموسعة، ومن ثم تطبيق هذه الخوارزميات على قاعدة البيانات المعتمدة على سلوك المستخدم سواء الأساسية أو الموسعة وإعطاء النتائج.

المعايير المعتمدة لتحديد دقة الكشف:

من أشهر المعايير المستخدمة لتحديد الدقة في خوارزميات كشف الاحتيال في مواقع التجارة الإلكترونية [14] هي:

- 1- TP Rate.
- 2- FP Rate.
- 3- Precision = $TP / (TP + FP)$

ويعطى من خلال قسمة المناقلات التي تم تصنيفها على أنها مناقلات احتيالية وكان التقييم صحيح على مجموع المناقلات الاحتيالية صحيحة التقييم يضاف لها المناقلات التي تم تصنيفها أنها احتيالية وكان التقييم لها غير صحيح (مناقلة شرعية تم تصنيفها أنها احتيالية).

$$4- \text{Recall} = TP / (TP + FN)$$

يعطى من خلال قسمة المناقلات الاحتيالية التي يتم تقييمها أنها احتيالية على مجموع المناقلات الاحتيالية صحيحة التقييم يضاف لها المناقلات الشرعية التي تم تقييمها أنها احتيالية.

$$5- F1\text{-Score} = \frac{2 * Precision * Recall}{Precision + Recall}$$

حيث يعتبر معيار F1-Score من أهم المعايير التي ترتبط ارتباط وثيق بدقة النتائج المقدمة، حيث يعتمد على دراسة كل الحالات الخاصة بالدراسة سواء من ناحية الحالات الهدف (المناقلات الاحتيالية)، أو الحالات التي ليست الهدف (الحالات الشرعية).

لقد تم استخدام برنامجي [15] Weka, Rstudio من أجل تنفيذ الدراسة البحثية واختبار الخوارزميات الثماني في المراحل الأربع المذكورة سابقاً. وتم الحصول على النتائج التالية:

المرحلة الأولى: بعد تطبيق الخوارزميات السابقة على برنامجي WEKA, RStudio تم الحصول على نتائج الاختبار. حيث يوضح الشكلان 1-2 نتائج التطبيق على البرنامجين لخوارزمية الجار الأقرب عند قيمة $K=3$. حيث سيتم الاكتفاء بوضع النتائج ضمن جداول وليس ضمن واجهات لاختصار عدد صفحات البحث.

اختبار أهم خوارزميات قواعد البيانات المعرفية المستخدمة في كشف الاحتيال وتحسين دقتها باستخدام قواعد البيانات المعتمدة على سلوك المستخدم

Correctly classified Instances	81540	95.433%							
Incorrectly Classified Instances	3902	4.567%							
Kappa Statistic		0.833							
Mean absolute error		0.0008							
Root mean squared error		0.024							
Relative absolute error		21.9704%							
Root relative squared error	53.2988%								
Total Number of Instances	85442								
===Detailed Accuracy By class===									
	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	Roc	PRC	Class
	0.747	0.000	0.942	0.747	0.833	0.839	0.911	0.779	1
	1.000	0.253	0.999	1.000	1.000	0.839	0.911	1.000	0
AVG	0.999	0.252	0.999	0.999	0.999	0.839	0.911	0.999	

الشكل(1) يوضح نتيجة تطبيق خوارزمية KNN بقيمة K=3 على قاعدة البيانات الأساسية باستخدام برنامج Weka

وقام الباحث بتطبيق خوارزمية الجار الأقرب على قاعدة البيانات الأساسية باستخدام برنامج Rstudio وكانت النتائج على النحو التالي:

Confusion Matrix and Statistics		
	Reference	
Prediction	Not Fraudulent	Fraudulent
Not Fraudulent	81449	2399
Fraudulent	0	1594
Accuracy : 95.323%		

الشكل (2) يوضح نتيجة تطبيق خوارزمية KNN بقيمة K=3 على قاعدة البيانات الأساسية باستخدام برنامج RStudio

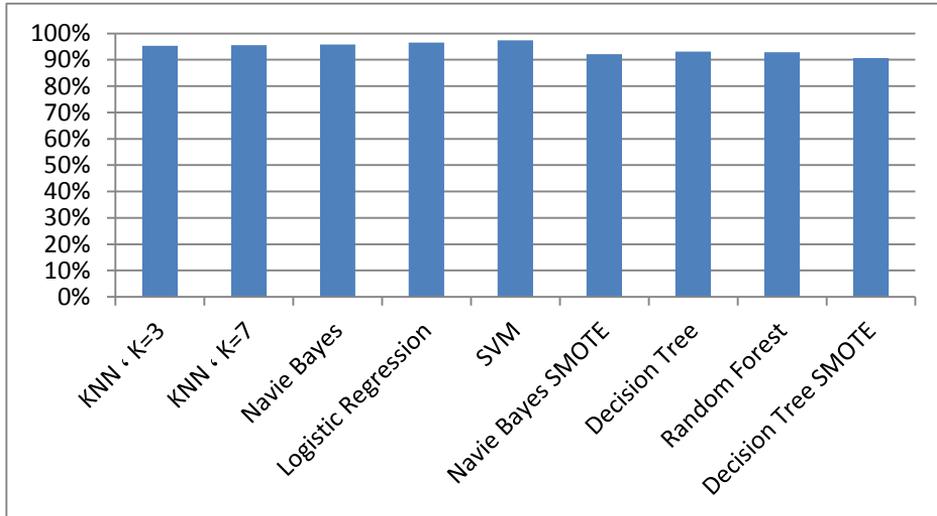
بعد إجراء الاختبار على جميع الخوارزميات السابقة باستخدام برنامجي Weka, RStudio تم الحصول على النتائج المبينة في الجدول (5) التالي:

Accuracy	AVG
----------	-----

Algorithms	Weka	Rstudio	
K=3،KNN	95.433%	95.323 %	95.378%
K=7،KNN	95.593%	95.455%	95.524 %
Navie Bayes	95.813%	95.772%	95.7925%
Logistic Regression	96.632%	96.451%	96.5415%
SVM	97.491%	97.421%	97.456%
Navie SMOTE	92.029%	92.3738%	92.18645%
Decision Tree	93.199%	93.0856%	93.14223%
Random Forest	92.71103%	92.997%	92.854015%
Decision Tree SMOTE	91.09377%	90.2627%	90.678235%

الجدول (5): نتائج اختبار الخوارزميات على قاعدة البيانات الأساسية

كما يبين الشكل (3) مخططاً بيانياً لنتائج اختبار الخوارزميات السابقة على قاعدة البيانات الأساسية:



الشكل (3) مخطط بياني لنتائج اختبار الخوارزميات السابقة على قاعدة البيانات الأساسية

اختبار أهم خوارزميات قواعد البيانات المعرفية المستخدمة في كشف الاحتيال وتحسين دقتها باستخدام قواعد البيانات المعتمدة على سلوك المستخدم

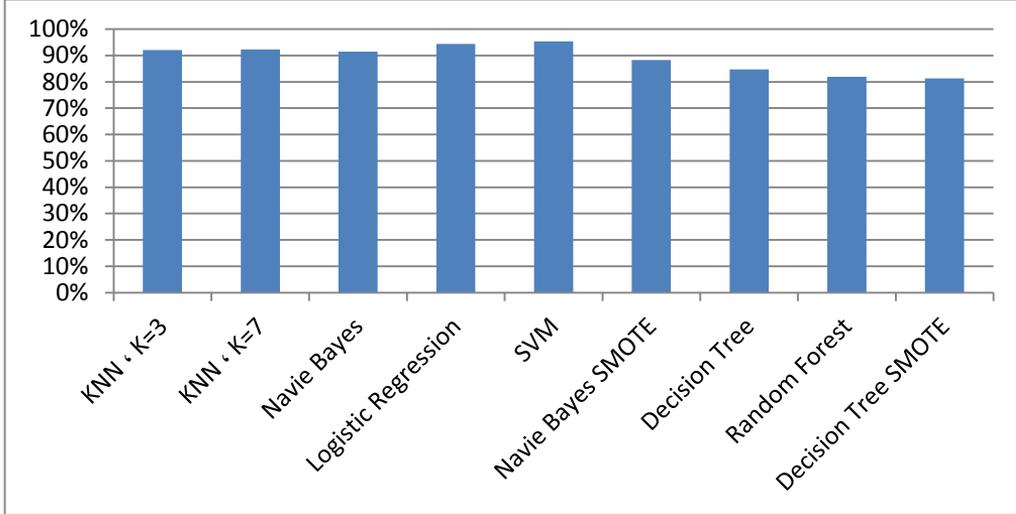
مما سبق يتبين أن أفضل الخوارزميات من ناحية الدقة هي خوارزمية SVM حيث بلغت دقتها 97.456% وأن أقل الخوارزميات دقة هي خوارزمية Decision Tree Smote بمعدل دقة 90.678235% وبالتالي تعتبر خوارزمية SVM هي أفضل خوارزمية من الخوارزميات المستخدمة في كشف الاحتيال.

المرحلة الثانية: في هذه المرحلة من الدراسة البحثية، اقترح الباحث زيادة عدد السجلات الخاصة بقاعدة البيانات من خلال إضافة قاعدة بيانات أخرى من Kaggle إلى قاعدة البيانات الأساسية بحيث أصبح عدد السجلات الكلي 532251 وقام باختبار الخوارزميات الثماني المذكورة سابقاً على قاعدة البيانات الموسعة وبعد تطبيقها على برنامجي Weka, Rstudio تم الحصول على النتائج المبينة في الجدول(6):

Algorithms	Accuracy		AVG
	Weka	Rstudio	
K=3,KNN	92.325%	91.9952%	92.1385%
K=7,KNN	92.5598%	92.137%	92.3484%
Navie Bayes	91.926%	91.0725%	91.499%
Logistic Regression	94.6398%	94.1495%	94.3945%
SVM	95.599%	95.279%	95.4141%
Navie Bayes SMOTE	88.3139%	88.1379%	88.2259%
Decision Tree	84.951%	84.5426%	84.7468%
Random Forest	86.348%	85.42%	81.884%
Decision Tree SMOTE	81.74905%	80.969%	81.359025%

الجدول(6): يوضح نتائج مقارنة الخوارزميات على قاعدة البيانات المعدلة والموسعة من قبل الباحث

كما يبين الشكل (4) مخططاً بيانياً لنتائج اختبار الخوارزميات السابقة على قاعدة البيانات الموسعة:



الشكل (4) مخطط بياني لنتائج اختبار الخوارزميات السابقة على قاعدة البيانات الموسعة

مما سبق يتبين أن دقة جميع الخوارزميات المدروسة قد انخفضت وبقيت خوارزمية SVM هي الخوارزمية الأفضل من حيث الدقة.

إن سبب هذا الانخفاض يعلل من خلال عدم كفاية الخصائص المدروسة، وعد أخذ الخصائص التي ترتبط ارتباط وثيق الحالة المدروسة بعين الاعتبار، وهذا ما دفع الباحث أخذ الخصائص التي لها علاقة بسلوك المستخدم وتفاعله مع الموقع لدنيا بعين الاعتبار والهدف من ذلك دراسة دقة هذه الخوارزميات في حال تغيير نمط ونوع البيانات التي تتعامل معها ودارسة أثر هذه الإضافة على دقة الخوارزميات بمرور الزمن مع ازدياد عدد السجلات الخاصة بمناقشات المستخدم، وبالتالي قام الباحث بالاعتماد على قواعد البيانات التي تعتمد بشكل أساسي على جمع وتخزين أكبر كمية من المعلومات عن المستخدم وهذا ما قام به في المرحلتين الثالثة والرابعة.

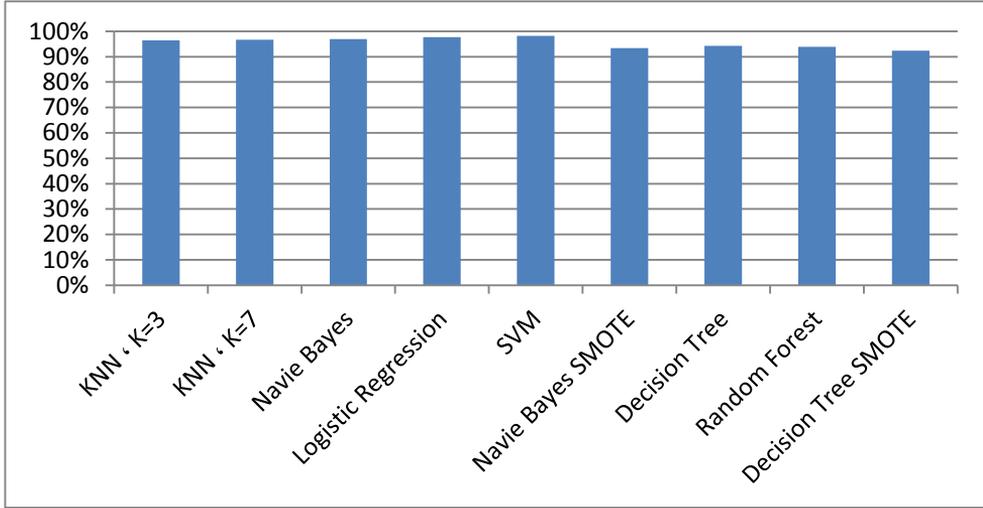
اختبار أهم خوارزميات قواعد البيانات المعرفية المستخدمة في كشف الاحتيال وتحسين دقتها باستخدام قواعد البيانات المعتمدة على سلوك المستخدم

المرحلة الثالثة: قام الباحث بجمع المعلومات عن المستخدمين وذلك من خلال تسجيل كل تفاعلات المستخدم وتحركاته والمنتجات التي تفاعل معها سواء من ناحية قراءة ملخص المنتج أو شرائه أو البحث عن منتجات مشابهة للمنتج الحالي، كل هذه المعلومات تم تخزينها ضمن قاعدة البيانات وتم الحصول على النتائج المبينة في الجدول (7) بعد اختبارها على برنامجي Weka, Rstudio :

Algorithms	Accuracy		AVG
	Weka	Rstudio	
K=3,KNN	96.562%	96.421 %	96.4915%
K=7,KNN	96.722%	96.689%	96.7055 %
Navie Bayes	96.988%	96.896%	96.942%
Logistic Regression	97.742%	97.682%	97.712%
SVM	98.212%	98.102%	98.157%
Navie SMOTE	93.454%	93.3712%	93.4126%
Decision Tree	94.252%	94.201%	94.2265%
Random Forest	93.992%	93.912%	93.952%
Decision Tree SMOTE	92.431%	92.391%	92.411%

الجدول(7): نتائج اختبار الخوارزميات على قاعدة البيانات المعتمدة على سلوك المستخدم

كما يبين الشكل (5) مخططاً بيانياً لنتائج اختبار الخوارزميات السابقة على قاعدة البيانات المعتمدة على سلوك المستخدم:



الشكل (5) مخطط بياني لنتائج اختبار الخوارزميات السابقة على قاعدة البيانات المعتمدة على دراسة سلوك المستخدم

يلاحظ من نتائج الدراسة في المرحلة الثالثة تحسن في الدقة نتيجة تعامل الخوارزميات مع قاعدة بيانات خاصة بسلوك المستخدمين، هذا التحسن سيكون له دور كبير في التحسين على عمل خوارزميات قواعد البيانات المعرفية، نلاحظ هنا أن ازدياد المعرفة الخاصة بسلوك المستخدم وتفاعله مع قاعدة البيانات من خلال إضافة خصائص أكثر ترتبط ارتباط وثيق بسلوك المستخدم بالإضافة إلى المعلومات الأساسية الخاصة ببطاقات الائتمان السبب الأساسي في ازدياد الدقة المدروسة، ومن المهم دراسة أثر هذه الإضافة على دقة النتائج بمرور الزمن ومع ازدياد عدد السجلات الخاصة بسلوك المستخدم، وهذا ما قام به الباحث في المرحلة الرابعة.

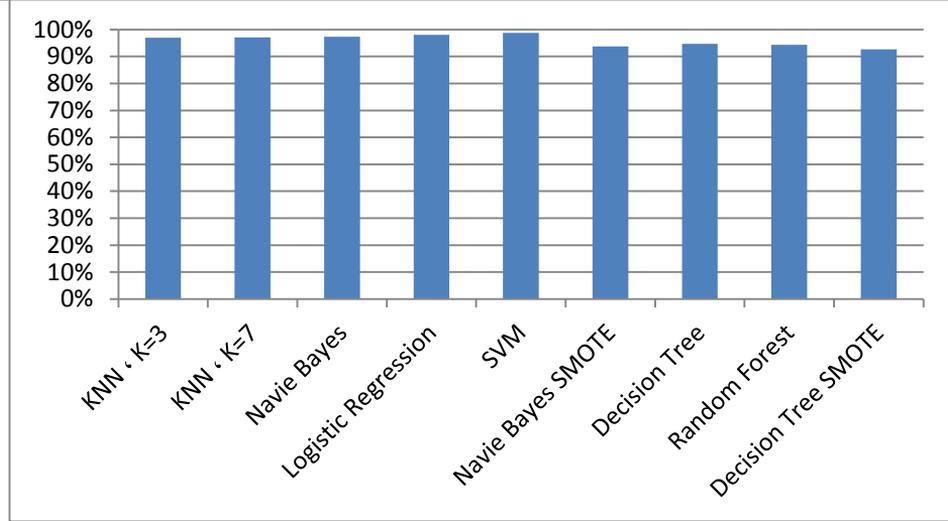
المرحلة الرابعة: في هذه المرحلة قام الباحث باختبار الخوارزميات الثماني السابقة على قاعدة البيانات المعتمدة على سلوك المستخدم وذلك بعد زيادة عدد السجلات واختبار النتائج على برنامجي Weka, Rstudio وكانت النتائج كما هو مبين في الجدول (8):

اختبار أهم خوارزميات قواعد البيانات المعرفية المستخدمة في كشف الاحتيال وتحسين دقتها باستخدام قواعد البيانات المعتمدة على سلوك المستخدم

Algorithms	Accuracy		AVG
	Weka	Rstudio	
K=3,KNN	96.964 %	96.932 %	96.948%
K=7,KNN	97.102%	97.098%	97.1%
Navie Bayes	97.343%	97.251%	97.297%
Logistic Regression	98.112%	98.073%	98.0925%
SVM	98.802%	98.779%	98.7905%
Navie SMOTE	93.763%	93.6441%	93.70355%
Decision Tree	94.6905%	94.6211%	94.6558%
Random Forest	94.378%	94.312%	94.345%
Decision Tree SMOTE	92.7122%	92.7012%	92.7067%

الجدول (8): نتائج اختبار الخوارزميات على قاعدة البيانات المعتمدة على سلوك المستخدم مع زيادة عدد السجلات

كما يبين الشكل (6) مخططاً بيانياً لنتائج اختبار الخوارزميات السابقة على المعتمدة على سلوك المستخدم مع زيادة عدد السجلات :



الشكل (6) مخطط بياني لنتائج اختبار الخوارزميات السابقة على قاعدة البيانات المعتمدة على سلوك المستخدم مع زيادة عدد السجلات

يلاحظ من الدراسة والاختبار في المرحلة الرابعة أن الدقة ازدادت بزيادة عدد السجلات ، حيث ازدادت دقة خوارزمية SVM بمقدار 0.6335% والسبب في ذلك هو كون الخوارزميات تتعامل مع قاعدة بيانات ديناميكية مرتبطة بشكل أساسي بسلوك المستخدم، حيث تقدم قاعدة البيانات هذه معلومات أكثر دقة عن المستخدمين ، الأمر الذي يسبب زيادة في دقة هذه الخوارزميات بزيادة عدد السجلات وذلك نتيجة ازدياد المعلومات الخاصة بالمستخدمين.

مناقشة النتائج:

من خلال نتائج الدقة التي تم الحصول عليها في مراحل الاختبار الأربعة يمكن استنتاج ما يلي:

1- تلعب طبيعة البيانات التي تتعامل معها خوارزميات الكشف عن الاحتيال دور مهم وأساسي في دقة النتائج المقدمة وفي ازدياد هذه الدقة مع ازدياد عدد

المناقلات(السجلات)الخاصة بالمستخدم، أي أن الدقة تزداد كلما زادت الكمية
المعرفية عن سلوك المستخدم.

2- يجب أخذ السلوك الفعلي للمستخدم ضمن الخصائص المدروسة في تقييم نوعية
المناقلة الحالية هل هي شرعية أم أنها احتيالية، بحيث نجعل سلوك المستخدم
المعيار الأساسي في عمليات التقييم، ودراسة سلوك المستخدم يجب أن تتم على
كامل المناقلات التي صنفت على أنها شرعية ، ويجب أخذها بعين الاعتبار بشكل
كامل في عمليات التقييم.

3- إن SVM هي الأفضل من بين جميع الخوارزميات الثماني الأكثر استخداماً،
وكان لتفاعل هذه الخوارزمية مع مجموعة بيانات خاصة بسلوك المستخدم دور
كبير وإيجابي في تحسن دقة كامل الخوارزميات المدروسة ولا سيما خوارزمية
SVM

4- إن اعتماد خوارزميات قواعد البيانات المعرفية على قواعد البيانات التقليدية لا
يعطي النتائج المرجوة من ناحية الدقة وخاصة مع ازدياد عدد السجلات.

5- من الجدير بالذكر أن التعامل مع قواعد البيانات الديناميكية يسبب زيادة في حجم
التخزين أكثر من قواعد البيانات التقليدية الأمر الذي يتطلب حل لحجم التخزين
المتزايد، عادة ما يتم الاعتماد على التخزين السحابي للتعامل مع مثل هذه القواعد.

المراجع

- 1- CARNEIOR,N, & FIGUEIREA,G and M. Costa,2018- A data mining based system for credit-card fraud detection .Decis. Support Syst P132.
- 2- RESHMA,F & SIFATULLAH,S ,2022 Credit Card Fraud Detection Using Data Mining . IJCRT.P23.
- 3- <https://www.kaggle.com/datasets/ranjeetshrivastav/fraud-detection-dataset>.
- 4- MEKHAK,M & SANDEEP ,S 2019 Detect Frauds in Credit Card using Data Mining Techniques. IJITEE, P121.
- 5- Y. FESTA,Y & VOROBAYEV,I 2022- A hybrid machine learning framework for e-commerce fraud detection, Model Assist. Stat. Appl,P75.
- 6- KHAN, A, & B. MISHRA,F ,2022-Developing a credit card fraud detection model using machine learning approaches. Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl P418.
- 7- M. ZAMINI,Z and G. MONTAZER,G,2018- Credit card fraud detection using autoencoder based clustering , SVM and Logistic Regression. Int. Symp. Telecommunications, Tehran, Iran, P28.
- 8- RAPTIDAR ,R, 2021- Fraud Detection using GA and AI.IEEE, P128.
- 9- KEVORT,A-2018. Fraud Dtection Using Decision tree and Smote Decision Tree. IEEE , P83.

- 10- Zhao, Jic, et al. "Extracting and reasoning about implicit behavioral evidences for detecting fraudulent online transactions in e-Commerce". SCiOpen,2024
- 11- P V KUMAR , V. SAI GANESH, V. NAGARAJU and CH.VENKATESWARA RAO, IDENTIFYING FRAUDLENT ACTIVITIES DETECTION IN E-COMMERCE WEBSITES, JETIR,2024,V11.
- 12- Patrik,G and Hugo,S, 2024 Detecting Fraudulent User Behavior UPTEC p55.
- 13- HOLLAND,J-2021. Using logistic Regression and KNN to detect fraud Transaction in e-Commerce. IEEE, P32.
- 14- ALETH,K and SAMANTH,Y 2023-Using Kaggle.com database in fraud Detection System Using KNN and Navie Bayes. IEEE, P64.
- 15- DORN,S and S. GEETHA,S,2020- Credit card fraud detection using machine learning algorithms. Procedia Computer Science, p45.