

مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 45 . العدد 5

1444 هـ - 2023 م

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

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

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث
بشرى مصطفى

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

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

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

. هاتف / فاكس : 2138071 31 963 ++

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

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

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

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

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
30-11	م. رهام بربور د. خلدون حافظ د. ندى التنجي	دراسة تجريبية لتحسين أداء الألواح الكهروضوئية
70-31	م. ريماء خضور د. أكرم مرعي د. رامز الخطيب	دراسة تحليلية لخوارزميات التشفير خفيفة الوزن في تعزيز أمان تطبيقات انترنت الأشياء
84-71	م. ولاء الحسين د. عباد كاسوحة د. احمد رصيص	دراسة مرجعية في آفاق تحسين قابلية لحام الألمنيوم AA7075 باستخدام المواد النانوية
112-85	م. عبد الرحمن الحبال د. رامي موسى د. سامر ربيع	استخدام المبدل متعدد المستويات MMC في مرحلة التقويم للمحول الذكي عند ربطه مع شبكات الجهد المتوسط

144-113	يارا كيبو د. ابراهيم الشامي	تحليل أداء بعض خوارزميات التعلم التنبؤي في تشخيص سرطان الثدي
164-145	د. لبنى علي	تحسين معامل التأخير الزمني لشبكات الحساسات اللاسلكية باستخدام المعالجة التفرعية

دراسة تجريبية لتحسين أداء الألواح الكهروضوئية

م. رهام بربور *، د. خلدون حافظ **، د. ندى التنجي ***

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى زيادة الاستطاعة الناتجة عن الألواح الكهروضوئية، حيث تم تحديد زاوية ميل اللوح المثلى رياضياً وذلك بإيجاد زاوية ميل اللوح الشهرية والفصلية والنصف سنوية والسنوية، ومن ثم مقارنة قيم الإشعاع الواصل للوح بالاعتماد على تلك الزوايا، أظهرت النتائج الحسابية أنه من الأفضل تغيير الزاوية مرتين خلال السنة فكانت الزاوية النصف سنوية لمنطقة الدراسة هي 11° خلال الفترة الدافئة من أشهر السنة و 56° خلال الفترة الباردة، أما من الناحية التجريبية فبلغت الزيادة الوسطية في الاستطاعة على مدار اليوم 10.35% عند المقارنة مع استطاعة اللوح الذي زاوية ميله 38° (زاوية الميل الأكثر انتشاراً في تصميم الأنظمة الكهروضوئية) واستطاعة لوح زاوية ميله 11° ، واستناداً لما سبق تم إضافة نظام تتبع أحادي المحور للوح الذي زاويته 11° فكانت الزيادة الوسطية في الاستطاعة 29.05% عند المقارنة مع استطاعة اللوح الثابت (زاوية ميله 38°)، وللحصول على أقصى استطاعة ممكنة من اللوح فقد تم تزويده بعواكس من الألمنيوم وعليه ازدادت الاستطاعة اليومية بنسبة وسطية تعادل 26.93% أما بإضافة نظام تتبع للوح نفسه كانت نسبة الزيادة الوسطية 46.61% عند المقارنة مع اللوح الثابت الذي زاوية ميله 38° .

الكلمات المفتاحية: الألواح الكهروضوئية، زاوية الميل المثلى، نظام تتبع، عواكس شمسية.

*طالبة دراسات عليا (ماجستير)، قسم تقانات الهندسة البيئية، كلية الهندسة التقنية، جامعة حلب.

**قسم تقانات الهندسة البيئية، كلية الهندسة التقنية، جامعة حلب.

***قسم تقانات الهندسة البيئية، كلية الهندسة التقنية، جامعة حلب.

Experimental study to improve the performance of solar panels

Eng. Reham Barbour *, Dr. Khaldoun Hafez, Dr. Nada Altonji ***

Abstract

This study aims to increase the possible power of the solar panels, where the optimal angle of inclination of the panel was determined mathematically by finding the monthly, seasonally, semi-annual and annual inclination angle of the panel, and then the radiation values that reached the panel were compared by dependence on those angles. The results showed that it is better to change the angle twice during the year, the semi-annual angle of the study area was 11° during the warm period of the months of the year and 56° during the cold period, while experimentally the average increase in power throughout the day was 10.35% when comparing the power resulting from the panel that angled it has an inclination of 11° and a panel that has an angle of inclination of 38° (The angle of inclination is the most prevalent in the design of solar systems). Based on previous results a uniaxial tracking system has been added to the panel with an angle of 11° the average increase in power was 29.05% when compared with the power of the fixed panel (inclination angle of 38), and to obtain the maximum power Possible from the panel, it was provided with reflectors of aluminum, the daily power increased by an average rate of 26.93%, and by adding a tracking system to the panel itself, the average of power was 46.61% when compared with the fixed panel whose angle of inclination is 38° .

Key words: solar panels, optimum tilt angle, tracking system, solar reflectors.

* Postgraduate student (MA), Department of Environment Engineering Technology, Faculty of Technical Engineering, University of Aleppo.

** Department of Environment Engineering Technology, Faculty of Technical Engineering, University of Aleppo.

*** Department of Environment Engineering Technology, Faculty of Technical Engineering, University of Aleppo.

1- مقدمة:

ترافق التطور الحضاري والاقتصادي باستهلاكٍ مستمرٍ وكبيرٍ في الطاقة مترافقاً مع احتياطي محدود من موارد الطاقة التقليدية الملوثة للبيئة والمهددة بالنضوب بحيث أصبحت مشكلة تأمين موارد الطاقة من أهم المشاكل التي يواجهها العالم، لذا عمد الباحثون إلى التفكير بتطوير مصادر جديدة صديقة للبيئة وأكثر استدامة، فتوجهت الأنظار والأبحاث إلى الطاقات المتجددة خاصة الطاقة الشمسية إذ أصبح توليد الكهرباء باستخدام الألواح الكهروضوئية من المصادر الهامة في العديد من دول العالم ولا سيما في المناطق التي تعاني من انخفاض مصادر الطاقة التقليدية وضعف إمكانيات البنى التحتية لتوليد الطاقة الكهربائية بالاستطاعة اللازمة، إلا أن هذه الألواح تعاني من انخفاض الأداء نتيجة العديد من المؤثرات الخارجية وأهمها تغير شدة الإشعاع الشمسي على مدار أيام السنة وخلال ساعات اليوم الواحدة، حيث أجرى [1] لزيادة شدة الإشعاع الشمسي دراسة رياضية لتحديد زاوية الميل المثلى السنوية والنصف سنوية والفصلية والشهرية لبعض مدن فلسطين الواقعة على خط عرض 29° و 30° والعديد من خطوط العرض، فأظهرت النتائج عند مقارنتها مع الإشعاع الإجمالي السنوي الواصل للوح وضع بالزاوية المثلى السنوية زيادة 6% عند تغيير زاوية اللوح شهرياً أما في حال تغيير الزاوية فصلياً أو مرتين سنوياً كانت الزيادة 5% فقط.

قام [2] بدراسة تحليلية للمقارنة بين الأنظمة الكهروضوئية ذات المحاور الأحادية والأنظمة ذات المحاور المزدوجة في جزيرة قشم الإيرانية، إذ أظهرت النتائج بناءً على البيانات الشمسية لعام 2011 أن متوسط قيمة الإشعاع الشمسي السنوي الساقط على الألواح المزودة بأنظمة ذات محور أحادي (شرق-غرب) والتي يتم تغيير زاوية ميلها فصلياً لتوافق زاوية الارتفاع الشمسي كان أكبر ب 1.35 مرة من تلك الأنظمة ذات الألواح الثابتة على زاوية ميل 26.81° ، بينما يتلقى نظام التتبع ذو المحورين 1.04 مرة فقط من الطاقة المستلمة للأنظمة ذات المحور الواحد وعليه وجدوا أن تصميم منظومات شمسية مجهزة بأنظمة تتبع أحادية خياراً مناسباً لتوليد الكهرباء من الطاقة الشمسية، وعمل [3] على تصميم نظام تتبع أحادي المحور ودراسة أثر إضافته على لوح

كهروضوئية في إحدى الجامعات الماليزية، صُمم من حساسات ضوئية LDR لمتابعة موضع الشدة الأعظمية للإشعاع الشمسي والتي تعطي إشارة لنظام التحكم المكون من ريليتين للقيادة ومتحكم ومنه إلى محرك DC، وعليه أبدت النتائج زيادة في شدة التيار بمقدار 35% مقارنة مع لوح ثابت خلال فترة الدراسة، ثم أجرى [4] دراسة تجريبية لدراسة تأثير إضافة مركبات شمسية وذلك بإضافة صفائح ألومنيوم على لوح كهروضوئية، فأظهرت النتائج عند المقارنة مع لوح كهروضوئية غير مزود بمركبات شمسية زيادة 33% في الاستطاعة الأعظمية الناتجة للوح المزود بالمركبات الشمسية، وقام [5] بدراسة تجريبية لتحديد المادة العاكسة الأكثر فعالية وذلك باستخدام عدة عواكس وهي المرايا الكروية المحدبة، مرايا مستوية زجاجية مطلية بالفضة، رقائق الألومنيوم فأبدت النتائج قيمة ثابتة للجهد الكهربائي الناتج أما شدة التيار فازدادت قيمتها بشكل واضح على مدار ساعات الدراسة وذلك عند المقارنة مع لوح آخر دون عواكس أما الزيادة في الاستطاعة الأعظمية الناتجة فكانت 3.59%، 12.29%، 20.6% على التوالي، ثم أجرى دراسة تجريبية باستخدام رقائق الألومنيوم لتحديد مساحة العاكس المثلى وذلك باستخدام عواكس من رقائق الألومنيوم مساحتها ($1/3$ ، $2/3$ ، $3/3$) من مساحة اللوح الكهروضوئية وعليه أظهرت النتائج أن أعلى زيادة في الاستطاعة عند استخدام عواكس مساحتها مساوية لمساحة اللوح الكهروضوئية إذ كانت تتراوح بين 25.92% و 28.47% وذلك عند المقارنة مع لوح آخر دون عواكس، وأخيراً أبدت الدراسة التجريبية التي أجريت في مدينة بغداد [6] حول أثر إضافة عاكسين من صفائح الألومنيوم ذات عاكسية 90% على لوح كهروضوئية مزود بنظام تتبع ثنائي المحور خلال شهر حزيران، أبدت التجارب زيادة 91% في الاستطاعة الناتجة بالمقارنة مع لوح آخر ثابت زاوية ميله 30° ، حيث أدت زيادة كمية الإشعاع الواردة للوح المزود بالعواكس إلى زيادة كبيرة في شدة التيار بينما انخفض جهد الدارة المفتوحة بنسبة وسطية 3.2% وزادت درجة حرارة اللوح بنسبة 70% بالمقارنة مع اللوح الثابت.

2- مشكلة الدراسة:

إن الاختلاف بين الأداء القياسي للألواح الكهروضوئية والأداء الفعلي في الظروف التشغيل الفعلية يعتبر أحد المشاكل التي تؤثر على استطاعة وتصميم أنظمة الطاقة الكهروضوئية وذلك لارتباطها بالعديد من المؤثرات أهمها تغير شدة الإشعاع الشمسي العمودي الواردة عليها نتيجة تغير موضع الشمس على مدار أيام السنة وخلال ساعات اليوم الواحد.

3- أهمية البحث وأهدافه:

إن تفاقم المشاكل البيئية وارتفاع أسعار المشتقات النفطية كمصدر لتوليد الطاقة الكهربائية، أدت إلى اهتمام واسع في العديد من الدول لاستخدام الألواح الكهروضوئية كمصدر صديق للبيئة وبديل عن مصادر الوقود الأحفوري، إلا أن إنتاجية تلك الألواح تتأثر بعدد من المؤثرات الخارجية تبعاً لظروف العمل وحيز التنفيذ، وباعتبار أن هذه العوامل تتغير بشكل مباشر وفق منطقة التنفيذ كان هدف هذا البحث بيان أثر التحكم ببعض العوامل الأساسية المؤثرة على أداء الخلايا الكهروضوئية من أجل الحصول أقصى استطاعة فعلية من اللوح وذلك عبر قياس أثر:

1. التحكم بزواوية ميل اللوح.

2. إضافة نظام تتبع شمسي.

3. إضافة مراكز شمسية.

وتحسين استطاعة الخلايا الكهروضوئية سوف يساهم في زيادة استثمار الطاقة الشمسية، والحد من استهلاك الطاقة التقليدية والتخلص من آثارها السلبية.

4- الدراسة التجريبية والاستنتاجات:

أجريت الدراسة التجريبية في جامعة حلب على سطح كلية الهندسة التقنية الواقع على خط عرض زاويته 36.12° وخط طول زاويته 37.21° خلال الفترة الواقعة بين (2022/3/15) و(2022/5/15) باستخدام لوحين كهروضوئيين أحدهما ذو قاعدة

متحركة والآخر ذو قاعدة ثابتة استطاعة كل منهما [W] 150 بأبعاد [m] (0.68, 1.49, 0.04) خصائصهما موضحة بالجدول (1).

جدول (1): مواصفات اللوح الكهروضوئي المدروس

Mono-crystalline silicon	نوع اللوح
36	عدد الخلايا
9.82 [A]	تيار الدارة المفتوحة Isc
21.24 [V]	جهد الدارة المفتوحة Voc
8.33 [A]	التيار الأعظمي Im
18 [V]	الفولط الأعظمي Vm

تم رفد الألواح بأهم التجهيزات اللازمة لإجراء التجارب وقراءة القيم حيث تم استخدام منظمي شحن من نوع PWM يعطيان الجهد والتيار الكهربائي لكلا اللوحين بشكل لحظي وبطارية تخزين [A] 50، [V] 12 لتأمين التغذية الكهربائية المستمر لنظام التتبع أثناء فترة الدراسة، تم توصيل اللوحين إلى منظمي الشحن ومنه للبطارية، كما تم استخدام مقاومة متغيرة لكل لوح خلال الدراسة لتحديد الجهد الأعظمي وشدة التيار الأعظمية الناتجان عن اللوح وذلك بواسطة مقياس أفوميتر من نوع DT830B Digital Multimeter.

4-1- التحكم בזاوية ميل اللوح:

إن شدة الإشعاع الشمسي الأعظمية الواردة إلى سطح الألواح ترتبط بشكل مباشر بتحديد زاوية الميل المناسبة لحيز الدراسة [1]. حيث تعطى إجمالي شدة الإشعاع اليومي على سطح مائل بزواوية سطح β يواجه الجنوب بالعلاقة (1):

$$I_d = \frac{24}{\pi} I_0 \left[1 + 0.034 \cos\left(\frac{2\pi n}{365}\right) \right] \times [\cos(\theta - \beta) \cos(\delta) \sin(h) + h \sin(\theta - \beta) \sin(\delta)] \quad (1)$$

I_0 : الثابت الشمسي ويساوي [kW/m²] 1.367.

δ : زاوية الميل الشمسي هي الزاوية التي تكون بين مستوي خط الاستواء والخط الواصل بين مركز الأرض والشمس وتعطى بالعلاقة (2):

$$\delta = 23.45^\circ \sin\left(\frac{360}{365} (284 + n)\right) \quad (2)$$

n: رقم اليوم من السنة.

\emptyset : زاوية خط العرض.

h: زاوية الساعة وهي الزاوية بين المستوى الذي يحتوي على محور الأرض والسمت والمستوى الآخر الذي يحتوي على محور الأرض ونقطة على سطح الأرض.

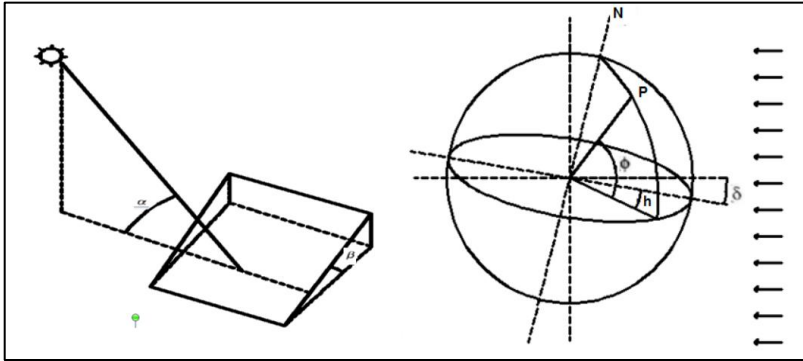
α : زاوية الارتفاع هي الزاوية بين المستوي الأفقي وأشعة الشمس وتكون مساوية للصفر عند شروق الشمس وتعطى بالعلاقة (3):

$$\sin \alpha = \sin(\phi) * \sin(\delta) + \cos(\phi) * \cos(\delta) * \cos(h) \quad (3)$$

زاوية الساعة عند شروق الشمس وغروبها (h) لها نفس القيمة ويمكن حسابها بجعل $\alpha = 0$ في المعادلة السابقة (3):

$$h = \cos^{-1} [-\tan(\emptyset) * \tan(\delta)] \quad (4)$$

β : زاوية ميل اللوح وهي الزاوية بين السطح الأفقي واللوح الكهروضويسي.



الشكل (1): الزوايا الشمسية

ولإيجاد زاوية الميل المثلى $\beta_{op,d}$ ليوم معين n يجب اشتقاق شدة الإشعاع

الإجمالي بالنسبة لزاوية الميل β وجعلها مساوية للصفر أي $\frac{dI_d}{d\beta} = 0$ ومنه نجد:

$$\beta_{op,d} = \emptyset - \tan^{-1} \left[\frac{h}{\sin(h)} \tan(\delta) \right] \quad (5)$$

وتعديل زاوية ميل السطح كل يوم غير عملي لذلك يمكن تغييره شهرياً أو فصلياً،

ونحصل على إجمالي الإشعاع الشمسي لفترة معينة من العلاقة (6):

$$I_P = \sum_{n=n_1}^{n=n_2} I_d \quad (6)$$

حيث p هي الفترة المحددة و (n_1, n_2) هما اليوم الأول والأخير من تلك الفترة، وللحصول على زاوية الميل المثلى (من n_1 إلى n_2) يجب اشتقاق I_p بالنسبة لزاوية الميل β وجعلها مساوية للصفر وعليه تعطى بعلاقة (7):

$$\beta_{op,p} = \phi - \tan^{-1} \left[\frac{\sum_{n=n_1}^{n=n_2} \frac{24}{\pi} I_0 \left[1 + 0.034 \cos\left(\frac{2\pi n}{365}\right) \right] \sin(\delta) h}{\sum_{n=n_1}^{n=n_2} \frac{24}{\pi} I_0 \left[1 + 0.034 \cos\left(\frac{2\pi n}{365}\right) \right] \cos(\delta) \sin(h)} \right] \quad (7)$$

ولتحديد زاوية الميل الموافقة لمكان الدراسة التجريبية تم إدخال المعادلات من (1) حتى (7) على برنامج Excel بهدف حساب زاوية الميل الشهرية $\beta_{op,m}$ والفصلية $\beta_{op,s}$ وزاوية الميل النصف سنوية $\beta_{op,sa}$ و السنوية $\beta_{op,y}$ ، ومن ثم تم حساب إجمالي الإشعاع الواصل للوح بناء على زوايا الميل الجديدة المثلى.

يظهر الجدول (2) النتائج الحسابية المحددة لزوايا الميل المثلى لمدينة حلب خلال أشهر السنة إذ نلاحظ قيم سالبة لزواياي شهر حزيران وتموز أي سيصبح اتجاه اللوح نحو الشمال وهذا غير ممكن لذلك تعتبر قيمة تلك الزاويتين 0° كما ورد في [1] و [7]، حيث تراوحت الزاوية الشهرية المثلى بين 66° خلال شهر كانون الأول و 0° خلال شهر حزيران.

جدول (2): الزوايا الشهرية المثلى $\beta_{op,m}$ والإشعاع الشهري I_m [kWh/m²]

I_m [kWh/m ²]	$\beta_{op,m}$	الشهر
337	63°	كانون الثاني
302	55°	شباط
326	40°	آذار
326	20°	نيسان
355	4°	أيار
359	-4°	حزيران
350	-1°	تموز
328	14°	آب
310	33°	أيلول
328	50°	تشرين الأول
324	61°	تشرين الثاني
335	66°	كانون الأول
3978	[kWh/m ²]	إجمالي الإشعاع الشهري

وبهدف تخفيض عدد مرات تغيير زاوية ميل الألواح المثلى على مدار أشهر السنة تم حساب الزوايا الفصلية لمنطقة الدراسة الموضحة في الجدول (3) وفقاً للمعادلات السابقة (1-7)، حيث يعتبر التقويم السنوي السوري شهور الربيع (آذار، نيسان، أيار) وشهور الصيف (حزيران، تموز، آب) أما شهور الخريف (أيلول، تشرين الأول، تشرين الثاني) وشهور الشتاء (كانون الأول، كانون الثاني، شباط) ونلاحظ أصغر قيمة للزوايا تكون صيفاً وأكبر قيمة تكون شتاءً وقد أظهرت النتائج الحسابية أن تعديل الزاوية الشمسية من شهرية إلى فصلية ترافقت بانخفاض في إجمالي شدة الإشعاع الشمسي بمقدار 2% فقط.

جدول (3): الزوايا الفصلية المثلى $\beta_{op,s}$ والإشعاع الفصلي I_s [kWh/m^2]

الفصل	الشتاء	الخريف	الصيف	الربيع
$\beta_{op,s}$	61°	48°	3°	21°
I_s [kWh/m^2]	970	942	1016	953
إجمالي الإشعاع الفصلي [kWh/m^2]		3881		

يظهر الجدول (4) النتائج الحسابية المحددة للزوايا إجمالي الإشعاع النصف سنوي حيث بلغت 56° خلال الفترة الباردة التي تكون من تشرين الأول إلى شباط و 11° خلال الفترة الدافئة والتي تكون من آذار إلى أيلول، وأظهرت النتائج تغير محدود جداً عند تغيير الزاوية فصلياً أو مرتين على مدار العام.

جدول (4): الزوايا الفصلية المثلى $\beta_{op,sa}$ والإشعاع النصف سنوي [kWh/m^2]

الفترة	الفترة الباردة	الفترة الدافئة
$\beta_{op,sa}$	56°	11°
I_{sa} [kWh/m^2]	1928	1950
إجمالي الإشعاع النصف سنوي [kWh/m^2]		3878

أما في حال اعتماد زاوية ميل واحدة على مدار العام فقد أظهرت النتائج الموضحة بالجدول (5) زاوية الميل المثلى الحسابية 33° وبلغ عندها الإجمالي السنوي الممكن للإشعاع الشمسي 3570 kWh/m^2 .

جدول (5): الزاوية السنوية $\beta_{op,y}$ والإشعاع السنوي I_y [kWh/m^2]

الفترة	سنة واحدة
$\beta_{op,y}$	33°
I_y [kWh/m^2]	3570

أظهرت النتائج أن إجمالي شدة الإشعاع الشمسي لألواح متغيرة الزاوية شهرياً يزداد بنسبة **10%** والألواح متغيرة الزاوية فصلياً يزداد بنسبة **8.01%** أما الألواح متغيرة الزاوية مرتين خلال السنة فيزداد بنسبة **7.94%** عند المقارنة مع إجمالي شدة الإشعاع الشمسي السنوي الواصل لألواح وضعت بالزاوية المثلى السنوية.

نلاحظ من النتائج السابقة أن أعلى إجمالي لشدة الإشعاع الشمسي الواصل للوح تكون عند تغير الزاوية شهرياً أما عند تغير الزاوية فصلياً وتغيرها مرتين خلال السنة كانت شدة الإشعاع الإجمالية متقاربة وعليه نجد أنه من الأفضل تغير زاوية ميل اللوح مرتين خلال السنة لأنه تغيرها 12 مرة خلال السنة لا تحقق زيادة أكثر من 2% في إجمالي شدة الإشعاع الشمسي.

تماشياً مع ما تم ذكره وباعتبار أن أغلب الأنظمة الكهروضوئية في مدينة حلب تنفذ على شكل مجموعات زاوية ميلها ثابتة على مدار العام وقيمتها الوسطية حوالي 38° ، تم إجراء تجارب لبيان تأثير استخدام زاوية الميل المثلى الناتجة حسابياً على الأداء بالمقارنة مع زاوية الميل التصميمية الوسطية على مدار العام حيث كان اللوح الأول على زاوية ميل قيمتها 11° وهي الزاوية المثلى لفترة الدراسة أما اللوح الآخر زاوية ميله 38° وكلاهما كانا باتجاه الجنوب كما موضح بالشكل (2):



الشكل (2): زاوية ميل اللوح الذي على اليسار 11° والذي على اليمين 38°

تم تحديد الاستطاعة الأعظمية عبر المقاومة المتغيرة لكل لوح بواسطة مقياس أفومتر من الساعة السابعة صباحاً حتى الساعة الخامسة عصراً بشكل دوري خلال ثلاث أيام مختلفة في فترة الدراسة أما استطاعة اللوحين فتم حسابها من العلاقة (8)، والنتائج

التجريبية موضحة في الجدول (6) إذ أظهرت قيماً متقاربة لجهد اللوحين على مدار اليوم واختلافاً بين قيم التيار صباحاً وبعد الظهرية ويفسر ذلك بأن الإشعاع الشمسي كان أكثر تعامداً مع اللوح الذي زاوية ميله 11° .

$$P_{\max} = I_{\max} * V_{\max} \quad (8)$$

حيث P_{\max} : استطاعة اللوح الأعظمية [W].

I_{\max} : شدة التيار الأعظمية [A].

V_{\max} : الجهد الأعظمي [V].

جدول (6): جهد و تيار واستطاعة لوحين كهروضميين أحدهما زاوية ميله 11° والآخر 38° .

النسبة المئوية للزيادة في الاستطاعة %	لوح زاوية ميله 11°			لوح زاوية ميله 38°			الوقت (ساعة)
	الاستطاعة [W]	شدة التيار [A]	الجهد [V]	الاستطاعة [W]	شدة التيار [A]	الجهد [V]	
14.98	44.05	3.1	14.21	38.31	2.7	14.19	07:00
19.39	57.04	3.8	15.01	47.78	3.2	14.93	08:00
15.46	72.00	4.7	15.32	62.36	4.1	15.21	09:00
7.61	93.90	5.8	16.19	87.26	5.4	16.16	10:00
2.95	109.14	6.7	16.29	106.02	6.5	16.31	11:00
1.31	112.27	6.8	16.51	110.82	6.7	16.54	12:00
2.91	113.02	6.8	16.62	109.82	6.6	16.64	13:00
4.98	99.37	6.1	16.29	94.66	5.8	16.32	14:00
14.06	83.82	5.5	15.24	73.49	4.8	15.31	15:00
15.47	55.06	3.8	14.49	47.69	3.3	14.45	16:00
14.77	42.44	3.3	12.86	36.98	2.9	12.75	17:00

أما لتحديد الزيادة الوسطية الممكنة للاستطاعة تبعاً لتغيير زاوية الميل تم تحديد النسبة

المئوية للزيادة في الاستطاعة من العلاقة (9):

$$a = \frac{P_2 - P_1}{P_1} * 100 \quad (9)$$

حيث P_2 : استطاعة اللوح الذي زاوية ميله 11°

P_1 : استطاعة اللوح الذي زاوية ميله 38°

أظهرت النتائج زيادة في استطاعة اللوح الذي زاويته 11° قبل وبعد الظهرية، إذ يبين

الشكل (4) مقارنة بين استطاعة كلا اللوحين حيث كانت القيم متقاربة في منتصف

النهار ومختلفة صباحاً وبعد الظهرية أما النسبة المئوية الوسطية للزيادة في الاستطاعة

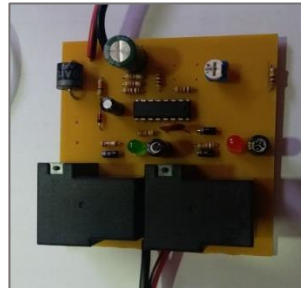
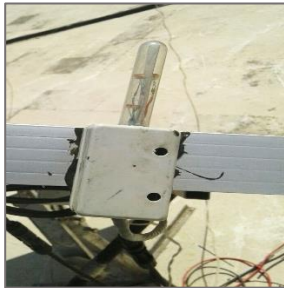
10.35% والجدول (7) يبين النسب المئوية للزيادة في الاستطاعة خلال أيام مختلفة في فترة الدراسة.

جدول (7): الزيادة الوسطية الممكنة لشدة التيار والاستطاعة خلال فترة الدراسة.

الزيادة الوسطية الممكنة للاستطاعة	تاريخ إجراء التجربة
10.89%	27/3/2022
10.35%	27/4/2022

4-2- إضافة نظام تتبع شمسي:

تم استخدام نظام تتبع بسيط أحادي المحور لبيان جدوى إضافته على اللوح عندما تكون زاوية ميله 38° و 11° ، حيث يعتمد هذا النظام على نظام تحكم يحدد موضع الشمس بشكل فعلي بالاعتماد على تحسس الشدة الأعظمية للإشعاع الشمسي بواسطة حساسات ضوئية LDR (Light Dependent Resistor) تم تركيبها أعلى اللوح كما هو موضح في الشكل (3)، فموضع الشدة الأعظمية للإشعاع عندئذ هو موضع الشمس والمنتبع الشمسي الذي تم تصميمه وتنفيذه (القسم الميكانيكي) ذو محور شاقولي قليل الكلفة حيث يعمل على التيار المستمر الناتج عن البطارية ومزود بمحرك توجيه واحد يحرك اللوح الكهروضوئي من الشروق إلى الغروب.



الشكل (3): الدارة الإلكترونية والحساسات المستخدمة في نظام التتبع

تم قياس ساعي لشدة التيار والجهد الناتج عن كلا اللوحين بواسطة مقياس أفومتر من الساعة السابعة صباحاً حتى الساعة الخامسة عصراً خلال ثلاث أيام مختلفة في فترة الدراسة ويبين الجدول (8) كلاً من شدة التيار والجهد الناتج عن اللوح واستطاعته التي

حُسبت من العلاقة (8) بإضافة نظام التتبع عندما تكون زاوية ميله 38° ثم 11° ، أُبدت النتائج التجريبية كفاءة استخدام نظام التتبع على استطاعة اللوح قبل وبعد الظهيرة عبر زيادة واضحة في شدة التيار والجهد الناتجين عن اللوح.

جدول (8): جهد وتيار واستطاعة لوح كهروضمسي مزود بنظام تتبع عند زاوية ميل 11° و 38° .

النسبة المئوية للزيادة في الاستطاعة عند المقارنة مع اللوح الثابت %	لوح مزود بنظام تتبع زاوية ميله 11°			النسبة المئوية للزيادة في الاستطاعة عند المقارنة مع اللوح الثابت %	لوح مزود بنظام تتبع زاوية ميله 38°			الوقت (ساعة)
	الاستطاعة [W]	شدة التيار [A]	الجهد [V]		الاستطاعة [W]	شدة التيار [A]	الجهد [V]	
15.84	51.03	3.5	14.58	24.19	45.92	3.2	14.35	07:00
26.49	72.15	4.7	15.35	43.26	68.45	4.5	15.21	08:00
25.34	90.25	5.8	15.56	40.94	87.89	5.7	15.42	09:00
11.23	104.45	6.4	16.32	16.88	102.00	6.3	16.19	10:00
1.24	110.50	6.8	16.25	1.41	107.51	6.6	16.29	11:00
1.29	113.71	6.9	16.48	1.48	109.10	6.6	16.53	12:00
1.23	114.40	6.9	16.58	1.33	111.29	6.7	16.61	13:00
7.34	106.66	6.7	15.92	4.73	104.26	6.4	16.29	14:00
16.95	98.03	6.3	15.56	23.20	90.54	5.8	15.61	15:00
45.34	80.03	5.4	14.82	68.56	80.38	5.1	15.76	16:00
25.17	53.12	3.9	13.62	39.15	51.45	3.8	13.54	17:00

وبالمثل تم تحديد النسبة المئوية للزيادة في الاستطاعة من العلاقة (10):

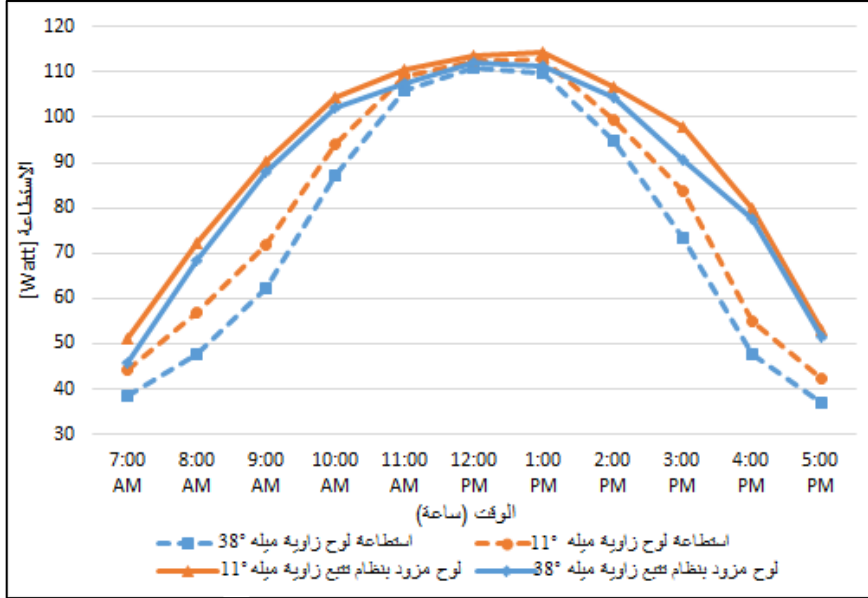
$$a = \frac{P_2 - P_1}{P_1} * 100 \quad (10)$$

حيث P_2 : استطاعة اللوح المزود بنظام تتبع وزاوية ميله 11° و 38° على التوالي.

P_1 : استطاعة اللوح الثابت وزاوية ميله 11° و 38° على التوالي.

أظهرت النتائج عند استخدام نظام التتبع أحادي المحور زيادة في الاستطاعة الوسطية للوح حيث بلغت 24.1% و 15.23% عندما تكون زاوية الميل 38° و 11° على التوالي، ويلاحظ أن نسبة الزيادة في استطاعة اللوح الذي زاوية ميله 38° كانت أكبر من اللوح الذي زاوية ميله 11° وذلك لأن استطاعة اللوح الثابت ذو الزاوية 11° على مدار اليوم أكبر من استطاعة اللوح الثابت ذو الزاوية 38° ، أما الزيادة الوسطية الممكنة لاستطاعة اللوح عند إضافة نظام تتبع شمسي وتغيير زاوية الميل كانت 29.05% وذلك عند

المقارنة مع الذي زاوية ميله 11° والمزود بنظام تتبع واللوح الذي زاوية ميله 38° إذ يبين الشكل (4) مقارنة بين استطاعة اللوح بعد إضافة نظام تتبع عند كلا الزاويتين.



الشكل (4): شدة تيار لوحين كهروضوئيين أحدهما مزود بنظام تتبع والأخر ثابت بزاوية 38° (اللوح المرجعي).

مما سبق نجد أهمية استخدام أنظمة التتبع أحادية المحور البسيطة على الأداء وفق زاوية ميل التركيب مع أفضلية جعل زاوية ميله 11° مع نظام التتبع وفق شروط الدراسة والجدول (9) يوضح النسب المئوية للزيادة في الاستطاعة خلال أيام مختلفة في فترة الدراسة.

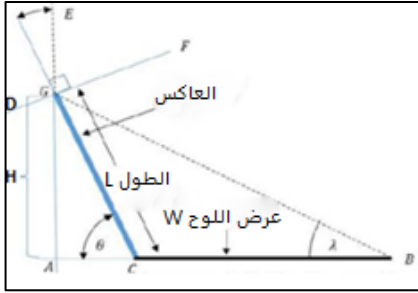
جدول (9): الزيادة الوسطية الممكنة للاستطاعة خلال فترة الدراسة.

الزيادة الوسطية الممكنة للاستطاعة عند إضافة نظام تتبع للوح وجعل زاوية ميله مثلى.	الزيادة الوسطية الممكنة للاستطاعة عند إضافة نظام تتبع للوح الذي زاويته 38° .	الزيادة الوسطية الممكنة للاستطاعة عند إضافة نظام تتبع للوح الذي زاويته 11° .	تاريخ إجراء التجربة
29.05%	24.1%	15.23%	27/3/2022
29.87%	24.95%	16.46%	27/5/2022

4-3- ضافة عواكس شمسية:

إن إضافة عواكس الشمسية يساهم في تركيز الإشعاع الشمسي على واحدة المساحة من الألواح الكهروضوئية ولبيان تأثيرها تم إضافة عواكس على يسار ويمين اللوح الذي زاوية ميله 11° كما موضح بالشكل (5) حيث كانت العواكس عبارة عن رقائق الألمنيوم مدعمة بصفائح من الحديد أما مساحتها فكانت مساوية لمساحة اللوح $(0.69 * 1.42) \text{ m}$ [5] والزاوية بين العاكس واللوح قيمتها 60° إذ تم حسابها من العلاقات التالية من العلاقات التالية [8]:

$$ACG = \theta, DGC = 90^\circ, DGA = \theta$$



$$DGA = EGF = \theta \text{ للتعادل بالرأس}$$

$$EGF = BGC \text{ زاويتا الانعكاس}$$

$$FGB + BGC = 90^\circ$$

$$BGC = 90^\circ - \theta$$

$$BGC + GCB + CBG = 180 \quad \text{مجموع زاويا المثلث:}$$

$$(90^\circ - \theta) + (180 - \theta) + (CBG) = 180 \Rightarrow CBG = \lambda = 2\theta - 90^\circ$$

بالاعتماد على قوانين ال sin في نفس المثلث:

$$\frac{L (\text{طول العاكس})}{\sin 2\theta - 90} = \frac{w (\text{عرض العاكس})}{\sin 90 - \theta}$$

$$L = \frac{-w \cos 2\theta}{2 \cos \theta}$$

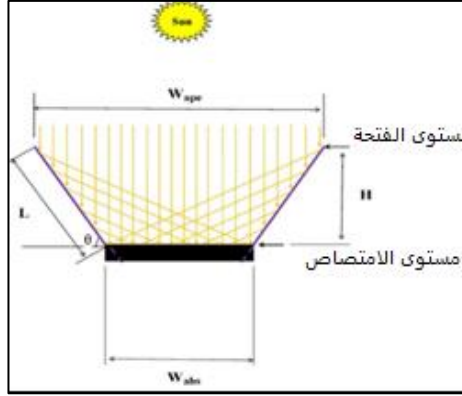
$$\frac{-\cos 2\theta}{\cos \theta} = \frac{L}{w}$$

$$\frac{-2 \cos^2 \theta + 1}{\cos \theta} = \frac{69}{69} \Rightarrow -2 \cos^2 \theta + \cos \theta + 1 = 0$$

$$\cos \theta = 0.5 \text{ أو } -1$$

$$\theta = 60^\circ$$

وعليه كانت نسبة التركيز الهندسية كانت 1.5 وهي النسبة بين مساحة مستوى الفتحة



الشكل (6): مخطط تفصيلي للعواكس المزودة للوح الشمسي.

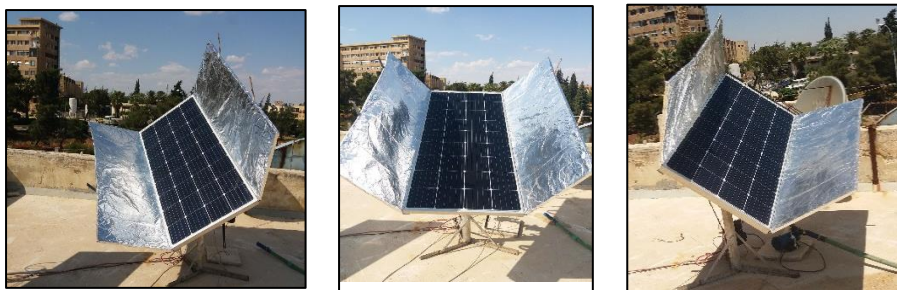
(A_{ape}) ومساحة مستوى الامتصاص (A_{abs}) الموضحة بالشكل (10-3) والتي يمكن التعبير عنها من العلاقة التالية:

$$C = \frac{A_{ape}}{A_{abs}} = \frac{W_{ape}}{W_{abs}} = \frac{w + L \cos \theta}{w}$$

$$C = \frac{0.69 + 0.69 * \cos 60}{0.69} = 1.5$$

وهذا موافق للدراسة المرجعية [9] والتي أظهرت أنه عندما تكون نسبة تركيز 1.5 يجب أن تكون زاوية ميل العاكس مساوية 60° .

لتحديد جدوى استخدام العواكس تم تزويد اللوح الذي زاوية ميله 11° بعواكس وقياس ساعي للاستطاعة الأعظمية الناتجة عن اللوح ومقارنتها مع الاستطاعة الأعظمية للوح الثابت الذي زاوية ميله 38° (وهي الزاوية التصميمية الوسطية الأكثر انتشاراً)، أما لبيان جدوى العواكس والتتبع الشمسي معاً فتم تزويد اللوح بنظام تتبع بسيط أحادي المحور ومقارنة الاستطاعة الناتجة عنه مع استطاعة اللوح الثابت إذ تم تحديد الجهد والتيار الأعظميان باستخدام مقياس أفوميتر عبر مقاومة متغيرة من الساعة السابعة صباحاً حتى الساعة الخامسة عصراً خلال ثلاث أيام مختلفة في فترة الدراسة.



الشكل (7): تغير حركة اللوح الذي زاوية ميله 11° والمزود بعواكس على مدار اليوم

يبين الجدول (10) كلاً من شدة التيار والجهد الناتج عن كلا اللوحين واستطاعة اللوح الأعظمية التي حُسبت من العلاقة (8) إذ أظهرت النتائج التجريبية كفاءة استخدام العواكس على استطاعة اللوح خلال ساعات الدراسة عبر زيادة واضحة في شدة التيار والجهد الناتج عن اللوح إلا أن الجهد في فترة الظهيرة ينخفض بشكل بسيط ويعزى ذلك إلى ارتفاع درجة حرارة اللوح الناتج عن زيادة شدة الإشعاع الشمسي خلال فترة الدراسة [6].

جدول (10): جهد و تيار واستطاعة لوحين كهروضميين أحدهما ثابت زاوية ميله 38° والأخر زاوية ميله 11° ومزود بعواكس.

لوح ثابت زاوية ميله 38°			لوح زاوية ميله 11° مزود بعواكس ونظام تتبع			لوح زاوية ميله 11° مزود بعواكس			الوقت (ساعة)
الاستطاعة [W]	التيار [I]	الجهد [V]	الاستطاعة [W]	التيار [I]	الجهد [V]	الاستطاعة [W]	التيار [I]	الجهد [V]	
35.83	2.5	14.33	65.15	4.1	15.89	50.33	3.5	14.38	07:00
47.65	3.2	14.89	79.43	4.9	16.21	68.94	4.5	15.32	08:00
64.47	4.2	15.35	99.29	6.3	15.76	75.90	4.9	15.49	09:00
85.49	5.3	16.13	111.02	7.2	15.42	98.41	6.3	15.62	10:00
107.71	6.6	16.32	119.43	7.7	15.51	116.03	7.5	15.47	11:00
111.86	6.8	16.45	126.20	7.8	16.18	123.59	7.7	16.05	12:00
110.82	6.7	16.54	126.87	7.9	16.06	124.25	7.8	15.93	13:00
96.88	5.9	16.42	117.07	7.4	15.82	102.50	6.6	15.53	14:00
71.53	4.6	15.55	96.45	6.3	15.31	88.68	5.8	15.29	15:00
44.83	3.1	14.46	85.40	5.6	15.25	64.94	4.5	14.43	16:00
28.59	2.8	12.79	70.17	4.9	14.32	57.31	3.7	13.97	17:00

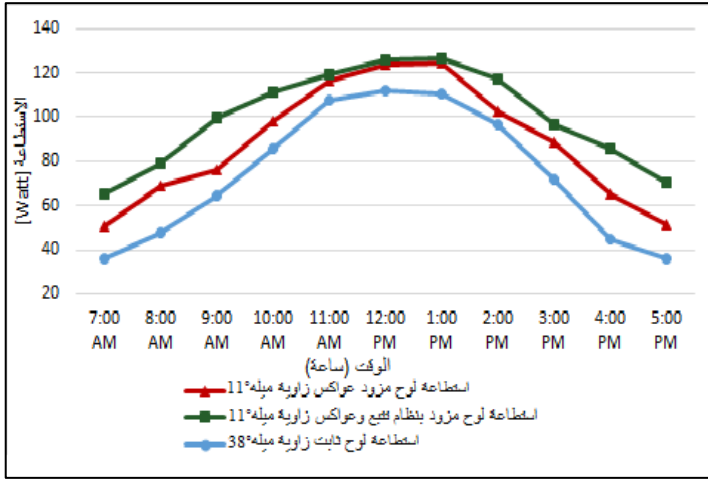
يبين الشكل (8) مقارنة بين استطاعة اللوح الثابت والذي زاوية ميله 38° والأخر ذو الزاوية المثلى الناتجة حسابية وقيمتها 11° والمزود بعواكس حيث أظهرت النتائج

التجريبية كفاءة استخدام العواكس إذ بلغت النسبة المئوية الوسطية للزيادة في الاستطاعة على مدار ساعات الدراسة 26.93% أما عند إضافة نظام تتبع فبلغت 46.61%، إذ تم تحديد النسبة المئوية للزيادة في الاستطاعة من العلاقة (10):

$$a = \frac{P_2 - P_1}{P_1} * 100 \quad (10)$$

حيث P_2 : استطاعة اللوح المدروس.

P_1 : استطاعة اللوح الثابت.



الشكل (8): استطاعة لوحين كهروضوئيين أحدهما مزود بعواكس ونظام تتبع والأخر ثابت زاوية ميله 38°.

أما الجدول (11) يوضح النسب المئوية للزيادة في الاستطاعة خلال أيام مختلفة في فترة الدراسة.

جدول (11): الزيادة الوسطية الممكنة للاستطاعة خلال فترة الدراسة.

الزيادة الوسطية الممكنة للوح المزود بعواكس ونظام تتبع وزاوية ميله 11°	الزيادة الوسطية الممكنة للوح المزود بعواكس وزاوية ميله 11°	تاريخ إجراء التجربة
46.61%	26.93%	28/3/2022
48.12%	27.78%	28/5/2022

5- ملخص النتائج:

من الدراسة السابقة تبين:

✓ من الأفضل تغيير زاوية ميل اللوح مرتين سنوياً، إحداهما بداية الشهر العاشر وتكون عندها زاوية ميل اللوح 56° ، والأخرى في بداية الشهر الثالث وتكون الزاوية 11° .

✓ ازدياد الاستطاعة بنسبة وسطية 10.89% عند المقارنة مع الاستطاعة الناتجة عن اللوح الذي زاوية ميله 11° واللوح الذي زاوية ميله 38° .

✓ إضافة نظام تتبع أحادي المحور على اللوح الذي زاوية ميله 11° أدى إلى زيادة في الاستطاعة بنسبة وسطية 15.23% أما عند المقارنة مع استطاعة اللوح الثابت الذي زاوية ميله 38° كانت الزيادة الوسطية 29.05% .

✓ إضافة عواكس على اللوح الذي زاوية ميله 11° أدى إلى زيادة في الاستطاعة بنسبة وسطية 26.93% عند المقارنة مع اللوح الثابت الذي زاوية ميله 38° .

✓ إضافة عواكس ونظام تتبع أحادي المحور على اللوح الذي زاوية ميله 11° أدى إلى زيادة في شدة التيار بنسبة وسطية 46.61% عند المقارنة مع اللوح الثابت الذي زاوية ميله 38° .

- 1- ABDALLAH R., JUAIDI A., ADEL-FATTAH S., et AL..., 2020- **Estimating the optimum tilt angles for south-facing surfaces in Palestine.** Energies, 13, (3).
- 2- Bazyari S., Keypour R., Farhangi S., et...., 2014- **A Study on the Effects of Solar Tracking Systems on the Performance of Photovoltaic Power Plants.** Journal of Power and Energy Engineering, 2, (4).
- 3- PONNIRAN A., HASHIM A., ALI MUNIR, H., 2011-**A design of single axis sun tracking system.** In 2011 5th International Power Engineering and Optimization Conference, PP: 107–110.
- 4- Yousef M., Abdel Rahman A., Ookawara S., 2016- **Performance investigation of low – Concentration photovoltaic systems under hot and arid conditions: Experimental and numerical results.** Energy Conversion and Management journal, 128, PP: 82-94.
- 5- KHAN M., NYARI, E., PARK S., et AL..., 2017- **Performance evaluation of photovoltaic solar system with different cooling methods and a Bi-reflector PV system (BRPVS): An experimental study and comparative analysis.** Energies, 10, (6).
- 6- Kasim N., Atwan A., Oleiwi Y., et AL..., 2019- **Study the Performance of V-Trough PV Solar System with Two Axis Tracking.** The 7th International Conference on Applied Science and Technology.
- 7- SKEIKER K, 2009- **Optimum tilt angle and orientation for solar collectors in Syria.** Energy Conversion and Management, 50, (9).
- 8- WIN T, 2018- **Comparison of Power Output from Solar Panel with Reflector and without Reflector.** International Journal of Science and Engineering Applications, 7, (8), PP: 193-198.

دراسة تحليلية لخوارزميات التشفير خفيفة الوزن في تعزيز أمان تطبيقات انترنت الأشياء

قسم هندسة الشبكات والنظم الحاسوبية - كلية الهندسة المعلوماتية - جامعة البعث

المهندسة: ريماء خضور¹، الدكتور: أكرم مرعي²، الدكتور: رامز الخطيب³

الملخص

في السنوات الأخيرة، كان هناك زيادة في نشر أجهزة الحوسبة الصغيرة ذات الموارد المحدودة، مثل علامات تحديد هوية التردد اللاسلكي (RFID)، ووحدات التحكم الصناعية وعقد المستشعر والبطاقات الذكية وهذا التحول من أجهزة الحاسوب المكتبية إلى الأجهزة الصغيرة يجلب مجموعة واسعة من مخاوف الأمان والخصوصية الجديدة.

في العديد من معايير التشفير التقليدية، تم تحسين المقايضة بين متطلبات الأمان والأداء والموارد لبيئات سطح المكتب والخادم، مما يجعل من الصعب أو المستحيل تنفيذها في أجهزة انترنت الأشياء (Internet of Things) محدودة الموارد، وحتى عند إمكانية تنفيذها، قد لا يكون أداؤها مقبولاً. لذا حظي التشفير الخفيف الوزن **Lightweight Cryptography** باهتمام العديد من الباحثين في العقدين الماضيين.

في تصميم خوارزميات التشفير، تستخدم كل من خوارزميتي تشفير التدفق (Stream Cipher) وتشفير الكتلة (Block Cipher) دوال غير خطية، حيث تعتبر هذه الدوال المنطقية (البوليانية) غير الخطية مكوناً أساسياً من أساسيات التشفير، وهي أدوات

¹ طالبة ماجستير - قسم هندسة الشبكات و النظم الحاسوبية - كلية الهندسة المعلوماتية- جامعة البعث- حمص- سوريا.

² أستاذ دكتور- قسم هندسة الشبكات والنظم الحاسوبية- كلية الهندسة المعلوماتية- جامعة البعث- حمص- سوريا.

³ دكتور مشارك- قسم تقنيات الحاسوب - الكلية التطبيقية- جامعة حماة- حماة - سوريا.

أساسية في خوارزميات التشفير المتماثل، حيث تلعب خصائص التشفير لهذه الدوال دوراً كبيراً في التخفيف من هجمات التشفير.

قمنا في هذه الورقة بتحليل أمان خوارزميات التشفير خفيفة الوزن بناءً على الدوال المنطقية (Boolean Functions) المستخدمة بواسطة برنامج SageMath القائم على لغة بايثون، مركزين على الخوارزميات المضمنة في الإصدار الموحد لخوارزميات التشفير خفيفة الوزن التابعة للمعهد الوطني للمعايير و التكنولوجيا (NIST) وقمنا بفحص بعض الهجمات على هذه الخوارزميات من خلال دراسة خصائص دوال التشفير المنطقية التي تستخدمها.

يوضح تحليلنا أنه لا توجد دالة منطقية للتشفير تلبى جميع خصائص التشفير، وبالتالي، هناك حاجة إلى مزيد من البحث من أجل تقييم ما إذا كان يمكن بالفعل استغلال نقاط الضعف هذه من أجل شن هجوم تحليلي معين.

الكلمات المفتاحية: إنترنت الأشياء، التشفير الخفيف الوزن، دوال التشفير المنطقية، خصائص دوال التشفير المنطقية.

Analytical study of lightweight Cryptography algorithms in enhancing the security of IoT applications

Department of Systems and Networking Engineering - Faculty of
Information Engineering – AL-Baath University

Eng: Rima Khaddour⁴
Khatib⁶

Dr: Akram Mrri⁵

Dr: Ramez Al-

Abstract

In recent years, there has been an increase in the deployment of small computing devices with limited resources such as radio frequency identification tags (RFID), industrial controllers, sensor nodes and smart cards. This shift from desktop computers to small devices brings a wide range of new security and privacy concerns. In many traditional cryptography standards, the trade-off between security, performance and resources requirements for desktop and server environments has been improved, making it difficult or impossible to implement them in Internet of Things limited-

⁴ Master Student, Department of Systems and Networking Engineering – Faculty of Information Engineering – AL- Baath University–Homs, Syria.

⁵ Professor. Department of Systems and Networking Engineering – Faculty of Information Engineering – AL- Baath University–Homs, Syria.

⁶ Professor, Department of Computer Techniques, Applied Faculty, University of Hama, Hama, Syria.

resource devices, and even when they can be implemented, their performance may not be acceptable. Lightweight Cryptography has received the attention of many researchers in the past two decades.

In the design of cryptography algorithms, both Stream Cipher and Block Cipher Algorithms use Non-linear functions. These non-linear logic (Polynesian) functions are an essential component of the essentials of encryption, which are essential tools in similar encryption algorithms, where the encryption properties of these functions play a major role in mitigating cryptography attacks.

In this paper, we analyzed the security of lightweight cryptography algorithms based on Boolean Functions used by the Python-based SageMath software, focusing on the algorithms included in the standardized version of lightweight encryption algorithms

The National Institute of Standards and Technology (NIST) and We examined some of the attacks on these algorithms by examining the characteristics of the encryption functions they use.

Our analysis illustrates that there is no cryptographic Boolean function satisfying all the cryptographic properties and, thus, further research is needed in order to evaluate whether such vulnerabilities of underlying Boolean functions can actually be exploited in order to mount a cryptanalytic attack.

Keywords: IoT, lightweight encryption, logical encryption function, logical encryption function properties

1- مقدمة

لم يعد الأمن خياراً في الغزو التكنولوجي الجديد الذي نشهده اليوم، إنما أصبح أحد أهم الميادين التي تهم المنظمات الصناعية والبحثية على حد سواء، حيث إنّ البيانات يتم نشرها وتخزينها على الخوادم (Servers) والسحب (Clouds) ويتم تبادل جميع أنواع البيانات بين المستخدمين في جميع أنواع القنوات اللاسلكية والأقمار الصناعية وغيرها.

إنّ تنامي التقدم التكنولوجي والعلمي وانتشار تقنيات إنترنت الأشياء أصبح أمراً واقعاً ومتطلباً في حياة الأشخاص اليومية، ومع وجود مليارات من الأجهزة المتصلة وتزايد مساهمتها بتعزيز الرقمنة على مستوى العالم، أدى ذلك إلى مزيد من تهديدات الأمان والتعرض للهجمات الإلكترونية، لذلك كان لا بدّ من تعزيز أنظمة الحماية والأمان.

أصبحت إنترنت الأشياء ثورة العصر، ويمكن تعريفها على أنّها النموذج الذي يتيح التواصل بين الأشياء.

تستخدم الشبكات الخاصة بإنترنت الأشياء أجهزة ذكية صغيرة الحجم يمكنها تجميع وتبادل المعلومات، لها مجال واسع من التطبيقات بدءاً من المنازل الذكية إلى المدن الذكية وفي مختلف المجالات مثل الزراعة، الصناعة، النقل، الصحة..... وغيرها [1].

إنّ تصميم نظام آمن تماماً في إنترنت الأشياء ليس بالمهمة السهلة نظراً لأنها أنظمة غير متجانسة للغاية، فهي تتكون من أجهزة مختلفة لها أنظمة تشغيل مختلفة وتستخدم بروتوكولات مختلفة وواسعة النطاق جداً، والأهم من ذلك أنّ الأجهزة " الأشياء" لها موارد محدودة: سعة الذاكرة وقوة المعالجة وسعة البطارية وموارد الطاقة.

في إنترنت الأشياء، سيؤدي فيض التطبيقات الجديدة والأجهزة إلى زيادة كبيرة في كميات البيانات المتولدة، وسيحتاج ذلك حكماً إلى تحسين تخزين ومعالجة تلك البيانات، لكن الأمر الأكثر أهمية هو تزايد الحاجة إلى حماية تلك البيانات.

يُشكّل تشفير البيانات دعامة رئيسية لأمن الشبكات والاتصالات لأنه يوفر الوسائل لتحقيق أهداف أمنية محددة مثل سرية البيانات والتوثيق في عدد وافر من

التطبيقات (الإنترنت، البريد الإلكتروني، البنوك الإلكترونية، خدمات الصحة الإلكترونية، الحوسبة السحابية وإنترنت الأشياء وغيرها).

على الرغم من وجود عدة معايير للتشفير إلا أنه لا يمكن استخدامها مباشرة في أي تطبيق بسبب التنوع الكبير بين المتطلبات المحددة لكل تطبيق، فعندما يتعلق الأمر بإنترنت الأشياء فإن خوارزميات التشفير التقليدية تفشل في الأداء نظراً لطبيعة الأجهزة المقيدة الموارد، لذلك تم التوجه إلى استخدام خوارزميات محددة مصممة لتناسب وضع الأجهزة المقيدة الموارد تسمى خوارزميات التشفير خفيفة الوزن.

2- هدف البحث

الهدف الأساسي هو إجراء دراسة تحليلية لخصائص خوارزميات التشفير خفيفة الوزن بهدف تعزيز أمن البيانات في تطبيقات انترنت الأشياء التي تتطلب موارد حوسبة أقل وسعة ذاكرة أقل واستهلاك طاقة أقل وقوة معالجة أقل، وتعتبر أسرع وأبسط مقارنة بخوارزميات التشفير التقليدية ومناسبة لأجهزة انترنت الأشياء المقيدة الموارد.

3- إنترنت الأشياء

إنترنت الأشياء هو مصطلح حديث نسبياً، ظهر عام 1999 على يد الباحث البريطاني كيفن آشتون، والذي كان حينها مجرد مصطلح افتراضي يشير إلى تواصل الآلات مع بعضها البعض (Machine to Machine). [2]

يُقصد بمصطلح إنترنت الأشياء (IoT) الجيل الجديد من الإنترنت (الشبكة) الذي يتيح التواصل بين الأجهزة المختلفة، وتشمل هذه الأجهزة الأدوات والمستشعرات وأدوات الذكاء الصناعي المختلفة وغيرها من الأجهزة التي تستطيع معالجة البيانات، والتعامل مع المواقف والظروف من حولها بشكل أكثر ذكاءً.

هذا المصطلح سيغير كل شيء بما في ذلك أنفسنا حيث إنَّ للإنترنت تأثير على التعليم، الاتصالات، الأعمال، العلوم، الحكومة، والبشرية بأكملها. [3]

1.3- التحديات التي تواجه إنترنت الأشياء

1.1.3- التكلفة (Cost):

إن تحويل التكنولوجيا إلى نظام قابل للتكيف يمكن أن يواجه قضايا أمنية حديثة، حيث أن المطورين يجب أن ينفذوا تحديثات تترجم إلى تكاليف صيانة للنظام، وتشكل التكاليف جزءاً من أي تكنولوجيا وتشمل أيضاً التكاليف المتصلة بالتركيب، البنية التحتية الكهربائية والعمل خلال مرحلة التنفيذ، ويمكن أن تمثل هذه التكاليف عقبة على ريق نمو شبكات إنترنت الأشياء.

2.1.3- التوصيل (Connectivity):

أهم تحديات مستقبل إنترنت الأشياء هو توصيل وربط العدد الكبير من الأجهزة. في الوقت الحاضر يُستخدم نموذج مركزي عميل/مخدم (Server/Client) لتوثيق وتوصيل عدة محطات طرفية في الشبكة [4]، سيناريو إنترنت الأشياء سيجعل النظام المركزي الحالي يعاني من مشكلة الاختناقات (bottleneck) ويصبح غير قادر على الاستجابة مما يؤدي ربما إلى تعطيله بشكل كامل.

3.1.3- الأمان والخصوصية (Security and Privacy):

يجب أن يضمن أمان إنترنت الأشياء أن جميع أجزاء النظام آمنة، وهو تحدٍ معقد للمطورين، حيث يمكن أن تتعرض خصوصية المستخدمين للخطر لذلك يجب أن تتطور التدابير الأمنية بنفس سرعة تطور الأجهزة.

إنترنت الأشياء مع الملايين من أجهزتها المتصلة ليست محصنة ضد الهجمات، ويمكن أن تجعل الأنظمة تفشل، بل وتعرض حياة البشر للخطر.

يمكن تصنيف هذه الهجمات على أنها فيزيائية وشبكية وبرمجية وهجمات التشفير وهجمات القنوات الجانبية (SCAs). [5]

تؤثر هجمات التشفير مباشرة على نظام الخوارزمية المستخدمة لتشفير البيانات المرسله من الجهاز، المهاجم يحاول إيجاد مفاتيح التشفير.

الأمن مهم جداً لكن يجب أن يكون هناك دائماً بعض المنطق والتفكير وراء مستويات الأمن وذلك حسب طبيعة التطبيق ومدى ضرورته، كما أن الأمن المرتفع ينطوي عليه تعقيد عالي وينبغي معالجته بحكمة.

تتعامل معظم أجهزة إنترنت الأشياء مع التطبيق الآني حيث تشكل الاستجابة السريعة والدقيقة مع الأمن الأساسي باستخدام الموارد المتاحة مهمة صعبة [6,7]

أحد التهديدات الأمنية لأجهزة إنترنت الأشياء هو سلامة وخصوصية البيانات المجمعة / المنقولة والتي ترتبط مباشرة بحياة المستخدمين [7]، فهي بيانات حساسة جداً، إذا تسربت أو تعرضت للهجوم تؤدي إلى اختراق النظام، وبالتالي يجب أن يكون هناك تكنولوجيا قوية وموثوقة لتأمين كيفية استخدام بيانات إنترنت الأشياء ونقلها بطريقة آمنة، لذا تم التوجه مؤخراً لاستخدام التشفير الخفيف الوزن Lightweight Cryptography.

4- التشفير خفيف الوزن (Lightweight Cryptography)

يتم تقسيم خوارزميات التشفير إلى فئتين بناءً على الأجهزة المستهدفة، الفئة الأولى هي التشفير التقليدي الذي يستهدف الأجهزة الغنية بالموارد وأدائه جيد عليها، مثل الهواتف الذكية والخوادم وأجهزة الكمبيوتر وغيرها من الأجهزة التي يمكنها معالجة وتخزين كميات كبيرة من البيانات بشكل فعال وسريع نظراً للحوسبة العالية التي يمكنهم القيام بها، أما الفئة الثانية فهي التشفير الخفيف الوزن الذي يستهدف الأجهزة المقيدة الموارد، فهذا النوع موجه للأنظمة المدمجة منخفضة الطاقة، والاتصالات من آلة إلى آلة M2M، والتكنولوجيا النانوية، وأجهزة الاستشعار، والشبكات الذكية وقابل للتطبيق بسهولة على الأجهزة الغنية بالموارد.

في عام 2013، بدأ مختبر تكنولوجيا المعلومات التابع للمعهد الوطني للمعايير والتقانة (NIST) مشروع تشفير خفيف الوزن للتحقيق في مشاكل التشفير وتطوير استراتيجية لتوحيد خوارزميات التشفير خفيفة الوزن.

ينقسم التشفير إلى فئتين رئيسيتين فيما يتعلق بالمفاتيح المستخدمة للتشفير وفك التشفير، وهما تشفير المفاتيح المتماثل (الخاص) والتشفير غير المتماثل (العام).

ثبت أن التشفير المتماثل أكثر كفاءة وأكثر ملاءمة لخوارزميات التشفير خفيفة الوزن نظراً لأن الخوارزميات غير المتماثلة تستخدم مفتاحين بدلاً من مفتاح واحد، فهي بالتأكيد أكثر تعقيداً وصعوبة وأبطأ في التنفيذ، كما أنها تستخدم المزيد من الموارد التي تمثل مشكلة كبيرة خاصة بالنسبة لأجهزة إنترنت الأشياء التي تعتبر أجهزة مقيدة وتتطلب خوارزميات خفيفة الوزن للعمل. [8]

تعتمد قوة وفعالية التشفير على عاملين أساسيين: الخوارزمية، وطول المفتاح مقدراً بالبت (Bit)، كلما زاد طول مفتاح التشفير زادت نسبة الأمان وصعوبة فك الشيفرة، ووفقاً للمعهد الوطني للمعايير والتقانة (NIST) يجب أن يكون طول المفتاح المستخدم في خوارزميات التشفير الخفيفة الوزن 112 بت على الأقل. [9]

يُقسم التشفير المتماثل إلى نوعين **تشفير الكتلة** و**تشفير التدفق** هما طريقتان مختلفتان لتحويل نص عادي (رسالة أصلية) إلى نص مشفر (رسالة مشفرة) باستخدام مفاتيح التشفير. ليس من السهل تحديد الطريقة الأفضل، حيث إنّه للجانبين بعض المزايا والعيوب، كما أنّ بيئة ومتطلبات التطبيق هي التي تحدد الطريقة الأمثل.

إنّ جميع خوارزميات التشفير مبنية على مبادئ مشتركة وهي أنواع العمليات المستخدمة لتحويل النص الأصلي إلى نص مشفر على النحو التالي [10]:

➤ **الاستبدال (Substitution):** تُغيّر تقنية الاستبدال من بتات النص الأصلي بإدخال بتات جديدة لإنتاج النص المشفر، وبالتالي النصين الأصلي والمشفر سيكون لهما عدد مختلف من البتات، والهدف من هذه التقنية هو تحقيق خاصية الارتباك **(Confusion)** لزيادة غموض النص المشفر التي تجعل العلاقة بين مفتاح التشفير والنص المشفر معقدة قدر الإمكان.

➤ **التبديل (Permutation):** تغيير تقنية التبديل مواقع بتات النص الأصلي فقط دون إدخال أي بتات جديدة، سيكون للنصين الأصلي و المشفر نفس عدد البتات، والهدف من هذه التقنية هو تحقيق خاصية الانتشار **(Diffusion)** لإخفاء البنية

الإحصائية للنص الأصلي لمنع محاولات استنتاج المفتاح، مما يجعل العلاقة بين النص المشفر والنص الأصلي معقدة قدر الإمكان.

يمكن بناء شفرات قوية من خلال الجمع بين الاستبدالات والتحويل بشكل متكرر.

➤ **مشفرات الجداء (Product Cipher):** هي مشفرات معقدة مكونة من عدة مكونات للاستبدال والتبديل وغير ذلك من المكونات الأخرى، تعتمد هذه المكونات على أسلوب الانتشار والارتباك، تعتبر كافة خوارزميات تشفير الكتلة الحديثة مشفرات الجداء

في نظم التشفير ينعكس الارتباك في الجزء غير الخطي من النظام، من السهل عموماً كسر الأنظمة الخطية المستخدمة في تصميم التشفير، بينما ينعكس الانتشار عن طريق ضمان حدوث تغيير طفيف في المدخلات لإحداث تغيير كبير في المخرجات.

1.4 - خوارزمية تشفير الكتلة خفيفة الوزن

تقوم خوارزمية تشفير الكتلة بتقسيم الرسالة إلى أجزاء متساوية في الحجم وبعد ذلك يتم تشفيرها واحدة تلو الأخرى عن طريق معالجة كتلة واحدة في كل مرة، تم تصميم بعض هذه الشفرات عن طريق تبسيط خوارزمية تشفير الكتلة التقليدية (على سبيل المثال معيار التشفير المتقدم AES من (NIST) المحللة جيداً لتحسين كفاءتها).

كانت أقدم شفرات الكتلة عبارة عن شبكات بسيطة تجمع بين مشفرات الاستبدال والتبديل، وتسمى شبكات تبديل الاستبدال (SPN).

تم تصميمه للتعامل مع أحجام الكتلة الإضافية وأطوال المفاتيح 128 و 192 و 256 بت.

يشكل صندوق الاستبدال (S-box) عنصراً أساسياً في خوارزميات تشفير المفاتيح المتماثلة من نوع تشفير الكتلة تستخدم صندوق الاستبدال عادةً لإخفاء العلاقة بين المفتاح والنص المشفر.

في تشفير الكتلة يُؤخذ النص الأصلي إلى جانب المفتاح كمدخل للحصول على النص المشفر عن طريق جولات S-box وللحصول على النص الأصلي، يُستخدم صندوق S العكسي بنفس المفتاح لفك التشفير .

يتم تحقيق مزايا أداء خوارزميات تشفير الكتلة خفيفة الوزن باستخدام خيارات التصميم خفيفة الوزن التالية: حجم كتل أصغر، طول مفاتيح أقصر، عدد جولات (Rounds) أقل للتشفير، مجدول للمفاتيح (Key Schedules) أبسط، يلزم حد أدنى من الموارد لتنفيذها (Minimal implementations).

2.4- خوارزمية تشفير التدفق خفيفة الوزن

من المكونات الهامة لخوارزمية تشفير التدفق هي المولد (generator) الذي يُنتج سلسلة من الأرقام التي تبدو عشوائية (أرقام عشوائية زائفة) من طول الرسالة الأصلية ويصعب اكتشافها مما يساعد في تشفير الرسالة بشكل آمن [11].

وأحد المولدات ذات الصلة بالتشفير هو سجل تحولات التغذية الراجعة LFSR، الذي يُشار فيه للقيمة الأولية "Seed" وهي المفتاح السري، ونظراً لوجود عدد محدود من الحالات الممكنة في السجل، فإنه يكرر دورته، ومع تابع التغذية العكسية، يمكن أن تنتج سلسلة من البتات التي تظهر عشوائياً [12].

لزيادة التعقيد في تشفير التدفق يتم استخدام مزيج لاخطي من بتات مختلفة من حالات LFSR تسمى سجل تحولات التغذية الراجعة غير الخطية Nonlinear Feedback Shift Register تُستخدم في هذه التطبيقات لأنها أكثر عرقلة لهجمات التشفير من LFSR.

يعتمد أمان هذا التشفير بشكل كبير على عشوائية مولد بتات مفتاح التدفق (Stream Cipher) وحقيقة أنه لا ينبغي استخدام نفس المفتاح مرة أخرى، وتعتبر فعالة وواحدة بالنسبة لبيئة إنترنت الأشياء المحدودة الموارد [13].

على الرغم من أن تحليل التشفير وهجوم التشفير يهدفان إلى كسر خوارزمية التشفير واكتشاف انتهاكاتهما ونقاط ضعفها؛ إلا أنّ الغرض من تحليل التشفير يتمثل في

الوصول إلى المعلومات السرية والحساسة لتصحيح أمان الخوارزمية وتعزيزه من خلال فهم أنظمة التشفير بشكل أفضل ويساعد على تحسين النظام من خلال العثور على أي نقطة ضعف وبالتالي العمل على الخوارزمية لإنشاء رمز سري أكثر أماناً.

ولتحديد نقاط الضعف في نظام التشفير لا بدّ من مهاجمة النظام بهجمات التشفير، تعتمد هذه الهجمات على طبيعة الخوارزمية وعلى معرفة الخصائص العامة للنص الأصلي.

5- الدوال المنطقية Boolean Functions

تلعب الدوال المنطقية وصناديق S دوراً مهماً في خوارزميات تشفير الكتلة وتشفير التدفق باعتبارها العناصر غير الخطية الوحيدة ويمكن أن تضعف أمان الخوارزمية بأكملها إذا تم اختيارها بشكل سيئ. ولتقييم جودة تلك العناصر غير الخطية، تم ابتكار خصائص تشفير كبيرة على مر السنين.

تستخدم الدوال المنطقية عندما يكون ناتج اللبنة أحادية البعد، وتستخدم صناديق S في الحالات التي يكون فيها الناتج متعدد الأبعاد.

تُشكّل الدوال المنطقية لبنات البناء الأساسية لخوارزميات التشفير المتماثلة.

لإنتاج أنظمة تشفير أكثر أماناً، يتم استخدام دوال منطقية في إنتاج مفاتيح التشفير وبالتالي، تعتمد أنظمة التشفير بشدة على اختيار الدالة المنطقية لأن تعقيد العلاقة بين النص الصريح والنص المشفر بالكامل يعتمد على دالة منطقية.

يتم الحصول على جزء من النص المشفر من جزء صغير من النص العادي عن طريق إضافة مفتاح (ناتج الدالة المنطقية).

يمكن للدوال المنطقية أن توفر بسهولة الارتباك والانتشار، حيث تستخدم في تصميم صناديق الاستبدال في تشفير الكتلة والمرشحات والمجمعات غير الخطية لتوليد مفتاح التدفق في تشفير التدفق. [14]

إنّ دراسة هذه الدوال مهمة بسبب الاتصال القوي بين هجمات التشفير من ناحية وخصائص التشفير للكتل البنائية من ناحية أخرى، حيث يمكن التعبير عن الحماية

ضد فئة معينة من الهجمات من خلال وجود خاصية معينة للدالة المنطقية أو لل S-box مما ينتج عنه قدر من الأمان ضد تلك الفئة من الهجمات.

تصف الدوال المنطقية كيفية تحديد قيم المخرجات المنطقية باستخدام الحسابات المنطقية، حيث تنطوي هذه المخرجات على احتمالين رئيسيين صحيح (1/on) ، خاطئ (0/off) .

يُعدّ صندوق الاستبدال مكوناً حيوياً للتشفير المتماثل، حيث يشير اسمه إلى أنه يقوم بالاستبدال.

في الأساس، يأخذ عدداً من البتات كمدخل ويحولها إلى عدد من البتات كخرج. يمكن أن يكون رقم الإدخال مساوياً للخروج ويمكن ألا يكون، فهو يعتمد على S-box.

إنّ خصائص صناديق الاستبدال يتم فحصها أو اختبارها باستخدام معايير اختبار صناديق الاستبدال الخاصة.

6- الدراسات السابقة

قدمت أدبيات الدراسات السابقة العديد من الطرائق لدراسة أمان خوارزميات التشفير خفيفة الوزن الملائمة لبيئة انترنت الأشياء المقيدة الموارد.

قدم الباحثون في [15] تنفيذ شفرات الكتلة خفيفة الوزن على المعالج الدقيق Atmega128 وتم تقييم نتائج منظورات الطاقة والذاكرة. وتبين نتائج التقييم أن شفرة SPECK كانت أفضل قيمة لمنظور الطاقة وهي مناسبة لشبكات الاستشعار اللاسلكية ذات المتطلبات الرئيسية للطاقة. إذا كان المقياس هو استخدام الذاكرة، فإن TWINE هو أنسب الشفرات خفيفة الوزن المنفذة على المعالج الدقيق Atmega128. تحتل شفرة SPECK المرتبة الثالثة في منظور استهلاك الذاكرة. في الجانب الآخر، TWINE هو في المرتبة الثانية من منظور الطاقة.

وفي [16] قدم الباحثون دراسة الفوائد المحتملة لخوارزميات التشفير خفيفة الوزن مقارنة بفوائد تنفيذ الخوارزميات الكلاسيكية في الأجهزة.

يتم النظر في معيار التشفير المتقدم (AES) كمعيار و PRESENT و GIFT المنشور مؤخراً جنباً إلى جنب مع العديد من إصدارات الأجهزة المحسنة لكل واحدة. تتم مقارنة المستويات الأمنية المنخفضة والعالية بطول 80 و 128 بت على التوالي. يتم تنفيذها جميعاً على Xilinx Kintex-7 FPGA، لتقييم أدائهم.

تظهر النتائج الفوائد المتوقعة من حيث الإنتاجية والمساحة، والتي تسمح باختيار أفضل شفرات التشفير خفيفة الوزن اعتماداً على الجهاز أو التطبيق المستهدف. بالإضافة إلى ذلك، يتم إجراء تحليل طاقة الارتباط على كل شفرة لتقدير مقاومتها ضد تحليل القنوات الجانبية.

وفي [17] قدم الباحثون في دراستهم تحليلاً مفصلاً للحلول الأمنية الحالية لإنترنت الأشياء.

أولاً، تتم مقارنة خوارزميات التشفير خفيفة الوزن على أساس حجم الكتلة وحجم المفتاح وعدد الجولات والهجمات المحتملة. في وقت لاحق، تتم مناقشة مختلف القضايا الأمنية في إنترنت الأشياء جنباً إلى جنب مع الحل المحتمل، ستعمل الحلول الأمنية في إنترنت الأشياء على تحسين الثقة بشأن إنترنت الأشياء.

من المرغوب فيه إيجاد حل آمن يتطلب قوة حسابية أقل وأقل عرضة للهجمات الحالية.

في الدراسة [18]، قام الباحثون بتحليل مختلف الحلول الأمنية خفيفة الوزن وتهديداتها الأمنية بموجب المصادقة وسلامة البيانات لتطبيقات إنترنت الأشياء. من الدراسة، يمكن ملاحظة أن الشاغل الأمني الرئيسي لهذه البروتوكولات هو الأداء بحساب أقل ومقاومة هجمات مثل هجمات Man-in-the-Middle، وهجمات Replay Attacks، وهجمات Deny of Services، والتزوير، وهجمات النص المشفر المختارة Chosen Cipher text Attack أيضاً، توفر هذه المراجعة نظرة ثاقبة لاستخدام أداة نمذجة التهديد من Microsoft المستخدمة في التطبيقات القائمة على إنترنت الأشياء.

كما تطرقت العديد من الدراسات إلى دراسة الدوال المنطقية لخوارزميات تشفير التدفق وصناديق الاستبدال لخوارزميات تشفير الكتلة دراسات نظرية كاملة، وقمنا في هذا

البحث بدراسة نظرية وعملية تم تطبيقها على أحد البرامج الرياضية القائمة على لغة بايثون ومقارنة النتائج العملية من ناحية المقاومة ضد الهجمات التشفير المعروفة.

7- مواد وطرائق البحث:

1.7- الحزم والمكتبات المستخدمة (Used Packages and Libraries)

تم استخدام برنامج Sage في إجراء البحث وهو برنامج رياضي مفتوح المصدر مجاني. [19]

يوجد في Sage وحدة تسمى Boolean Functions تسمح بدراسة خصائص التشفير للوظائف المنطقية.

يمكن لهذه الأداة تقييم معظم الخصائص التشفيرية المرتبطة بالخصائص الخطية والتفاضلية للوظائف البوليانية .

كما يوجد في Sage وحدة تسمى Sbox تسمح بالمعالجة الجبرية لصناديق الاستبدال تحتوي هذه الوحدة على العديد من الخيارات.

2.7-مقاييس الأداء

من أجل مقاومة هجمات التشفير الحديثة، هناك حاجة إلى دوال منطقية غير خطية للغاية مع معايير انتشار جيدة وبنية خطية أقل. حيث إنّ مقاومة خوارزميات التشفير لهجمات التشفير من الممكن أن يتم تحديدها كمياً من خلال بعض الخصائص الأساسية (المرتبطة بالارتباك والانتشار) لدوالها المنطقية.

في الواقع، يمكن استغلال بعض خصائص الدوال المنطقية للوصول إلى محتويات الرسائل المشفرة، حتى لو كان المفتاح غير معروف، لذلك يجب أن يكون لتلك الدوال بعض الخصائص الأساسية (المتعلقة بالارتباك والانتشار) التي تسمى معايير الأمان لمقاومة عدة أنواع من الهجمات. [20]

لا يمكن أن تكون جميع هذه الخصائص مثالية في الوقت نفسه، وبالتالي يجب مراعاة المقايضات فيما بينها.

3.7- خصائص الدوال المنطقية المستخدمة في تشفير التدفق خفيف الوزن

• الدرجة الجبرية (The algebraic degree):

يجب أن تملك الدوال المنطقية ذات n -متغير درجات جبرية عالية وإلا فإنها أكثر عرضة للهجمات الجبرية [21].

الهجوم الجبري عبارة عن تقنية لتحليل الشفرات تحاول كسر الشفرات من خلال التعبير عنها كنظام من المعادلات، باستخدام بعض البيانات المعروفة وحلها في النهاية لاكتشاف المفتاح.

درجة الدالة هي عدد المتغيرات المستخدمة لأكبر حاصل ضرب للتعبير الجبري للدالة. على سبيل المثال، الدالة المنطقية: $f(x) = x_0 * x_1 * x_2 + x_0 + x_4 * x_2$ لها الدرجة (3)، في حين أن الدالة: $g(x) = x_0 + 1$ لها الدرجة (1) وهي دالة خطية.

• التوازن (Balancedness):

تسمح خاصية التوازن بتجنب تسرب معلومات إحصائية عن النص الأصلي عندما يكون النص المشفر معروفاً والتي يمكن استخدامها في بعض أنواع هجمات التشفير [22].

يجب أن تكون الوظائف البوليانية متوازنة، أي أنه بالنسبة لسلسلة مدخلات منتظمة من البتات العشوائية، فإن احتمال الحصول على كل من 1 و 0 هو $1/2$.

• اللاخطية (Nonlinearity):

تقلل هذه الخاصية من تأثير هجمات التحليل الخطي. اللاخطية تساوي الحد الأدنى لعدد مخرجات جدول الحقيقة التي إذا تم تعديلها تتحول الدالة إلى دالة خطية [22].

يسمى هذا العدد من المخرجات المختلفة في جدول الحقيقة أيضاً بمسافة هامينج (Hamming Distance)، فاللاخطية تساوي أصغر مسافة بين الدالة التي يتم فحصها وأقرب دالة خطية.

يجب أن تتمتع دوال التشفير المنطقية بدرجة عالية من اللاخطية، من أجل توفير مقاومة ضد هجمات تحليلية محددة لحساب قيمة هذه الخاصية، يجب مقارنة الدالة المنطقية مع جميع الدوال الخطية الممكنة التي لها نفس عدد المتغيرات والتحقق من الدالة الخطية بأقل مسافة Hamming.

كلما زادت اللاخطية للدالة المنطقية زادت مقاومتها للهجمات الخطية

• مناعة الارتباط (Correlation immunity):

تحقق الدالة المنطقية هذه الخاصية إذا لم يكن للمخرجات علاقة وغير مرتبطة ببعض المجموعات الفرعية من مدخلاتها، تتميز الدالة المنطقية بمناعة الارتباط إذا كانت كل مجموعة فرعية من المتغيرات في مدخلاتها مستقلة إحصائياً عن قيم المخرجات. [23]

إذا تم استخدام دالة ذات مناعة ارتباط منخفضة في خوارزمية التشفير، فإن هذه الخوارزمية تكون عرضة لما يسمى بهجوم الارتباط.

• المناعة الجبرية (Algebraic Immunity):

تقيس هذه الخاصية متانة الدالة المنطقية أو الشفرة باستخدام الدالة، ضد ما يسمى بالهجمات الجبرية. [24]

الحصانة الجبرية تساوي الحد الأدنى لدرجة الدالة التي تحقق هذه الخاصية.

تحتاج الدوال المنطقية إلى مناعة جبرية عالية، حتى لا تكون عرضة للهجمات الجبرية. الحد الأقصى للقيمة التي يمكن أن تمتلكها المناعة الجبرية هو $n/2$ ، حيث n هو عدد المتغيرات في الدالة.

في حالة أن n رقم فردي، يتم تقريب قيمة الخاصية إلى أقرب رقم صحيح. من أجل اعتبار أن للدالة المنطقية مناعة جبرية، يجب أن تكون قيمة المناعة الجبرية مساوية أو قريبة جداً من $n/2$.

4.7 - خصائص صناديق الاستبدال في تشفير الكتلة خفيف الوزن

يعتمد أمان تشفير الكتلة بشكل أساسي على خصائص S-box (دالة منطقية متعددة المخرجات)، وهو أحد المكونات الأساسية لإحداث الارتباك والخصائص غير الخطية في التشفير.

التصميم السليم للصندوق يمكن أن يؤدي إلى زيادة درجة أمان الخوارزميات وأحد الجوانب البالغة الخطورة في تقييم الأمان.

أهم هجوميين لتحليل التشفير على تشفير الكتلة هما الهجوم الخطي Linear cryptanalysis والهجوم التفاضلي Differential cryptanalysis [25].

يجب أن يستوفي تصميم S-Box هذه المعايير من أجل جعل نظام التشفير آمناً ضد الهجمات المحتملة، خاصة من التحليل الخطي والتفاضلي لتعتبر S-Box مثالية :

• الدرجة الجبرية (The algebraic degree):

تتعلق هذه الدوال بمفاهيم الدرجة الجبرية لصندوق S-Box بينما يعرفها البعض بأنها الدرجة القصوى للدوال المكونة لـ S-Box، وتجادل تعاريف أخرى بأنه بما أن الهجوم الجبري أكثر جدوى مع دوال منخفضة الدرجة، فينبغي تعريف درجة صندوق S على أنها الدرجة الدنيا من الدوال المكونة له.

• اللاخطية (Nonlinearity):

عدم خطية S-Box هو الحد الأدنى من عدم الخطية لجميع الدوال المكونة له، توفر اللاخطية التي يوفرها S-Box دفاعاً ضد تحليل التشفير الخطي. تسمح صناديق S ذات اللاخطية العالية بمقاومة عالية ضد التحليل الخطي للتشفير.

حتى يتمتع صندوق الاستبدال بمقاومة جيدة ضد التحليل التشفيري الخطي يجب أن تكون اللاخطية له قريبة من: [26]

$$\mathcal{N}_f \leq 2^{n-1} - 2^{\frac{n}{2}-1}$$

• التوازن (Balanced):

تسمح خاصية التوازن بتجنب تسرب معلومات إحصائية عن النص الأصلي عندما يكون النص المشفر معروفاً والتي يمكن استخدامها في بعض أنواع هجمات التشفير لكي يكون صندوق S متوازناً، يجب أن يحتوي على نفس العدد من الأصفار والواحدات.

• الدرجة الجبرية (Algebraic Degree):

يجب أن تملك الدوال المنطقية ذات n -متغير درجات جبرية عالية وإلا فإنها أكثر عرضة للهجمات الجبرية. الهجوم الجبري عبارة عن تقنية لتحليل الخوارزميات تحاول كسر الخوارزمية من خلال التعبير عنها كنظام من المعادلات باستخدام بعض البيانات المعروفة وحلها في النهاية لاكتشاف المفتاح. تحبط صناديق S ذات الدرجة الجبرية العالية الهجمات الجبرية.

• التوحيد التفاضلي (Differential Uniformity):

تتعلق هذه الخاصية بالهجوم التفاضلي، للحصول على انطباع حول ما إذا كانت الخوارزميات القائمة على S-box تقاوم الهجمات التفاضلية، يتم تقدير أقصى احتمال تفاضلي متوقع. [25]

التحليل التفاضلي (Differential analysis) هو واحد من أكثر طرق الهجوم فعالية في شفرات الكتلة، يشير إلى مجموعة من التقنيات لتتبع الاختلافات في الرسالة الأصلية (النص العادي) والاختلافات في النص المشفر، واكتشاف المكان الذي يظهر فيه

التشفير سلوكاً غير عشوائياً، واستغلال هذه الخصائص لاستعادة المفتاح السري (مفتاح التشفير).

لتحدي التحليل التشفيري التفاضلي، هناك حاجة إلى قيمة صغيرة من التوحيد التفاضلي حيث يتم تقدير أقصى احتمال تفاضلي متوقع. وقيمته دائماً زوجية أي أكبر أو تساوي 2

$$\text{differential uniformity} \geq 2^{n-m+1}$$

• احتمال التقريب الخطي (Linear Approximation Probability):

تضمن القيمة الصغيرة للتقريب الخطي بين 0 و 1 أن صناديق S المقترحة لديها القدرة على مواجهة التحليل التشفيري الخطي.

8- الخوارزميات المستخدمة للدراسة

تم تقييم العديد من خوارزميات التشفير خفيفة الوزن فيما يتعلق بأمنها. وبشكل أكثر تحديداً، تم تحليل بعض الخوارزميات المضمنة في الإصدار الموحد لخوارزميات التشفير خفيفة الوزن التابعة للمعهد الوطني للمعايير والتكنولوجيا (NIST) للتشفير خفيف الوزن [27]، وذلك للعثور على الدوال المنطقية المستخدمة في التشفير وتقدير مستوى الأمان من خلال خصائصها.

تم اكتشاف دوال منطقية في اثنين من خوارزميات NIST من نوع تشفير التدفق و دراسة صناديق الاستبدال في تشفير الكتلة منها والمقارنة بينها:

1.8- خوارزمية Grain-128 AEAD:

تستند عائلة Grain من Stream Cipher إلى فكرة سجل الإزاحة المتردة الخطي LFSR.

تتألف خوارزمية Grain-128 AEAD من مكونين رئيسيين هما:

➤ الأول هو مولد ما قبل الإخراج (pre-output generator)، الذي تم إنشاؤه باستخدام سجل التغذية الراجعة الخطي (LFSR)، وسجل للتغذية الراجعة اللاخطي (NLFSR) ودالة ما قبل الإخراج (pre-output function).

➤ الثاني هو مولد التحقق (authenticator generator)، والذي يتكون من سجل إزاحة (shift register) ومراكم (an accumulator)

التصميم مشابه جداً ل Grain-128a، ولكن تم تعديله للسماح بتوثيق أكبر ودعم التشفير الموثق مع البيانات المرتبطة (AEAD) وتم تحديث أساليب الاستخدام. يولد مولد ما قبل الإخراج تدفقاً من البتات العشوائية الزائفة، والتي تستخدم للتشفير وعلامة المصادقة. [28]

▪ يتم تعريف الدالة المنطقية على أنها: [28]

$$h(\mathbf{x}) = x_0 * x_1 \oplus x_2 * x_3 \oplus x_4 * x_5 \oplus x_6 * x_7 \oplus x_0 * x_4 * x_8$$

2.8- خوارزمية TinyJAMBU:

هي خوارزمية تشفير خفيفة الوزن جاءت من عائلة Jambu، والتي شاركت في مسابقة CAESAR وكانت أصغر خوارزمية تشفير موثوقة في هذه المسابقة [23]. تم اختيارها للجولة الثالثة من CAESAR وتم عرضها في ورشة عمل NIST للتشفير خفيف الوزن في عام 2015. [29]

تعتمد TinyJAMBU على تبديل المفتاح (keyed permutation) مبني على NLFSR من 128 بت، يدعم تبديل المفاتيح ثلاثة أحجام رئيسية محتملة: 128 بت، 192 بت، 256 بت.

▪ يتم تعريف الدالة المنطقية على أنها: [30]

$$f(\mathbf{x}) = x_0 + x_{47} + (x^{70} * x^{85} + 1) + x_{91}$$

3.8- خوارزمية SKINNY-AEAD:

هي إحدى خوارزميات تشفير الكتلة خفيفة الوزن، تم اقتراحها في مؤتمر Crypto في عام 2016، المؤتمر الدولي السادس والثلاثين لعلم التشفير، الذي عقد في جامعة كاليفورنيا، سانتا باربرا UCSB. [31]

وهي شبكات تبديل الاستبدال (SPN) Substitution Permutation Network، صندوق الاستبدال المستخدم في الخوارزمية مؤلف من 8 بت وهذا يعني أن الأمر يتطلب مدخلات 8-بت وينتج خرجاً بنفس الطول. وهي من خوارزميات الجولة الثانية من عملية التوحيد القياسي الذي يجريها المعهد الوطني للعلوم والتكنولوجيا NIST.

4.8- خوارزمية ASCON:

هي أحد التصميمات للتشفير الموثق مع البيانات المرتبطة (AEAD)، تم اختيارها للتطبيقات خفيفة الوزن في مسابقة CAESAR وقد تأهلت للجولة الثانية. هي من خوارزميات الجولة الأخيرة في عملية التوحيد القياسي لخوارزميات التشفير خفيف الوزن المقامة من قبل NIST [32].

وهي شبكات تبديل الاستبدال (SPN) Substitution Permutation Network، صندوق الاستبدال المستخدم في الخوارزمية مؤلف من 5 بت وهذا يعني أن الأمر يتطلب مدخلات 5-بت وينتج خرجاً بنفس الطول.

9- التطبيق العملي

1.9- تقييم خصائص الدالة المنطقية لخوارزمية Grain-128AEAD:

Sage هو برنامج قائم على لغة بايثون، سيتم استيراد الوحدة المطلوبة أولاً، هناك وحدة تسمى التشفير Crypto، وهي متخصصة في وظيفة التشفير وداخل التشفير هناك دوال مرتبطة صراحة بالدوال المنطقية [33]. لذا، فإن الأمر التالي سيستورد الوحدة والدالة اللازمتين:

```
From sage.crypto.boolean_function import BooleanFunction
```

ثم يجب تحديد المتغيرات التي سيتم استخدامها. بشكل عام، يمكن بناء دالة منطقية في Sage بعدة طرق، مثل جدول الحقيقة السداسي عشري، أو قائمة ثنائية هي جدول الحقيقة للنتيجة (يجب أن يكون طولها قوة 2)، كثير حدود منطقي، إلخ.

1.1.9 - المناقشة والنتائج

المناقشة	النتائج	خصائص الدالة المنطقية
من جدول الحقيقة الذي تم استخراجها من خلال SageMath نرى أنّ عدد المخرجات ($2^9 = 512$)، 272 منهم 0 والباقي 240 هي 1. احتمال الحصول على 0 هو 0.53125 واحتمال الحصول على 1 هو 0.4687 والتي تعتبر متوازنة ولكن ليس متوازناً تماماً لتلبية هذه الخاصية وتعتبر عرضة لهجمات التحليل الإحصائي.	False	خاصية التوازن Balancedness
يعني أن هذه الدالة ليست محصنة ضد هجمات الارتباط.	0	خاصية مناعة الارتباط Correlation Immunity
النتائج هنا هو 240 وهذا يعني أنه إذا تم تعديل 240 مخرج من أصل 512 في جدول الحقيقة تتحول الدالة المنطقية الى خطية وهذا عدد مرتفع جداً أي تمتلك الدالة مناعة ضد الهجمات الخطية.	240	خاصية اللاخطية Nonlinearity
إن الحد الأقصى الممكن للمناعة الجبرية التي يمكن أن تحققها هو $n/2 = 9/2 = 4.5$ ويساوي 5. الناتج هو 3، تعتبر قيمة 3 منخفضة ويمكن أن تكون الدالة عرضة للهجمات الجبرية.	3	خاصية المناعة الجبرية Algebraic Immunity

الجدول رقم (1) النتائج ومناقشتها لخوارزمية Grain-AEAD

2.9- تقييم خصائص الدالة المنطقية لخوارزمية TinyJambu:

تمت دراسة نفس خصائص الدالة المنطقية للخوارزمية السابقة بعد إدخال وتعريف الدالة المنطقية بشكل كثير حدود منطقي واستخراج الخصائص التالية: الدرجة الجبرية، التوازن، مناعة الارتباط، اللاخطية، المناعة الجبرية ويوضح الشكل التالي التنفيذ على

برنامج SageMath:

```
sage: from sage.crypto.boolean_function import BooleanFunction
sage: B.<X0,X47,X70,X85,X91> = BooleanPolynomialRing()
sage: f = BooleanFunction(X0-X47-X70-X85+1*X91)
sage: f algebraic_degree()
2
sage: f is_balanced()
True
sage: f correlation_immunity()
2
sage: f nonlinearity()
8
sage: f algebraic_immunity()
2
sage: print(f.truth_table(format='int'))
(1, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1)
```

الشكل رقم (2) خصائص الدالة المنطقية لخوارزمية TinyJambu

1.2.9 - المناقشة والنتائج:

المناقشة	النتائج	خصائص الدالة المنطقية
الدالة متوازنة تماماً حيث عدد مخرجها 2^5 بت 32 بت نصفها أصفار والباقي واحداث أي أن الدالة لديها مقاومة لهجمات التحليل الإحصائي.	True	خاصية التوازن Balancedness
مناعة الارتباط من أجل هذه الدالة هي 2 وبالتعاون مع توازن الدالة يجعلها محصنة ضد هجمات الارتباط..	2	خاصية مناعة الارتباط Correlation Immunity
المناقشة	النتائج	خصائص الدالة المنطقية
النتيجة هي 8 يعني أنه إذا تم تغيير 8 مخرجات في جدول الحقيقة تصبح الدالة المنطقية خطية وهي في الواقع عرضة للهجمات الخطية.	8	خاصية اللاخطية Nonlinearity
النتيجة هي 2 وبما أن عدد المتغيرات في هذه الدالة هو 5، فإن الحد الأقصى الممكن للمناعة الجبرية التي يمكن أن تحققها هو $n/2 = 5/2 = 2.5$ ويساوي 3. قيمة الإخراج ليس مساوية ولكنها قريبة من هذه القيمة أي ليست مقاومة تماماً للهجمات الجبرية.	2	خاصية المناعة الجبرية Algebraic immunity

الجدول رقم (2) النتائج ومناقشتها لخوارزمية TinyJambu

إذاً مما سبق نجد أنه لمقاومة كل نوع من أنواع الهجمات المعروفة على التشفير يجب أن تفي الدالة المنطقية للتشفير بخاصية معينة وعليه يكون مايلي:

الهجمات	الخصائص المطلوبة
التحليل الإحصائي Statistical Analysis	التوازن Balance
الهجمات الخطية Linear Attack	اللاخطية Nonlinearity
هجمات الارتباط Correlation Attack	مناعة الارتباط Correlation immunity
الهجمات الجبرية Algebraic Attack	المناعة الجبرية Algebraic immunity

▪ بالمقارنة بين الخوارزميتين السابقتين من نوع Stream Cipher نجد أن:

الخوارزمية/الخاصية	التوازن/مقاومة هجمات التحليل الإحصائي/	اللاخطية/مقاومة الهجمات الخطية/	المناعة الجبرية/مقاومة الهجمات الجبرية/	مناعة الارتباط/مقاومة هجمات الارتباط/
Grain-128 AEAD	x	✓	x	x
Tiny-jambu	✓	x	x	✓

3.9- تقييم خصائص صندوق الاستبدال لخوارزمية SKINNY-AEAD:

كما ذكرنا أهم هجوميين لتحليل التشفير على تشفير الكتلة هما الهجوم الخطي Linear Cryptanalysis والهجوم التفاضلي Differential Cryptanalysis.

مقاومة الخصائص التشفيرية لكل من هذه الهجمات هي عدم الخطية Nonlinearity والتوحيد التفاضلي Differential Uniformity.

بالإضافة إلى هاتين الخاصيتين هناك خصائص تشفيرية أخرى، والتي تلعب أيضاً دوراً رئيسياً في أمان شفرات الكتلة.

سيتم استيراد الوحدة المطلوبة أولاً، تسمى التشفير **Crypto**، وهي متخصصة في وظيفة التشفير وداخل التشفير هناك دوال مرتبطة صراحة بصناديق الاستبدال لذا، فإن الأمر التالي سيستورد الوحدة والدالة اللازمتين:

```
From sage.crypto.sbox import SBox
```

بعد ذلك يتم تعريف صندوق الاستبدال الخاص بالخوارزمية المراد دراستها بشكل جدول حقيقة سداسي عشر وبعدها تمت دلراسة الخصائص كما مبين في الشكل التالي:

```
sage: from sage.crypto.sbox import SBox
..... 0x32, 0x88, 0x3c, 0x85, 0x8d, 0x34, 0x84, 0x3d, 0x91, 0x22, 0x9c, 0x2c, 0x
..... 94, 0x24, 0x9d, 0x2d, ,
..... 0x62, 0x4a, 0x6c, 0x45, 0x4d, 0x64, 0x44, 0x6d, 0x52, 0x72, 0x5c, 0x7c, 0x
..... 54, 0x74, 0x5d, 0x7d, ,
..... 0xa1, 0x1a, 0xac, 0x15, 0x1d, 0xa4, 0x14, 0xad, 0x02, 0xb1, 0x0c, 0xbc, 0x
..... 04, 0xb4, 0x0d, 0xbd, ,
..... 0xe1, 0xc8, 0xec, 0xc5, 0xcd, 0xe4, 0xc4, 0xed, 0xd1, 0xf1, 0xdc, 0xfc, 0x
..... d4, 0xf4, 0xdd, 0xfd, ,
..... 0x36, 0x8e, 0x38, 0x82, 0x8b, 0x30, 0x83, 0x39, 0x96, 0x26, 0x9a, 0x28, 0x
..... 93, 0x20, 0x9b, 0x29, ,
..... 0x66, 0x4e, 0x68, 0x41, 0x49, 0x60, 0x40, 0x69, 0x56, 0x76, 0x58, 0x78, 0x
..... 50, 0x70, 0x59, 0x79, ,
..... 0xa6, 0x1e, 0xaa, 0x11, 0x19, 0xa3, 0x10, 0xab, 0x06, 0xb6, 0x08, 0xba, 0x
..... 00, 0xb3, 0x09, 0xbb, ,
..... 0xe6, 0xce, 0xea, 0xc2, 0xcb, 0xe3, 0xc3, 0xeb, 0xd6, 0xf6, 0xda, 0xfa, 0x
..... d3, 0xf3, 0xdb, 0xfb, ,
..... 0x31, 0x8a, 0x3e, 0x86, 0x8f, 0x37, 0x87, 0x3f, 0x92, 0x21, 0x9e, 0x2e, 0x
..... 97, 0x27, 0x9f, 0x2f, ,
..... 0x61, 0x48, 0x6e, 0x46, 0x4f, 0x67, 0x47, 0x6f, 0x51, 0x71, 0x5e, 0x7e, 0x
..... 57, 0x77, 0x5f, 0x7f, ,
..... 0xa2, 0x18, 0xae, 0x16, 0x1f, 0xa7, 0x17, 0xaf, 0x01, 0xb2, 0x0e, 0xbe, 0x
..... 07, 0xb7, 0x0f, 0xbf, ,
..... 0xe2, 0xca, 0xee, 0xc6, 0xcf, 0xe7, 0xc7, 0xef, 0xd2, 0xf2, 0xde, 0xfe, 0x
..... d7, 0xf7, 0xdf, 0xff); S
(101, 76, 106, 66, 75, 99, 67, 107, 85, 117, 90, 122, 83, 115, 91, 123, 53, 140,
58, 129, 137, 51, 128, 59, 149, 37, 152, 42, 144, 35, 153, 43, 229, 204, 232, 1
93, 201, 224, 192, 233, 213, 245, 216, 248, 208, 240, 217, 249, 165, 28, 168, 18
, 27, 160, 19, 169, 5, 181, 10, 184, 3, 176, 11, 185, 50, 136, 60, 133, 141, 52,
132, 61, 145, 34, 156, 44, 148, 36, 157, 45, 98, 74, 108, 69, 77, 100, 68, 109,
82, 114, 92, 124, 84, 116, 93, 125, 161, 26, 172, 21, 29, 164, 20, 173, 2, 177,
12, 188, 4, 180, 13, 189, 225, 200, 236, 197, 205, 228, 196, 237, 209, 241, 220
, 252, 212, 244, 221, 253, 54, 142, 56, 130, 139, 48, 131, 57, 150, 38, 154, 40,
147, 32, 155, 41, 102, 78, 104, 65, 73, 96, 64, 105, 86, 118, 88, 120, 80, 112,
89, 121, 166, 30, 170, 17, 25, 163, 16, 171, 6, 182, 8, 186, 0, 179, 9, 187, 23
0, 206, 234, 194, 203, 227, 195, 235, 214, 246, 218, 250, 211, 243, 219, 251, 49
, 138, 62, 134, 143, 55, 135, 63, 146, 33, 158, 46, 151, 39, 159, 47, 97, 72, 11
0, 70, 79, 103, 71, 111, 81, 113, 94, 126, 87, 119, 95, 127, 162, 24, 174, 22, 3
1, 167, 23, 175, 1, 178, 14, 190, 7, 183, 15, 191, 226, 202, 238, 198, 207, 231,
199, 239, 210, 242, 222, 254, 215, 247, 223, 255)
sage: S.is_balanced()
True
sage: S.nonlinearity()
64
sage: S.max_degree()
6
sage: S.min_degree()
2
sage: S.differential_uniformity()
64
sage: S.maximal_linear_bias_relative()
0.25
sage: █
```

الشكل رقم (3) خصائص S-box لخوارزمية SKINNY-AEAD

1.3.9- المناقشة والنتائج:

المناقشة	النتائج	خصائص S-Box
اللاخطية هنا منخفضة مقارنة بالقيمة المثالية لها وهي 120 كون الصندوق مؤلف من 8 بت وهذا يعني أن الخوارزمية ليس لديها مقاومة جيدة ضد الهجمات الخطية	64	خاصية اللاخطية Nonlinearity
صندوق الاستبدال متوازن وهذا يمنع النظام من تسريب معلومات إحصائية عن المدخلات عندما تكون المخرجات معروفة.	True	خاصية التوازن Balanced
الدرجة الجبرية العليا للصندوق هي 6 وهي قيمة مرتفعة وخوارزمية SKINNY-AEAD مقاومة للهجوم الجبري.	Max = 6 Min = 2	خاصية الدرجة الجبرية Algebraic Degree
القيمة مرتفعة جداً مقارنة بالقيمة المثلى والتي تساوي 2 وهذا يعني أن الخوارزمية ضعيفة المقاومة ضد هجمات تحليل التشفير التفاضلي	64	خاصية التوحيد التفاضلي Differential Uniformity

الجدول رقم (3) النتائج ومناقشتها لخوارزمية SKINNY-AEAD

4.9- تقييم خصائص صندوق الاستبدال لخوارزمية ASCON:

تمت دراسة نفس الخصائص السابقة لصندوق الاستبدال في هذه الخوارزمية بعد تعريف صندوق الاستبدال في البرنامج بشكل جدول حقيقة سداسي عشر و دراسة خصائصه وفق الشكل التالي:

```
SageMath version 9.2, Release Date: 2020-10-24
Using Python 3.7.7. Type "help()" for help.

sage: from sage.crypto.sbox import SBox
sage: S = SBox (4 ,11 ,31 ,20 ,26 ,21 ,9 ,2 ,27 ,5 ,8 ,18 ,29 ,3 ,6 ,28,30 ,19,
----: 7 ,14 ,0 ,13 ,17 ,24 ,16 ,12 ,1 ,25 ,22 ,10 ,15 ,23);S
(4, 11, 31, 20, 26, 21, 9, 2, 27, 5, 8, 18, 29, 3, 6, 28, 30, 19, 7, 14, 0, 13,
17, 24, 16, 12, 1, 25, 22, 10, 15, 23)
sage: S.max_degree()
2
sage: S.differential_uniformity()
8
sage: S.nonlinearity()
8
sage: S.is_balanced()
True
sage: S.maximal_linear_bias_relative()
0.25
sage:
```

الشكل رقم (4) تنفيذ خوارزمية ASCON على برنامج SageMath

1.4.9 - المناقشة والنتائج:

المناقشة	النتائج	خصائص S-Box
اللاخطية هنا قريبة من القيمة المثالية لها وهي 12 كون الصندوق مؤلف من 5 بت وهذا يعني أن الخوارزمية لديها مقاومة جيدة ضد الهجمات الخطية	8	خاصية اللاخطية Nonlinearity
صندوق الاستبدال متوازن وهذا يمنع النظام من تسريب معلومات إحصائية عن المدخلات عندما تكون المخرجات معروفة.	True	خاصية التوازن Balanced
الدرجة الجبرية العليا للصندوق هي 2 وهي قيمة منخفضة وخوارزمية ASCON ليس لديها مقاومة للهجوم الجبري.	Max =2	خاصية الدرجة الجبرية Algebraic Degree
القيمة قريبة من القيمة المثلى والتي تساوي 2 وهذا يعني أن الخوارزمية لديها مقاومة ضد هجمات تحليل التشفير التفاضلي	8	خاصية الاحتمال التفاضلي Differential Uniformity
تضمن القيمة الصغيرة للتقريب الخطي بين 0 و 1 أن صناديق S المقترحة لديها القدرة على مواجهة هجمات التحليل الخطي	0.25	احتمال التقريب الخطي Linear Approximation Probability

إذاً مما سبق نجد أنه لمقاومة كل نوع من أنواع الهجمات المعروفة على التشفير يجب أن يفى صندوق الاستبدال بخاصية معينة وعليه يكون مايلي:

الهجمات	الخصائص المطلوبة
التحليل الإحصائي Statistical Analysis	التوازن Balancedness
الهجمات الخطية Linear Attack	اللاخطية Nonlinearity
الهجمات التفاضلية Differential Attack	الاحتمال التفاضلي الأقصى Differential Uniformity
الهجمات الجبرية Algebraic Attack	الدرجة الجبرية Algebraic Degree

■ بالمقارنة بين الخوارزميتين الأخيرتين من نوع Block Cipher نجد أنه:

الدرجة الجبرية / مقاومة الهجمات الجبرية	الاحتمال التفاضلي الأقصى / مقاومة الهجمات التفاضلية	اللاخطية / مقاومة هجمات التحليل الخطي	التوازن / مقاومة هجمات التحليل الإحصائي	الخوارزمية / الخصائص
✓	x	x	✓	SKINNY- AEAD
x	✓	✓	✓	ASCAN

مما سبق نجد أن خوارزمية ASCAN بشكل عام أفضل من خوارزمية SKINNY-AEAD بالرغم من أن الأخيرة تعاني من ضعف في مقاومة الهجمات الجبرية ، لذلك تم استبعاد خوارزمية SKINNY-AEAD من الجولة الثانية وتأهلت خوارزمية ASCAN للجولة الأخيرة.

10-الاستنتاجات:

□ استناداً إلى النتائج التي تم عرضها نلاحظ أن مستوى الأمان في خوارزميات التشفير خفيفة الوزن متعلق بالدوال المنطقية التي تستخدمها.

□ في البداية، ينبغي توضيح أنه من الصعب للغاية إيجاد دالة منطقية يمكن أن تحقق جميع خصائص التشفير وتكون محصنة ضد جميع هجمات التشفير. ومع ذلك، هذا ليس دائماً سلبياً ولا يعطي الخصم وسيلة لكسر النظام أو الخوارزمية في كل الأوقات. ويرجع ذلك إلى حقيقة أنه يمكن استخدام الدوال المنطقية في بعض أجزاء تنفيذ الخوارزمية التي ليس لها علاقة بتوليد المفاتيح. ونتيجة لذلك، حتى إذا تم اختراق الدالة المنطقية لخوارزمية التشفير، يكون من غير الممكن للمهاجم استخراج المفتاح السري أو النص العادي من النص المشفر.

□ على أي حال، يرجع ذلك إلى حقيقة أن بعض خصائص التشفير لا يتم الوفاء بها في العديد من الدوال المنطقية المستخدمة في خوارزميات التشفير خفيفة الوزن ، من المهم جداً زيادة التركيز على ما إذا كان يمكن استغلال هذا النقص في معايير التشفير بشكل فعال.

□ في تصميم أنظمة التشفير الجيدة حيث يتم استخدام دالة منطقية كلبنة بناء للتشفير، يجب ضمان الخصائص التالية:

1- ينبغي أن تحقق التوازن لمنع النظام من تسريب معلومات إحصائية عن المدخلات عندما تكون المخرجات معروفة.

2- يجب أن يكون لها درجة عالية من اللاخطية لمقاومة الهجمات الخطية.

3- ينبغي أن يفي بأقصى احتمال تفاضلي lower bound لمقاومة الهجمات التفاضلية.

4- ينبغي أن يكون لها مناعة ارتباط عالية لمقاومة هجمات الارتباط.

5- يجب أن يكون له درجة جبرية عالية لمواجهة الهجمات الجبرية، حيث يمكن حل نظام المعادلات منخفضة الدرجة الجبرية بسهولة.

11- المراجع:

- [1] K. K Patel, S. M Patel, "Internet of Things–IoT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges", May, 2016.
- [2] O. Vermesan, P. Friess, "Internet of Things –from research And innovation to market deployment", River publisher Series Communication, 2014.
- [3] Dan Mitchell, "Internet of Things (IoT) what it is and why it Matters", Statistical Analysis System Institute, https://www.sas.com/el_gr/insights/big-data/internet-of-things.html.
- [4] Vermesan, O., Friess, P., Guillemin, P., Gusmeroli, S., Sundmaeker, H., Bassi, A., & Doody, P. (2011). Internet of Things strategic research roadmap. Internet of Things–Global Technological and Societal Trends, 1(2011), 9–52.
- [5] D. E. Kouicem, A. Bouabdallah, and H. Lakhlef, "Internet of Things security: A top–down survey," Computer Networks, vol. 14, pp. 199–221, 2018.
- [6] O. Toshihiko, "Lightweight cryptography applicable to various IoT devices," NEC Tech. J., vol. 12, no. 1, pp. 67_71, 2017.
- [7] A. Biryukov and L. P. Perrin, "State of the art in lightweight Symmetric cryptography," Univ. Luxembourg Library, Esch–

sur-Alzette, Luxembourg, Tech. Rep. 10993/31319, 2017.

[8] Al-Fuqaha A, Guizani M, Mohammadi M, Aledhari M and Ayyash M 2015 Internet of things: a survey on enabling Technologies, protocols, and applications. IEEE Commun. Surv.Tutori 17(4): 2347–2376

[9] Barker, E., and Roginsky, A., Transitions: Recommendation for Transitioning the Use of Cryptographic Algorithms and Key Lengths, NIST Special Publication (SP) 800–131A Revision 1, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, November 2015,

<https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-131Ar1>

[10] Howard M. Heys, and Stafford E Tavares: The Design of Substitution–Permutation Networks Resistant to Differential And Linear Cryptanalysis, Conference: CCS '94, Proceedings Of the 2nd ACM Conference on Computer and Communications Security, Fairfax, Virginia, USA, November 1994.

[11] K. McKay, L. Bassham, M. S. Turan, and N. Mouha, Report On Lightweight Cryptography (Nistir8114). Gaithersburg, MD, USA: NIST, 2017.

[12] G. Hatzivasilis, K. Fysarakis, I. Papaefstathiou, and C. Manifavas, "A review of lightweight block ciphers," J.

Cryptograph. Eng., vol. 8, no. 2, pp. 141_184, 2018

[13] K. McKay, L. Bassham, M. Snmez Turan, N. Mouha Report On lightweight cryptography, 2016.

[14] Gireesh Pandey, "Cryptographic Characteristics of Boolean Functions", Defense Research and Development Organization, Oct 2012.

[15] Jaber Hosseinzadeh, Abbas Ghaemi Bafgh, Software Implementation and Evaluation of Lightweight Symmetric Block Ciphers of the Energy Perspectives and Memory, March–April 2017

[16] LOÏC DALMASSO, FLORENT BRUGUIER, PASCAL BENOIT, AND LIONEL TORRES, Evaluation of SPN–Based Lightweight Crypto–Ciphers, December 2018.

[17] Isha and Ashish Kr. Luhach, Analysis of Lightweight Cryptographic Solutions for Internet of Things, 2016.

[18] Vidya Rao, K. V. Prema, A review on lightweight Cryptography for Internet–of–Things based applications,2016.

[19] SageMath, SageMath, <http://www.sagemath.org>

[20] Shannon, Claude," Communication theory of secrecy Systems", 1949.

[21] Citizendium, "Algebraic attack", 25 Jun 2010,

http://en.citizendium.org/wiki/Algebraic_attack

[22] Du, Z.; Xu, Q.; Zhang, J.; Li, M. Design and Analysis of Dynamic S-Box based on Feistel. In Proceedings of the International Conference on Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control, Chongqing, China, 19–20 December 2015

[23] Thomas W. Cusick, "Correlation Immunity", Science Direct, 2017,

[https://www.sciencedirect.com/topics/mathematics/correlation-immunity.](https://www.sciencedirect.com/topics/mathematics/correlation-immunity)

[24] Du, Z.; Xu, Q.; Zhang, J.; Li, M. Design and Analysis of Dynamic S-Box based on Feistel. In Proceedings of the International Conference on Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control, Chongqing, China, 19–20 December 2015.

[25] Carlet, C., On Known and New Differentially Uniform Functions, in Proc. Australasian Conference on Information Security and Privacy, Melbourne, Australia, LNCS, Vol. 6812, 2011

[26] A. Braeken, "Cryptographic Properties of Boolean Functions And SBoxes," PhD thesis, Katholieke Universiteit Leuven, B.

Preneel (promotor), 209+16 pages, 2006.

[27] K. McKay, NIST Lightweight Cryptography Standardization: Next Steps, National Institute of Standards and Technology, 2019, NIST Lightweight Cryptography Workshop 2019 Selected Presentations. Available at <https://csrc.nist.gov/CSRC/media/Presentations/nist-Lightweight-cryptography-standardization>.

[28] Martin Hell, Thomas Johansson, Willi Meier, Jonathan Sonnerup, Hirotaka Yoshida, "Grain-128AEAD – A Lightweight AEAD stream cipher", Lund University FHNW, AIST, 2019.

[29] Cryptographic competitions CAESAR submissions, 2019 (last Accessed July 2020), Available at <https://competitions.cr.yp.to/caesar-submissions.html>.

[30] Hongjun Wu and Tao Huang, "TinyJAMBU: A Family of Lightweight Authenticated Encryption Algorithms", Division of Mathematical Sciences Nanyang Technological University, 27 Sep 2019.

[31] Christof Beierle, Jeremy Jean, Stefan Kolbl, Gregor Leander, Amir Moradi, Thomas Peyrin, Yu Sasaki, Pascal Sasdrich, And Siang Meng Sim, "Skinny-AEAD and Skinny-Hash",

University of Luxembourg, ANSSI, Cybercrypt A/S, Ruhr Bochum University, Nanyang Technological University, Singapore, NTT Secure Platform Laboratories, Rambus Cryptography, 2019.

[32] [Lightweight Cryptography | CSRC \(nist.gov\)](#)

[33] Rusydi H. Makarim and Yann Laigle Chapuy, “Boolean Functions”, SageMath, 13 Oct 2016,

http://doc.sagemath.org/html/en/reference/cryptography/sage/cryptography/boolean_function.html.

دراسة مرجعية في افاق تحسين قابلية لحام الألمنيوم AA7075 باستخدام المواد النانوية

طالبة دكتوراه: م. ولاء احمد الحسين

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة البعث

اشراف: د. عباد كاسوحة، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة البعث

اشراف: د. احمد رصيص، المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، مدير مركز

تقانات اللحام

الملخص

تتميز سبائك الألمنيوم AA7075 بالكثافة المنخفضة والمتانة العالية وبسبب هذه المزايا تستخدم بشكل واسع في مواد بناء صناعات الطيران. لكن بالرغم من مجالات استخدامها الواسع الا ان قابليتها للحام صعبة، بسبب التشققات التي تحصل في الوصلات وبالتالي كفاءتها الضعيفة مقارنة بكفاءة الوصلات الأخرى الملحومة. وفي السنوات الأخيرة كان هناك توجه نحو ادخال المواد النانوية في معدن الملء من اجل الحصول على وصلات لحام خالية من التشققات وذلك بسبب المزايا التي توفرها المواد النانوية لوصلة اللحام. في هذا البحث سيتم تسليط الضوء على أهم دراسات لحام الانصهار لهذه السبائك ومن ثم مراجعة أهمية تطبيق المواد النانوية في هذا المجال. ووجدنا أن البنية المجهرية للمفصل الملحوم باستخدام الجسيمات النانوية تتغير من دندريتي (شجيرتي ابري) الى شبه متجانسة وتوزع دقيق وتكون الخصائص الميكانيكية لمعدن اللحام (المتانة والاستطالة) أعلى عدة مرات.

الكلمات المفتاحية: سبيكة AA7075، اللحام القوس الغازي، معدن الملء، جزيئات نانوية

A Review on Prospects for Improving weldability of Aluminum Alloy AA7075 Using Nanomaterials

**PhD student: Walaa Al-Hussein, Faculty of Mechanical and Electrical
Engineering - Al-Baath University**

**Supervision of the doctor: Abbad Kasouha, Faculty of Mechanical and
Electrical Engineering - Al-Baath University**

**Supervision of the doctor: Ahmed Rasis, Higher Institute of Applied
Sciences and Technology ,Welding Technology Center Manager in Higher
Institute for Applied Sciences and Technology**

Abstract:

AA7075 (Al-Zn-Mg-Cu) aluminum alloy have low specific density and high strength. Because of these advantages, they are commonly used as construction materials in the aerospace industries. Even though they have such important and common areas of usage, their weldability is quite difficult due to cracks that occur in the joints and consequently their poor efficiency compared to the efficiency of the joints other welded. In recent years, there has been a trend towards introducing nanomaterials into filling metals in order to obtain crack-free and durable weld joints due to the advantages that nanomaterials provide for the weld joint. In this research, the most important studies of fusion welding of these alloys will be shed light on, and then the importance of applying nanomaterials in this field will be reviewed.

We found that the microstructure of the joint welded using nanoparticles changes from dendritic to semi-homogeneous, fine distribution and the mechanical properties of the weld metal (toughness and elongation) are several times higher.

**Keywords: Alloy AA7075, gas arc welding, filler metal,
nanoparticles**

Introduction

Aluminum alloy 7075 has found wide use in the aerospace, aviation and automobile industries, due to its good properties in terms of strength, light weight and rust resistance. The two welding methods TIG (Tungsten Inert Gas) were used for arc welding by tungsten rod and inert gas and welding MIG (Metal Inert Gas) using filler metal and inert gas to weld these alloys [3]. The increasing development of nanosciences and nanomaterials has led to their use in various fields, including welding processes, and the goal is to obtain a high-quality, crack-free weld joint [14]. It was found that the use of nanomaterials in welding steel led to a change in the microstructure of the weld joint from a needle-shaped tree to a semi-homogeneous structure with fine grain distribution, and this in turn led to the improvement of all mechanical properties of the weld beam [6].

Research goal:

- Review of AA7075 aluminum welding methods using the traditional TIG and MIG method
- A study of recent research on welding using nanoparticles.

Summary of research related to welding with conventional filler metal:

When arc welding, the selection of the appropriate filling metal is extremely important, as it is directly reflected in the mechanical properties of the weld joint. 4xxx metal wire containing silicon (Si) is usually used in order to prevent the spread of hot cracks. In other cases, 5xxx wire is used for greater strength. It has been observed that most aluminum alloys that can be heat treated are subjected to hot cracking, and here we distinguish two types of such cracks.

- Hot cracking in the welding area Micro cracking due to hot tearing that occurs in the partially melted zone (PMZ) and heat affected zone (HAZ) Cracks are usually formed because the alloys (especially the 7xxx series) contain a large amount of copper and have a wide melting range, and the solidification temperature is low, and all this makes them susceptible to cracking when welding, as during solidification two different regions are formed, one rich in copper and the other free of it . The copper-rich region solidification first, while the copper-free region solidification later, due to the difference in the rate of solidification. Cracks can also form due to unfilled weld metal and internal stresses as well [11].

The most important results of previous studies were summarized as follows:

1. The main reason for the improvement of fatigue properties is due to the improvement of the grain size in the melting zone[1]
2. The process of pulse welding leads to an improvement in the size of the grains of the fusion zone [2]
3. The use of filler metal (Al_5Si) causes a decrease in the hardness values using the MIG method because it causes porosity in the weld joint [7]
4. The use of ER5356 filler metal causes precipitation of carbides, which leads to increased hardness [7].
5. The stiffness of TIG welded joints increases with the increase in the frequency of vibration applied when welding, because the microstructure of the welded joint consists of fine grains when high vibrations are applied, thus reducing the appearance of hot cracks [4]
6. The use of AIM2319 filling metal by CMT welding prevents the formation of hot cracks [5].
7. Increasing the angle of the groove decreases the tensile strength when welding by the MIG method, as the size of

the grains in the weld joint increases with the increase in the angle[10].

8. Samples welded with ER4043 filled metal break brittle in the melting zone due to the presence of oxides, while samples welded with ER5356 break brittle in the HAZ zone due to porosity[9]
9. The durability of double-sided welded joints is higher than that of single-sided welded joints[12]
10. The optimum rated current for TIG welding is 140A and the optimum gas flow rate is 17 l/min for thickness 3mm of AA7075 alloy
11. The increase in the intensity of the current increases the roughness of the grains and fine cracks in the weld [13].

The use of nanoparticles in welding:

The scientific and technological progress related to nanomaterials in the last decade has led to controlling the nucleation and growth of particles during solidification in aluminum alloy 7075. The nucleation barrier during solidification, which helps to obtain a fine microstructure composed of small, balanced granules. In the traditional TIG welding method, convection moves due to the surface tension of the weld pool, as fluids flow from the area of low

surface tension towards areas where it is higher, meaning that the flow is from the center of the weld towards the edges, which leads to a wide weld, while nano-additives help to Reverse the flow of the molten metal, which in turn leads to a narrower and deeper weld seam. The problem with welding alloy 7075 is that the heat generated in the welding area forces the components of the alloy to spread irregularly and thus prevent the flow of liquid metal during cooling uniformly, in this case the metal shrinks and causes cracks along the weld[17]. Studies indicate that the HRL group announced in the year 2017 its ability to produce parts of 7075 and 6061 free of cracks, by treating them through additive technology (AM) and the use of Zr nanoparticles, and in 2019 the University of California (Los Angeles) studied the possibility of controlling the structure Microstructure by using TiC nanoparticles and in the same year 2019 developed 7075 welding wire improved with TiC particles, which helped to obtain weld joints free of cracks. The welding of aluminum and its alloys is performed using a filling metal with carbon nanotubes added. to obtain a weld joint that has better mechanical properties, as well as reduced welding defects in general[17].

How to use nanoparticles in welding:

The exact size factor of the nanomaterial causes problems when trying to insert it into the weld. In order to overcome this, these materials were prepared in the form of a coating that is sprayed or applied with a brush on the welding rod, on the piece to be welded, or on the filling material. Nanomaterials are sometimes used as a filler core within the filling material [8].

Nanomaterials used in welding:

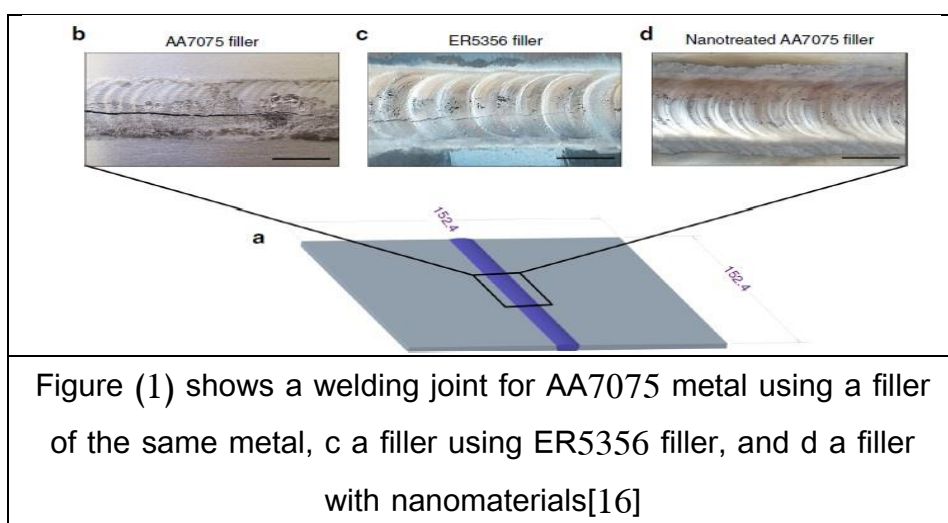
They are very small particles (measured in nanometers) produced from metal oxides, carbides, ceramics, oxides of rare elements, silver and carbon nanoparticles[8].

Benefits of using nano-oxide coatings in the welding process:

- Instead of multi-track welding, single-track welding can be sufficient, and this leads to savings in protective gas[19].
- There is no need to use filling materials, thus saving on welding cost
- Stable transport of the molten drop
- Higher welding speeds can be used using nano-coatings[15]

The use of nanomaterials as a filling material in welding:

Metal oxides, noble metals and carbides particles can be added to the filling metal. Studies have shown that the carbon element used as a reinforcing element in the alloy leads to a significant improvement in the properties of the weld joint and a smoothing of the microstructure. Figure (1) shows the effect of filling materials with nanomaterials on cracking in the weld joint [7].

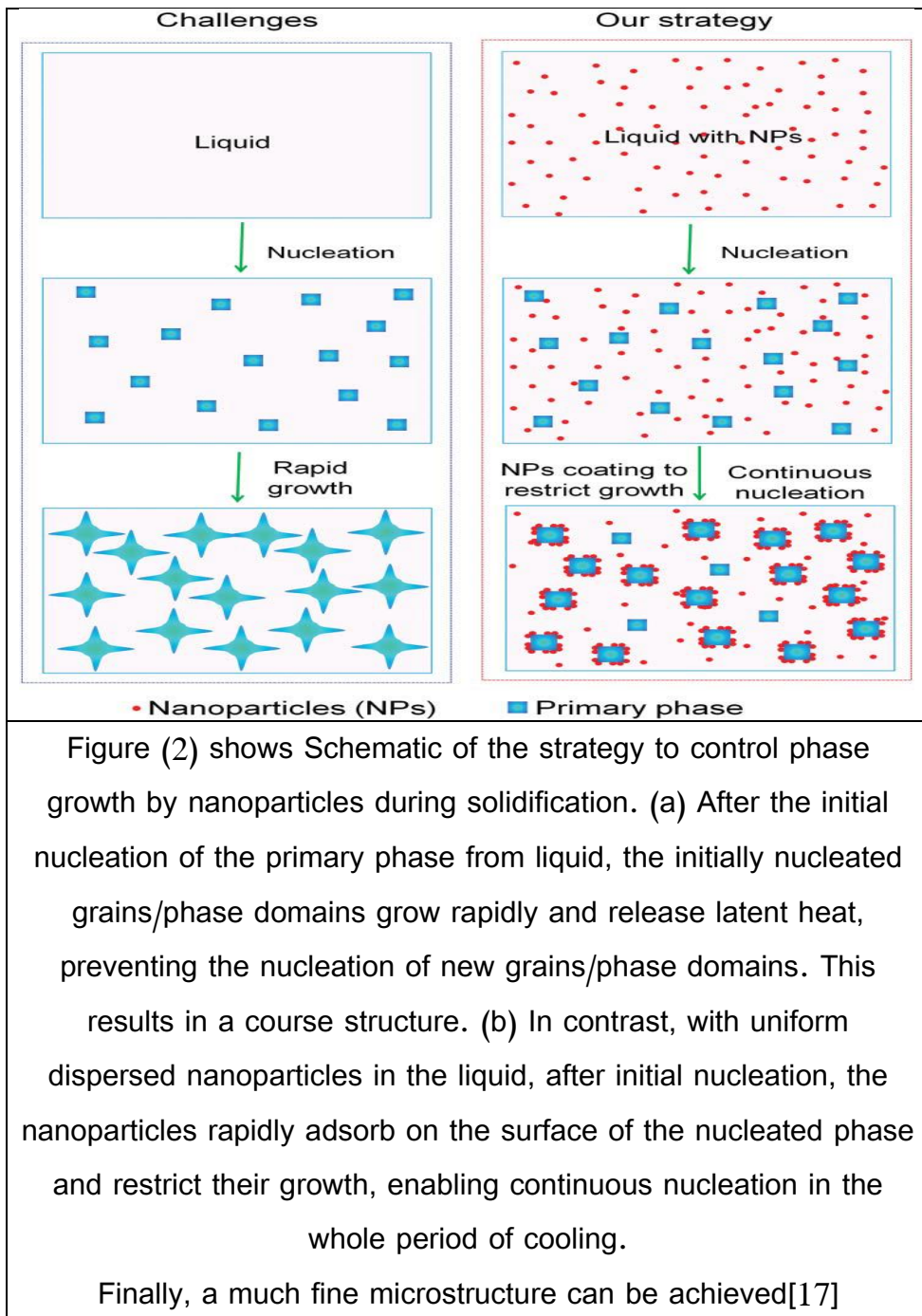


Effect of nanomaterials as a filling material on mechanical properties:

It leads to an increase in the hardness due to a decrease in the particle size and the formation of Al_4C_3 carbide, which affects the cooling speed and, consequently, the hardness. It also leads to an

increase in the tensile strength while maintaining an acceptable plasticity. The reason for the increase in tensile strength is due to the difference in thermal expansion between aluminum metal and the added particles and the fineness of the grains with their regular distribution within the structure[18].

The added particles act as an impediment to the growth of the granules and lie on the surface of the formed phase and limit its growth, allowing continuous nucleation over the entire cooling period. Thus achieving a very fine microstructure [16].



Conclusions and Recommendations:

- The use of nanomaterials leads to a reduction in the width of the weld seam.
- The use of nanomaterials leads to an increase in the hardness of the metal in the FZ region, due to the smoothing of the grains in this region.
- The addition of nanoparticles leads to an increase in the arc density in the welding area, and consequently, an increase in the temperature in the welding area, which in turn leads to an increase in weld penetration.

Recommendations:

- The addition of nanomaterials to the weld joints is extremely important, especially in low weldability alloys, thus expanding the field of use of these alloys in all industrial applications while ensuring the use of the same equipment and mechanisms needed to connect these alloys.
- Because of the great benefits of using nanomaterials, we recommend research in this field, especially as it keeps pace with scientific development.

References

- 1) Madhusudhan Reddy,2008, **Effect of Postweld Aging Treatment on Fatigue Behavior of Pulsed Current Welded AAA7075 Aluminum Alloy Joints**, Journal of Materials Engineering and Performance
- 2) Sivashanmugam M. , Manoharan N,2009, **INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF GTAW AND GMAW JOINTS OF AAA7075 ALUMINUM ALLOY** , Department of Mechanical Engineering, St. Joseph College of Engineering, Chennai, India
- 3) BALASUBRAMANIAN.K,2011, **Studies on the effect of vibration on hot cracking and Grain size in AAA7075 Aluminum alloy Welding**, Department of Metallurgical Engineering, PSG College of Technology
- 4) J.XU, Y.Kang, M.O Tang & Z. Zhang,2014, **Effect of Al-5Ti-1B-1Re on the Microstructure and Hot Cracking of as cast Al-Zn-Mg-Cu Alloy**, Journal of Materials Engineering and Performance.
- 5) Tomasz Pfeifer, Janusz Rykata,2014, **Welding EN AW 7075 Aluminium Alloy Sheets – Low-energy Versus Pulsed Current**, ISSN 2300-1674, Bulletin of the Institute of Welding
- 6) M.N Nagaaravindaraj and J.Ragavan,2015, **Influence of Process Parameter on AA7075 in TIG welding** , Cyril Vimalraj
- 7) Lian-Yi Chen, Jia-Quan Xu & Xiao-Chun Li,2015, **Controlling Phase Growth During Solidification by Nanoparticles** , *Mater. Res. Lett.*, Vol. 3, No. 1, 43–49
- 8) Paul Kah, Belinga Mvola and Jukka Martikainen,2016,**EFFECT OF NANOMATERIAL ADDITION USING GMAW AND GTAW PROCESSES**, Rev.Adv. Mater. Sci
- 9) M. N. M. Salleh, M. Ishak,2016, **The effect of ER4043 and ER5356 filler metal on welded Al 7075 by metal inert gas welding**, Faculty of Mechanical Engineering,Universiti Malaysia Pahang, Malaysia
- 10) G. Arun kumar1 , M.Harsha2, A. Balaram Naik3, 2016, **EXPERIMENTAL ANALYSIS OF MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF MIG WELDED AA 7075-T6 OF 10MM THICKNESS**, Jawaharlal Nehru Technological University, College of Engineering, Kukatpally, Hyderabad 500085, India

- 11) Damjan Klobčar, 2016, **TUNGSTEN INERT GAS (TIG) WELDING OF ALUMINUM ALLOY EN AW-AIZn5.5MgCu**, ISSN 0543-5846, METABK 55(4) 737-740
- 12) Ildiko PETER*1, Mario ROSSO, 2017, **STUDY OF 7075 ALUMINIUM ALLOY JOINTS**, Department of Applied Science and Technology, Politecnico di Torino
- 13) Harmish Bhatt, 2018, **Study of Effect of Process Parameters of Welding during TIG welding of AA 7075 and its optimization**, Department of Mechanical Engineering
- 14) Bekir cevik, 2018, **Gas tungsten arc welding of aluminum alloy: Microstructure properties, impact strength, and weld defects**, Materias Research Express
- 15) Sebastian Balos and Ivan Zabunov, 2019, **Metal oxide Nanoparticle-based coating as a catalyzer for A-TIG welding critical Raw Material perspective**, MDPI.
- 16) Dr. Liji Thomas, MD, 2020, **How Can Titanium Carbide Infusion Improve Welding Within Aluminum?**, <https://www.azonano.com/article>
- 17) Daniel Oropezaa, Douglas C. Hofmanna, 2020, **Welding and Additive Manufacturing with Nanoparticle-Enhanced Aluminum 7075 Wire**, NASA Author Manuscript
- 18) Sudhanshu Ranjan Singh, Pradeep Khanna, 2020, **A-TIG (activated flux tungsten inert gas) welding: – A review**
- 19) D Kartsev, Evgenii Zernin, 2021, **Use of Refractory Nanoparticles as a Component of Welding Materials in Welding and Surfacing With Coated Electrodes and Flux Cored Wires**

استخدام المبدل متعدد المستويات MMC في مرحلة التقويم للمحول الذكي عند ربطه مع شبكات الجهد المتوسط

طالب الدكتوراه : عبدالرحمن الحبال

كلية: الهمك - جامعة : البعث

الدكتور المشرف: رامي موسى + د. سامر ربيع

الملخص

تعد المحولات الذكية إحدى المكونات الأساسية للشبكات الذكية المستقبلية التي تضم بالإضافة لمنابع التوليد التقليدية منابع التوليد الموزع وتعد مصادر الطاقات المتجددة جزءاً أساسياً من التوليد الموزع. في هذه المحولات يجب أن يكون المبدل العامل كمنقوّم على طرف الجهد المتوسط قادراً على التحكم بالاستطاعتين الفعالة والرديّة كما يجب أن يكون قادراً على تنظيم الجهد من أجل مرحلة التيار المستمر كما أنه يجب أن يكون قادراً على ضخ الاستطاعة الرديّة في شبكة الجهد المتوسط عند الحاجة.

يتميز المبدل (MMC) بالعديد من الميزات مثل: صغر حجم المرشحات اللازمة وانخفاض قيمة الجهود التي يجب أن تتحملها أنصاف النواقل المستخدمة ضمن بنيته والبنية المؤلفة من عدة وحدات منفصلة كما أن وجود منفذ تيار مستمر ذو جهد متوسط يعطيه أفضلية عند استخدامه ضمن بنية المحولات الذكية.

سنقوم في هذا البحث بدراسة استخدام المبدل متعدد المستويات (MMC) كمكون من مكونات المحول الذكي في مرحلة التقويم حيث سنقوم باختيار العناصر المكونة للمبدل (MMC) وتطبيق تقنية تعديل مناسبة كما سنقوم بتطبيق خوارزمية تحكم مناسبة لتنظيم الجهد المستمر على خرج المبدل ليكون جاهزاً للربط مع مرحلة تخفيض الجهد بالتردد العالي.

كلمات مفتاحية: مبدل متعدد المستويات، تعديل متعدد عرضاني للنبضة ، محول ذكي

Using Modular Multilevel Converter as rectifier in smart transformer when connected to medium voltage network

Abstract

Smart transformers, are considered as keyroles in the futuristic smart grids that contain renewables, which are essential part, of distributed generating sources. Rectifiers on medium voltage side in these transformers must have the ability of control active and reactive powers and must compensate reactive power in the network when needed.

Modular multilevel converter has many features such as small size filters and low voltage rating semiconductors and a modular structure as it use a medium voltage DC-Link that gives MMC the advantage of connecting to the renewables.

In this research, we will study the ability of using the Modular Multilevel converter as rectifier for the smart transformer as we will select its components using a suitable controlling technique to control the output DC voltage to be connected with the high frequency hight to low transformer

Key words: Modular Multi-level Converter, Multi-Carrier Pulse Width Modulation, smart transformer

1- مقدمة

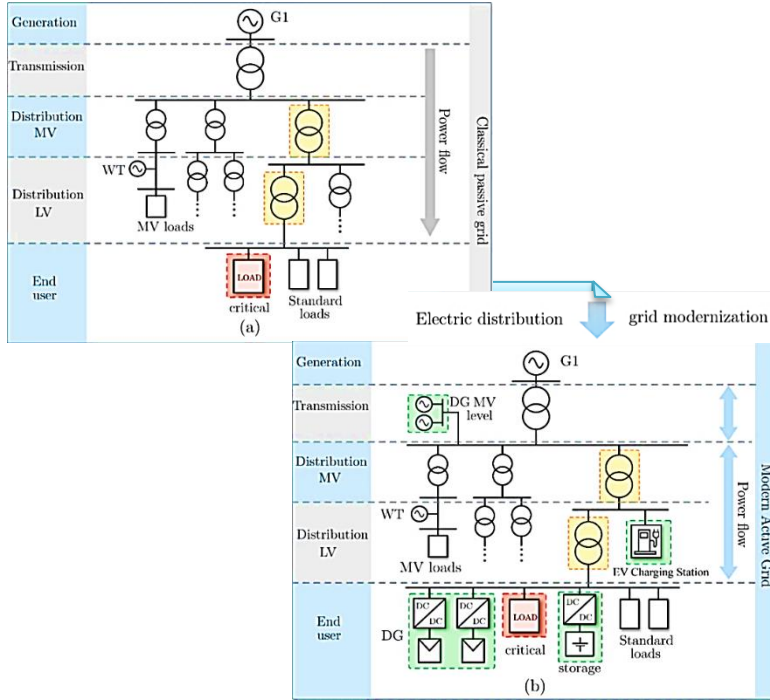
إن تطور التقنيات الحديثة والمعدات الكهربائية خلال القرن العشرين زاد الاهتمام في نظم القدرة الكهربائية. حيث تعتمد الحضارة البشرية على زيادة استخدام الآلات المعقدة ما يسبب تزايد الطلب على الطاقة بالتالي تتزايد أهمية الدراسات والأبحاث على توليد الطاقة وتوزيعها وتحويلها لعدة أشكال بما يتناسب مع التطبيقات المتعددة المترافقة مع تطور استخدامات البشر للتقنيات الحديثة.

كما أن الاهتمام المتزايد بالتغير المناخي جلب الاهتمام لاستخدام منابع الطاقة المتجددة لتوليد الطاقة الكهربائية مثل طاقة الرياح والخلايا الكهروضوئية والتي من المتوقع تزايد الاعتماد عليها للحصول على الطاقة الكهربائية في السنوات القليلة المقبلة مما يستلزم تجديد البنى التحتية القديمة للشبكات الكهربائية التقليدية والتي تعتمد على الاتجاه الأحادي لنقل القدرة من محطات التوليد باتجاه المستخدم النهائي.

لسنوات عديدة مضت تم التعامل مع أنظمة توزيع الطاقة الكهربائية كعناصر غير فعالة وتم تحديد دور مجموعات التوليد والأحمال بشكل واضح. حيث يتم توليد الطاقة الكهربائية في محطات التوليد عند مستويات جهد معينة ثم يتم رفع هذه الجهود لمستويات مرتفعة تسمح بنقل الطاقة الكهربائية وتقليل الضياعات لمسافات كبيرة ومن ثم يتم توزيعها في شبكات التوزيع ذات الجهد المتوسط والجهد المنخفض للمستهلك. كان وما زال رفع وتخفيض الجهد يتم عن طريق المحولات العاملة على التردد المنخفض (تردد الشبكة). كما ظهر في السنوات القليلة الماضية مفهوم التوليد الموزع والذي يعتمد بشكل رئيسي على الطاقات المتجددة ودمجها ضمن شبكات التوزيع وبمستويات جهود مختلفة متوسطة أو منخفضة وتتوضع بشكل عام بالقرب من الأحمال ما يقلل من ضياعات النقل.

إلا أن اختراق منابع التوليد الموزع لشبكات التوزيع يؤثر على موثوقية الشبكة وجودة الطاقة وذلك بسبب عدم استقرار منابع الطاقات المتجددة. ما أدى في السنوات القليلة الماضية لظهور مصطلحات جديدة مثل الشبكات الذكية والتي تقوم أساساً على نقل الاستطاعة ثنائي الاتجاه من محطات التوليد المختلفة باتجاه الشبكات المحلية والتي تحتوي على منابع للتوليد الموزع وأيضاً نقل الاستطاعة من منابع التوليد الموزع المتواجدة في الشبكات الميكروية المحلية باتجاه شبكات التوزيع وإمكانية تكامل الشبكات فيما بينها للتخلص من المشاكل التقليدية مثل عدم انتظام الجهد وتعويض الاستطاعة الردية وغيرها من المشاكل وذلك بالاعتماد على منظومة اتصالات مترافقة مع الشبكات الكهربائية تكون أحد المكونات الرئيسية للشبكة الذكية. إن الشبكات الذكية تؤمن التحكم الكامل بتدفق الطاقة الكهربائية من قبل شركات الكهرباء الوطنية ما يسمح لها بالتدخل السريع في أوقات الذروة والحد من حصول الأعطال وإمكانية الوصول إلى أماكن الأعطال وتحديد مكانها بسرعة عند حدوثها.

بسبب الاختراق العميق للأنظمة سابقة الذكر في شبكات الخدمة تغيرت البنية التحتية لشبكات التوزيع الكهربائية وتزداد استخدامات أنظمة إلكترونيات القدرة فيها. كنتيجة لذلك لم يعد مفهوم - جريان الاستطاعة أحادي الاتجاه من شبكات الجهد المتوسط باتجاه شبكات الجهد المنخفض - مسلماً به وأصبح جريان الاستطاعة يتم بالاتجاهين بالتالي تم تقديم مفهوم الشبكات الفعالة كما في الشكل (1) الذي يبين تحديث مفهوم شبكة التوزيع من شبكة كلاسيكية غير فعالة إلى شبكة عصرية فعالة [1].



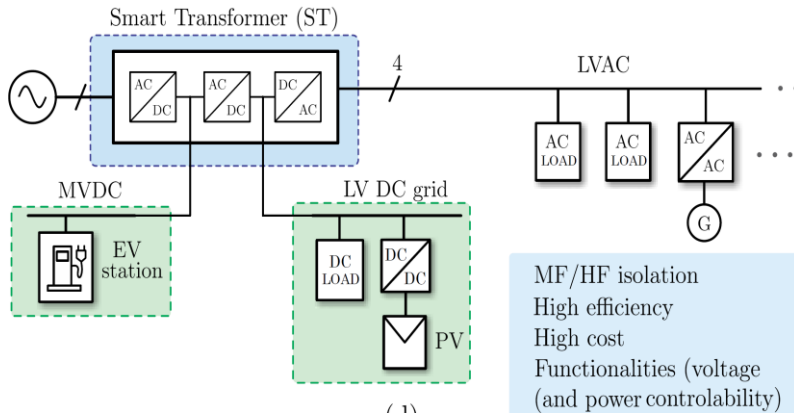
الشكل 1 الانتقال من الشبكة التقليدية غير الفعالة إلى الشبكة الفعالة

2- المحولات الذكية ودورها في الشبكات الذكية

بالرغم من التحديثات العديدة التي طالت الشبكات الكهربائية إلا أن أحد المكونات الحساسة لهذه الشبكات بقيت على حالها بدون أي تغيير أساسي في بنيتها وهي المحولات الكهربائية والتي تعتبر العمود الفقري للشبكات الكهربائية حيث تؤمن عمليات التحويل بكفاءات مرتفعة تصل لـ 98% وبعمر طويل نسبياً يمكن أن يصل لـ 20 عاماً.

إلا أن عدم إمكانية التحكم في المحولات التقليدية يجعل من الإلزامي استخدام معدات لتنظيم الجهد وبالتالي فإن تحديث بنية المحولات سيؤمن تنظيم الجهد بالشكل المطلوب ويؤدي لتحسين جودة الطاقة بدون الحاجة لأي معدات إضافية. ما أدى لظهور محولات الحالة الثابتة SST والتي تعرف بأنها نظام يعتمد على إلكترونيات القدرة من المفترض أن يحل محل المحولات الكهربائية ذات التردد المنخفض التقليدية. إلا أن معظم الأبحاث

المنشورة عن هذه المحولات ركزت على تحسين الكفاءة وتقليل الحجم وافتقرت لنظام تحكم بالجهد والتيار بالرغم من أنها من أهم مكونات هذه المحولات ما أدى لبروز مطلق المحولات الذكية والذي يمكن تعريفه بأنه محول حالة ثابتة مصحوب بخوارزميات تحكم واتصالات تهدف لزيادة وظائف هذه المحولات ولها القدرة على حل المشكلات المترافقة مع تحديث شبكات التوزيع. إن تعدد الوظائف التي يمكن للمحول الذكي القيام بها أدى لخلق ظروف عمل تختلف عن تلك المصاحبة لاستخدام المحولات التقليدية ما زاد من صعوبة مواكبة متطلبات الكفاءة والموثوقية إلا أن من أهم مميزات هذه المحولات إمكانية دمج شبكات الجهد المستمر بعدة مستويات من الجهود. يبين الشكل 2 دور المحول الذكي كمكون أساسي في الشبكات الذكية المستقبلية.

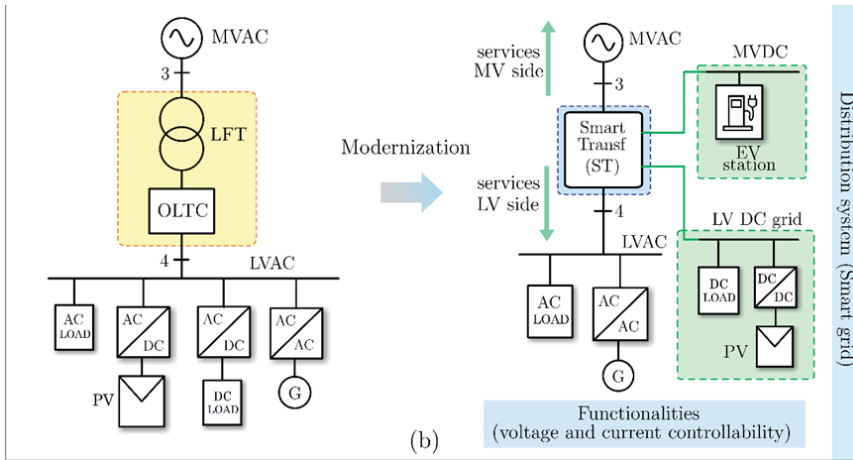


الشكل 2 بنية الشبكة الذكية والتي تعتمد بشكل رئيسي على المحولات الذكية

بالإضافة لاستبدال المحولات التقليدية فإن المحولات الذكية يمكن أن توفر خدمات إضافية للشبكة ما يجنب شركات الكهرباء الوطنية استخدام المعدات الإضافية اللازمة لدعم الشبكة. لهذا لا تسعى المحولات الذكية لمنافسة المحولات التقليدية من حيث الكلفة والفعالية والحجم إلا أن هذه المحولات يمكن أن تستبدل كامل منظومة المحولات المرفقة مع معدات تنظيم الجهد. بالنتيجة فإن المحولات الذكية تساعد على حل مشاكل شبكات التوزيع إلا أن تطبيقها واستخدامها هو تحد بحد ذاته.

ظهر مصطلح محولات الحالة الثابتة للمرة الأولى عام 1960 حيث كانت الفكرة العامة آنذاك هي استخدام إلكترونيات القدرة لتنظيم جهد الخرج للمحول ما يسهم بتخفيض الوزن والحجم إلا أنه لم يكن من الممكن تطبيق هذا المفهوم في ذلك الوقت وذلك بسبب محدودية أداء العناصر الإلكترونية. إلا أنه مع التطور السريع لتقنيات العناصر النصف ناقلة وظهر عناصر سريعة الإبدال بضياعات قليلة نسبياً أصبح بالإمكان الحصول على أنظمة تعمل بسرعات إبدال عالية ما تسبب بانخفاض حجم ووزن مبدلات القدرة وبالتالي أصبح من الممكن استخدام التطبيقات التي تتطلب كثافة طاقة عالية. مثل القطارات الكهربائية حيث أن الحلول التقليدية ثقيلة وذات حجم كبير بسبب المحولات ذات الترددات المنخفضة. بالتالي يمكن أن يؤمن استخدام المحول الذكي الجهد المستمر المناسب لقيادة هذه القطارات بسرعات مختلفة. مع انخفاض الحجم والوزن بنسبة تتراوح بين 20% و50% وتحسن الكفاءة من 93% إلى 96%.

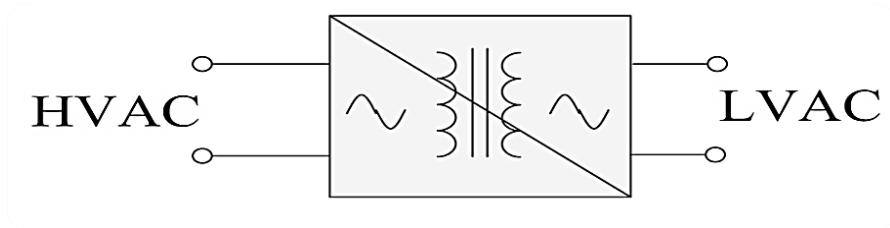
يمكن للمحولات الذكية القيام بوظائف إضافية عندما تتوافق مع منظومة اتصالات وتحكم ملائمة بالتالي يمكن استخدامها كتقنية أساسية لتحقيق وتمكين وظائف الشبكات الذكية. وقد تم اعتبار المحولات الذكية واحدة من أهم التقنيات الواعدة من قبل المعهد التقني في ماساتشوستس (MIT) في عام 2010 من بين أهم الوظائف الممكنة لهذه المحولات التدفق العكسي للاستطاعة في شبكات التوزيع (أي جريان الاستطاعة من طرف الجهد المنخفض باتجاه طرف الجهد المتوسط) وأيضاً تكامل مرافق تخزين الطاقة مع الشبكة والتحكم والسيطرة على الشبكات الهجينة (التي تستخدم التيار المستمر والتيار المتناوب) وأيضاً تحسين جودة الطاقة. في هذه الحالة فإن هذه المحولات لن تقوم فقط باستبدال المحولات التقليدية كوسيلة ربط بين شبكات الجهد المتوسط وشبكات الجهد المنخفض إلا أنها أيضاً تؤمن شبكات تيار مستمر للجهود المنخفضة والمتوسطة كما يبين الشكل 3 [1]



الشكل 3 موقع المحول الذكي ضمن الشبكات الهجينة

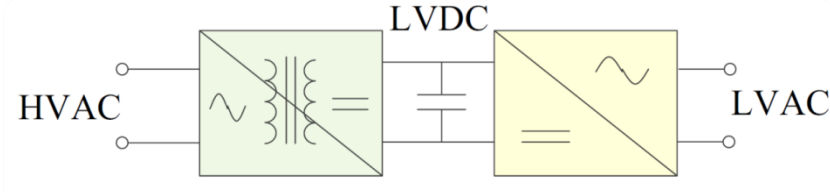
يمكن تصنيف المحولات الذكية حسب عدد مراحل تحويل الطاقة إلى [13]:

(1) **المحولات ذات المرحلة الواحدة** يبين الشكل 4 محول ذو مرحلة واحدة عادة تستخدم المبدلات المصنوفية وتعتبر ذات كثافة طاقة عالية بسبب غياب وجود وصلة تيار مستمر إلا ان غياب العزل بين شبكتي الجهد المتوسط والمنخفض يحد من إمكانية التحكم بشكل مناسب.



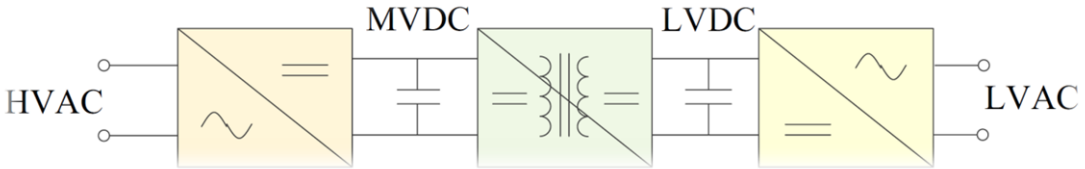
الشكل 4 بنية المحول الذكي ذو مرحلة واحدة

(2) المحولات ذات المرحلتين يبين الشكل 5 وجود وصلة تيار مستمر واحدة ضمن بنية المحول ذو مرحلتين وبالتالي وجود مكثف في هذه الوصلة ما يحسن إمكانية التحكم إلا أنها محدودة الوظائف.



الشكل 5 بنية المحول الذكي ذو مرحلتين

(3) المحولات ذات ثلاث مراحل كما يبين الشكل 6 يتألف من مقوم يحول الجهد المتوسط المتناوب إلى جهد متوسط مستمر ومبدل تيار مستمر من الجهد المتوسط إلى الجهد المنخفض والمرحلة الثالثة قالب من الجهد المستمر المنخفض إلى الجهد المنخفض المتناوب وتحتوي هذه البنية عادة على وصليتي تيار مستمر واحدة منها على الأقل يمكن وصلها مع شبكة تيار مستمر حيث يؤمن العزل بين شبكتي الجهد المتوسط والمنخفض درجة عالية من الحرية للتحكم بالمنظومة ككل ويسمح باستخدام الوظائف المطلوبة. بالتالي فإن البنية المؤلفة من ثلاث مراحل هي البنية المفضلة لتكوين المحولات الذكية بالتالي سنعمد في هذا البحث على المحول المؤلف من ثلاث مراحل.



الشكل 6 بنية المحول الذكي ذو 3 مراحل

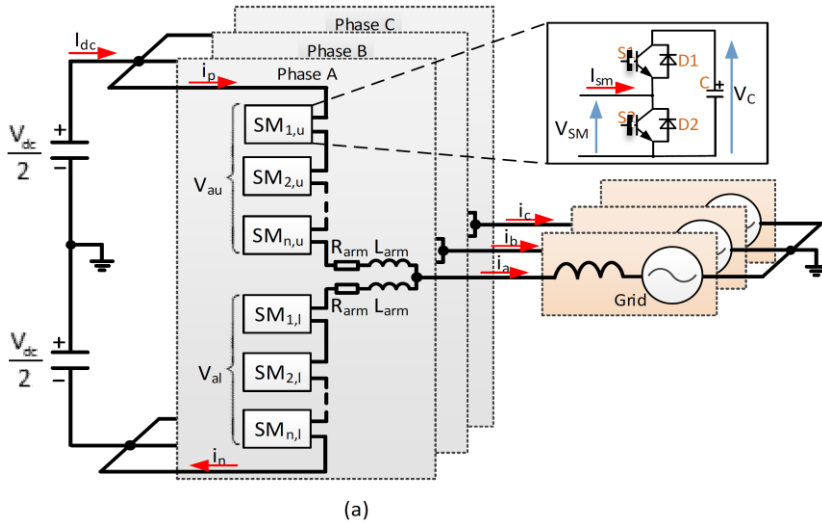
يقوم المبدل المستخدم في طرف الجهد المتوسط للمحول الذكي بتحويل الجهد المتوسط المتناوب للشبكة لجهد مستمر متوسط بالتالي فإنه يجب أن يتحكم بالاستطاعتين الفعالة والرديئة وأيضاً يجب أن يقوم بتنظيم الجهد للمرحلة التالية وهي مرحلة تحويل الجهد المستمر المتوسط إلى جهد مستمر منخفض. كما يقوم هذا المبدل بدعم شبكة الجهد المتوسط وذلك بتقديم استطاعة ردية لها عند الحاجة. بالتالي للتعامل مع الجهد المتوسط يعتبر المبدل متعدد المستويات ذو البنية المؤلفة من عدة وحدات فرعية (MMC) من الحلول المفضلة لهذه المرحلة بسبب تكوينه وخصائصه وقدرته على التعامل مع الجهود المتوسطة وفقاً لبنيته المؤلفة من عدة وحدات منفصلة ما يسمح باستخدام العناصر نصف الناقلية الحالية بدون أي وصل تسلسلي فيما بينها. إحدى الميزات المثيرة للاهتمام في المبدل (MMC) وجود وصلة تيار مستمر ذات جهد متوسط ما يعطي أفضلية أخرى لهذه المبدلات في المحولات الذكية.

3- المبدل متعدد المستويات من النوع MMC

إن تحويل الطاقة والتحكم بها يجب أن يتم بموثوقية وأمان لتلبية كافة المتطلبات ما استلزم تطوير المبدلات ذات منبع الجهد والتي أصبح استخدامها اعتيادياً في أنظمة النقل بالتيار المستمر عالي الجهد وبالأخص في المزارع الريحية البحرية حيث أبدت كفاءة عالية في نقل الاستطاعات العالية ولمسافات طويلة بالتالي ظهر عام 2003 المبدل متعدد المستويات ذو البنية المؤلفة من وحدات فرعية من قبل العالم ماركاردت حيث يتميز بأفضليات على المبدلات ذات منابع الجهد التقليدية مثل إمكانية العمل على مستويات جهود مرتفعة وبنية المؤلفة من وحدات فرعية منفصلة يمكن تبديلها أو تحييدها في حال حصول أي أعطال ومتابعة العمل بدون توقف ما يسمح بطول فترة عملها بدون إجراء صيانة ويعطيها موثوقية أعلى، بالإضافة لانخفاض المحتوى التوافقي بسبب جهد الخرج الجيبي تقريباً ما يسمح بخفض حجم المرشحات اللازمة بالتالي تتخفف الكلفة

وتعقيد المنظومة ككل [22]. مثل العديد من المجالات الهندسية فإن البنية المؤلفة من وحدات منفصلة والموزعة تلبي متطلبات المشاريع الحديثة: حيث أن هذه البنية تعطي تشغيل ذو موثوقية عالية ويسهل عمليات تشخيص الأعطال والصيانة وأيضا يسمح بإعادة ضبط نظام التحكم وفق التطبيق المراد. كما تقوم خوارزمية بعزل الجزء الذي قد يحصل فيه عطل ما يسمح باستمرار العمل بشكل أقرب لطور العمل الطبيعي عند حدوث أعطال.

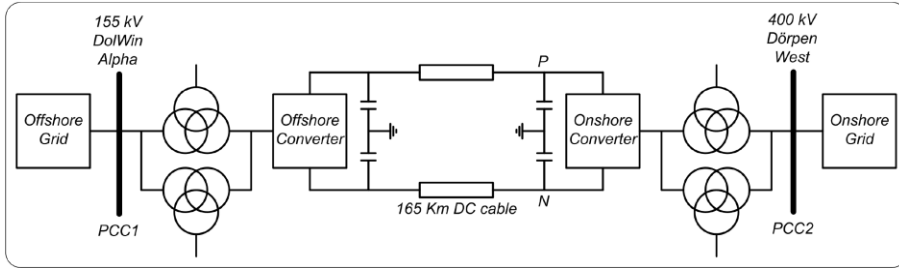
يبين الشكل 7 دارة المبدل الودودي متعدد المستويات ثلاثي الطور حيث يتألف كل طور من ذراعين علوية وسفلية كل منها مؤلف من عدة خلايا تقطيع نصف جسرية موصولة فيما بينها على التسلسل وموصولة مع ملف له مقاومة. نقطة التقاء الذراعين موصولة مع الخرج المتناوب لكل طور. كما يبين الشكل بنية الوحدات النصف جسرية المستخدمة التي تتألف كل منها من قاطعين إلكترونيين من نوع (IGBT) يعملان بالتناوب ومكثف يتم شحنه وتفريغه حسب وضعية القواطع الموافقة له وجهة التيار المارة بالوحدة.



الشكل 7 دارة المبدل الودودي متعدد المستويات ثلاثي الطور

يشار عادة لطرف التيار المستمر بالمصطلح (DC-link) وهو الطرف الموصول مع البازرات الموجبة والسالبة لكل ساق (leg) من المبدل. الأطوار الثلاثة للطرف المتناوب للمبدل موصولة مع النقاط الوسطى لكل ساق (a,b,c) حيث تمثل كل ساق أحد الأطوار الثلاثة. كل ساق تتألف من ذراعين (arm)، يشار عادة للذراع الموصولة مع البار الموجب للطرف المستمر بالذراع العلوية بينما تسمى الذراع الموصولة مع البار السالب بالذراع السفلية. كل ذراع تحوي على عدد من الوحدات (Submodule) وملف (L). يكون ملف الذراع موصول على التسلسل مع كل مجموعة من الوحدات في مرحلة التشغيل لتحديد قيمة التيار الناتج عن فرق الجهد الآني الحاصل بين الذراعين.

يتم تركيب المبدلات متعددة المستويات من النوع MMC في خطوط النقل بواسطة التيار المستمر ذو الجهد العالي من قبل الشركات العملاقة مثل سيمينز وABB وAlstom وتستخدم هذه التقنية لربط شبكات التيار المتناوب فيما بينها أو لربط المزارع الريحية البحرية مع الشبكات العامة حيث في كلتا الحالتين يتم استخدام المبدل متعدد المستويات من النوع MMC للحصول على تيار مستمر ذو جهد عالٍ. الغالبية العظمى من المزارع الريحية التي تم تنفيذها مؤخراً في ألمانيا وحتى المخطط تنفيذها في الفترة المقبلة تتم باستخدام هذه المبدلات كمقومات للجهود العالية بغية نقل الاستطاعة المتولدة عن هذه المزارع إلى شبكة التوزيع العامة في البر مثل المشروع DolWin1 والذي يعمل بجهد ± 320 كيلوفولط كما يبين الشكل 8



الشكل 8 مخطط عام للمشروع DolWin1

يمكن استخدام المبدل متعدد المستويات من النوع MMC في بعض تطبيقات الجهد المنخفض أيضاً والتي تحتاج إلى موثوقية عالية وتتطلب أداءً عالي الكفاءة وجودة طاقة

عالية وتتطلب الحد الأدنى للتداخل الكهرومغناطيسي مثل محطات شحن السيارات الكهربائية وتطبيقات الطيران حيث يمكن استخدام وحدات أساسية مكونة من ترانزستورات من النوع MOSFET حيث أن استخدام هذه الترانزستورات يمكن أن يقلل ضياعات الإبدال. في [3] تم استخدام المبدل متعدد المستويات من النوع MMC كواجهة لربط الشبكة العامة مع المنازل الذكية والتي تحوي على ألواح توليد كهرو شمسية مع مرافق تخزين والتي توصل مع بارات تيار مستمر وقد أظهر استخدام هذا المبدل والمؤلف من ترانزستورات من النوع MOSFET ميزات عدة مقارنة بالمبدلات التقليدية مثل انخفاض حجم المرشحات اللازمة وتخفيض الضياعات ما يجعلها أكثر ملاءمة للمنازل والمنشآت التي تحوي على ألواح كهرو شمسية يمكن أن تضخ الفائض من إنتاج الطاقة الكهربائية في الشبكات العامة.

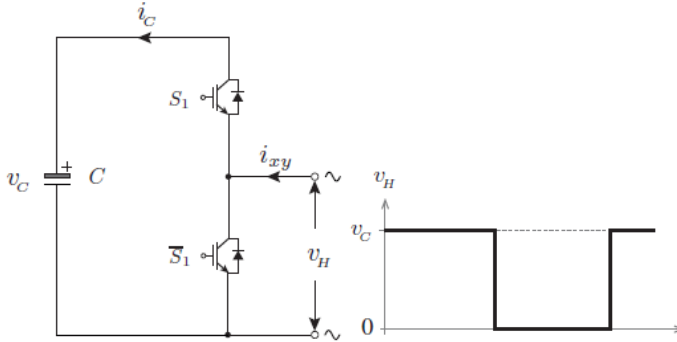
3-1- بنية الوحدة الأساسية (Sm Sub-module)

الوحدة هي عبارة عن دائرة بسيطة لتحويل التيار المستمر إلى تيار متناوب. عادة ما تتكون هذه الوحدات من قاطعين ومكثف. يتكون كل قاطع من ترانزستور ثنائي ذو بوابة معزولة IGBT بمستوى جهد يتراوح بين 1200 - 1700 فولط، مع ديود موصول على التضاد بحيث يكون القاطع قادر على تمرير التيار بالاتجاهين. هناك عدة بنى لهذه الوحدات تستخدم في المبدلات الوحدوية متعددة المستويات أهمها بحسب [21، 22]:

- الوحدة ذات البنية النصف جسرية (HB)
- الوحدة ذات البنية الجسرية (FB)
- الوحدة ذات البنية النصف جسرية المتتالية (CH)
- الوحدة ذات المكثف الحر (FC)

سنقتصر في شرحنا على الوحدة ذات البنية النصف جسرية كونها الوحدة التي سنستخدمها في النموذج المدروس لأنها تعتبر من أكثر أنواع الوحدات انتشاراً نظراً لأنها تمتاز بضياعات إبدال أقل و سهولة التحكم بها نسبياً و كلفة أقل مع أداء جيد. يشار عادة للوحدة النصف جسرية بخلية التقطيع، و يبين الشكل 9 دائرة هذه الوحدة. حيث

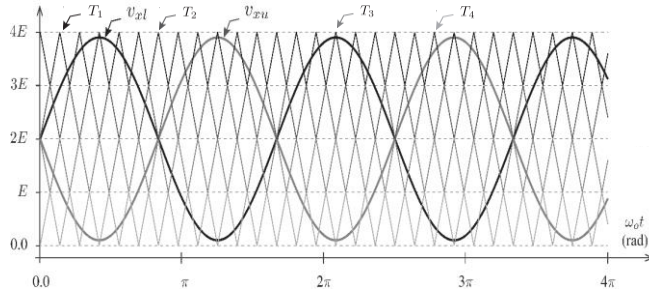
تتألف من قاطعين إلكترونيين من نوع IGBT (S_1 و \bar{S}_1) و مكثف واحد C . يعمل القاطعان بشكل متبادل لتنظيم قيمة جهد المكثف عند القيمة v_c . يبين الشكل (9) خرج خلية التقطيع وهو عبارة عن جهد ذو مستويين هما الـ 0 و v_c عندما يكون القاطع العلوي بحالة تمرير "ON" يكون جهد الطرف المتناوب للخلية مساوياً للقيمة v_c ، في هذه الحالة يزداد جهد المكثف عندما تكون جهة التيار موجبة أي من منبع الجهد المستمر باتجاه الطرف المتناوب للمبدل، و يتناقص عندما تكون جهة التيار سالبة أي من الطرف المتناوب باتجاه الطرف المستمر للمبدل. عندما يكون القاطع العلوي بحالة عدم تمرير "OFF" يكون جهد خرج خلية التقطيع مساوياً للصفر، في هذه الحالة يبقى جهد المكثف بدون تغيير مهما كانت جهة التيار المار بالمبدل حيث يتم في هذه الحالة تجاوز خلية التقطيع بمرور التيار خلال القاطع السفلي. تجب الإشارة إلى أن عمل القاطعين يجب أن يكون بالتناوب أي في كل لحظة يجب أن يكون أحدهما بحالة تمرير "ON" والآخر بحالة عدم تمرير "OFF" ولا يسمح أن يكون كلا القاطعين بحالة تمرير "ON" لتجنب وقوع قصر على طرفي المكثف. فقط عند الإقلاع أو في حالة الأعطال يسمح أن يكون كلا القاطعين بحالة "OFF" [17].



الشكل 9 بنية الوحدة نصف الجسرية وموجة جهد الخرج

3-2- التعديل العرضاني للنبضة ذو الانزياح الطوري PS-PWM

للتحكم بالمبدلات ثنائية المستوى عادة ما يتم استخدام مخطط تعديل الإشارة الحاملة (Carrier modulation) والتي يشار إليها عادة بالتعديل الجيبي- المثلثي (sine-triangular modulation). تعتمد هذه التقنية على مقارنة إشارة التعديل (modulation signal) وهي إشارة جيبيه مع الإشارة الحاملة (Carrier signal) والتي تكون عادة إشارة مثلثية لتوليد إشارات قرح القواطع الإلكترونية. يمكن تعميم هذه الطريقة للتحكم بالمبدلات متعددة المستويات حيث تستخدم عدة إشارات حاملة مثلثية كل منها تستخدم لتوليد نبضات قرح قواطع إحدى الوحدات وتتم مقارنتها مع إشارة تعديل (إشارة مرجعية) جيبيه لكل طور. إذا كان مطال الإشارة المرجعية أكبر من الإشارة الحاملة يتم تشغيل الوحدة الموافقة حسب جهة التيار (إما لشحن المكثف أو تفريغه عن طريق نبضات التعديل العرضاني) أما إذا كان مطال الإشارة المرجعية أصغر من الإشارة الحاملة يتم تجاهل الموديول وإبقائه بحالة عدم تشغيل. تسمى هذه التقنية مخطط التعديل ذو الحوامل المتعددة. تكون الإشارات الحاملة (المثلثية) في هذه التقنية متساوية المطال متوضعة بشكل أفقي بعضها بجانب بعض ويتم توليد نبضات قرح الوحدات بمقاطعة الإشارات الحاملة السابقة مع الإشارة الجيبيه المرجعية ويبين الشكل 10 المخطط العام لهذه التقنية [17].



الشكل 10 المخطط العام لتقنية التعديل العرضاني للنبضة ذو الانزياح الطوري

3-3- التحكم الموجه عن طريق الجهد (Voltage-Oriented Control)

تعد طريقة التحكم الموجه عن طريق الجهد (Voltage-Oriented Control) من أشهر طرق التحكم بالمبدلات الوحدوية لربطها مع الشبكات، إذ يتم تطبيق هذه الطريقة بشكلٍ عام عن طريق تحويل كلارك وتحويل بارك (Clarke transformation & Park transformation) إذ يتم تحويل الإشارة من المحاور الثابتة للأطوار الثلاثة a, b, c إلى محورين تزامنيين d, q يدوران بشكلٍ متزامن مع جهد الشبكة. يظهر الشكل 11 المخطط الصندوقي لربط المبدل متعدد المستويات من النوع MMC مع الشبكة، إذ يتم ذلك أولاً عن طريق قياس جهد الشبكة والحصول على زاوية جهد الشبكة في كل لحظة θ_g باستخدام حلقة تحديد الطور (Phase-locked loop PLL) بحيث تستخدم زاوية جهد الشبكة في كل لحظة θ_g لتحويل جهود وتيارات الأطوار الثلاثة a, b, c إلى جهود وتيارات في المحاور التزامنية d, q وهي قيم مستمرة يسهل التحكم بها بواسطة متحكمات تناسبية تكاملية، تقوم هذه المتحكمات بتوليد إشارات التعديل المرجعية الثلاثة اللازمة لقيادة قواطع المبدل الوحدوي متعدد المستويات من خلال تقنية التعديل العرضاني للنبضة [18].

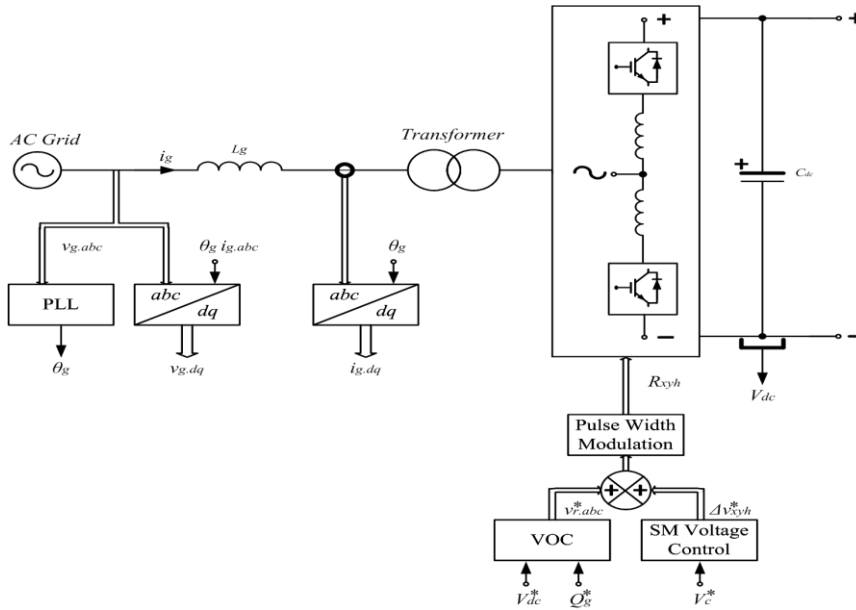
تعطى الاستطاعة الفعلية والاستطاعة الردية بالنسبة للمحاور الدوارة التزامنية d, q بالعلاقتين [18]:

$$P_g = 1.5(v_{dg}i_{dg} + v_{qg}i_{qg}) \quad (1)$$

$$Q_g = 1.5(v_{qg}i_{dg} - v_{dg}i_{qg}) \quad (2)$$

حيث v_{qg} و v_{dg} مركبتي جهد الشبكة على المحاور التزامنية، i_{qg} و i_{dg} مركبتي تيار الشبكة على المحاور التزامنية، ومن الواضح أن كلا الاستطاعتين تتعلقان بمركبتي تيار الشبكة على المحاور شعاع جهد الشبكة منطبق على المحور التزامني d، وتدعى هذه العملية بتوجيه الجهد وبذا تصبح المركبة v_{qg} مساوية للصفر والمركبة v_{dg} ذات قيمة ثابتة وتساوي $|v_g|$. بالتالي يصبح لدينا:

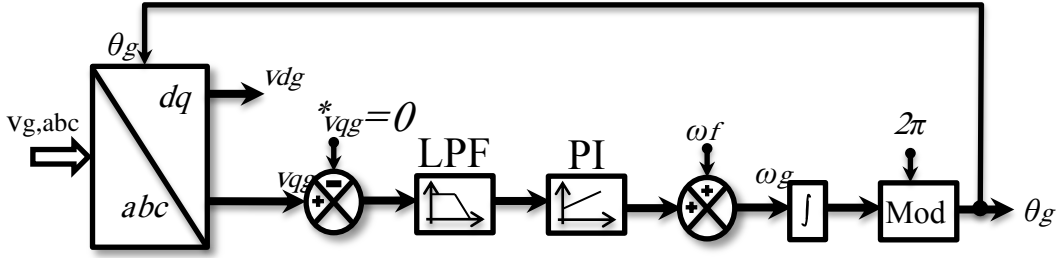
$$P_g = +1.5v_{dg}i_{dg} \quad (3)$$



الشكل 11 المخطط الصندوقي لربط المبدل متعدد المستويات مع الشبكة

$$Q_g = -1.5v_{dg}i_{qg} \quad (4)$$

وبذلك من أجل v_{dg} ذات القيمة الثابتة تكون العلاقة بين P_g و i_{dg} علاقة خطية وكذلك العلاقة بين Q_g و i_{qg} بالتالي للحصول على عامل استطاعة مساوٍ للواحد يمكن استخدام $i^*_q=0$ إشارة مرجعية لمركبة التيار على المحور التزامني q . وللحصول على مركبتي الجهد ومركبتي التيار على المحاور التزامنية نحتاج إلى زاوية جهد الشبكة في كل لحظة θ_g وذلك للحصول على تطابق تام بين جهد الشبكة v_g والمحور التزامني d ، إن زاوية جهد الشبكة في كل لحظة θ_g تلعب الدور المحوري في عملية تحويل بارك للحصول على مركبتي الجهد ومركبتي التيار على المحاور التزامنية من المركبات ثلاثية الطور يتم الحصول على النبض الخاص لجهد الشبكة باستخدام حلقة تحديد الطور (Phase-locked loop PLL) يبين الشكل 12 المخطط الصندوقي لحلقة تحديد الطور [1]، إذ يتم تحويل جهد الشبكة ثلاثي الطور المقاس إلى المركبتين التزامنيتين باستخدام خط التغذية العكسية زاوية جهد الشبكة في كل لحظة θ_g ، من ثم يتم استخدام فلتر من نوع (Low-pass filter) وذلك لترشيح ترتيب الجهد، وفي المرحلة التالية يتم استخدام متحكم تناسبي تكاملي لجعل قيمة مركبة الجهد على المحور التزامني q تساوي الصفر $v_{qg}=0$. يتم إضافة القيمة ωf بوصفها تغذية أمامية لخرج المتحكم للحصول على النبض الخاص للشبكة ωg الذي يتم تحويله لزاوية جهد الشبكة في كل لحظة θ_g باستخدام صندوق تكامل تتراوح قيمة θ_g في هذه المرحلة بين $\pi-$ و $\pi+$ يتم تحويلها إلى المجال بين 0 و 2π .



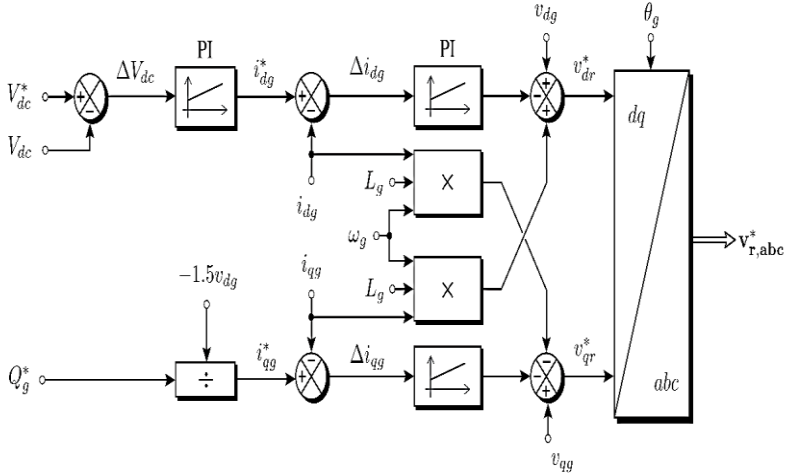
الشكل 12 المخطط الصندوقي لحلقة تحديد الطور

للقيام بتحويل بارك للحصول على مركبتي المحاور التزامنية لجهد الشبكة ومركبتي المحاور التزامنية للتيار يمكن استخدام المعادلات الآتية:

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \sin(\omega t) & \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos(\omega t) & \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \sin(\omega t) & \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos(\omega t) & \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (6)$$

تتألف طريقة التحكم الموجه عن طريق الجهد (Voltage-Oriented Control) كما يبين الشكل 13 من حلقتين داخليتين للتحكم بالتيار وذلك لضمان التحكم الدقيق بمركبتي التيار على المحاور التزامنية وحلقة خارجية واحدة للتحكم بجهد الطرف المستمر إذ يتم تحويل المركبات الثلاثية الطور لتيار الشبكة للمركبتين التزامنيتين للتيار i_{dg} و i_{qg} باستخدام زاوية جهد الشبكة θ_g . تمثل المركبة التزامنية i_{dg} المركبة الفعالة لتيار الشبكة ثلاثي الطور، بينما تمثل المركبة التزامنية i_{qg} المركبة الردية لتيار الشبكة ثلاثي الطور، يتيح التحكم المستقل لهاتين المركبتين التحكم بكل من الاستطاعة الفعالة والاستطاعة الردية بشكل منفصل [18].



الشكل 13 المخطط الصندوقي طريقة التحكم الموجه عن طريق الجهد

3-4- اختيار سعة مكثف الوحدة

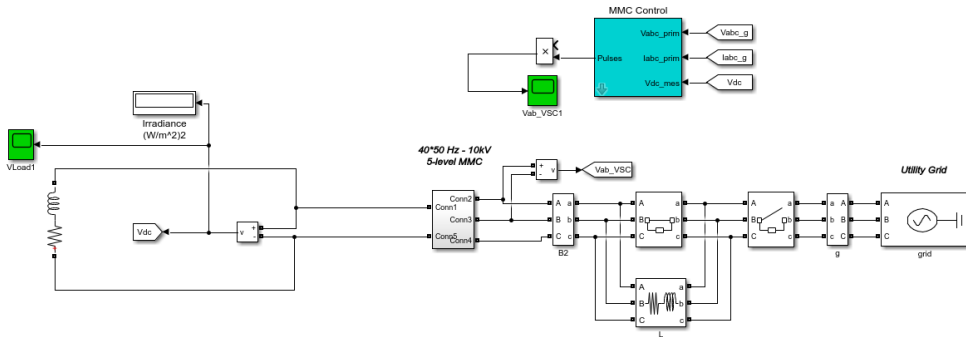
يمكن حساب سعة مكثف الوحدة الفرعية للمبدل وفقاً لتغيرات الطاقة ضمن ذراع المبدل والمتعلق بتردد الشبكة [1] بالتالي يمكن اختيار سعة مكثف الوحدة بالعلاقة

$$C_{(MMC)} = \frac{S}{3\omega N_{mod} V_C \Delta V_C}$$

$$C_{(MMC)} = \frac{1000000}{3 * \omega * 4 * 4375 * 100} = 5,5mF$$

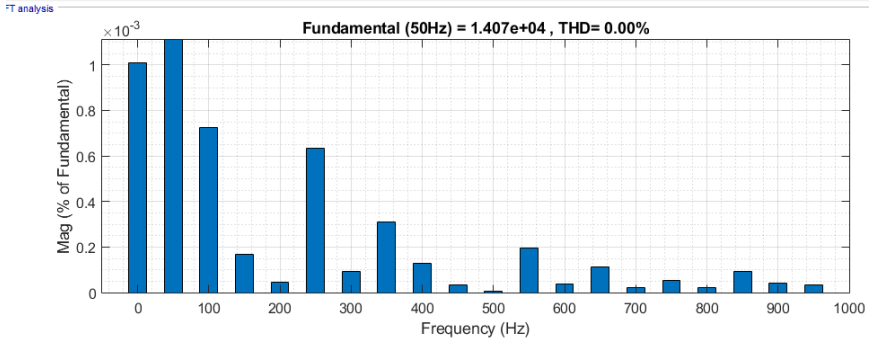
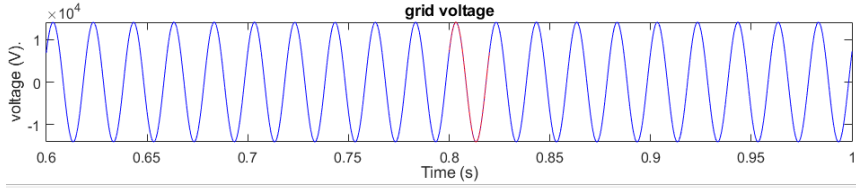
4- نمذجة عمل المبدل متعدد المستويات من النوع MMC

قمنا باستخدام بيئة Matlab/Simulink لنمذجة عمل المبدل متعدد المستويات من النوع MMC وقمنا بوصله مع شبكة جهد متوسط 10kV وتطبيق خوارزمية تحكم موجه عن طريق الجهد وباستخدام طريقة التعديل العرضاني للنبضة ذو الانزياح الطوري PS-PWM ويبين الشكل 14 النموذج المذكور

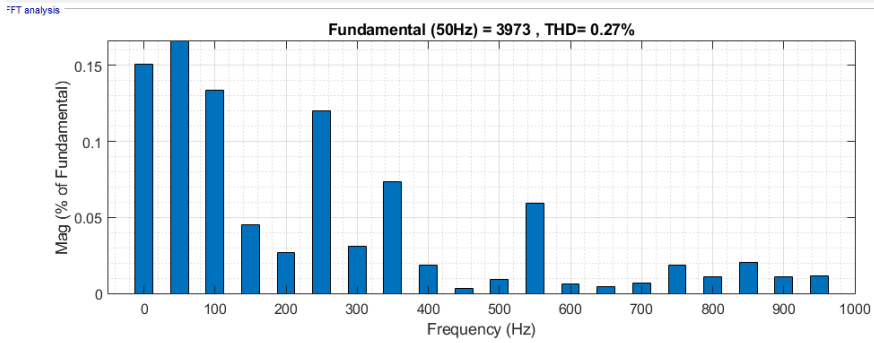
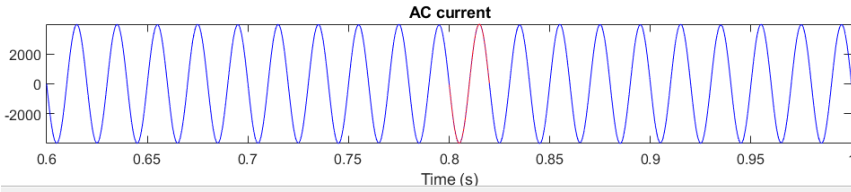


الشكل 14 نموذج لمبدل متعدد المستويات من النوع MMC موصول مع شبكة 10كيلوفولط

اعتبرنا أن جهد الشبكة جيبي بدون أي تشوهات كما يبين الشكل 15 كما أن موجة التيار هي أيضا موجة جيبية بتشوه شبه معدوم كما يبين الشكل 16 مع العلم أننا لدراسة سلوك المبدل قمنا بوصل خرج المبدل في طرف الجهد المستمر مع حمل تحريضي أومي.

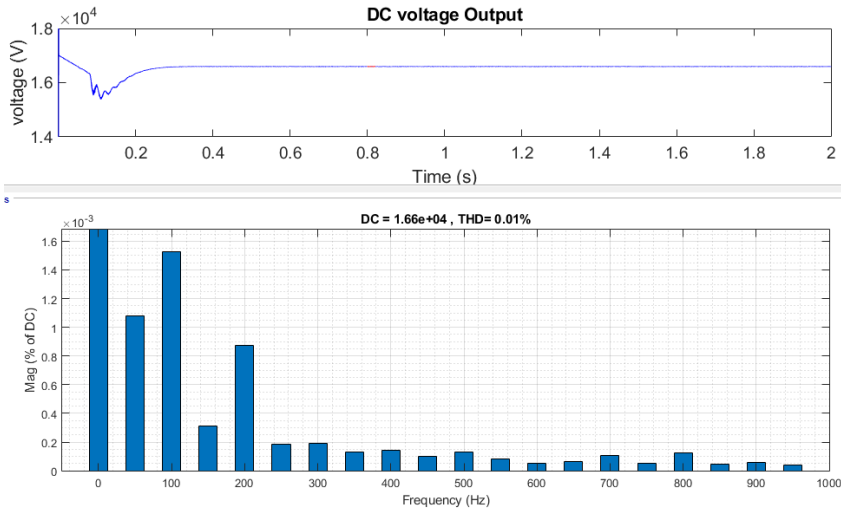


الشكل 15 تحليل فورييه لجهد الشبكة



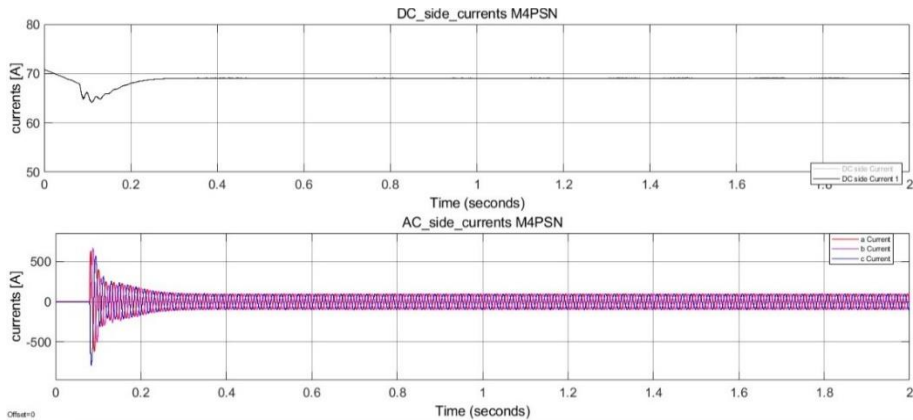
الشكل 16 تحليل فورييه لتيار الطرف المتناوب للمبدل

عند وصل الطرف المتناوب للمبدل مع الشبكة يكون الجهد في الطرف المستمر بقيمة 16.6 كيلوفولط وبتذبذب شبه معدوم كما يبين الشكل 17 كما أن الجهد يستقر عند قيمته خلال أقل من 0.3 ثانية



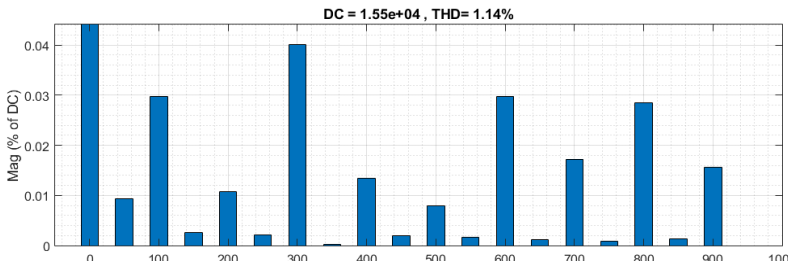
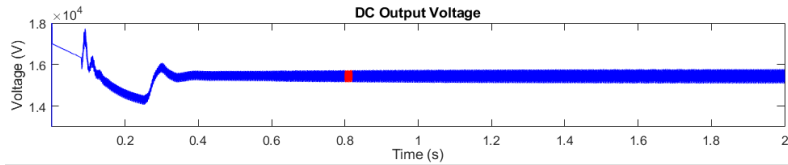
الشكل 17 جهد الطرف المستمر عند خرج المبدل

يبين الشكل 18 تيار الحمل الموصول عند الطرف المستمر للمبدل وأيضاً نلاحظ أن التيار يستقر عند القيمة 69 أمبير بتذبذب شبه معدوم خلال أقل من 0.3 ثانية

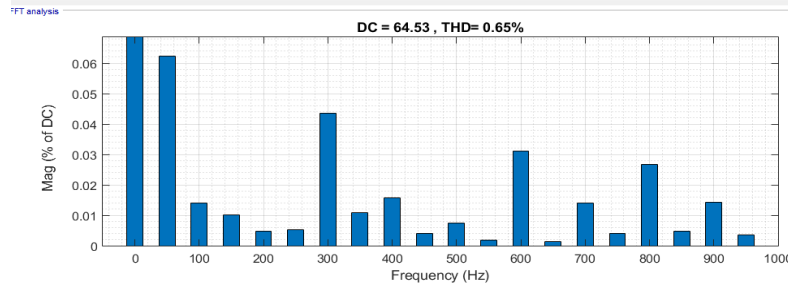
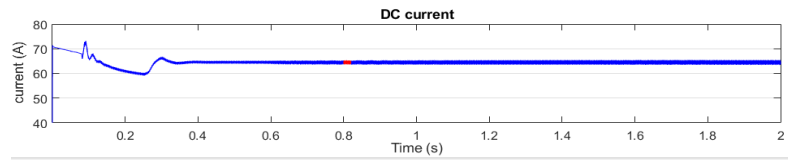


الشكل 18 تيار الحمل عند الطرف المستمر

تمكننا خوارزمية التحكم المستخدمة من تثبيت قيمة الجهد عند قيمة أقل من القيمة الاسمية وقد قمنا بوضع نقطة هدف لحلقة التحكم عند القيمة 15.5 كيلوفولط وقد قام المبدل بتثبيت قيمة الجهد عند هذه القيمة لكن يلاحظ زيادة التذبذب في موجة الجهد المستمر عند خرج المبدل لـ 1.14% في هذه الحالة كما أن الوصول لهذه القيمة استغرق وقتاً أطول كما يبين الشكل 19 إلا أن موجة تيار الحمل كانت أكثر استقراراً ويتذبذب 0.65% كما يبين الشكل 20

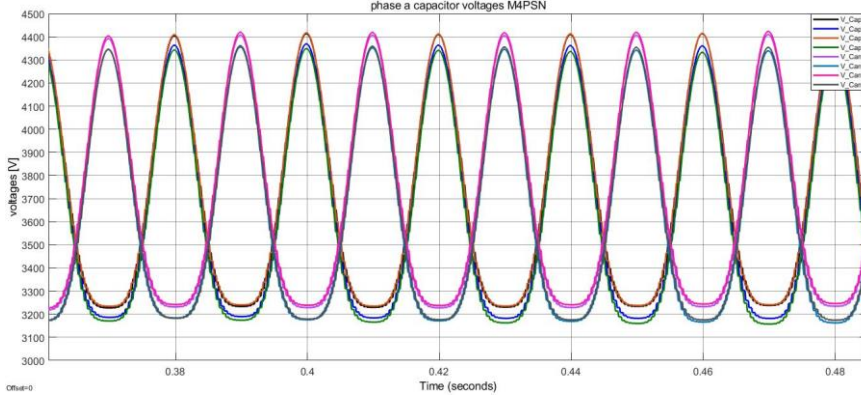


الشكل 19 جهد الطرف المستمر عند خرج المبدل عند وضع نقطة هدف للجهد



الشكل 20 تيار الحمل عند وضع نقطة هدف للجهد

من الجدير بالذكر أن تقنية التحكم حافظت على جهود المكثفات موازنة بشكل مقبول كما يبين الشكل 21



الشكل 21 جهود مكثفات أحد أطوار المبدل

4- النتائج

بالتالي يعد استخدام المبدل متعدد المستويات MMC كمقوم لموجة الجهد مع تطبيق طريقة التحكم الموجه عن طريق الجهد خياراً جيداً ضمن بنية المحولات الذكية حيث أنه:

- I. يمكن الحصول على جهد مستمر مستقر ومتحكم به
- II. يمكن الحصول على موجة تيار مستمر بحد مقبول من التذبذب.
- III. مع المحافظة على توازن مقبول لجهود مكثفات الوحدات
- IV. وقيم منخفضة للتيارات الدوارة

المراجع

1. LEVY FERREIRA COSTA “Modular Power Converters for Smart Transformer Architectures Doctoral Thesis, Technische Fakult Christian-Albrechts-Universit zu Kiel, 2019
2. M. Ebrahim Adabi and Juan A. Martinez-Velasco, “Solid state transformer technologies and applications: A bibliographical survey” AIMS Energy, 6(2): 291–338. 2018.
3. Xu She, Xunwei Yu, FeiWang and Alex Q. Huang, “Design and Demonstration of a 3.6-kV–120-V/10-kVA Solid-State Transformer for Smart Grid Application” IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 29, NO. 8, AUGUST 2014
4. Angel James, “SMART GRID-SMART TRANSFORMERS” DEPARTMENT OF EEE, SAINTGITS
5. A. Shiri, “A solid state transformer for interconnection between the medium and the low voltage grid design,” Master Thesis, Delft University of Technology, Netherlands, October 2013.
6. JUN WANG, ALEX Q. HUANG, WOONGJE SUNG, YU LIU, and B. JAYANT BALIGA “Development of 15-kV SiC IGBTs and Their Impact on Utility Applications, 2009
7. Vijayakrishna Satyamsetti, Andreas Michealides, Antonis Hadjiantonis “Forecasting on Solid State Transformer Applications” the International Conference on Intelligent Sustainable Systems 2017
8. Dražen Dujić, Frederick Kieferndorf, and Francisco Canales “Power Electronic Transformer Technology for Traction Applications – An Overview” ELECTRONICS, VOL. 16, NO. 1, JUNE 2012
9. Yuqing Cui, Yu Chen, Yingzhuo Chen and Yong Kang Canales “DC-DC Modular Multilevel Converter with High Frequency Transformer for Transportation Applications”2014
10. Salvador Alepuza, Francisco González-Molinab, Jacinto Martin-Arnedoc, Juan A. Martinez-Velasco, “Development and testing of

- a bidirectional distribution electronic power transformer model ” Electric Power Systems Research 107 (2014) 230– 239
11. Juan A. Martinez-Velasco,*, Salvador Alepuz, Francisco González-Molinac, Jacinto Martin-Arnedo , “Dynamic average modeling of a bidirectional solid state transformer for feasibility studies and real-time implementation Juan ” Electric Power Systems Research 117 (2014) 143–153 .
 12. Francisco González, and Jacinto Martin-Arnedo, Salvador Alepuz, and Juan A. ” EMTP Model of a Bidirectional Multilevel Solid State Transformer for Distribution System Studies” 2015
 13. Mohammad Ebrahim Adabi Firouzaee, “Advanced Modular Power Converters for Smart Transformer Architectures Doctoral Thesis, UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA Barcelona, January 2018
 14. Wim Willems, Tine L. Vandoorn, Jeroen D. M. De Kooning and Lieven Vandeveld Ni “Development of a Smart Transformer to Control the Power Exchange of a Microgrid” s funded by the Special Research Fund (BOF) of Ghent University (Belgium) 2014
 15. Giovanni De Carne, Zhixiang Zou, Giampaolo Buticchi, Marco Liserre and Costas Vournas “Overload Control in Smart Transformer-Fed Grid” Appl. Sci. 2017, 7, 208
 16. A. Nami, J. Liang, F. Dijkhuizen, G. D. Demetriades Vournas “Modular Multilevel Converters for HVDC Applications: Review on Converter Cells and Functionalities” IEEE Transactions on Power Electronics 2013
 17. عبد الرحمن الحبال "دراسة وتحسين إشارة خرج المبدلات الوحدوية متعددة المستويات عند استخدامها في تطبيقات الطاقة الشمسية" رسالة ماجستير في جامعة البعث حمص حزيران 2020
 18. Sixing Du, Apparao Dekka, Bin Wu, Navid Zargari, “Modular Multilevel Converters: Analysis, Control, And Applications” IEEE Press Wiley 2018.
 19. M. Perez, S. Bernet, J. Rodriguez, S. Kouro, and R. Lizana, “Circuit topologies, modeling, control schemes, and applications

- of modular multilevel converters,” IEEE Trans. Power Electron., vol. 30, no. 1, pp. 4–17, Jan 2015.
20. S. Debnath, J. Qin, B. Bahrani, M. Saeedifard, and P. Barbosa, “Operation, control, and applications of the modular multilevel converter: A review,” IEEE Trans. Power Electron., vol. 30, no. 1, pp. 37–53, Jan 2015.
21. A. Nami, J. Liang, F. Dijkhuizen, and G. Demetriades, “Modular multilevel converters for hvdc applications: Review on converter cells and functionalities,” IEEE Trans. Power Electron., vol. 30, no. 1, pp. 18–36, Jan 2015.
22. Lesnicar, R. Marquardt, "An Innovative Modular Multilevel Converter Topology Suitable for a Wide Power Range,” Power Tech Conference Proceedings, 2003 IEEE Bologna, vol.3, no.6, pp. 23-26, June 2003.

تحليل أداء بعض خوارزميات التعلم التنبؤي

في تشخيص سرطان الثدي

طالب الماجستير: يارا كيبو كلية الهك - جامعة البعث

اشراف الدكتور: ابراهيم الشامي

ملخص البحث:

في الوقت الحاضر يتم تلقي بيانات كبيرة في المجال الطبي ، تحتوي هذه البيانات على تفاصيل حول المرضى والفحوصات الطبية والعلاج وأعراض الأمراض، تُعد تقنية تحليل البيانات أحد مجالات البحث المهمة في تحديد المعلومات المفيدة من مجموعات البيانات الضخمة. يمكن استخدام تقنيات التعلم الآلي للكشف عن الأمراض غير المعروفة وأسبابها وتحديد طرق العلاج الطبي.

تم في هذا البحث عرض دراسة تحليلية لبعض خوارزميات التعلم الآلي التنبؤي و تم تطبيق هذه الخوارزميات على قاعدة بيانات لمرض سرطان الثدي وذلك لتوحيد بيئة العمل واخضاع الخوارزميات لنفس الشروط والظروف، وعرض النتائج التي تم الوصول إليها عند استخدام كل خوارزمية. تم استخدام خوارزمية شجرة القرار Decision Tree وخوارزمية الجار الأقرب KNN وخوارزمية نايف بايز Naïve Bayes وخوارزمية شعاع دعم الآلة SVM وخوارزمية الشبكات العصبونية(Perceptron) وخوارزمية العنقدة (Clustering) بالإضافة إلى استخدام تقنيات دمج المصنفات على التفرع، تم تقييم الأداء ودراسة تأثير نسب بيانات التدريب والاختبار على دقة النتائج ، مع المقارنة بين هذه الخوارزميات واطهار أفضلها دقة وموثوقية.

الكلمات المفتاحية: التعلم الآلي ، خوارزمية شجرة القرار، خوارزمية الجار الأقرب،

، خوارزمية perceptron خوارزمية نايف بايز ، خوارزمية شعاع دعم الآلة، خوارزمية

، تقنية التكديس K-means.

Performance Analysis of some Predictive Learning Algorithms in Breast Cancer Diagnosis

Abstract:

Nowadays amount of data is received in the medical field. These data contain details about patients, medical examinations, treatment and symptoms of diseases. Data analysis technology is an important research area in identifying useful information from large datasets. Machine learning techniques can be used to reveal unknown diseases and their causes along with identifying medical treatment methods.

In this research, an analytical study of predictive machine learning algorithms was presented. These algorithms were applied to a database for breast cancer disease. the results of each algorithm were presented thereafter. Decision Tree, KNN, Naïve Bayes, SVM, Perceptron, and K-means were used. Algorithms were compared to show the best accuracy and reliability.

Keywords: machine learning, decision tree algorithm, nearest neighbor algorithm, Naive Bayes algorithm, support vector machine algorithm, perceptron algorithm, K-means algorithm, stacking technique.

1- مقدمة

مع كثرة البيانات الموجودة والمخزنة في قواعد البيانات أصبح من الضروري ايجاد تقنيات ووسائل لاستخلاص المعلومات والمعرفة من مثل هذه البيانات واستغلالها في حل المشاكل واتخاذ القرارات باستخدام تطبيقات حاسوبية حديثة تعتمد على الذكاء الاصطناعي.

هذا البحث سيساعد الباحثين ويسرع في عملهم لاسيما أنه تناول الكثير من الخوارزميات التي يمكن استخدامها في هذا المجال بالتالي هذا سيساعدهم على اختيار الخوارزمية الانسب لعملهم، حيث تمت دراسة الخوارزميات وتدقيقها وتطبيقها على قاعدة بيانات لسرطان الثدي بعد معالجتها عبر برنامج ماتلاب وذلك لاختيار أفضل الخوارزميات بالإضافة لدراسة تأثير نسب التدريب والاختبار على الأداء.

سيتناول القسم الثاني من هذه المقالة الهدف من هذا البحث، بينما يحوي القسم الثالث أهم الدراسات المرجعية، ويتضمن القسم الرابع دراسة خوارزميات DT, KNN, NB, SVM Perceptron, K-means, Stack method، بينما يعرض القسم الخامس التنفيذ العملي وجدول مقارنة الخوارزميات مع آلية عمل كل منها، والقسم السادس يحتوي على أهم الاستنتاجات والتوصيات.

2- الهدف من البحث

نسعى من خلال إجراء هذه الدراسة لإظهار قدرة خوارزميات الذكاء الصناعي والتعلم الآلي في المساهمة في المجال الطبي بشكل فعال ودقيق. عن طريق معرفة العوامل المؤثرة على أداء الخوارزمية نقلل مجال الخطأ الذي يمكن أن يحدث ودراسة تأثير نسب بيانات التدريب والاختبار على الأداء من حيث الدقة والخطأ و معدل الحساسية والنوعية والاحكام.

3- الدراسات المرجعية:

1- في [1] قام الباحثان Erhan Guven ومن معه بدراسة للتحليل والتنبؤ بمعدل البقاء على قيد الحياة لمرضى سرطان الثدي باستخدام الشبكات العصبونية وشبكات بايز Bayes وشجرة القرار واجريت عدة تجارب باستخدام هذه الخوارزميات وتمت المقارنة بينها من ناحية الدقة والاحكام والحساسية باستخدام

- التحقق المتقاطع حققت هذه الخوارزميات نتائج شبه متقاربة لكن بتفوق خوارزمية شجرة القرار وذلك في عام 2005.
- 2- في [2] درس الباحثان ايمان فتحي أحمد ويحيى اسماعيل ابراهيم امكانية تمييز الأمراض الصدرية حيث استخدموا الشبكات العصبية وذلك بتدريبها على أعراض هذه الأمراض وتم التوصل لنتائج تشخيص جيدة بما يتناسب مع أعراض المرض وذلك في عام 2009.
- 3- في [3] اقترح الباحثون G.subbalakshmi ,K.Ramesh ,M.China Rao نظام للتنبؤ بأمراض القلب باستخدام نظرية Naïve bayes اثبت هذا النظام فعاليته في التنبؤ باحتمالية الاصابة بالمرض وذلك في عام 2011.
- 4- في [4] درس الباحثان Isa Maleki , Yaghoub lotfi مرض السكري والتنبؤ به باستخدام خوارزميات نايف بايز والجار الاقرب و svm وتم تقييم الاداء والمقارنة بينها حيث كانت svm اكثر دقة وصلت ل 81.77% وذلك في عام 2014 .
- 5- في [5] اقترح الباحثان V.sabarinathan, V.sugumaran نظام للتنبؤ بأمراض القلب حيث تناولت هذه الدراسة أدوات التعلم الآلي وذلك لتحديد سبب الإصابة بأمراض القلب استخدمت فيها خوارزمية شجرة القرار وخوارزمية شعاع دعم الآلة للتصنيف حيث تمت دراسة عدة أنواع لتابع النواة kernel function في خوارزمية SVM وحساب الدقة عند كل نوع هذه الدراسة انجزت خوارزمية SVM دقة وصلت ل 82.35% وذلك في عام 2015.
- 6- في [6] استخدمت الباحثة هيام عمر عبدالله خوارزمية العنقدة لتشخيص الأمراض الوبائية في عدة مناطق من السودان تم من خلال هذه الدراسة تصنيف الأمراض التي تكثر في مناطق مقارنة بمناطق اخرى والأعوام التي ازدادت فيها نسبة الاصابة وأثبتت من خلال هذه الدراسة أن الخوارزمية المستخدمة مرنة ويمكنها التعامل مع أحجام مختلفة للبيانات وذلك في عام 2017.

7- في [7] أجرى الباحث عروة عبدالله دراسة لمرض السل استخدم فيها خوارزمية شجرة القرار و العنقدة وتقييم الأداء عند عدد البيانات الكلي وعند تقليل عدد البيانات إلى مجموعة جزئية كانت الدقة أكبر عند استخدام كمية أكبر من البيانات لكن هذا يزيد زمن التنفيذ وذلك في عام 2017.

8- في [8] قامت الباحثة ناهد محمد أحمد ببناء نموذج باستخدام عدة خوارزميات تصنيف وهي الانحدار اللوجستي و نايف بايز وشجرة القرار للتعرف على مرض السكري وأسبابه وبناء خطط علاجية له وتم استخدام منحني ROC لتوضيح جودة الخوارزميات والمقارنة بينها أعطت خوارزمية الانحدار اللوجستي أفضل نتائج وذلك في عام 2018.

9- في [9] أجرت الباحثة رؤى الراعي دراسة تحليلية للكشف عن الشائعات في شبكات التواصل الاجتماعي باستخدام خوارزميات التصنيف والمقارنة بينها ومحاولة تحسين ادائها من خلال اجراء معالجة مسبقة للبيانات عن طريق اختيار السمات الأكثر أهمية features selection بالتالي انقاص عدد الميزات وإزالة البيانات المكررة وذلك في عام 2019.

4- الخوارزميات المستخدمة

في البحث المطروح سوف نقدم عدة خوارزميات للتعلم الآلي ، وهذه الخوارزميات هي خوارزمية شجرة القرار، خوارزمية الجار الأقرب، خوارزمية نايف بايز، خوارزمية شعاع دعم الآلة، خوارزمية برسيبترون، خوارزمية العنقدة، ودمج المصنفات على التفرع، عن طريق برمجتها وتطبيقها على برنامج ماتلاب.

4-1 خوارزميات التعلم الآلي:

4-1-1 خوارزمية شجرة القرار (Decision Tree)

تعتبر خوارزمية شجرة القرار واحدة من الخوارزميات المنظمة و المشهورة في تعلم الآلة والمستخدم في تحليل البيانات ، وهي مكونة من مجموعة من العقد والوصلات، وكل عقدة يمكن أن تعبر عن سمة من السمات، وكل وصلة تعبر عن قيمة ما لهذه السمة، أما عقد الأوراق فهي تعبر عن الهدف المتنبأ به وهي حالة الشخص في هذا البحث أي مريض أم سليم. تكمن شهرة هذه الخوارزمية في سهولة تفسيرها وكونها قادرة على

التعامل مع السمات الفئوية، ويمكن توسيعها للتعامل مع أكثر من صنفين، بالنسبة لخوارزمية شجرة القرار لها بارامتر مهم وهو عمق الشجرة(عدد العقد بين عقدة الجذر وعقد الأوراق) [10].

تقوم الخوارزمية، أولاً باختيار متغير من مجموعة التدريب لوضعه في عقدة الجذر. ومن ثم تخلق فرع جديد لكل قيمة جديدة للمتغير، يستمر تنفيذ الخوارزمية بشكل عودي حتى الحصول على العقد الأوراق، هذه الخوارزمية تستخدم مفهوم ربح المعلومات وذلك من خلال تطبيق مفهوم الإنتروبي، من أكثر الأمور أهمية عند العمل مع خوارزمية شجرة القرار هو تحديد العنصر الأكثر أهمية أي تحديد السمة Feature التي تحتوي على أعلى كمية معلومات يمكن الاستفادة منها وهو ما يعرف بإنتروبي المعلومات. حيث يكون هنالك عنصر يمكنه أن يساعد في تحديد الصنف أكثر من عنصر آخر.

$$Entropy(s) = -P_+ \log_2 P_+ - P_- \log_2 P_- \dots (1)$$

حيث: S نموذج لمثال تدريبي.

و P_+ نسبة الأمثلة الايجابية.

و P_- نسبة الأمثلة السلبية.

بارامترات متعلقة بشجرة القرار:

Root Node: تمثل العقدة الجذرية جميع مجموعات العينات.

Splitting: الانقسام، عملية تقسيم العقدة إلى عقد متعددة.

Decision Node: نقطة القرار، عندما يمكن تقسيم العقدة الفرعية بشكل أكبر فإن هذه

العقدة الفرعية هي نقطة قرار.

Leaf/Terminal Node: الورقة/ نقطة النهاية، لا يمكن تقسيم العقدة.

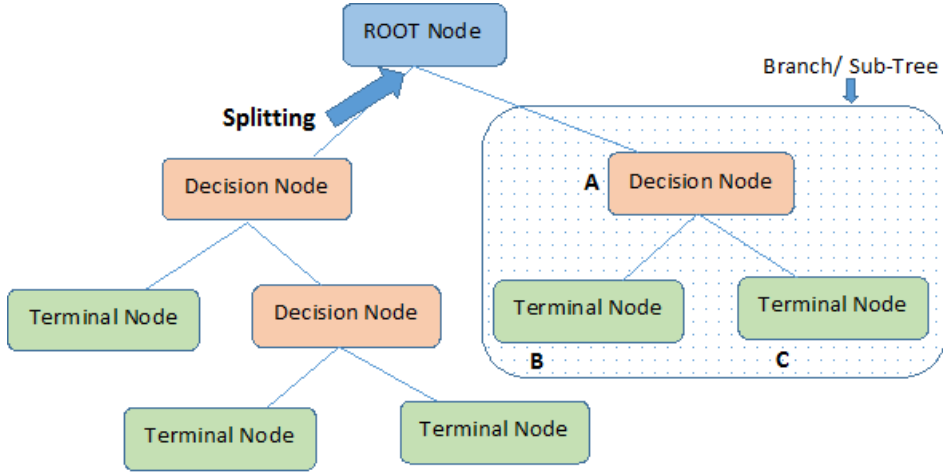
Pruning, Prune: عملية إزالة العقد الفرعية لنقطة القرار.

Branch/Sub-Tree: الفرع، فرع من الشجرة بأكملها.

Parent and Child Node: العقدة الأصلية/العقدة الفرعية، العقدة قم بتقسيمها إلى

عدة عقد فرعية، ثم هذه العقدة هي العقدة الأم.

الشكل (1) يعرض مخطط لشجرة القرار [14].



Note:- A is parent node of B and C.

الشكل (1) مخطط توضيحي لشجرة القرار

2-1-4 خوارزمية الجار الاقرب (K-nearest neighbours)

تفترض خوارزمية الجار الاقرب أن البيانات منتشرة في الفضاء وفي هذه الحالة يمكن حساب المسافة بين النقاط، وهناك العديد من الطرق التي تستخدم في حساب المسافات وأشهرها المسافة الاقليدية التي تعطى بالعلاقة:

$$d(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{t=1}^T [x_{ti} - x_{tj}]^2} \dots (2)$$

حيث x_i العينة الأولى.

و x_j العينة الثانية.

و d ترمز إلى المسافة.

و تعتبر من خوارزميات التي تهدف للتنبؤ عن طريق مقارنة السجلات الشبيهة بالسجل المراد التنبؤ به [11].

فكرة الخوارزمية هي: تكون العينة أكثر تشابهاً مع عينات k في مجموعة البيانات، إذا كان ينتمي معظمهم إلى فئة معينة، ثم تنتمي العينة أيضاً إلى هذه الفئة. في بحثنا أخذنا قيمة $k=5$.

4-1-3 خوارزمية نايف بايز (Naïve Bayes)

يقدم هذا المصنف تقنية تصنيف بسيطة لكنها قوية. يفترض هذا النموذج متغيرات كل المدخلات ذات أهمية متساوية ومستقلة عن بعضها البعض، ويستند المصنف Naïve Bayes على نظرية بايز الكلاسيكية التي قُدمت في عام 1763 والتي تعمل على نظرية الاحتمالات والاستقلالية التي تعطى بالشكل الرياضي:

$$P(H|E) = \frac{P(E|H)P(H)}{P(E)} \dots (3)$$

حيث: $P(H)$ الاحتمالية المسبقة لكل صنف.

و $P(E|H)$ تابع الأرجحية الاحتمالية لكل صنف.

و $P(E)$ تابع الكثافة الاحتمالية للسمة.

و $P(H|E)$ الاحتمال المشروط لكل صنف بالاعتماد على السمة.

يفترض المصنف NB وجود أو عدم وجود متغير ما ليس له علاقة بوجود أو غياب أي متغير آخر، يمتلك مصنف NB ميزة وهي أنه يتطلب كمية صغيرة من قاعدة معطيات التدريب لتقدير المتغيرات اللازمة للتصنيف [12].

4-1-4 خوارزمية شعاع دعم الآلة (SVM)

هي إحدى خوارزميات التعلم المراقب الفكرة الرئيسية لعمل هذه الخوارزمية هو إيجاد الحد الفاصل separating hyperplane بين الاصناف وذلك عن طريق جعل الهامش أو الحاشية margin أكبر ما يمكن.

والهامش هو المسافة بين بيانات التدريب training data والحد الفاصل.

التمثيل الرياضي للمستوي الفاصل hyperplane يكون بالشكل:

$$w^T \cdot x = 0 \dots (4)$$

حيث: w متجه الأوزان.

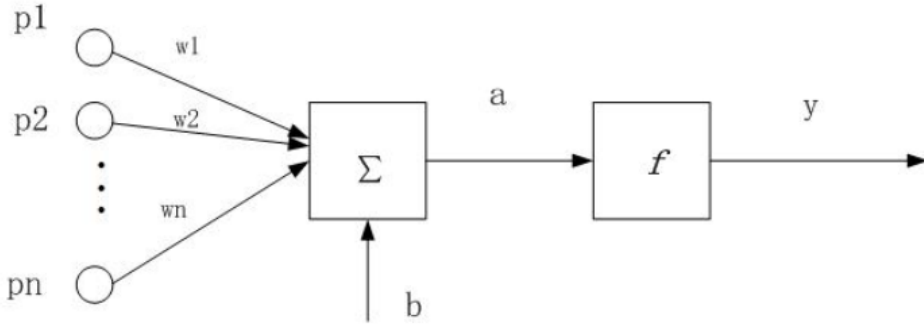
و x متجه السمة.

التمثيل الرياضي للحاشية margin يكون بالشكل:

$$M = \frac{2}{\|w\|} \dots (5)$$

4-1-5 خوارزمية الشبكات العصبونية (Perceptron)

هي خوارزمية مصدرها محاكاة آلية عمل الخلايا العصبونية البيولوجية البشرية. الوظائف الرئيسية لخوارزمية الشبكة العصبونية هي التنبؤ والتصنيف والاعتراف. الشبكة العصبونية BP هي الشبكة الأكثر استخدامًا، ويشير Perceptron بشكل عام إلى شبكة أحادية الطبقة، وهي شبكة عصبونية تحتوي فقط على طبقة الدخل وطبقة الخرج، والنموذج مبين بالشكل (1) على النحو التالي [17]:



الشكل (2) خوارزمية perceptron

تحتوي طبقة الدخل على مدخلات الخلايا العصبية p_1, p_2, \dots, p_n والأوزان المقابلة w_1, w_2, \dots, w_n [14].

تحتوي طبقة الخرج على عملية تجميع ودالة F . حيث y هي ناتج التصنيف و b هي الإزاحة و f هي دالة نقل إلى a بحيث يمكن التعبير عن طبقة الإخراج على النحو التالي:

$$a = \sum_{i=1}^n p_i \cdot w_i + b \dots (6)$$

$$y = f(a) \dots (7)$$

حيث $p=30$;

$b=1$ وقيم الأوزان عند أول تكرار $=1$.

6-1-4 خوارزمية العنقدة (Cluster)

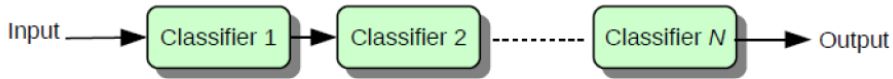
العنقدة هي تصنيف غير مراقب unsupervised classification: أي ليس هنالك أصناف محددة مسبقاً.

- ليكن لدينا k متوسط تمر خوارزمية k -means بأربع مراحل هي:
 - ✓ تقسيم الأغراض إلى k مجموعة جزئية غير خالية nonempty subsets.
 - ✓ اعتبار النقاط البذرة seed points كمراكز للعناقيد centroids.
 - ✓ اضم كل عنصر إلى العنقود المناسب من خلال البذرة الأقرب nearest seed point.
 - ✓ العودة إلى الخطوة الثانية حتى لايعود هنالك أي عملية ضم [15].
- حيث $k=2$.

5- تقنيات دمج المصنفات :

5-1 طوبولوجية المتتالية:

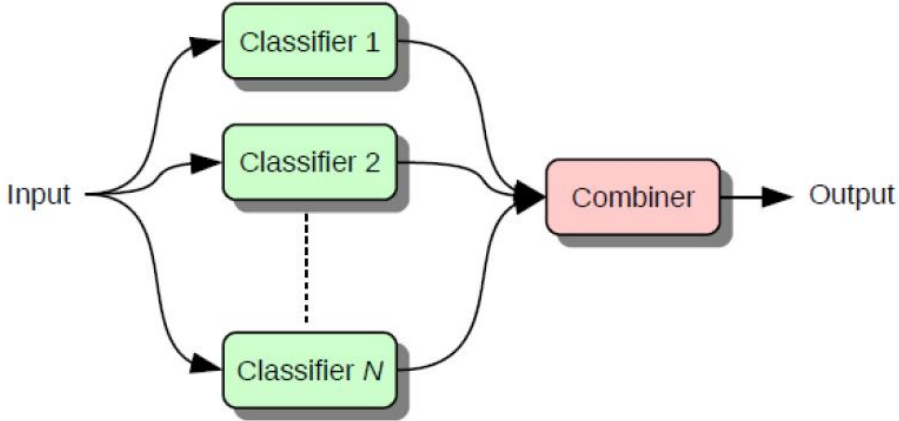
يتم فيها كما هو مبين في الشكل (2) استخدام خرج المصنف كدخل للمصنف التالي ويتم الحصول على التنبؤ النهائي من خرج المصنف الأخير [16].



الشكل (3) المخطط الصندوقي لطوبولوجية المتتالية

2-5 طوبولوجية التوازي:

يتم جمع خرج جميع المصنفات في مكان واحد كما هو مبين في الشكل (3)[16].



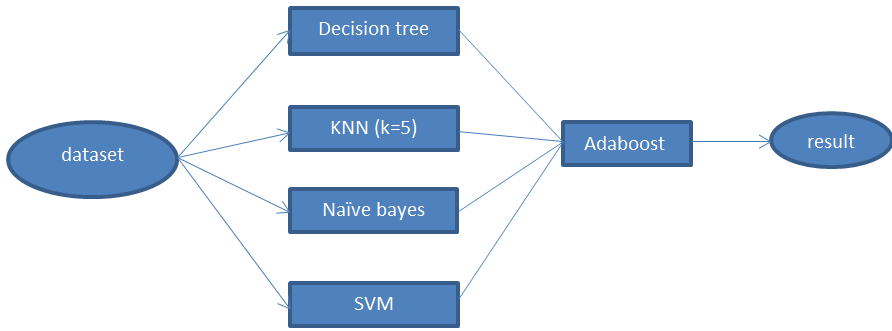
الشكل (4) المخطط الصندوقي لطوبولوجية التوازي

مثال على هذه الطريقة التكديس stacking:

هي إجرائية تهدف إلى تدريب المصنف على جمع (دمج) مخرجات المصنفات الفردية، حيث تسمى المصنفات الفردية مصنفات المستوى الأول بينما مصنف الدمج يسمى مصنف المستوى الثاني والفكرة الأساسية لهذه الطريق هي تدريب المصنفات في المستوى الأول على قاعدة البيانات الأساسية ويتم انشاء قاعدة بيانات جديدة لتدريب المصنفات في المستوى الثاني.

استخدمنا في بحثنا هذه التقنية كالتالي:

مصنفات المستوى الأول المستخدمة هي شجرة القرار والجار الاقرب ونايف بايز و svm ومصنف المستوى الثاني هو مصنف adaboost باعتبار خوارزمية شجرة القرار هي الخوارزمية الأساسية.



الشكل (5) المخطط الصندوقي لخوارزمية الدمج المستخدمة stack-alg

6- تقييم الأداء:

يتم فحص أداء خوارزمية التصنيف من خلال دقة المصنف، يتم احتساب دقة المصنف عادةً بالنسبة المئوية للحالات التي صنفت بشكل صحيح، ولكن من الضروري أن تحدد نسبة الحالات الخاطئة وارتباطها بالصف الخاطئ.

سيتم ذلك من خلال إيجاد مصفوفة الالتباس Confusion Matrix، حيث تقوم بتلخيص نتيجة تطبيق المصنف على شكل مصفوفة، في حال كانت المشكلة المدروسة تتألف من n صف فإن حجم مصفوفة الالتباس سيكون $n * n$ ، حيث الأسطر تمثل الصف الفعلي والأعمدة تمثل الصف المتوقع وتكون بالشكل:

	Positive	Negative
Positive	TP	FN
Negative	FP	TN

TP: عدد الحالات الإيجابية المتوقعة بشكل صحيح أي الشخص الممتنبأ مريض وهو بالفعل مريض.

FN: عدد الحالات الإيجابية المتوقعة بشكل خاطئ أي الشخص مريض وتم تصنيفه غير مريض.

FP: عدد الحالات السلبية المتوقعة بشكل خاطئ كحالات إيجابية أي الشخص سليم وتم تصنيفه كمريض.

TN: عدد الحالات السلبية المتوقعة بشكل صحيح أي الشخص سليم وتم تصنيفه كسليم بالفعل.

معايير قياس الأداء:

الدقة: عدد البيانات المصنفة بشكل صحيح على عدد البيانات الكلي.

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FN+FP} \times 100 \dots(8)$$

معدل الخطأ: عدد البيانات المصنفة بشكل خاطئ.

$$Error Rate = \frac{FP+FN}{FP+FN+TP+TN} \dots(9)$$

الاحكام: هو النسبة المئوية التي يتنبأ النموذج فيها بشكل صحيح عند اتخاذ القرار.

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \dots(10)$$

الحساسية: هو النسبة المئوية من الايجابيات التي تم تحديدها بشكل صحيح من كل الإيجابيات الموجودة.

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN} \dots(11)$$

النوعية: هو النسبة المئوية من السلبيات التي يتنبأ النموذج فيها بشكل صحيح على عدد السلبيات الموجودة.

$$Specificity = \frac{TN}{TN+FP} \dots(12)$$

7- قاعدة البيانات التي تم العمل عليها

تم تطبيق الخوارزميات على قاعدة بيانات سرطان الثدي من مستشفيات جامعة ويسكونسن، ماديسون من د. William H. Wolberg، تم الحصول عليها من <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets.php> حيث تحتوي على 1000 عينة، كل عينة تحتوي على 31 سمة (features) بالإضافة إلى الأصناف (labels) تحتوي القيمتين 0 حميد، 1 خبيث تحتوي البيانات على قياسات على خلايا في كتل مشبوهة في ثدي المرأة. الميزات محسوبة من صور رقمية لعينة من كتلة الثدي. حيث تصف هذه السمات خصائص نوى الخلية الموجودة في الصورة. يتم تصنيف جميع العينات على أنها إما حميدة أو خبيثة.

السمات موضحة في الجدول (1) :

ID رقم الهوية	worst compactness أسوأ تراص
mean radius متوسط نصف القطر	worst concavity أسوأ تقعر
mean texture متوسط الملمس	worst concave points أسوأ النقاط المقعرة
mean perimeter متوسط المحيط	worst symmetry أسوأ تناظر
mean area متوسط المنطقة	worst fractal dimension أسوأ البعد الفركتلي
mean smoothness متوسط النعومة	Radius نصف القطر
mean compactness متوسط التراص	Texture الملمس
mean concavity متوسط التقعر	Perimeter المحيط
mean concave points متوسط النقاط المقعرة	Area المنطقة
mean symmetry متوسط التناظر	Smoothness النعومة
mean fractal dimension متوسط البعد الفركتلي	Compactness التراص
worst radius أسوأ نصف قطر	Concavity التقعر
worst texture أسوأ ملمس	concave points النقاط المقعرة
worst perimeter أسوأ محيط	Symmetry التناظر
worst area أسوأ منطقة	fractal dimension البعد الفركتلي
worst smoothness أسوأ نعومة	

جدول (1) سمات قاعدة البيانات

8- التطبيق العملي:

تم تطبيق خوارزميات التعلم الآلي على قاعدة البيانات السابقة والتنبؤ بالصنف من خلال عدة مراحل لكل خوارزمية وإيجاد النتائج عند نسب مختلفة لبيانات التدريب والاختبار عن طريق برنامج ماتلاب وذلك باستخدام بارامترات افتراضية لكل خوارزمية.

مقارنة النتائج:

تمت مقارنة أداء الخوارزميات المذكورة على قاعدة بيانات سرطان الثدي، وتوضيح النتائج عن طريق الجداول والرسوم البيانية الآتية.

نتائج تطبيق خوارزمية شجرة القرار:

الجدول (1): مقارنة بين قيم الدقة والخطأ عند تطبيق كل نسبة لبيانات التدريب والاختبار باستخدام

خوارزمية شجرة القرار.

Specificity النوعية	Recall or Sensitivity	Precision الاحكام	الخطأ	الدقة	النسبة
1	1	1	0	100%	98% للتدريب 2% للاختبار
1	0.87	1	0.1	90%	96% للتدريب 4% للاختبار
1	0.93	1	0.05	95%	94% للتدريب 6% للاختبار
1	1	1	0	100%	92% للتدريب 8% للاختبار
1	0.948	1	0.01	99%	90% للتدريب 10% للاختبار
1	0.98	1	0.015	98.5%	80% للتدريب 20% للاختبار
0.972	0.991	0.991	0.0133	98.67%	70% للتدريب 30% للاختبار
0.992	0.989	0.983	0.0125	98.75%	60% للتدريب 40% للاختبار
0.975	0.994	0.988	0.012	98.8%	50% للتدريب 50% للاختبار
0.954	0.96	0.973	0.042	95.83%	40% للتدريب 60% للاختبار
0.954	0.958	0.975	0.0429	95.71%	30% للتدريب 70% للاختبار
0.914	0.943	0.956	0.066	93.38%	20% للتدريب 80% للاختبار
0.919	0.843	0.952	0.13	87%	10% للتدريب 90% للاختبار
0.922	0.845	0.952	0.127	87.28%	8% للتدريب 92% للاختبار
0.930	0.840	0.957	0.128	87.23%	6% للتدريب 94% للاختبار
0.937	0.824	0.960	0.137	86.35%	4% للتدريب 96% للاختبار
0.828	0.906	0.900	0.125	87.55%	2% للتدريب 98% للاختبار

نتائج تطبيق خوارزمية الجار الأقرب:

الجدول (2): مقارنة بين قيم الدقة والخطأ عند تطبيق كل نسبة لبيانات التدريب والاختبار باستخدام خوارزمية الجار الأقرب.

Specificity النوعية	Recall or Sensitivity	Precision الاحكام	الخطأ	الدقة	النسبة
1	1	1	0	100%	98% للتدريب للاختبار
0.888	0.967	0.967	0.05	95%	96% للتدريب للاختبار
0.866	0.977	0.956	0.05	95%	94% للتدريب للاختبار
0.857	1	0.951	0.038	96.25%	92% للتدريب للاختبار
0.869	1	0.962	0.03	97%	90% للتدريب للاختبار
0.958	0.993	0.986	0.015	98.5%	80% للتدريب للاختبار
0.958	0.995	0.986	0.0133	98.67%	70% للتدريب للاختبار
0.943	0.992	0.975	0.0225	97.75%	60% للتدريب للاختبار
0.938	0.991	0.971	0.026	97.4%	50% للتدريب للاختبار
0.918	1	0.954	0.03	97%	40% للتدريب للاختبار
0.929	0.986	0.963	0.0329	96.71%	30% للتدريب للاختبار
0.951	0.977	0.975	0.0313	96.88%	20% للتدريب للاختبار
0.935	0.942	0.965	0.06	94%	10% للتدريب للاختبار
0.922	0.963	0.958	0.051	94.89%	8% للتدريب للاختبار
0.939	0.9622	0.967	0.046	95.43%	6% للتدريب للاختبار
0.949	0.958	0.972	0.045	95.52%	4% للتدريب للاختبار
0.729	1	0.872	0.095	90.51%	2% للتدريب للاختبار

نتائج تطبيق خوارزمية نايف بايز:

الجدول (3): مقارنة بين قيم الدقة والخطأ عند تطبيق كل نسبة لبيانات التدريب والاختبار باستخدام

خوارزمية نايف بايز.

Specificity النوعية	Recall or Sensitivity	Precision الاحكام	الخطأ	الدقة	النسبة
1	1	1	0	100%	98% للتدريب 2% للاختبار
0.888	1	0.968	0.025	97.5%	96% للتدريب 4% للاختبار
0.866	1	0.957	0.033	96.67%	94% للتدريب 6% للاختبار
0.904	0.966	0.966	0.05	95%	92% للتدريب 8% للاختبار
0.913	0.948	0.973	0.06	94%	90% للتدريب 10% للاختبار
0.916	0.960	0.973	0.05	95%	80% للتدريب 20% للاختبار
0.931	0.969	0.977	0.04	96%	70% للتدريب 30% للاختبار
0.918	0.978	0.964	0.04	96%	60% للتدريب 40% للاختبار
0.895	0.961	0.950	0.06	94%	50% للتدريب 50% للاختبار
0.895	0.955	0.940	0.067	93.33%	40% للتدريب 60% للاختبار
0.909	0.962	0.952	0.0557	94.43%	30% للتدريب 70% للاختبار
0.914	0.969	0.957	0.048	95.1%	20% للتدريب 80% للاختبار
0.945	0.966	0.971	0.0411	95.89%	10% للتدريب 90% للاختبار
0.925	0.978	0.966	0.0402	95.98%	8% للتدريب 92% للاختبار
0.915	0.985	0.955	0.039	96.06%	6% للتدريب 94% للاختبار
0.916	0.958	0.955	0.056	94.38%	4% للتدريب 96% للاختبار
0.950	0.938	0.972	0.057	94.29%	2% للتدريب 98% للاختبار

نتائج تطبيق خوارزمية SVM:

الجدول (4): مقارنة بين قيم الدقة والخطأ عند تطبيق كل نسبة لبيانات التدريب والاختبار باستخدام

خوارزمية SVM.

Specificity النوعية	Recall or Sensitivity	Precision الاحكام	الخطأ	الدقة	النسبة
1	1	1	0	100%	98% للتدريب 2% للاختبار
0.888	0.967	0.967	0.05	95%	96% للتدريب 4% للاختبار
0.933	0.977	0.977	0.033	96.67%	94% للتدريب 6% للاختبار
0.952	0.966	0.982	0.038	96.25%	92% للتدريب 8% للاختبار
0.956	0.974	0.986	0.03	97%	90% للتدريب 10% للاختبار
0.958	0.960	0.986	0.04	96%	80% للتدريب 20% للاختبار
0.958	0.960	0.986	0.03	97%	70% للتدريب 30% للاختبار
0.959	0.974	0.981	0.03	97%	60% للتدريب 40% للاختبار
0.932	0.982	0.967	0.034	96.6%	50% للتدريب 50% للاختبار
0.927	0.989	0.959	0.033	96.67%	40% للتدريب 60% للاختبار
0.950	0.969	0.973	0.037	96.29%	30% للتدريب 70% للاختبار
0.948	0.969	0.973	0.038	96.25%	20% للتدريب 80% للاختبار
0.929	0.886	0.959	0.099	90.11%	10% للتدريب 90% للاختبار
0.925	0.899	0.957	0.091	90.87%	8% للتدريب 92% للاختبار
0.909	0.899	0.948	0.097	90.32%	6% للتدريب 94% للاختبار
0.922	0.905	0.956	0.089	91.15%	4% للتدريب 96% للاختبار
0.912	0.934	0.951	0.074	92.65%	2% للتدريب 98% للاختبار

نتائج تطبيق خوارزمية Perceptron:

الجدول (5): مقارنة بين قيم الدقة والخطأ عند تطبيق كل نسبة لبيانات التدريب والاختبار باستخدام

خوارزمية Perceptron.

Specificity النوعية	Recall or Sensitivity	Precision الاحكام	الخطأ	الدقة	النسبة
1	1	1	0.05	95%	98% للتدريب 2% للاختبار
0	1	0.649	0.05	95%	96% للتدريب 4% للاختبار
0.733	1	0.918	0.067	93.33%	94% للتدريب 6% للاختبار
0.714	0.983	0.906	0.088	91.25%	92% للتدريب 8% للاختبار
0.652	1	0.905	0.08	90%	90% للتدريب 10% للاختبار
0.687	1	0.910	0.075	92.5%	80% للتدريب 20% للاختبار
0.945	0.832	0.979	0.14	86%	70% للتدريب 30% للاختبار
0.593	1	0.847	0.12	87.5%	60% للتدريب 40% للاختبار
0.938	0.905	0.968	0.084	91.6%	50% للتدريب 50% للاختبار
0.531	1	0.786	0.172	82.83%	40% للتدريب 60% للاختبار
0.843	0.980	0.922	0.067	93.29%	30% للتدريب 70% للاختبار
0.810	0.988	0.911	0.071	92.88%	20% للتدريب 80% للاختبار
0.990	0.629	0.992	0.246	75.44%	10% للتدريب 90% للاختبار
0.978	0.634	0.981	0.245	75.54%	8% للتدريب 92% للاختبار
0.903	0.855	0.942	0.128	87.23%	6% للتدريب 94% للاختبار
0.898	0.889	0.942	0.107	89.27%	4% للتدريب 96% للاختبار
0.764	0.982	0.885	0.094	90.61%	2% للتدريب 98% للاختبار

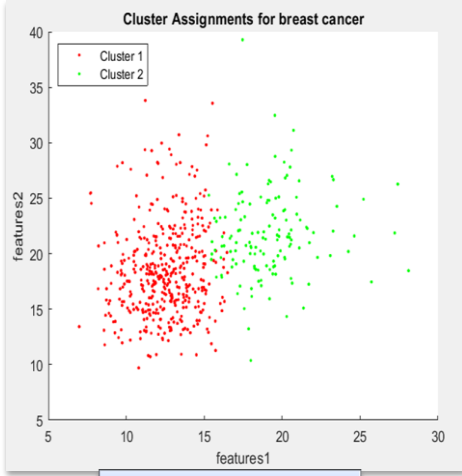
نتائج تطبيق خوارزمية Stack-alg:

الجدول (6): مقارنة بين قيم الدقة والخطأ عند تطبيق كل نسبة لبيانات التدريب والاختبار باستخدام

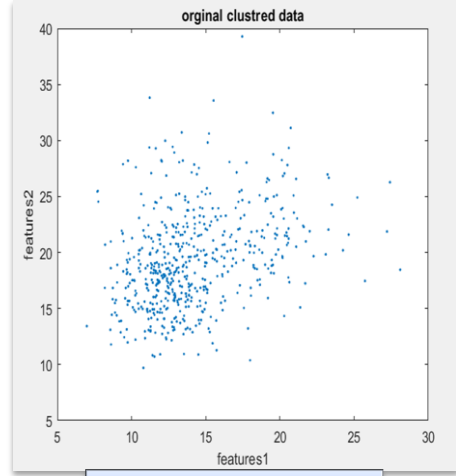
خوارزمية Stack-alg.

Specificity النوعية	Recall or Sensitivity	Precision الاحكام	الخطأ	الدقة	النسبة
1	1	1	0	100%	98% للتدريب للاختبار 2%
1	0.967	1	0.025	97.5%	96% للتدريب للاختبار 4%
1	0.977	1	0.017	98.33%	94% للتدريب للاختبار 6%
0.952	0.983	0.983	0.025	97.5%	92% للتدريب للاختبار 8%
1	0.987	1	0.01	99%	90% للتدريب للاختبار 10%
0.979	0.993	0.993	0.01	99%	80% للتدريب للاختبار 20%
0.972	0.995	0.991	0.01	99%	70% للتدريب للاختبار 30%
0.975	0.981	0.989	0.0204	98%	60% للتدريب للاختبار 40%
0.944	0.988	0.973	0.026	97.4%	50% للتدريب للاختبار 50%
0.954	0.985	0.974	0.0233	97.67%	40% للتدريب للاختبار 60%
0.946	0.984	0.972	0.0286	97.14%	30% للتدريب للاختبار 70%
0.955	0.966	0.977	0.0375	96.25%	20% للتدريب للاختبار 80%
0	1	0.754	0.245	75.44%	10% للتدريب للاختبار 90%
0	1	0.748	0.251	74.89%	8% للتدريب للاختبار 92%
0	1	0.747	0.252	74.79%	6% للتدريب للاختبار 94%
0	1	0.752	0.248	75.21%	4% للتدريب للاختبار 96%
0	1	0.749	0.251	74.9%	2% للتدريب للاختبار 98%

نتائج تطبيق خوارزمية K-means:



توزيع العناقيد



توزيع البيانات قبل العنقدة

الشكل (6) مثال لتوزيع البيانات قبل وبعد العنقدة

مصفوفة الالتباس confusion matrix:

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FN + FP} \times 100 = 88\%$$

$$\text{Error Rate} = \frac{FP + FN}{FP + FN + TP + TN} = 0.12$$

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} = 0.847$$

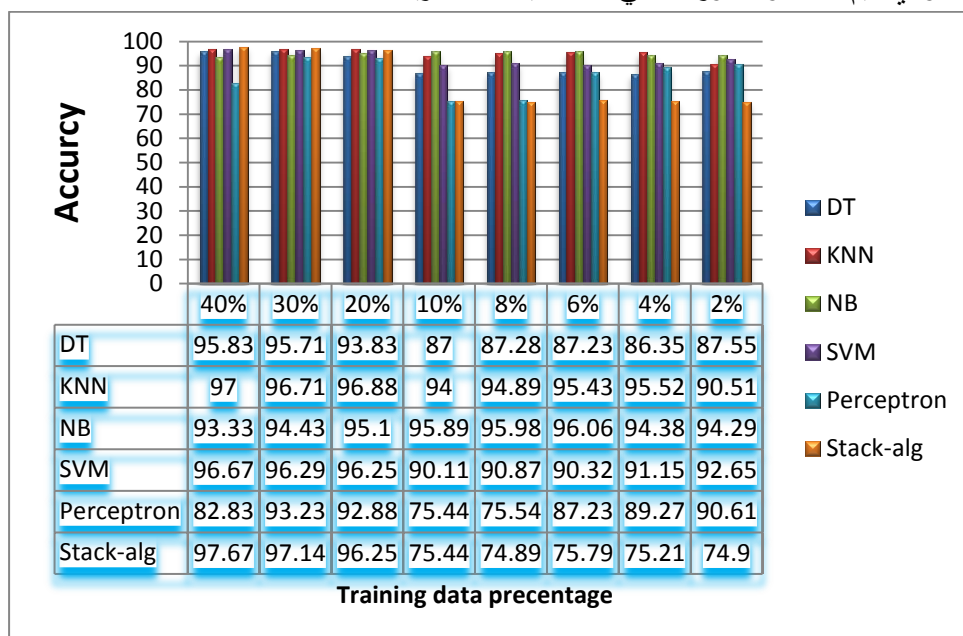
$$\text{Sensitivity} = \frac{TP}{TP + FN} = 0.993$$

$$\text{Specificity} = \frac{TN}{TN + FP} = 0.668$$

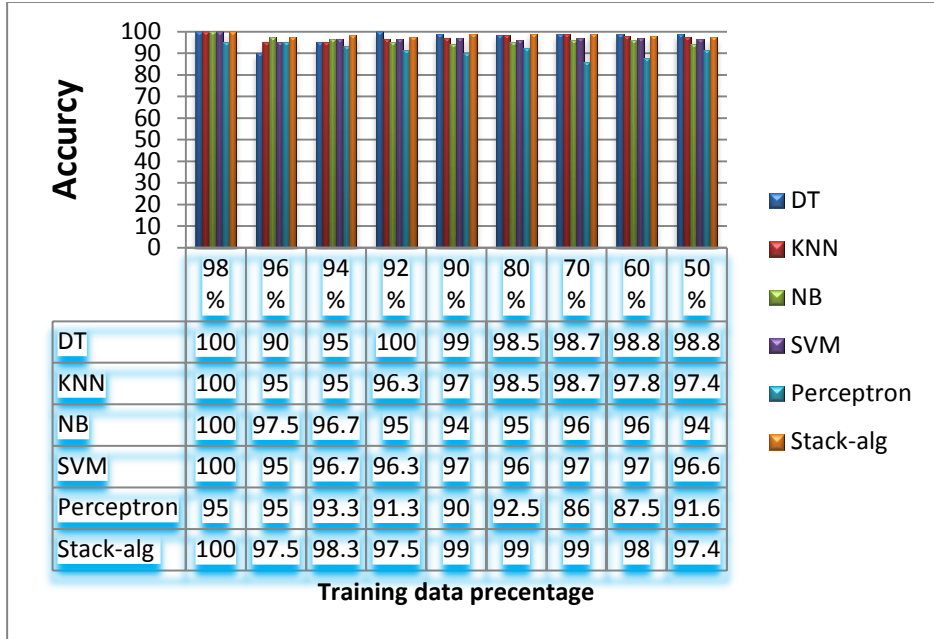
	Positive	Negative
positive	646 TP	4 FP
negative	116 FN	234 TN

المقارنة بين أداء الخوارزميات :

تبين المخططات التالية دقة كل خوارزمية عند نسب اختبار متعددة حيث يمثل المحور العمودي قيم الدقة والمحور الأفقي نسب بيانات التدريب.



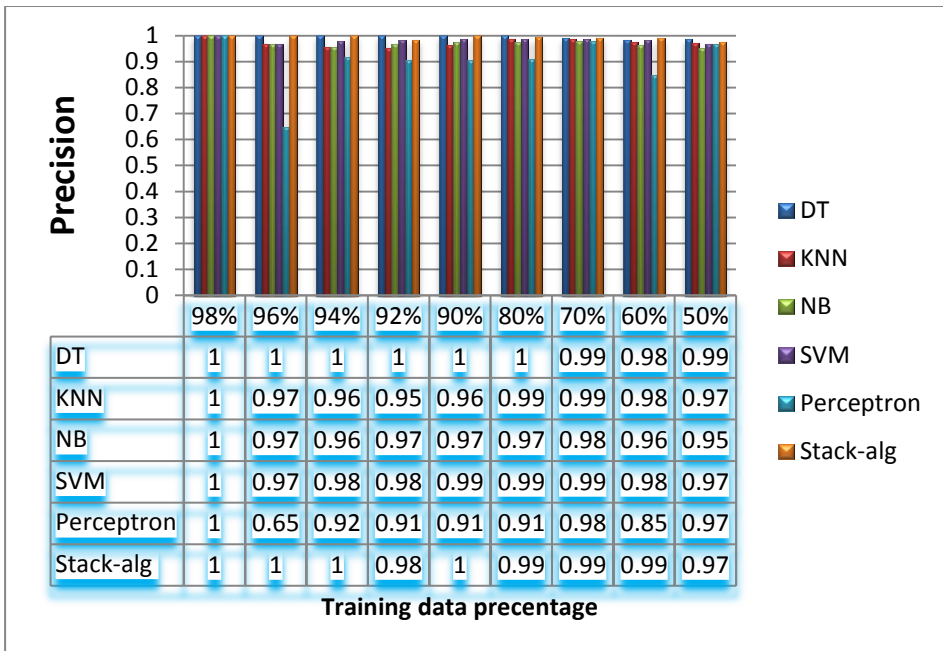
الشكل (7) دقة الخوارزميات عند بيانات تدريب أقل من بيانات اختبار



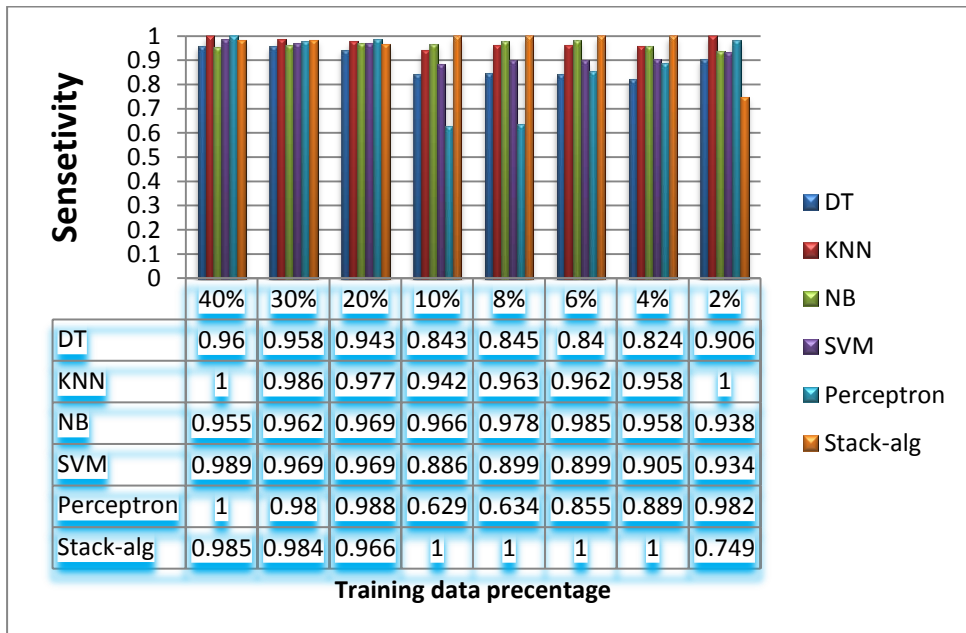
الشكل 8- دقة الخوارزميات عند بيانات تدريب أكثر من بيانات الاختبار



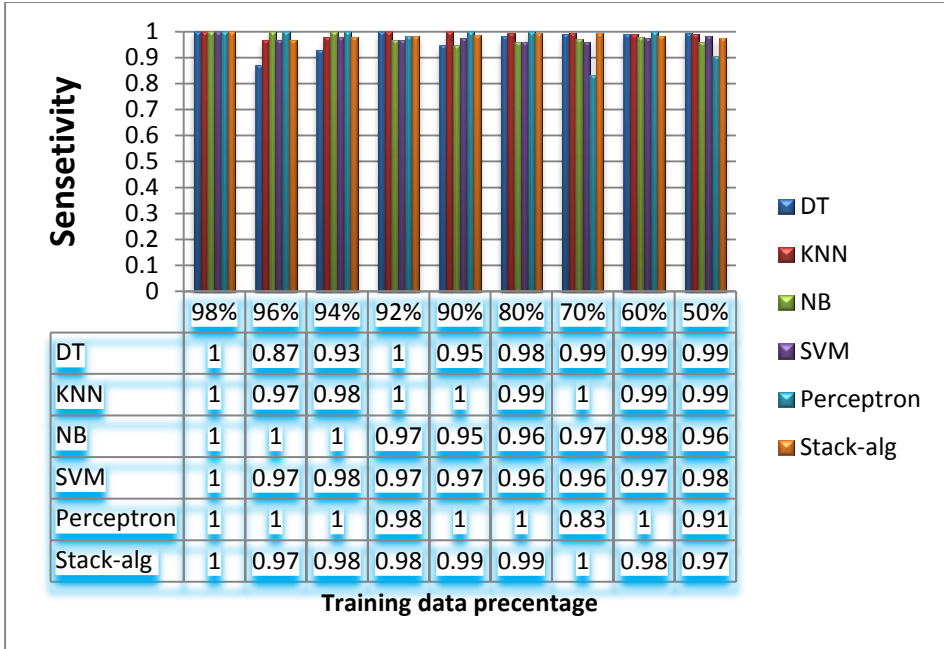
الشكل (9) احكام الخوارزميات عند بيانات تدريب أقل من بيانات اختبار



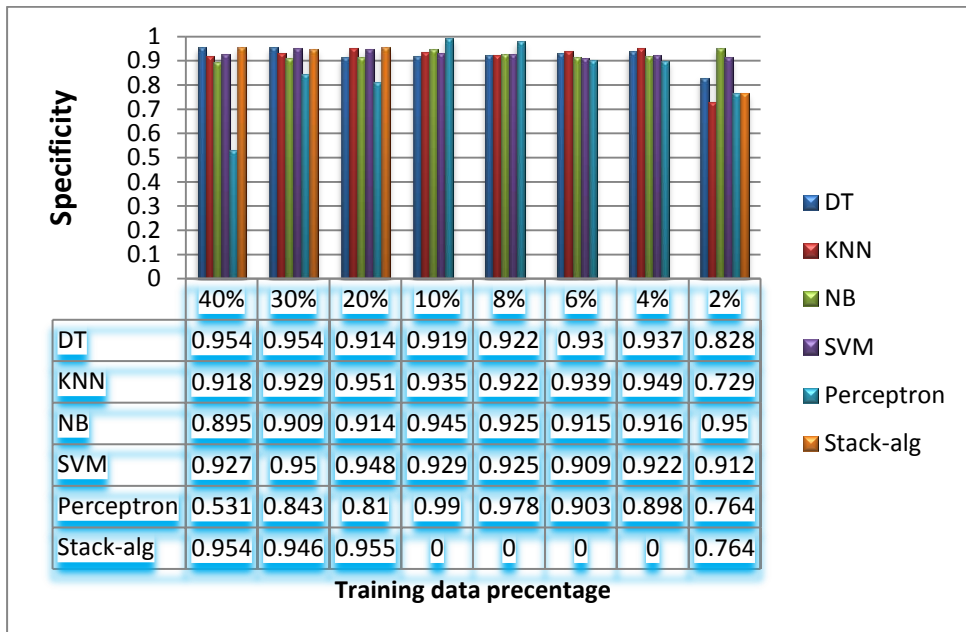
الشكل (10) احكام الخوارزميات عند بيانات تدريب أكثر من بيانات الاختبار



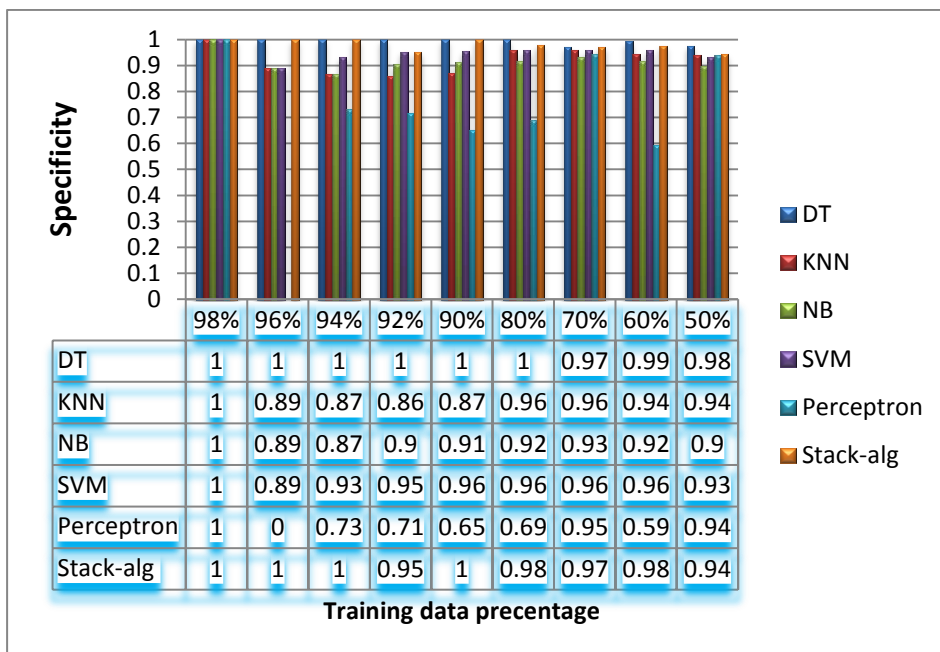
الشكل (11) حساسية الخوارزميات عند بيانات تدريب أقل من بيانات الاختبار



الشكل (12) حساسية الخوارزميات عند بيانات تدريب أكثر من بيانات الاختبار



الشكل (13) النوعية للخوارزميات عند بيانات تدريب أقل من بيانات الاختبار



الشكل (14) النوعية للخوارزميات عند بيانات تدريب أكثر من بيانات الاختبار

9- الاستنتاجات والتوصيات:

1- تسهل هذه الدراسة التحليلية استخدام خوارزميات الذكاء الصناعي والتعلم الآلي في مجال التشخيص الطبي، بالإضافة إلى تحديد العوامل التي تؤثر على أداء كل خوارزمية والمقارنة بينها وتحديد أفضلها دقة وموثوقية، وإيجاد نتائج تطبيق تقنية دمج المصنفات على التفرع .

2- امتازت خوارزمية شجرة القرار وخوارزمية دمج المصنفات على التفرع بأداء أفضل من حيث الدقة الأعلى والخطأ الأقل مقارنة بباقي الخوارزميات عندما كانت نسبة بيانات التدريب أكبر أو تساوي بيانات الاختبار .

3- امتازت خوارزمية نايف بايز وخوارزمية الجار الأقرب بأداء أفضل من حيث الدقة الأعلى والخطأ الأقل مقارنة بباقي الخوارزميات عندما كانت نسبة بيانات التدريب أصغر من بيانات الاختبار.

4- امتازت خوارزمية شجرة القرار وخوارزمية دمج المصنفات بأداء أفضل من حيث معدل الاحكام Precision مقارنة بباقي الخوارزميات عندما كانت نسبة بيانات التدريب أكبر من بيانات الاختبار وعند بيانات تدريب أقل من بيانات الاختبار أعطت خوارزمية الجار الأقرب أفضل أداء عند تفاوت نسب البيانات.

5- امتازت خوارزمية شجرة القرار وخوارزمية دمج المصنفات بأداء أفضل من حيث النوعية مقارنة بباقي الخوارزميات عندما كانت نسبة بيانات التدريب أكبر من بيانات الاختبار.

6- بتطبيق نسب مختلفة لبيانات التدريب والاختبار وجدنا أنه بزيادة نسب التدريب إلى نسب كبيرة تحدث لدينا ظاهرة overfitting أي يتطابق فيها النموذج مع بيانات التدريب بشكل مثالي تقريباً لكنها تؤدي أداء ضعيف في التحقق من صحة البيانات الجديدة.

7- وبتقليل نسب بيانات التدريب إلى نسب صغيرة تحدث لدينا ظاهرة underfitting حيث يتعذر على النموذج التقاط البنية الأساسية للبيانات بشكل صحيح وبالتالي ضعف الأداء التنبؤي.

8- دقة الخوارزميات لا تتناسب طردياً مع نسب التدريب بل تختلف الدقة أيضاً عند اختلاف عدد العينات التي تنتمي لصنف المرض، دقة الخوارزميات في تصنيف الأشخاص الأصحاء تكون أعلى مقارنة بدقة تصنيف الأشخاص المرضى.

10- الخاتمة:

قمنا في هذا البحث بتحديد أفضل الخوارزميات أداءً ودراسة تأثير نسب عينات التدريب والاختبار وهذه الخوارزميات هي شجرة القرار، الجار الأقرب، نايف بايز، شعاع دعم الآلة، والشبكات العصبية Perceptron، والعنفدة K-means، دمج المصنفات Stack-alg.

11- الآفاق المستقبلية:

يمكن تطوير هذا البحث والعمل عليه من خلال التعمق في دراسة العوامل المؤثرة على أداء الخوارزميات لاسيما أننا أصبحنا نعتمد عليها في الكثير من مجالات الحياة لذلك يجب العمل على تقليل الخطأ في النتائج. ويمكن أيضاً تطبيق هذه الخوارزميات على مجالات أخرى غير المجال الطبي ودراسة دقتها وموثوقيتها. يمكن اضافة عدد أكبر من مجموعات البيانات من أجل توسيع الدراسة وتأكيد النتائج التي توصلنا إليها. العمل على دمج الذكاء الصناعي بشكل جدي في المستشفيات والمراكز الطبية على أمل توفير الوقت والجهد والدقة في اعطاء النتائج الطبية.

12-المراجع :

- [1] Guven,E. and Bellachia, A2005-Predicting Breast cancer survivability using data mining Techniques. Department of computer science.Washington,USA.
- [2] Ahmad,E. and Ibrahim,Y2009-recognition chest diseases using neural networks .Journal of Education and science,vol.23.4,142p.
- [3] Subbalakshmi,G. and Ramesh,K. and China Rao,M2011- Decision support in Heart Disease prediction system using Naïve Bayes. Indian Journal of Computer science and Engineering (IJCSE),Vol.2.2,170p.
- [4] Maleki,I.and Lotfi, Y2014-Data mining Algorithms Application in Diabetes Disease Diagonsis. MAGNT Research Report, vol3.1,989-993p.
- [5] Sugumaran,V.and Sabarinathan,V2015-Diagnosis of Heart Disease Using Decision Tree and SVM Classifier. International Journal of Applied Engineering Research, vol10.68,598p.
- [6] Abdullah,H2017-Epidemiological data mining using clustering. Omdurman Teaching Hospital.Sudan(in Arabic).

- [7] Abdullah,O2017-Use of data mining method in medicinal field.cairo University.Egept(in Arabic).
- [8] Ahmad, N2018-Use of data mining to construct Treatment plans for diabetics.Alnilain University.Sudan(in Arabic).
- [9] Alraii,R2019-Implementing and Evaluating a system to detect rumors in social network, Albaath university,Syria.
- [10] Mitchell,T1997-Machine Learning.McGraw-Hill science.Redmond,422p.
- [11] Bach,F. and Jordan,M2002-Lernal independent component analysis ,Journal of Machine learning Research,p.1-48.
- [12] Neal,R . And Zhang, J2006- High dimensional classification with bayesian neural networks and dirichlet diffusion trees, university of Toronto, NewYork,p.265-296.
- [13] Ahmed,H2018-Using clustering and classification to predict the prevalence of hepatitis disease,Alnilain university,Alkhartom,p.6-30(in Arabic).
- [14] Segal,M2003-Machine learning benchmarks and random forest regression, University of California,P.1-14.

[15] Bair,E. and Tibshirani ,R2004-Semi-supervised methods to predict patient survival from gene expression data, PLOS Biology,p.511-522.

[16] Bair,E. Hastie,T .,Pau, D. and Tibshirani, R2006- Prediction by supervised principal components ,Journal of the American statistical Association,p.119-137.

[17] Bishop, C2006- Pattern recognition and machine learning. New York,USA,758p.

تحسين معامل التأخير الزمني لشبكات الحساسات

اللاسلكية باستخدام المعالجة التفرعية

الدكتورة المهندسة: لبنى علي أستاذ مساعد - قسم هندسة تكنولوجيا المعلومات

كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات - جامعة طرطوس

ملخص:

في الآونة الأخيرة، جذبت شبكات الاستشعار اللاسلكية اهتمامًا كبيرًا من قبل الباحثين نظرًا للدور المهم الذي تلعبه هذه الشبكات في جميع جوانب الحياة. يعود الفضل في الاستخدام الواسع النطاق لشبكات الاستشعار إلى سهولة التوزيع في مناطق البحث وتكلفتها المنخفضة مقارنة بالشبكات الأخرى.

لكن مصادر الطاقة المحدودة لعقد الاستشعار تقلل من عمر الشبكة وبالتالي تحد من استخدامها في بعض المناطق الحساسة. لذلك، في أبحاث سابقة تمت مناقشة تقليل استهلاك الطاقة في عقد الاستشعار لشبكات أجهزة الاستشعار اللاسلكية، لتحقيق هذا الهدف، تم استخدام قائد مجموعة متحرك لجمع البيانات من العناقيد في الشبكة. تمت مقارنة نتائج البحث مع بروتوكول LEACH الذي يعتمد على قائد عنقود ثابت وحققت الدراسة تقدمًا ملحوظًا [1].

لكن عندما تكون الشبكة كثيفة (عدد كبير من العقد وحجم الكتلة كبير)، فمن الممكن أن تنفذ طاقة قائد العنقود قبل نهاية الجولة المحددة، وقبل إكمال جمع البيانات من جميع العقد داخل العنقود نظرًا للوقت الكبير الذي سيستغرقه قائد العنقود لجمع البيانات والذي يؤثر سلباً على استهلاك الطاقة.

لذلك، سيركز هذا البحث على معالجة مشكلة التأخير الزمني باستخدام القيادة العنقودية المتوازنة. حيث سيرأس كل مجموعة قائدين يتجولان في اتجاهات مختلفة داخل الجولة، من أجل جمع البيانات من جميع العقد مع تأخير زمني مثالي وقبل نهاية الجولة المحددة.

الكلمات المفتاحية: الحساسات اللاسلكية، البروتوكولات المعتمدة على العنقود، المعالجة التفرعية.

Improving the time-delay factor of wireless sensor networks using the parallel processing

Abstract:

Recently, wireless sensor networks have attracted great interest by researchers due to the important role that these networks play in all aspects of life. The widespread use of sensor networks is due to the ease of distribution in search areas and their low cost compared to other networks. However, the limited power sources for the sensor nodes reduce the life of the network and thus limit its use in some sensitive areas. Therefore, in previous research the energy consumption reduction in sensor nodes of wireless sensor networks was discussed, to achieve this goal, a moving group leader was used to collect data from clusters in the network. The results of the research were compared with the LEACH protocol, which depends on a fixed cluster leader, and the study made significant progress [1]. Nevertheless, when the network is dense (a large number of nodes and a large cluster size), it is possible for the cluster leader to run out of power before the end of the specified round, and before the completion of data collection from all nodes within the cluster. That is due to the large time it will take for the cluster leader to collect data, which negatively affects the energy consumption. Therefore, this paper will focus on addressing the time delay problem using parallel cluster driving. Where each group will be headed by two leaders roaming in different directions within the tour, in order to collect data from all nodes with an optimal time delay and before the end of the given tour.

Key words: wireless sensors, cluster-based protocols, parallel cluster leadership.

1. مقدمة:

تعتبر شبكات Ad-Hoc من أكثر الشبكات انتشارًا في جميع المجالات، خاصة في الأماكن التي انهارت فيها البنية التحتية، إما بسبب الحروب أو الزلازل أو الفيضانات أو غيرها من الكوارث. علاوة على ذلك، فإن هذا النوع من الشبكات مناسب في الأماكن التي لا يمكن الوصول إليها من قبل البشر، مثل أعماق البحر وداخل جسم الإنسان. يتم تشكيل الشبكات المخصصة دون الحاجة إلى بنية تحتية أو تنظيم مسبق. لأن كلمة Ad-Hoc تعني أن الأجهزة يمكنها إنشاء اتصال في أي وقت وفي أي مكان دون الحاجة إلى بنية تحتية مركزية [2]. [بالإضافة إلى تكلفتها المنخفضة مما يجعلها سهلة الانتشار والاستخدام. تصنف أنواع الشبكات المخصصة إلى [2] [3]:

- Mobile Adhoc Network (MANET)
- Vehicle Adhoc Network (VANET)
- Wireless Sensor Network (WSN)
- Wireless Mesh Network (WMN)

يهتم هذا البحث بشبكة المستشعرات اللاسلكية (WSN) وهي النوع الثالث من شبكات Ad-Hoc حيث تم تنفيذ قيادة الكتلة المتوازية لتقليل استهلاك طاقة العقد. تعاني شبكات الاستشعار اللاسلكية من نفاذ نقاط استشعار الفعل في وقت قصير، مما يؤدي في بعض الحالات إلى موت شبكة المستشعرات. لذلك، تركز معظم الأبحاث في مجال WSN على حل هذه المشكلة. ركزت الدراسات السابقة على موضوع تقليل طاقة أجهزة الاستشعار اللاسلكية وتنقسم إلى ثلاثة أنواع:

- Table-driven protocols
- On demand-driven protocols
- Hybrid protocols

يعمل البروتوكول الأول السابق على النحو التالي: تحتفظ كل عقدة بجدول (يسمى جدول توجيه العقدة) يحتوي على جميع العقد في الشبكة والمسارات التي تربط كل عقدة ببقية العقد الأخرى. إن تشكيل جداول التوجيه في كل عقدة يستنزف طاقتها، لذا فإن هذا

البروتوكول مناسب فقط للشبكات الصغيرة ذات كثافة العقدة المنخفضة. بينما في النوع الثاني، ترسل كل عقدة رسالة تطلب مسارًا إلى العقدة الهدف عندما تحتاج إلى ذلك. لذلك، هذا النوع من البروتوكول غير مناسب للشبكات الديناميكية العالية لأنه في الشبكات الديناميكية العالية تتغير طوبولوجيا الشبكة باستمرار، مع كل تغيير، سترسل العقد طلب مسار وبالتالي سيكون زمن التأخير أكبر [2]. أما النوع الثالث فهو يجمع بين النوعين السابقين ولم يقدم تحسنًا ملحوظًا في مجال تقليل التأخير الزمني [3] [4] [5]. لذلك، أثبتت الدراسات اللاحقة أن استخدام بروتوكولات العقدة أفضل من البروتوكولات المصنفة سابقًا، لأن تقسيم الشبكة إلى مجموعات يسهل التعامل مع الشبكة والتحكم فيها بغض النظر عن كثافتها [1] [6].

وبالتالي، في البحث السابق [1] تمت مناقشة التأخير الزمني، لتحقيق هذا الهدف تم استخدام قائد عنقود متنقل واحد لجمع البيانات من مجموعات الشبكة. تم تحديد عدد العناقيد من قبل مصمم الشبكة مثل آلية بروتوكول LEACH، لكنها تختلف عن LEACH في أن قائد المجموعة كان متحركًا بينما أنه كان ثابتًا في آلية بروتوكول [6] LEACH. حققت الدراسة المذكورة أعلاه [1] تقدمًا كبيرًا فيما يتعلق بالتأخير الزمني لجمع البيانات من عقد الحساسات اللاسلكية مقارنةً ببروتوكول LEACH. لكن، عندما تكون الشبكة كثيفة (عدد كبير من العقد وحجم الكتلة كبير)، فمن الممكن أن تنفذ قوة قائد الكتلة المتحركة قبل نهاية الجولة المحددة بسبب التأخير الزمني، وقبل إكمال جمع البيانات من جميع العقد داخل الكتلة .

لتجاوز هذه المشكلة، سيركز هذا البحث على معالجة مشكلة التأخير الزمني باستخدام القيادة العنقودية المتوازنة. لذلك، سيرأس كل عنقود قائدين يتجولان في اتجاهات مختلفة أثناء الجولة، من أجل جمع البيانات من جميع العقد مع تأخير زمني مثالي وقبل نهاية الجولة المحددة. وبالتالي، يتم تقليل التأخير وإطالة عمر شبكة الحساسات اللاسلكية لأطول فترة ممكنة.

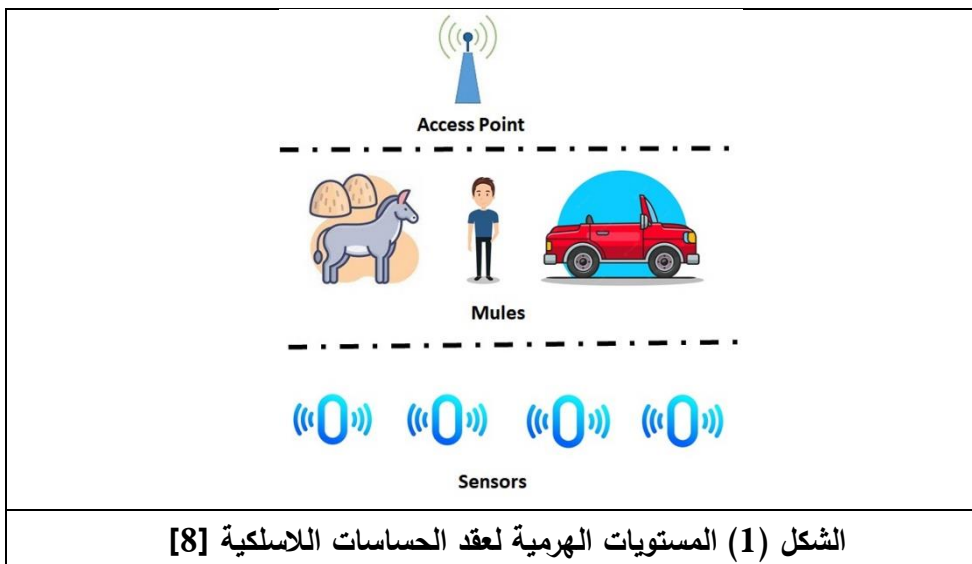
2. أهمية البحث وأهدافه:

نظرًا للأهمية الحاسمة لشبكات الحساسات اللاسلكية على جميع المستويات [7] [8] [9] [10]. يعالج هذا البحث التأخير الزمني الذي يؤثر بشكل مباشر على عمر شبكة الحساسات اللاسلكية عن طريق تقليله قدر الإمكان من أجل الاستفادة من WSN في جميع التطبيقات، حيث تحتاج معظم التطبيقات إلى معالجة في الوقت الفعلي، ويؤدي التأخير الزمني في هذه التطبيقات إلى فشل الأداء و عدم الدقة في المعايير [11]، [12]

من أجل الوصول إلى الهدف المنشود ، سيتم استخدام المعالجة التفرعية لقادة العناقيد نظرًا للأهمية الحاسمة للمعالجة التفرعية في إنجاز العمل بشكل أسرع وتوزيع الجهد بالتوازي على عناصر الشبكة [12]. سيساهم استخدام هذه الطريقة في التأخير الزمني وبالتالي تقليل استهلاك الطاقة لعقد الحساسات اللاسلكية وإطالة عمر الشبكة من أجل تعزيز استخدامها .

3. طريقة وأدوات البحث:

يمكن تصنيف التسلسل الهرمي لعقد شبكات الحساسات اللاسلكية إلى ثلاثة أنواع حسب مستوى التصنيف . أنواع هذه العقد هي نقطة الوصول وأجهزة الاستشعار كما هو موضح في الشكل التالي [8].

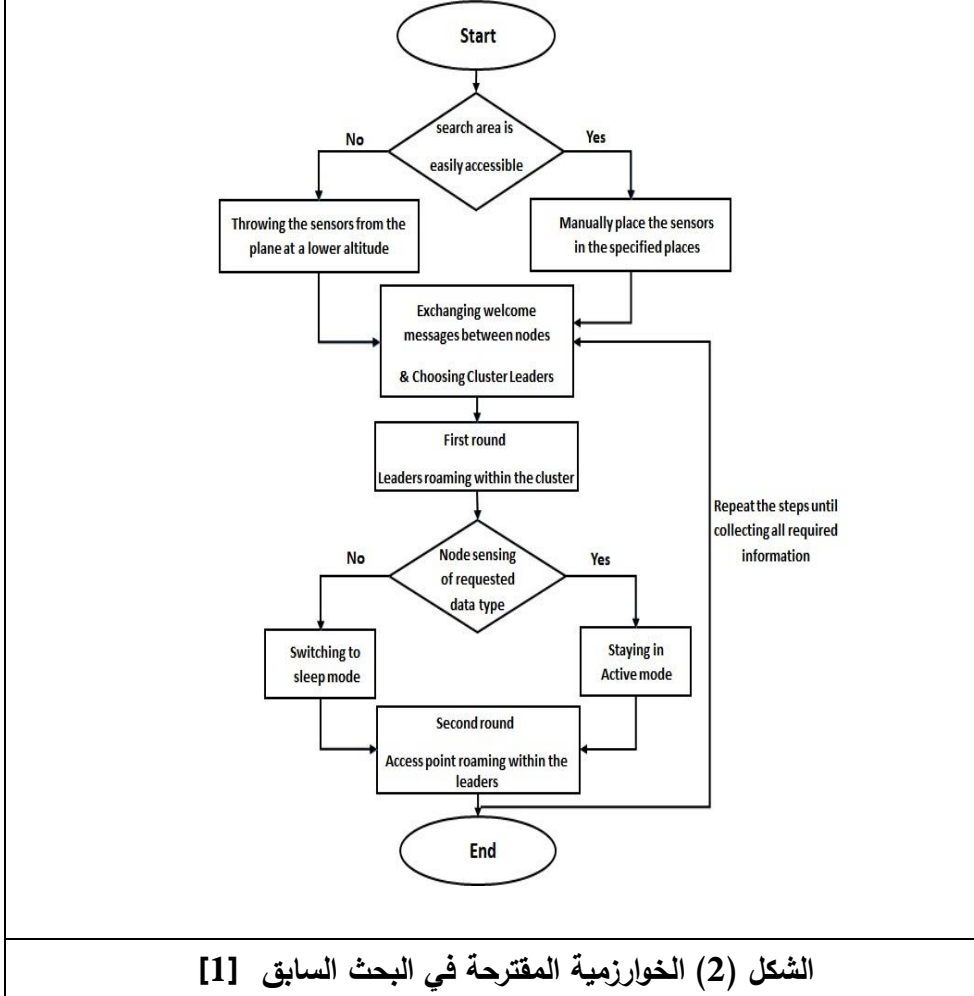


توجد نقاط الوصول في أعلى مستوى هرمي، وتتمتع بأعلى مستوى طاقة بين جميع العقد. تتجول نقطة الوصول في الشبكة وتتصفح جميع قادة المجموعات لجمع البيانات. في نهاية كل جولة، سيتم جمع جميع المعلومات حول الشبكة. تقع العقد المتحركة التي تسمى بالعادة البغال في المستوى الهرمي الثاني بعد نقطة الوصول وتلعب دور قادة العناقيد، وتتمتع البغال عموماً بطاقة أقل من طاقة نقطة الوصول المتحركة وأعلى من طاقة بقية العقد الشبكية. في كل جولة، يمر البغل عبر جميع العقد داخل العنقود لجمع البيانات التي جمعتها تلك العقد [8].

أدنى مستوى هرمي هو عقد الحساسات اللاسلكية التي تستشعر البيانات أثناء الجولات. يتم استخدام معرف لكل عقدة يمثل نوع البيانات التي تجمعها، عندما تكون هناك حاجة إلى بيانات محددة، يتحرك قائد المجموعة نحو العقد التي تبحث عن نوع البيانات المطلوبة.

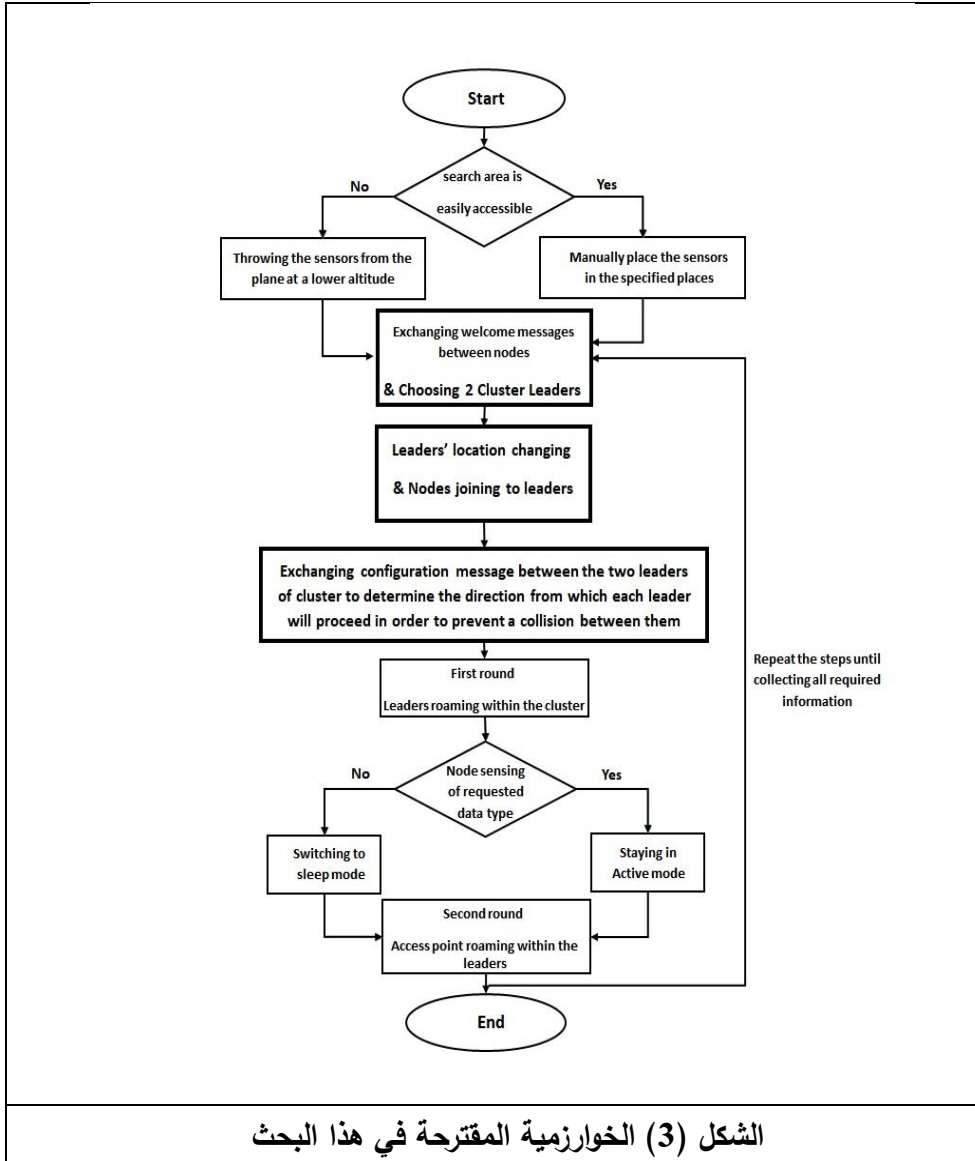
في دراسة سابقة، اقترحنا خوارزمية عمل معدلة من خوارزمية LEACH. حيث تم الاعتماد على جعل قائد العنقود متنقلاً بدلاً من أن يكون ثابتاً وتم اختيار العقدة ذات أعلى طاقة لتلعب دور القائد [1]. تم العمل وفق الخوارزمية الموضحة في شكل (2).

لقد حققت هذه الطريقة تقدماً ملحوظاً فيما يتعلق بتحسين التأخير الزمني لعملية جمع البيانات من عقد الحساسات في الشبكة. ومع ذلك، وجدنا أن هذه الطريقة محدودة الاستخدام في حالة الشبكات ذات العقد عالية الكثافة.



الشكل (2) الخوارزمية المقترحة في البحث السابق [1]

لقد دفعتنا المشكلة المذكورة إلى العمل على تطوير هذا البحث من أجل الوصول إلى نتائج أفضل في حالة شبكة العقد عالية الكثافة وللتغلب على مشكلة التأخير الزمني. أصبحت الخوارزمية المقترحة كما هو موضح في الشكل (3).



الشكل (3) الخوارزمية المقترحة في هذا البحث

يمكن شرح خطوات عمل هذه الخوارزمية على النحو التالي: في هذا البحث، تم استخدام اثنين من قادة العناقيد المتنقلة لكل عنقود.

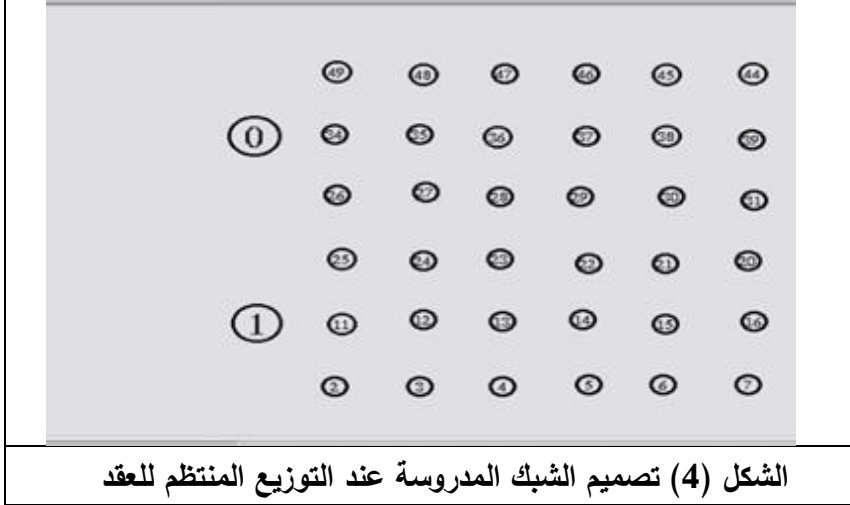
بعد وضع عقد الحساسات اللاسلكية في أماكنها داخل منطقة البحث، تتبادل تلك العقد رسائل الترحيب مع بعضهم البعض باستخدام رسائل البث إلى جميع العقد داخل الشبكة، بما في ذلك نقاط الوصول. تحتوي رسائل الترحيب على اسم العقدة، وهو معرف يعبر عن نوع البيانات التي تستشعرها هذه العقدة ومقدار طاقة العقدة. في بداية العملية، من الطبيعي أن يكون لجميع العقد التي تستشعر نفس النوع من البيانات نفس مستوى الطاقة، لذلك يتم اختيار قادة العناقيد بشكل عشوائي. أما في حالة وجود اختلاف في مستوى الطاقة تختار نقطة الوصول العقد التي تحتوي على أكبر قدر من الطاقة لتكون قادة العقنود. تحتوي الرسائل أيضاً على ثنائي (X,Y) الذي يعبر عن إحداثيات موقع العقدة داخل منطقة البحث. بعد ذلك، ترسل نقطة الوصول رسالتين تحتويان على نفس رقم المجموعة إلى قائدي المجموعة نفسها. وتطلب منهما تغيير الأماكن.

يرسل قادة الكتلة المنتخبون من خلال نقطة الوصول رسائل بث إلى جميع العقد في الشبكة لإبلاغهم بأنه قد تم اختيارهم كقادة للكتلة. تقارن كل عقدة، بعد تلقي الرسائل المرسله من قادة الكتلة، إحداثيات موقعها مع إحداثيات قادة الكتلة وتتضم إلى قائد العقنود الأقرب إليها. بعد الانتهاء من تبادل رسائل الانضمام، يرسل قادة الكتلة رسالة تحتوي على أسماء العقد التي انضموا إليها ويتبادلون رسالة التشكيل فيما بينها لتحديد مسارات المتابعة لكل منها من أجل منع حدوث تصادم بينهما. بالنهاية يتجول القادة داخل العقنود لجمع البيانات.

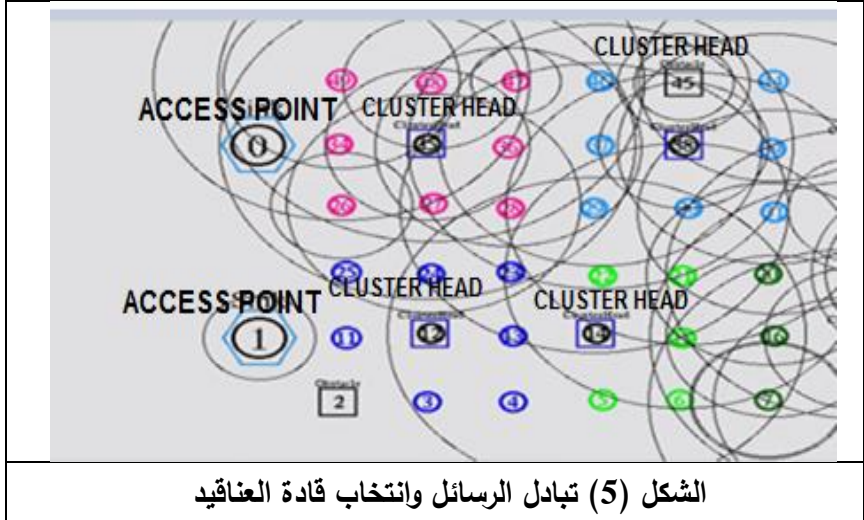
من أجل اختبار الخوارزمية المقترحة، اخترنا NS2 كمحاكي للشبكة، والذي يستخدم لمحاكاة عدد كبير من الشبكات السلكية واللاسلكية، وهو يدعم العديد من بروتوكولات الشبكة. في البداية الأمر، تم تصميم هذا البرنامج ليعمل على نظام التشغيل Linux باستخدام واجهة terminal، وبعد ذلك أصبح البرنامج يدعم العمل على نظام التشغيل windows xp من خلال برنامج Cygwin، وهو واجهة تشبه terminal ولكنها مكتوبة باستخدام تعليمات DOS. استخدمنا أيضاً XGRAPH وهو برنامج يمكنه عرض نتائج البحث في شكل رسوم بيانية.

4. تصميم الشبكة والنتائج:

في هذا البحث صممنا الشبكة الموضحة في شكل (4) تتكون الشبكة المدروسة من مجموعتين، كل مجموعة تضم 18 عقدة حساسة ونقطة وصول. تم وضع عقد الاستشعار في منطقة البحث، وقد تم تحديد إحداثيات الموقع لكل عقدة مستشعر مسبقاً بواسطة مصمم الشبكة.



يوضح الشكل التالي خطوة تبادل الرسائل التي تشارك المعلومات حول إحداثيات الموقع والطاقة لكل عقدة من أجل تحديد قادة الكتلة، حيث ترسل كل عقدة رسالة الترحيب إلى بقية العقد الأخرى في الشبكة كما ذكرنا في خطوات الخوارزمية السابقة ويتم بعدها انتخاب قادة العناقيد.



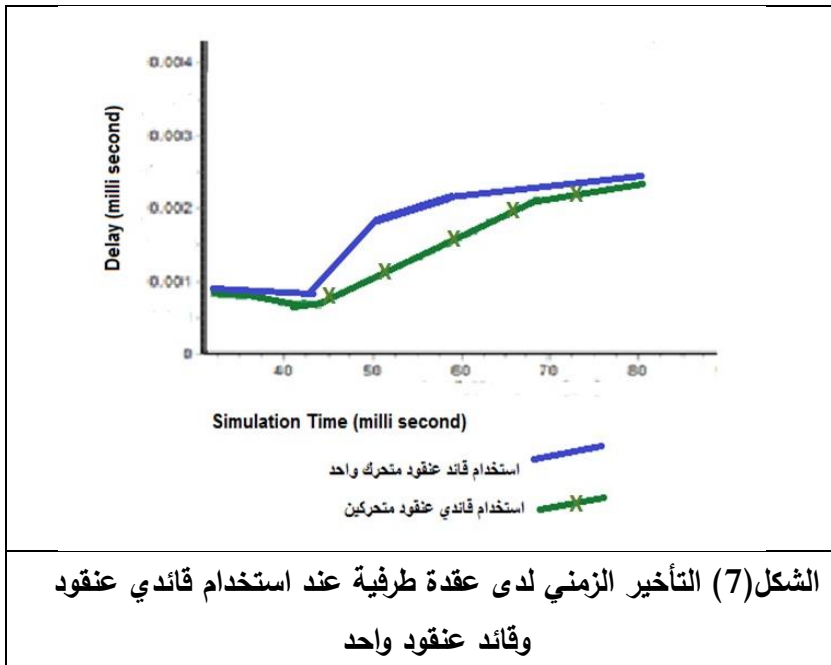
من ثم، فور اختيار القادة، تتضمن كل عقدة إلى أقرب قائد عنقود ثم يبدأ القادة في جمع البيانات. وستكون الخطوة الأخيرة هي جمع البيانات من قادة العنقود عن طريق نقطة الوصول.

بعد تشكيل الشبكة، سيتم تنفيذ سيناريوهات عمل مختلفة ودراسة معامل التأخير الزمني. نحن نعلم أن التأخير هو الفرق بين زمن إرسال رسالة طلب المعلومة من قبل المرسل وزمن الإجابة على تلك المعلومة من قبل المستقبل. وكلما قلّ التأخير تكون استجابة الشبكة أعلى نظراً لأن شبكات الحساسات اللاسلكية تستخدم في التطبيقات التي تتطلب استجابة آنية فيتم نقل البيانات في الزمن الحقيقي فكلما زاد التأخير تنخفض فعالية الشبكة في الرصد وكذلك سيؤدي هذا لاستهلاك أكبر للطاقة.

في السيناريو الأول، سيتم استخدام بنية الشبكة التي تم تقديمها مسبقاً، والتي تمثل شبكة كثيفة ذات عقد موزعة بانتظام وسيتم دراسة التأخير الزمني لعقدة طرفية وعقدة تقع بوسط الشبكة وللقادة العناقيد أيضاً. بينما، في السيناريو الثاني، سيتم اختبار الخوارزمية المقترحة ببنية شبكة كثيفة مع عقد موزعة بشكل غير منتظم حيث أنه سيتم تغيير توزيع العقد في العنقودين المدرسين لتكون كثافة توزيع العقد بأحدهما أكبر من الآخر وستتم

مراقبة التأخير الزمني لعقد قادة العناقيد لأنه بالنسبة للعقد الطرفية والوسطية لم نلاحظ تغيير ملحوظ بالتأخير.

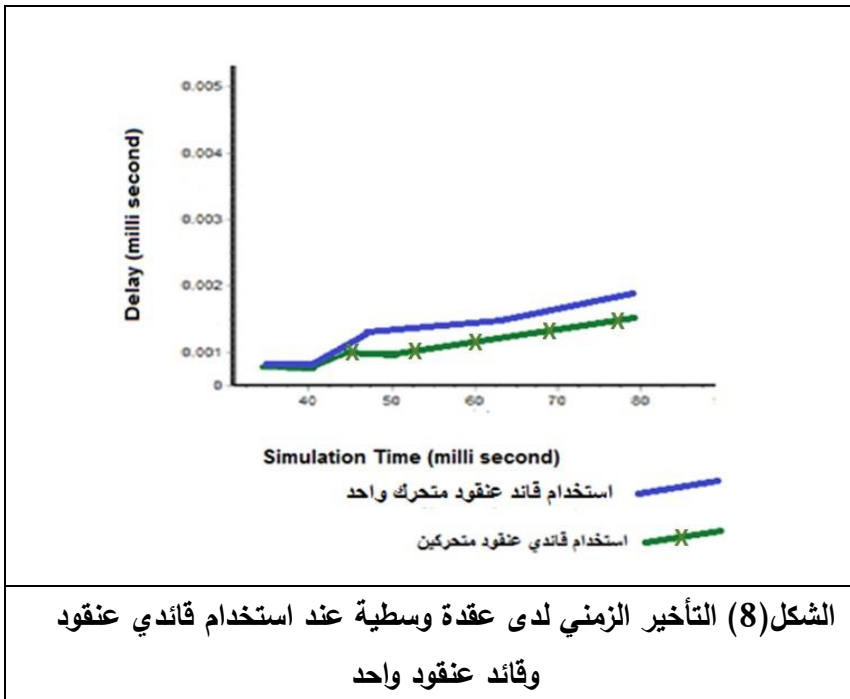
نبدأ بالسيناريو الأول، حيث تمت مراقبة مقدار التأخير الزمني لعقدة طرفية بعيدة ثم لعقدة تقع بوسط العنقود. كما تمت دراسة مقدار التأخير الزمني في حالة وجود قائد عنقود متحرك واحد فقط ومن أجل قائدي عنقود متحركين، وهي الآلية المقترحة في هذا البحث، شكل (7) ، شكل (8)



يوضح الشكل (7) السابق قيمة التأخير الزمني عند انتهاء المحاكاة لدى عقدة طرفية عند استخدام قائدي عنقود متحركين و عند استخدام قائد عنقود متحرك واحد و تساوي قيمة التأخير عند استخدام قائدي عنقود متحركين = 0.0023ms و عند استخدام قائد عنقود متحرك واحد = 0.0025ms و نلاحظ أن الآلية المقترحة في البحث و هي استخدام قائدي عنقود متحركين خفضت من قيمة التأخير الزمني لدى العقدة الوسطية عند انتهاء المحاكاة أكثر من استخدام قائد عنقود متحرك واحد و هذا منطقي لأن احتمال وصول أحد قادة العناقيد إلى العقدة الطرفية أكبر من وصول قائد عنقود واحد و نلاحظ أن قيمة

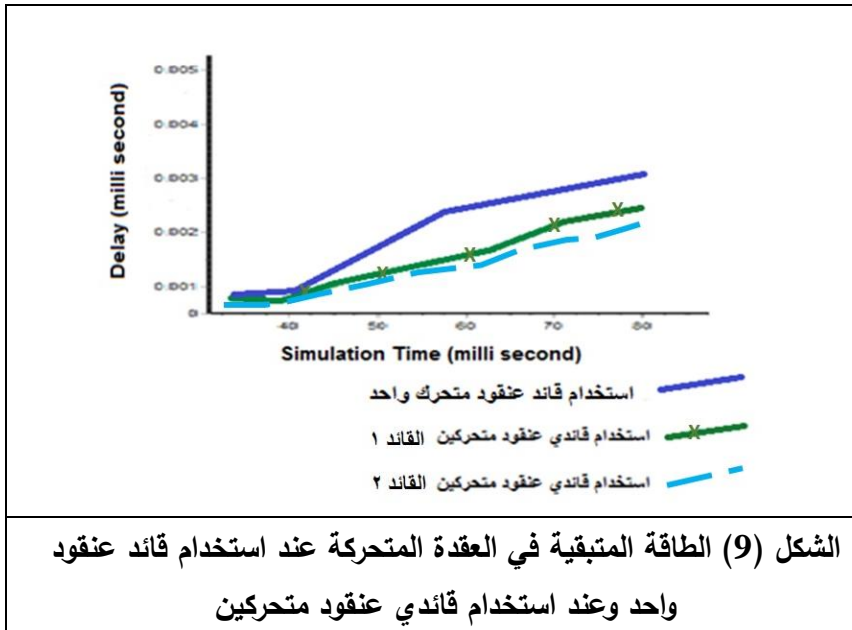
التأخير لدى العقدة الطرفية أكبر مما هي عليه لدى العقدة المتحركة و الوسطية نظراً لزيادة الزمن المنتظر لوصول قائد العنقود إليها.

أما الشكل (8) فيبين قيمة التأخير الزمني لدى العقدة الوسطية عند انتهاء المحاكاة عند استخدام قائدي عنقود متحركين تساوي 0.0016 ms و هي أقل من قيمة التأخير الزمني عند انتهاء المحاكاة عند استخدام قائد عنقود متحرك واحد و تساوي 0.002 ms و هذا منطقي و محتمل لأن عند استخدام قائدي عنقود متحركين يكون احتمال مرور أحد قائدي العنقود المتحركين أسرع و أكبر من استخدام قائد عنقود متحرك واحد لأنه عند استخدام قائد عنقود متحرك واحد سيتم استغراق زمناً أكبر للمرور على كافة العقد ضمن العنقود.

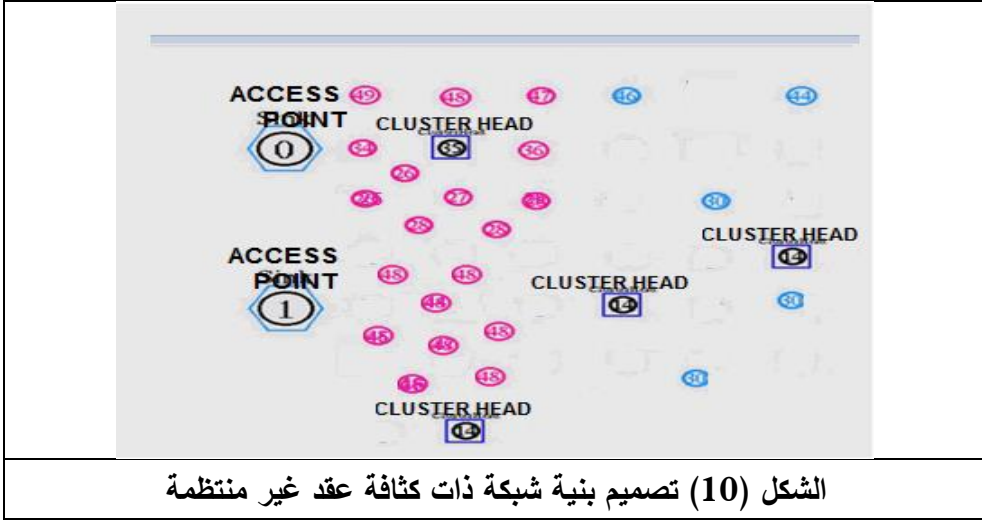


أما قيم التأخير للعقد المتحركة والتي تمثل قادة العنقود فهي مبينة بالشكل التالي. يوضح الشكل أن قيمة التأخير الزمني لدى العقدة المتحركة عند انتهاء المحاكاة فهي تساوي

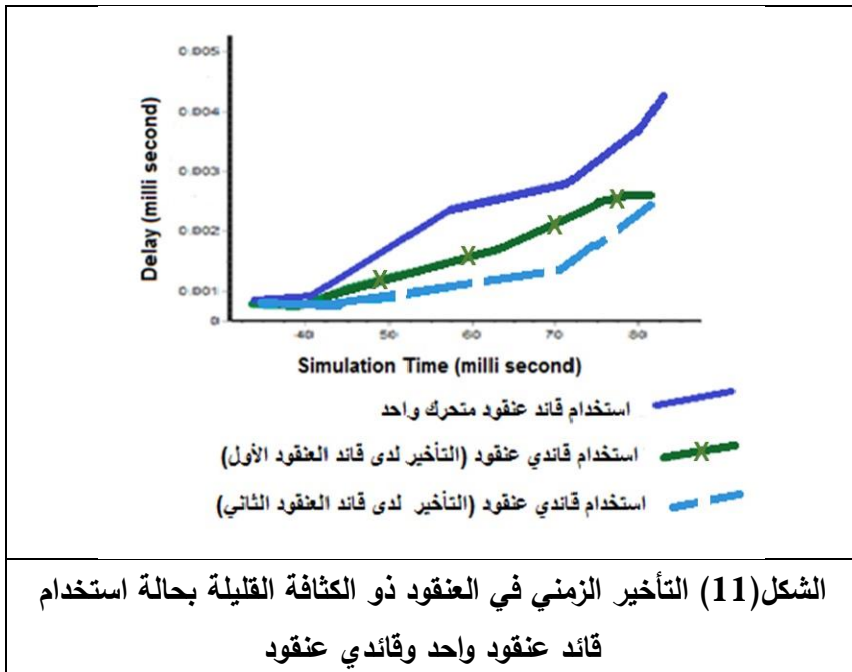
ms 0.0022 لقائد العنقود الأول وهي ms 0.0020 لقائد العنقود الثاني عند تطبيق الآلية المقترحة في هذا البحث و هي استخدام قائدي عنقود متحركين لدى كل عنقود و هي أقل من قيمة التأخير الزمني الناتج عن استخدام قائد عنقود متحرك واحد و تساوي ms 0.0032 و هذا منطقي نظراً لأن استخدام قائدي عنقود متحركين يقسم عملية جمع البيانات ضمن العنقود إلى قسمين فكل قائد عنقود يجمع بيانات لقسم واحد فقط ضمن العنقود بدلاً من ان تكون عملية جمع البيانات ضمن العنقود على قائد عنقود واحد مما يخفض التأخير لدى قائد العنقود المتحرك (العقدة المتحركة) عند استخدام آلية المعالجة التفرعية المقترحة في هذا البحث.



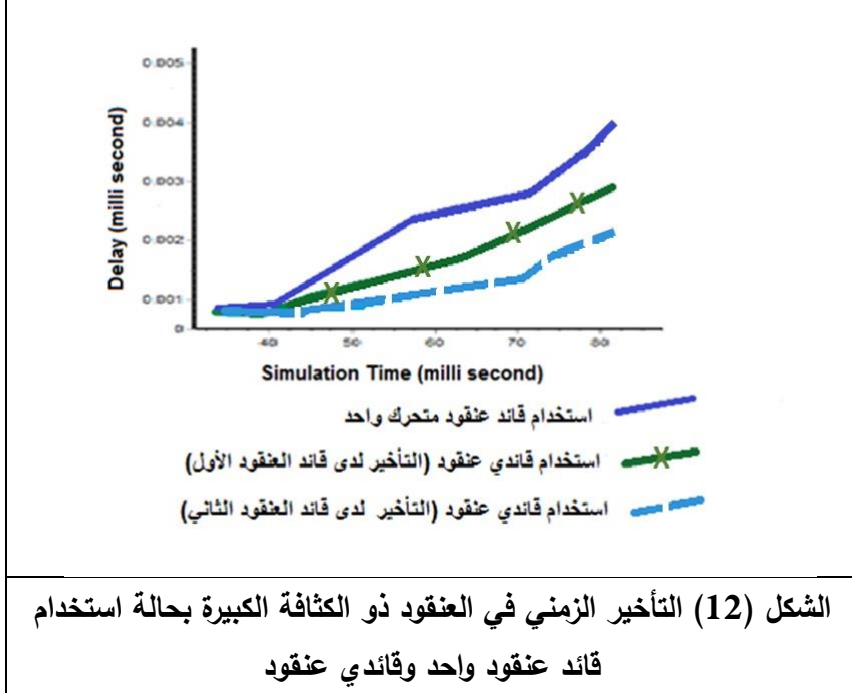
بعد أن تمت دراسة التأخير للسياريو الأول سننتقل لدراسة تأثير كثافة العناقيد بالسياريو الثاني على قيمة التأخير الزمني. الشكل (10) يبين شكل الشبكة بالسياريو الثاني حيث يمكننا أن نلاحظ أن كثافة توزع العقد بالعنقود الأول أكبر من الثاني.



بعد مراقبة التأخير الزمني في العقنود ذو الكثافة القليلة بحالة استخدام قائد عنقود واحد وبحالة تطبيق خوارزمية هذا البحث التي تعتمد على قائدي عنقود حصلنا على النتائج الموضحة بالشكل التالي.



التأخير لدى استخدام قائد عنقود واحد = 0.0043 ms أما عند استخدام قائدي عنقود واحد تكون قيمة التأخير لدى قائد العنقود الأول = 0.0029 ms و لدى قائد العنقود الثاني = 0.0028 ms و نلاحظ أن الآلية المقترحة في البحث قدمت تحسناً ملحوظاً في شبكة ذات عقد متباعدة أكثر مما هو عليه عند استخدام قائد عنقود واحد. إن زيادة كثافة توزع العقد في العنقود أعطت نتائج مختلفة كما هم مبين بالشكل (12).



التأخير الزمني لدى قائد العنقود المتحرك عند استخدام قائد عنقود واحد = 0.0042 ms و التأخير الزمني لدى قائد العنقود المتحرك الأول عند استخدام قائدي عنقود = 0.0027 ms و التأخير الزمني لدى قائد العنقود الثاني عند استخدام قائدي عنقود = 0.0022 ms و نلاحظ أن التأخير أكبر عند استخدام قائد عنقود واحد نظراً لأن الشبكة كثيفة إذ يمر قائد العنقود على كافة العقد ضمن العنقود بينما عند استخدام قائدي عنقود يكون التأخير أقل نظراً لأن كل عنقود سيتحرك مسافة محددة ضمن العنقود محددة من قبل الـ ACCESS POINT فيمر كل قائد عنقود على عدد محدد من العقد و ليس على كامل العنقود.

النتائج المستخلصة:

- 1- تعد مسألة تقليل التأخير الزمني لعقد الحساسات اللاسلكية من الموضوعات المهمة التي يتناولها الباحثون لما له من أثر مباشر على عمر شبكة الحساسات اللاسلكية، حيث أن إطالة عمر الشبكة يتيح استخدام تلك الشبكات في جميع المجالات والاستفادة من مزاياها بشكل أكبر.
- 2- تناول هذا البحث مسألة تقليل التأخير الزمني للعقد باستخدام آلية العقدة أولاً والمعالجة التفرعية ثانياً، وذلك من خلال الاعتماد على اثنين من قادة العقائد يعملان على التوازي.
- 3- أظهرت نتائج البحث أن الآلية المقترحة استطاعت تحقيق تقدم ملحوظ في موضوع التأخير الزمني وخاصة عندما تكون كثافة العقد عالية.
- 4- في هذه الدراسة تم استخدام قائدي عقود أي أننا قمنا بتوظيف عقدتين بالشبكة بدلاً من عقدة واحدة، بهذه الحالة نحن أمام انتقاد بسيط وهو أن تشغيل عقدتين بمهمة قائد عقود ممكن أن يستنفذ طاقة عقدتين معاً. لذا فإننا سنعمل في دراسة لاحقة على معالجة هذا الانتقاد بمحاولة الاستفادة من آلية عمل مطبقة على شبكات الانترنت وتطبيقها بمجال شبكات الحساسات اللاسلكية وسنعرض النتائج من خلال بحث جديد فور توفرها.

المراجع العلمية:

- [1] Ali L, Dergham M, and Souliman N, 2021– **Proposing a technique to routing data between wireless sensor nodes for increasing the life time of Wireless Sensor Networks.** Journal of Tartous University 5.2.
- [2] Devarajan K, and Padmathilagam V, 2015– **An enhanced cluster gateway switch routing protocol (ECGSR) for congestion control using AODV algorithm in MANET.** International Journal of Computer Applications 123.3.
- [3] Mamoun M, 2007– **Important characteristic of differences between DSR and AODV routing protocol.** MCN Conference, November. Vol. 50.
- [4] Rabiner W, Chandrakasan A, and Balakrishnan H, 2000– **Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks.** Proceedings of the 33rd annual Hawaii international conference on system sciences. IEEE.
- [5] Rakhi P, and Keswani B, 2015– **Node mobility impact on Zone routing protocol.** International Journal of Computer Applications 975:8887.

- [6] Gumaste S, Kharat U, and Thakare V, 2013– **Performance analysis of DSR protocol.** International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER), ISSN: 2347–3878.
- [7] Kumar L, Ravi M, Geethanjali N, and Babu N, 2013– **Energy Aware DSDV and FSR Routing Protocols in Mobile Ad Hoc Networks.** International Journal Of Computer Trends And Technology, 4.4.
- [8] Rahayfeh A, Amer A, Muder M, and Abdelshakour A, 2010– **Parameterized Affect of Transmission–Range on Lost of Network Connectivity (LNC) of Wireless Sensor Networks.** International Journal of Wireless & Mobile Networks, 2(3):63–80.
- [9] Sushant J, and all, 2006– **Exploiting mobility for energy efficient data collection in wireless sensor networks.** Mobile networks and Applications 11.3, 327–339.
- [10] Stephanie L, and Raghavendra S, 2002– **PEGASIS: Power–efficient gathering in sensor information systems.** Proceedings, IEEE aerospace conference. Vol. 3.
- [11] Mohammed A, Mismar M, and Abuzneid A, 2008– **Armor–LEACH–energy efficient, secure wireless networks**

communication. Proceedings of 17th international conference on computer communications and networks. IEEE.

[12] Ali L, Mathieu H, and Biennier F. 2006– **Monitoring and Managing a Distributed Networks using Mobile Agents.** 2nd International Conference on Information & Communication Technologies. Vol. 2. IEEE.