

# مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية  
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 45 . العدد 29

1445 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  
م. هلا معروف

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

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

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

. هاتف / فاكس : 963 31 2138071 ++

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

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

**ISSN: 1022-467X**

## شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

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

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

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

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:

آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

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

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

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

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

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

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

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

## رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

1. دفع رسم نشر (40000) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (100000) ل.س مئة الف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (6000) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

## المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
34-11	د. زينة ابراهيم لطفي	تصميم شبكة ضوئية غير فعالة والمقارنة بين الترميزات الخطية ومعدل نقل البيانات
64-35	م. راما ابراهيم	تحسين أداء محرك التيار المستمر عديم المسفرات باستخدام المتحكم المناعي الضبابي
100-65	د. علي خضور د. جاسم يوسف م. سامر حسين	النمذجة الديناميكية لنظام ضخ مياه كهروضوئي
150-101	م. وراذ سعود د. نادر خضرو د. محي الدين وايناخ	التعرف الأوتوماتيكي على نوع التعديل في قناة MIMO-OFDM
188-151	د. ابراهيم الشامي م. مرح علي	استخدام خوارزمية النحل لتحديد البصمات المتطابقة في قاعدة بيانات معيارية







## تصميم شبكة ضوئية غير فعالة والمقارنة بين الترميزات الخطية ومعدل نقل البيانات

الدكتورة: زينة ابراهيم لطفي

قسم الاتصالات - معالجة الإشارة الرقمية

كلية الهندسة - جامعة الرشيد الخاصة

### ملخص البحث

تتزايد تكنولوجيا الاتصالات بالتطور يوماً بعد يوم وهذا يتطلب الحاجة إلى معدلات لنقل البيانات بسرعة عالية وبشكل موثوق. تلعب الشبكات الضوئية دوراً كبيراً في تلبية هذه المطالب. تشير (FTT<sub>x</sub>) "Fiber To The X" إلى الألياف إلى "X"، وهي مجموعة متنوعة من طبولوجيا توصيل الألياف الضوئية ذات المجال العريض والتي يتم تصنيفها بناءً على مكان توصيل الألياف وتحتاج الشبكة الضوئية إلى تحسين بشكل دائم لمعدلات نقل البيانات العالية والقدرة على الوصول لمسافات طويلة. تعد الشبكات الضوئية ذات العناصر غير الفعالة التي تعتمد على تقنية تقسيم الطول الموجي واسعة الانتشار في بنى الاتصالات السلكية واللاسلكية. تم في هذا البحث تصميم شبكة ضوئية غير فعالة بالتجميع بتقسيم طول الموجة Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network (WDM-PON). تم تقييم النتائج التي تم التوصل إليها على مسافات مختلفة. ومن أجل معدلات بت مختلفة اعتماداً على قياس معدل خطأ البت ومخطط العين لتقدير أداء شبكات WDM-PON. الكلمات المفتاحية: الألياف الضوئية، الشبكة الضوئية المنفصلة، FTT<sub>x</sub>، نقطة إلى نقطة، نقطة إلى نقاط متعددة، WDM، PON.

# Design of a Passive Optical Network and Comparison Between Linear Encodings and Data Transfer Rate

## Abstract:

Communications technology is increasingly developing day by day and this requires the need for high-speed and reliable data transfer rates. Optical networks play a major role in meeting these demands. Fiber To The “X” (FTT<sub>X</sub>) refers to a variety of broadband fiber optic connection topologies that are classified based on where the fiber is connected and the optical network needs to be constantly improved for high data transfer rates and reachability. Over long distances. Optical networks with passive elements based on wavelength division technology are widespread in telecommunications architectures.

In this research, we design a passive optical network using Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network (WDM-PON). The results obtained are evaluated at different distances. For different bit rates based on bit error rate measurement and eye diagram to estimate the performance of WDM PON networks.

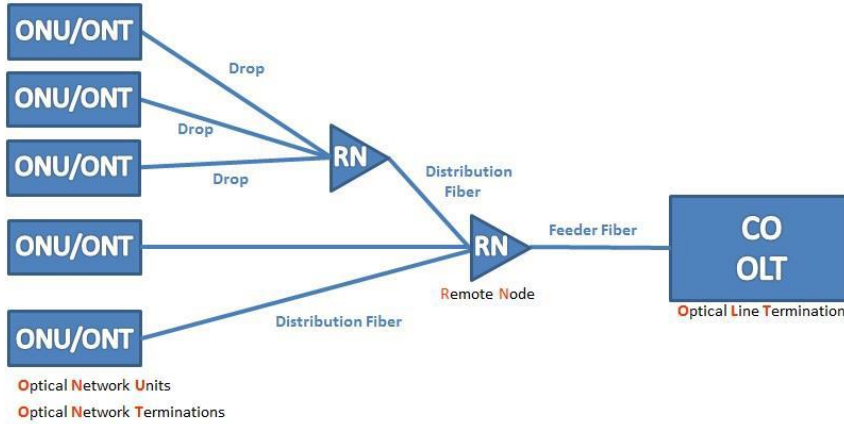
Keywords: Optical Fiber, Passive Optical Network, FTT<sub>X</sub>, point to point, point to multipoint, WDM, PON.

## 1- مقدمة

حققت الشبكات الضوئية ذات السعة الكبيرة مطالب المستخدمين المتزايدة على عرض المجال الترددي. حيث تلعب تكنولوجيا الاتصالات بالألياف الضوئية دوراً هاماً في شبكات الاتصالات الحديثة. حيث توفر إمكانية الوصول إلى 200 ميغابت في الثانية لكل مستخدم.

- تستخدم الشبكات الضوئية السلبية ( PON ) Passive Optical Network الكابلات الضوئية لتوفير عرض المجال من أجل الشبكات الضوئية عريضة المجال الترددي.

- تمثل PON الشبكة الضوئية ثنائية الاتجاه من نقطة إلى عدة نقاط Point To Multi Point (PtMP) ذات معدل عالي بدون وجود معوقات في طريق الإشارة التي تنتقل من المرسل إلى المستقبل. ويتم نقل بيانات الوصلة الهابطة من طرف محطة طرفية ضوئية (OLT) Optical Line Termination إلى وحدات الشبكة الضوئية Optica Networks Units (ONUs)، وأثناء انتقال البيانات على الوصلة الصاعدة من Optical Network Unit (ONU) إلى OLT عن طريق الألياف الضوئية التي يفصل فيما بينها جهاز تقسيم ضوئي، سيتم وضع الـ OLT في التبادل المحلي local exchange أي Central Office (co) كما هو موضح في الشكل (1) ويتم توصيل شبكة الوصول الضوئية بشبكة المنطقة الواسعة (WAN) أو شبكة المنطقة الحضرية Metropolitan (MAN)، كما أنها تُعرف بالشبكة طويلة المدى أو العمود الفقري. يتم وضع ONU إما في منزل المستخدم النهائي أو المبنى (FTTH) و (FTTB) Fiber to The Building, Business, Or Basement [2].



الشكل (1) بنية شبكة PON [2]

## 2- دراسة مرجعية عن شبكات WDM PON:

- تعتبر WDM-PON الشبكات الموسعة الأكثر انتشاراً بسبب فوائدها الفريدة، مثل الموثوقية والشفافية من حيث نقل البيانات بمعدلات عالية. [3] [4].

- قدم بعض الباحثين أنماط شبكة WDM-PON المختلفة وتطبيقاتها لحلول شبكة الوصول الفعال من حيث التكلفة [5]. ووجدوا أن الشبكة الضوئية (WDM-PON) توفر مزايا أفضل من TDMA-PON فيما يتعلق بجودة الخدمة (QoS)، والأمن وشفافية البروتوكول. ويعرض تحليل الأداء في النظام الهجين (TDM / WDM PON) Time-Division Multiplexed باستخدام Passive Optical Network ببنية طوبولوجيا نجمية [6].

- يتم تقديم المكونات الأساسية لتصميم نظام الاتصالات الليفي باستخدام برنامج Optisystem ، كما يتم عرض نتائج المحاكاة، والتي يمكن اعتبارها مساعدة جيدة لفهم كل جهاز من نظام اتصالات الألياف الضوئية. يناقش تصميم PON ويصمم مخططاً جديداً لنظام PON للإرسال ثنائي الاتجاه باستخدام مرشح عاكس ثنائي الاتجاه ومضخم ضوئي نصف ناقل عاكس

(RSOA) Reflective semiconductor optical amplifier في مراحل الوصلة الصاعدة والهابطة. تم إجراء مقارنة بين استخدام RSOA وفلتر عاكس ثنائي الاتجاه اعتمادا على معدل الخطأ في البتات في إشارة المنبع. يستخدم النظام الجديد مشبك الدليل الموجي (AWG) American Wire Gauge لعمل لتجميع إشارة الدخل وزيادة السعة ومن ثم توجيهها إلى المستخدمين [7].

### 3- الشبكات الضوئية غير الفعالة:

توفر الشبكات الضوئية غير الفعالة بطبيعتها مجموعة متنوعة من خدمات المجال الترددي العريض للمستخدمين من خلال الألياف الضوئية. من أشهر أنواع الشبكات الضوئية غير الفعالة هي شبكة PON .

#### 3-1 تعريف الشبكات الضوئية غير الفعالة PON:

- وهي شبكة ضوئية غير فعالة تعمل على إزالة جميع المكونات الفعالة بين المخدم والمستخدم، حيث يتم إدخال مكونات غير فعالة لتوجيه حركة البيانات عبر الشبكة مثل المقسم الضوئي Splitter. كما هو موضح في الشكل (2) يستخدم PON بشكل رئيسي في شبكات FTTH.

- في هذه الشبكات، لا يتم تخصيص تردد معين، بل يتم إرسال أطوال موجية متعددة على ليف واحد دون حدوث تداخل بهدف الإرسال إلى مسافات كبيرة.  
- تعتمد PON على عناصر غير فعالة مما يقلل كلفة تنفيذ وصيانة وتشغيل هذه الشبكات مقارنة مع الشبكات التي تعتمد على عناصر فعالة. وكذلك تزيد من سعة الشبكة كونها تعمل عند معدل بيانات عالي [8].

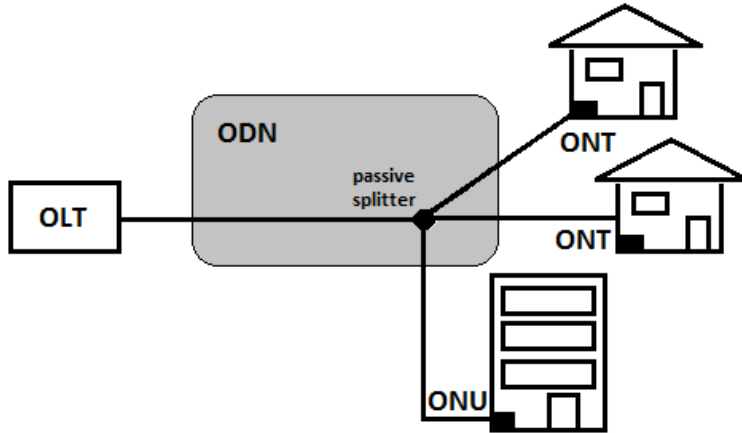
### 2-3 مكونات الشبكة الضوئية غير الفعالة PON:

1-2-3 محطة طرفية ضوئية (OLT) في المكتب المركزي لمزود الخدمة تقع وحدة OLT في مكتب مركزي وتتحكم في التدفق ثنائي الاتجاه للمعلومات عبر شبكة التوزيع الضوئي ODN .

وظيفة كل من OLT بتجنب التداخل بين محتويات الوصلة الهابطة وقناة الوصلة الصاعدة، باستعمال طولين موجيين مختلفين مترابطين. لهذا، يتم استخدام تقنيات ( WDM ) تعدد إرسال تقسيم الطول الموجي.

### 2-2-3 طرفية الشبكة الضوئية (ONTs):

تعتبر محطات الشبكة الضوئية (ONTs) عناصر قادرة على ترشيح المعلومات المرتبطة بمستخدم معين من OLT. كما أن لها وظيفة تغليف معلومات المستخدم وإرسالها إلى OLT لإعادة توجيهها إلى الشبكة المناسبة. يتم وضع وحدات الشبكة الضوئية (ONUs) أو محطات الشبكة الضوئية (ONTs) بالقرب من المستخدمين النهائيين بالإضافة إلى المقسم الضوئي.



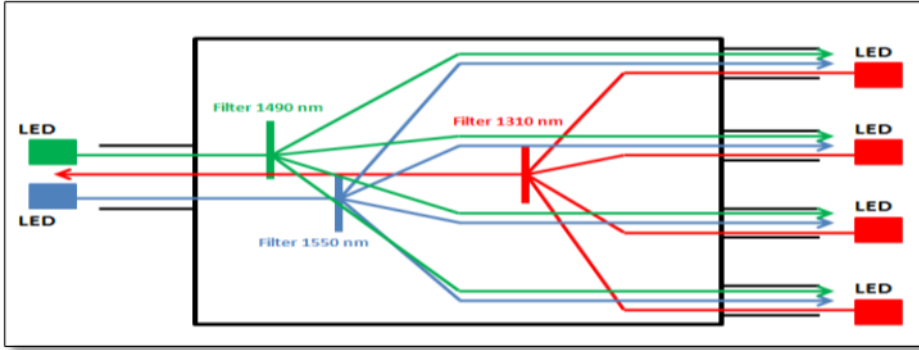
الشكل (2) مكونات الشبكة الضوئية غير الفعالة [8]



### 3-2-3 - المقسم الضوئي

المقسّمات الضوئية هي مقسمات طاقة غير فعالة تسمح بالاتصال بين OLT و ONT الذي تقوم بتخديمه. ومع ذلك، لا يتم تخصيصها فقط من أجل تجميع وفك تجميع للإشارات، بل تقوم أيضاً بتجمع الطاقة فهي عبارة عن أجهزة توزيع ضوئية ثنائية الاتجاه ذات دخل واحد ومخارج متعددة.[8]

- الإشارة التي تدخل من منفذ الإدخال، تبدأ من OLT وتنقسم بين منافذ الخرج المتعددة.
- الإشارات التي تدخل من المخارج، تدخل من ONT ويتم دمجها عند المدخل.
- وبما إن المقسمات عناصر سلبية تمامًا، فإنها تسمح لها بالعمل بدون طاقة خارجية، مما يقلل من تكلفة نشرها وتشغيلها وصيانتها. ويبين الشكل (3) التالي آلية عمل المقسمات.



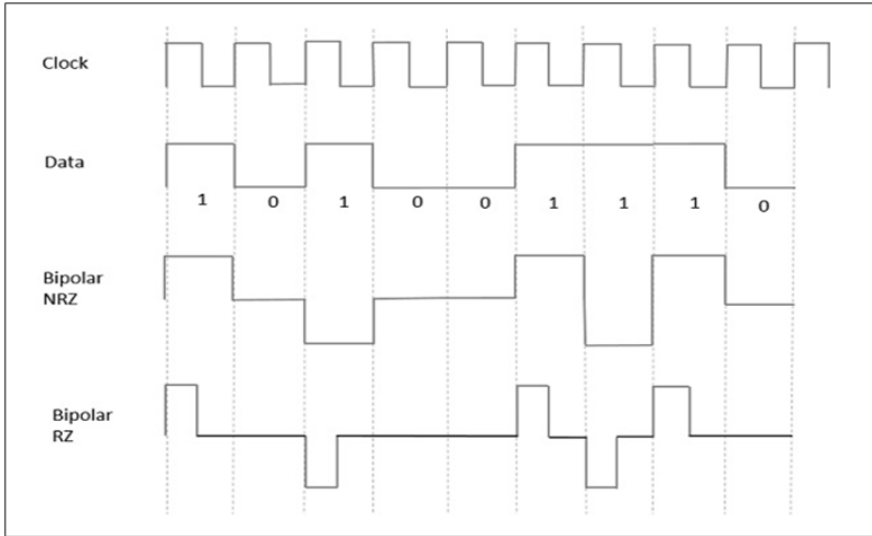
الشكل(3) المقسم الضوئي.[9]

#### 4-الترميزات الخطية:

ترميز عدم عودة إلى الصفر NRZ هو طريقة ترميز خطي يمثل فيه البت "1" بنبضة تشغل كل مدة الحيز الزمني المخصصة للبت، في حين يمثل البت "0" بغياب وجود نبضة .

في ترميز عودة إلى الصفر RZ لا يتم ارسال استطاعة من أجل البت "0" منطقي في حين يتم ارسال نبضة تغطي نصف الحيز الزمني المخصص للبت من أجل البت "1" منطقي، ويعود في النص الثاني من الحيز الزمني إلى الصفر. يعتبر الترميز NRZ من أكثر أنواع الترميز المستخدمة حالياً في نظم الاتصالات الضوئية، ويسمى أيضاً صيغة On-Off Keying OOK حيث لا يتم ارسال استطاعة من أجل "0" منطقي في حين يتم ارسال نبضة على كامل المجال الزمني المخصص للبت من أجل "1" منطقي. النبضات في NRZ تحتوي على طاقة أكبر RZ كما هو موضح في الشكل (4).

- يستخدم التعديل الثنائي NRZ بكثرة في نظم الاتصالات التجارية لأنه غير حساس لضجيج طور الليزر وكذلك يحتاج عرض حزمة أقل مقارنة مع RZ ويحتاج إلى إعدادات أبسط في المرسل والمستقبل كما إنه أقل تكلفة. صيغة تعديل NRZ غير مناسبة من أجل معدل بيانات عالي ونظم الاتصالات الضوئية ذات المسافات الطويلة . يعتبر NRZ أفضل في حال استخدام نظام متعدد القنوات [10] .

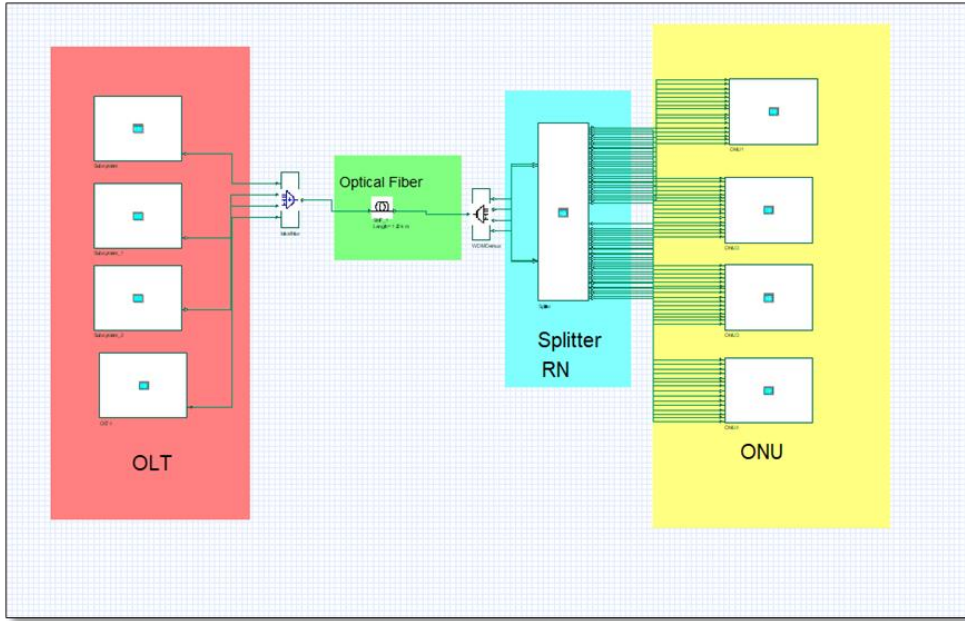


الشكل (4) الترميزات الخطية [10]

### 5-بنية التقنية المقترحة:

- يبين الشكل (5) المخطط ل صندوقي للنظام المصمم والذي تم تنفيذه باستخدام برنامج Optisystem ودراسة الأداء وتطبيقها على الوصلة الهابطة من OLT إلى ONU.

- يبين الجدول (1) البارامترات الأساسية لعناصر المرسل الضوئي ضمن وحدة OLT و البارامترات الأساسية لعناصر المستقبل الضوئي ضمن وحدة ONU.



الشكل(5) المخطط العام للتقنية المقترحة.

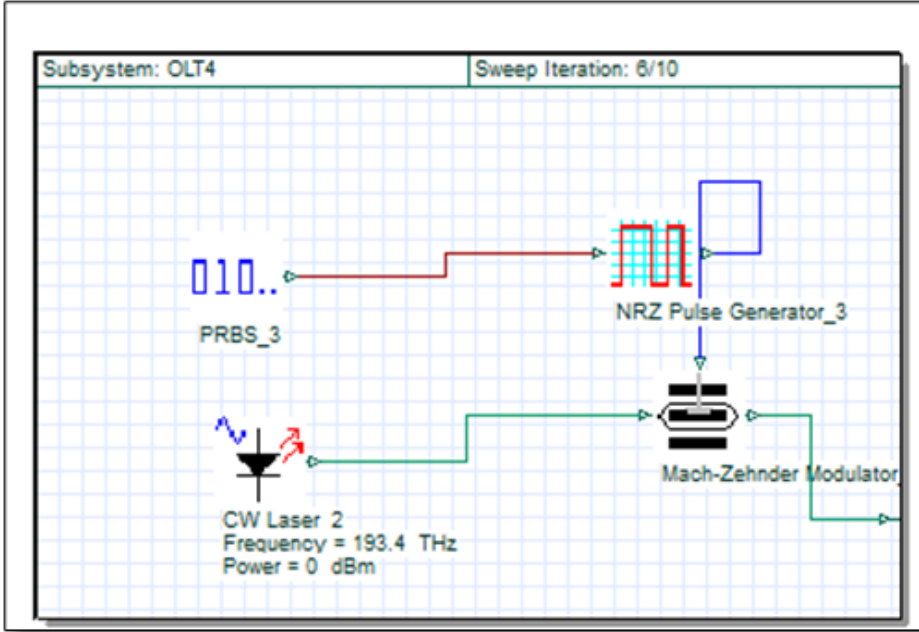
الجدول (1) البارامترات الأساسية لعناصر المرسل الضوئي والمستقبل الضوئي ضمن وحدة OLT. وضمن وحدة ONU.

Component of OLT	Parameters	
	Type	Value
PBRs-3	Bit rate	1Gbps
Light Source	CW Laser	193.1 THz
	CW Laser Light Width	0.1 Mhz
Modulator	Modulation	NRZ
		MANCHESTER
Component of ONU	Parameters	
	Type	Value
Photo Detector PIN	Sensitivity	1A/W

### 5-1 المرسل

يتكون كل مرسل ضمن OLT من مولد نبضات شبة عشوائي يولد بيانات بمعدل بت 1Gbps ومن ثم تمر الإشارة إلى رمز NRZ ومعدل (MZM) مُعدّل Mach Zehnder Modulator عبارة عن هيكل تداخلي مصنوع من مادة ذات تأثير كهروضوئي قوي يقوم بتعديل الإشارة الضوئية الصادرة عن الليزر الضوئي الذي يشع

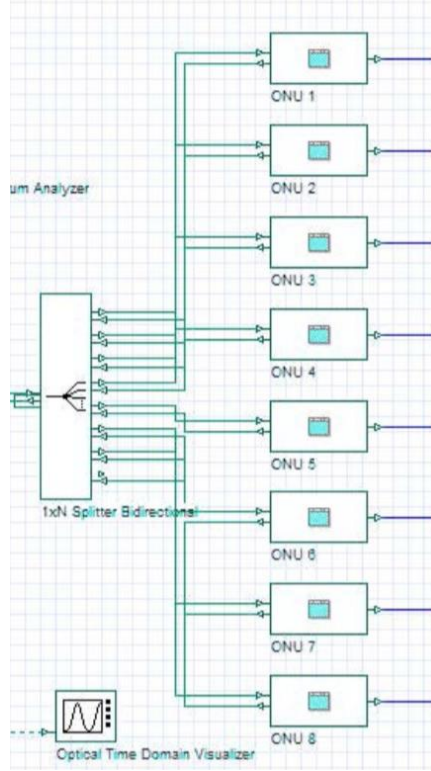
ضوء بعرض خط 0.1 Mhz كما هو موضح في الشكل (6) المرسل الضوئي ضمن وحدة OLT.



الشكل (6) المرسل الضوئي ضمن وحدة OLT.

## 2-5 وحدة Remote Node RN

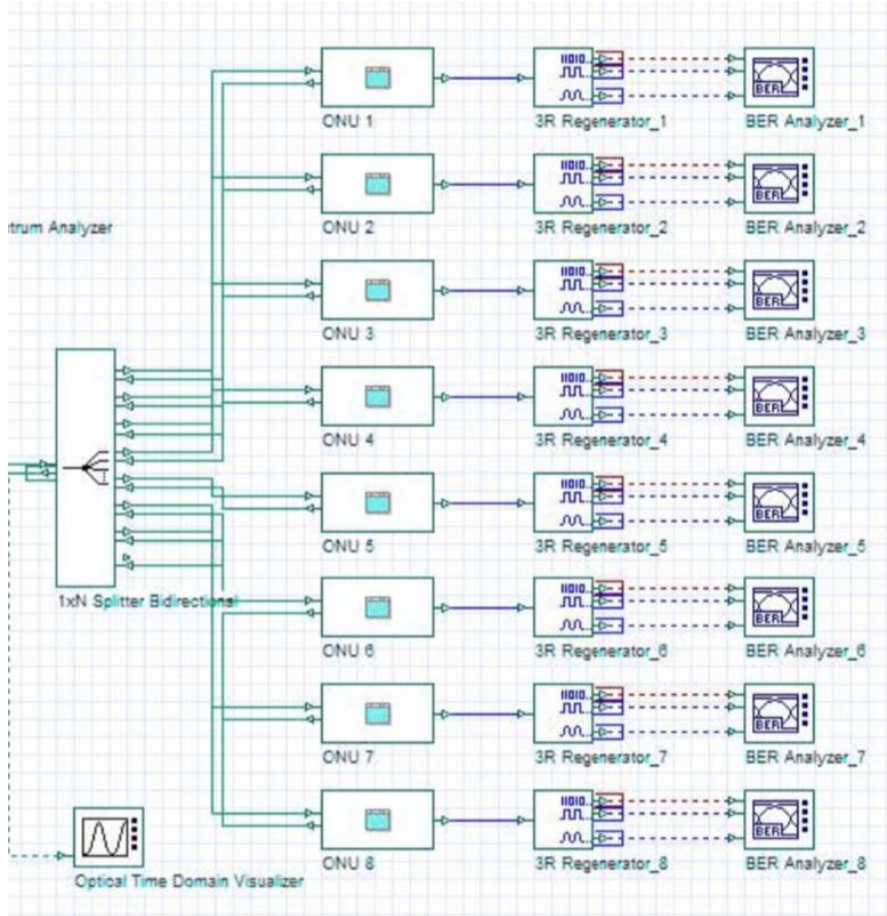
تتكون وحدة RN من أربع مقسمات ضوئية غير فعالة 1X16 تقوم كل منها بتقسيم الإشارة الضوئية وتشارك عرض المجال المرسل على طول الموجة المحدد بين 16 مشترك، ويبين الشكل (7) وحدة RN.



الشكل (7) وحدة RN

### ONU وحدة 3-5

تتكون كل وحدة ONU من ثمان مستقبلات ضوئية كما هو موضح في الشكل (8) تعمل على تردد الموجة المرسله نفسه وتحتوي على كاشف ضوئي حساسيته  $1A/W$ .



الشكل (8) وحدة ONU

### النتائج والمناقشة

- تتألف شبكة WDM-PON التي تمت دراستها من محطة طرفية ضوئية (OLT) في المكتب المركزي لمزود الخدمة وعدد من وحدات الشبكة الضوئية (ONUs).
- تتوضع المحطات الطرفية الضوئية بالقرب من المستخدمين النهائيين بالإضافة إلى المقسم الضوئي.

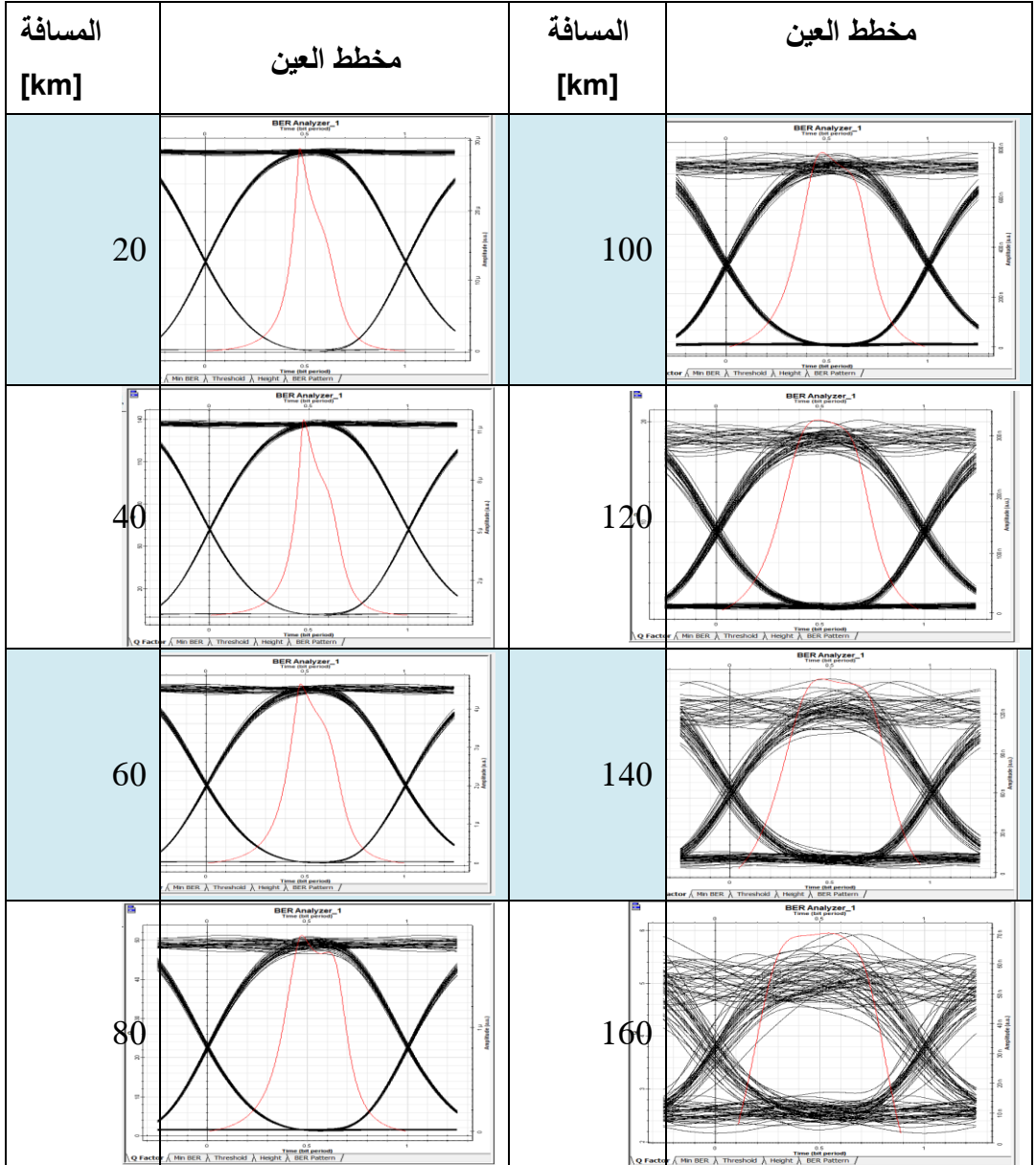
- تحتوي المحطة الطرفية الضوئية (OLT) أربع مرسلات ضوئية تعمل عند أطوال موجية مختلفة ومن ثم يتم تجميع خرج هذه المرسلات بواسطة مجمع WDM .
- تنتقل الإشارات الضوئية الناتجة عبر ليف ضوئي وحيد النمط SSMF وبعدها تمر إلى مفكك تجميع WDM ليقوم بفصل الأطوال الموجية، ثم تمر الإشارات على مقسم الاستطاعة الضوئي splitter والذي يحقق وصول كل إشارة إلى عدد كبير من المستخدمين وبالتالي تزويدهم بالخدمة المطلوبة. وبذلك نتمكن من استخدام ليف ضوئي واحد لإرسال إشارات متعددة تعمل على ترددات مختلفة.

#### 6 - دراسة أداء النظام:

- يصف مخطط العين جودة الإشارة المستقبلية، في حال عدم وجود ضجيج أو إرسال خالي من الأخطاء.
- تكون فتحة العين رأسية كبيرة، أما في حال وجود تداخل بين الرموز يحدث تصغير لفتحة العين الرأسية بسبب وجود أخطاء، وتدل فتحة العين الرأسية على المناعة الأكبر ضد الضجيج.
- تم دراسة أداء شبكة WDM- PON من أجل معدل بيانات ثابت وعلى مسافات مختلفة وكذلك كان من أجل معدلات مختلفة على مسافة ثابتة ومقارنة أداء هذه الشبكة باستخدام طرق ترميز خطية مختلفة.

6-1- يوضح الشكل (9) مخططات نظام العين للشبكة WDM- PON على مسافات مختلفة ( 180 - 160 - 140 - 120 - 100 - 80 - 60 - 40 - 20) وذلك من أجل معدل بت 1Gbps معدل بت ثابت . يظهر الخط الأحمر في الشكل منحنى عامل الجودة Quality Factor.





الشكل (9) مخططات نظام العين للشبكة WDM PON على مسافات مختلفة ( 20 - 40 - 60 - 80 - 100 - 120 - 140 - 160 - 180 ) من أجل معدل بت 1Gbps ثابت.

- يظهر الخط الأحمر في الشكل منحنى عامل الجودة مخططات نظام العين للشبكة WDM . PON

- ويمكن ملاحظة أنه من خلال زيادة المسافة لنفس معدل البتات (1Gbp) وباستخدام أربعة أجهزة إرسال عند (OLT) ، يقل كل من عامل الجودة Q-factor وارتفاع فتحة العين ويزداد معدل الخطأ في البتات (BER).

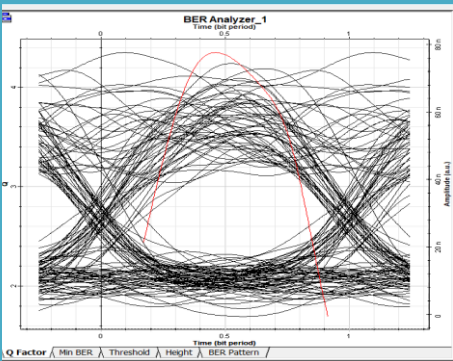
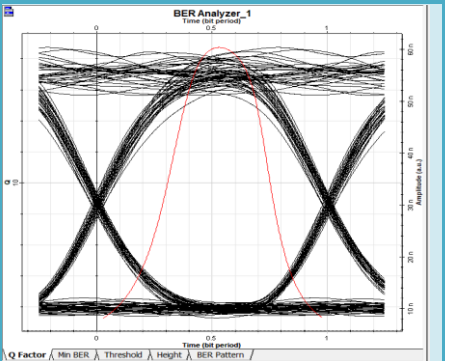
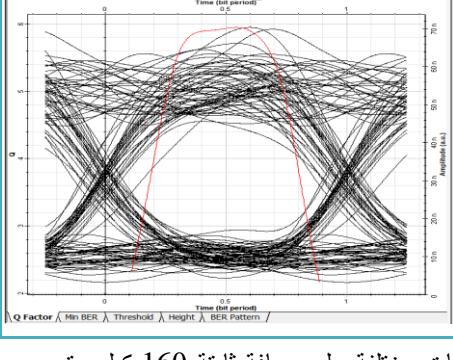
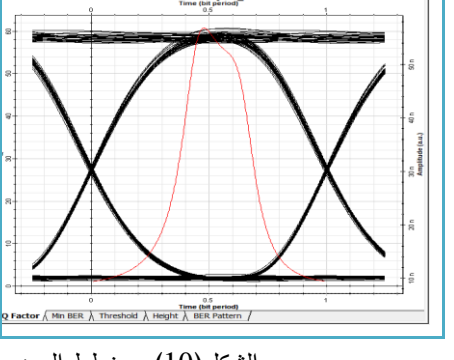
- نلاحظ من الرسم البياني في الشكل(9) أن ارتفاع العين يتناقص مع زيادة المسافة. - نتيجة لذلك، يتعذر على المستقبل أن يكتشف البتات المستقبلية بشكل صحيح. يعرض في الجدول (2) قيم كل من معدل خطأ البت ومعامل الجودة وارتفاع فتحة العين عند كل المسافات المدروسة.

الجدول (2) قيم معدل خطأ البت ومعامل الجودة وارتفاع فتحة العين عند كل المسافات المدروسة

Distance (km)	Q – Factor	BER	Eye Diagram
20	189.018	0	2.79417e-005
40	116.874	0	1.09876e-005
60	69.3788	0	4.29086e-006
80	50.7051	0	1.69781e-006
100	24.8676	3.75286e-178	6.40035e-007
120	15.9818	3.4169e-056	2.41261e-007
140	9.2398	7.21129e-020	8.14883e-008
160	5.85721	2.02429e-009	2.20296e-008

2-6 دراسة أداء النظام من أجل معدلات نقل البيانات مختلفة على مسافة 160 يبين مقارنة القيم الناتجة من أجل معدلات نقل بيانات مختلفة:

تمت كما هو موضح الشكل(10) دراسة أداء النظام من أجل معدلات نقل البيانات مختلفة مخطط العين من أجل معدل نقل بيانات مختلفة دراسة على مسافة 160 كيلو متر.

معدل نقل البيانات Gbps	مخطط العين	معدل نقل البيانات Gbps	مخطط العين
2.5		1e-008	
1		1e-007	

الشكل(10) مخطط العين من أجل معدل نقل بيانات مختلفة على مسافة ثابتة 160 كيلو متر

يعرض في الجدول (3) قيم كل من معدل خطأ البت ومعامل الجودة وارتفاع فتحة العين عند المعدلات المدروسة.

الجدول(3) يبين مقارنة القيم الناتجة من أجل معدلات نقل بيانات مختلفة

Data Rate	Q – Factor	BER	Eye Diagram
2.5Gpbs	4.3498	5.93987e-006	1.43524e-008
1Gbps	5.95191	1.18799e-008	2.22317e-008
1e+008bps	18.7301	1.18015e-078	3.80041e-008
1e+007bps	60.7404	0	4.28808e-008

7- مقارنة أداء شبكة WDM PON باستخدام صيغ ترميز خطية مختلفة RZ

و NRZ

من أجل إجراء المقارنة تم إعادة الدراسة السابقة مع استبدال نوع الترميز المستخدم في النظام NRZ إلى ترميز RZ.

- ويوضح الجدول (4) نتائج الدراسة التي تمثل مقاييس الأداء من أجل معدل بت ثابت (1Gbps) على مسافات مختلفة باستخدام ترميز RZ.

- ويبين الجدول (5) يبين مقاييس الأداء من أجل معدلات بت مختلفة عند مسافة محددة 160.

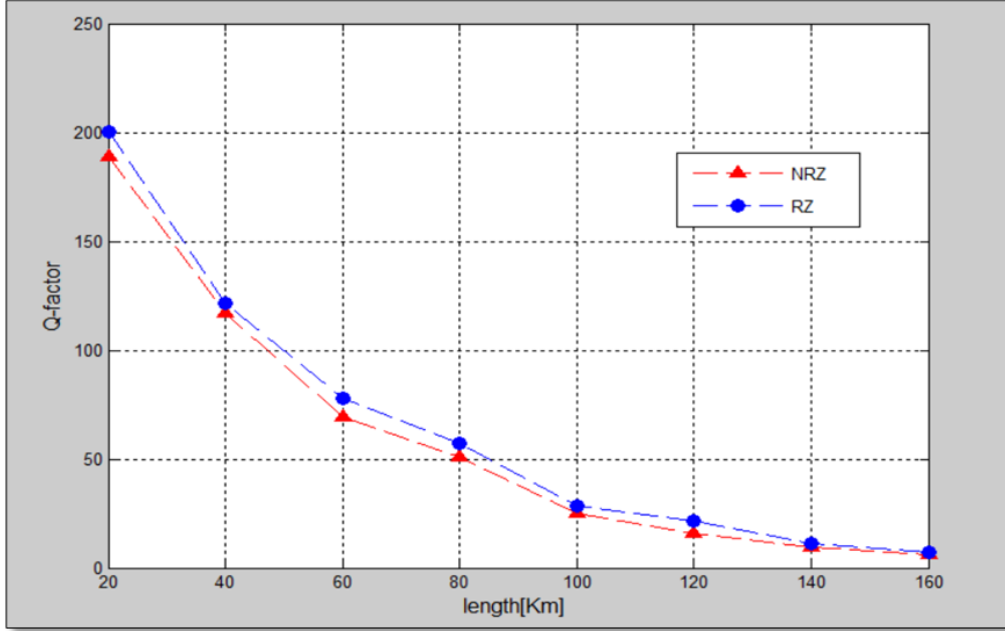
الجدول (4) يبين مقارنة القيم الناتجة من أجل معدلات نقل بتات ثابت ومسافات مختلفة

Distance (km)	Q – Factor	BER	Eye Diagram
20	200.282	0	2.26482e-005
40	121.414	0	8.95397e-006
60	77.5888	0	3.51525e-006
80	57.1392	0	1.36047e-006
100	28.4198	1.746e-196	5.19991e-007
120	21.7297	1.5558e-107	1.87745e-007
140	11.02611	9.64592e-030	6.09635e-008
160	7.45917	2.02429e-015	1.66943e-008

- يبين الجدول (5) يبين مقاييس الأداء من أجل معدلات بت مختلفة عند مسافة محددة

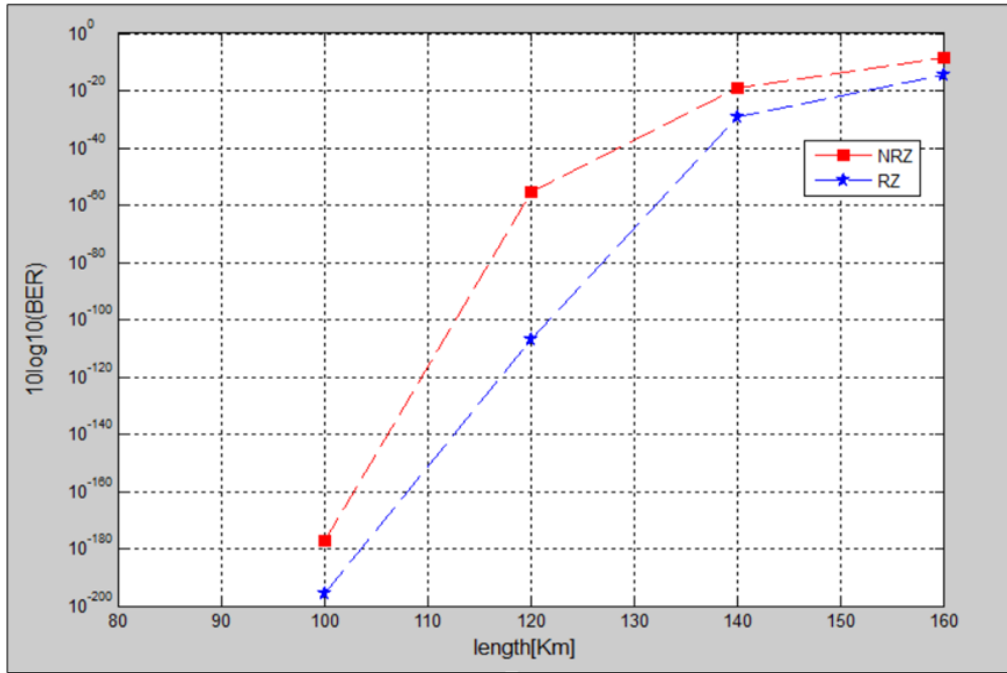
Data Rate	Q – Factor	BER	Eye Diagram
2.5Gpbs	2.71624	0.00275848	-3.49721e-009
1Gpbs	6.00689	8.67751e-012	1.88918e-008
1e+008bps	16.2701	7.06811e-060	3.04665e-008
1e+007bps	46.098	0	3.5088e-008

- يبين الشكل (11) العلاقة بين معامل الجودة والمسافة عند معدل نقل بيانات ثابت لأجل صيغ الترميز الخطية المدروسة ونلاحظ إن صيغة الترميز RZ يحقق نتائج أفضل مقارنة مع NRZ ويتقارب الأداء عند زيادة المسافة عن 140 كم.



الشكل(11) العلاقة بين المسافة ومعامل الجودة عند معدل بيانات (1Gbps) من أجل صيغ الترميز RZ و NRZ

- يبين الشكل(12) العلاقة بين المسافة ومعدل خطأ البت عند معدل نقل بيانات ثابت (1Gbps) لأجل صيغ الترميز الخطية المدروسة ونلاحظ إن صيغة الترميز RZ يحقق نتائج أفضل مقارنة مع NRZ .



الشكل (12) العلاقة بين المسافة ومعدل خطأ البت عند معدل بيانات (1Gbp) من أجل صيغ الترميز NRZ و RZ.

### استنتاجات والتوصيات:

- تم تصميم نظام النقل الضوئي السابق باستخدام محاكي Optisystem من أجل دراسة تأثير المعلمات المختلفة على النظام، ويحقق للمستخدم نقل البيانات عند أطوال موجية مختلفة من خلال نفس الألياف.

- تم تحليل أداء الشبكة الضوئية WDM-PON ومقارنة الأداء عند معدل بت ثابت ومسافات مختلفة وفي حالة اخرى تمت المقارنة عند مسافة ثابتة ومعدلات بت مختلفة.

مع الأخذ بعين الاعتبار أن معدل الخطأ في البتات يزيد مع الزيادة في معدل البيانات والمسافة ويقل بالمقابل كل من عامل الجودة وفتحة العين. وبالتالي اختيار الألياف الضوئية كوسيط إرسال وضمان طول عمر الشبكة خلال السنوات القادمة.

- تبين إن الترميز RZ يحقق أداء أفضل مقارنة مع الترميز NRZ على المسافات الطويلة حيث نلاحظ من الشكل (12) وعند المسافة 100 KM كانت قيمة معدل خطأ البت أقل عند استخدام الترميز RZ .



References:

[1] Essiambre.R, Tkach .R, Alagirisamy.M .2012, **Capacity Trends and Limits of Optical Communication Networks**. Proceedings of the IEEE 100(5):1035-1055, DOI:10.1109/JPROC.2012.2182970.

[2] Muciaccia.,T, Gargano.F, Vittorio. M, Passaro.N.2014, **Passive Optical Access Networks: State of the Art and Future Evolution** Photonics 2014, 1, 323-346; doi:10.3390/photonics1040323, ISSN 2304-6732.

[3] Chang. G, Chowdhury.A, Jia.Z, Chien.H., 2009, **Key Technologies of WDM-PON for Future Converged Optical Broadband Access Networks [Invited]**. Journal of Optical Communications and Networking 1(4):C35 - C50,

DOI:10.1364/JOCN.1.000C35

[4] Hussain.N, 2015,**Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network modeling Using Optical System Simulator** . Georgia Institu Of Technology. Vol.11, No. 3, P.P.61-71.

[5] Kim.B, Whi Kim.B.2009, **WDM-PON Development and Deployment as a Present Optical Access Solution**.

OSA Technical Digest (CD) (Optica Publishing Group, Optical Fiber Communication Conference ISBN: 978-1-55752-865-0, paper OThP5.

[6] Alkhalidi .N .2016 **Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network modeling Using Optical System Simulator**.

Computer Engineering - Science topic.

[7] El-Sahn .Z, Plant.D, Buset .j.2011. **Bidirectional WDM PON enabled by reflective ONUs and a novel overlapped-subcarrier multiplexing technique**, Conference: Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC/NFOEC), 2011 and the National Fiber Optic Engineers Conference.

[8] Eržen.V, Batagelj.B.2012, **NG-PON1: technology presentation, implementation in practice and coexistence with the GPON system**. ELEKTROTEHNIŠKI VESTNIK 79(3): 117-122.

[9] Gandhi .B, Shukla .A,2019. **Modeling of 2D Photonic Crystal based 1x4 All Optical SplitterDesign** Indian Journal of Science and Technology, Vol 12(7), DOI:10.17485/ijst/2019/v12i7/92988, ISSN (Online) : 0974-5645.

[10] Vijayalakshmi.S, Sankaran.S, Pallikonda.M, Nagarajan.V, Sankaran.E .2020. **BCC communication through RZ Bipolar D-QPSK Encoding and Decoding with Hybrid RF base and FPGA Implementation**. International Journal of Advanced Science and Technology , Vol. 29, No. 7s, pp. 686-694.

# تحسين أداء محرك التيار المستمر عديم المسفرات باستخدام المتحكم المناعي الضبابي

الباحثة : م. راما ابراهيم

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

جامعة البعث

## الملخص

تعد محركات التيار المستمر عديمة المسفرات (BrushLess DC motors BLDC) واحدة من أكثر أنواع محركات التيار المستمر استخدامًا في كل من المجالات الصناعية والسيارات. في هذا البحث تم اختيار محرك BLDC لأنه يتمتع بالعديد من المزايا مقارنة بأنواع المحركات الكهربائية الأخرى. ومع ذلك لا تزال معظم أنظمة التحكم المستخدمة في محركات BLDC تستخدم تقنيات التحكم التقليدية. هذه الطرق التقليدية سهلة وبسيطة للتطبيق ولكن بها العديد من نقاط الضعف. في هذا البحث تم تصميم ومحاكاة نظام التحكم في السرعة لمحركات BLDC باستخدام المتحكم PID المناعي الضبابي من خلال المحاكاة باستخدام Matlab / Simulink. يتم إجراء المحاكاة من خلال إدخال سرعة مرجعية 650 دورة في الدقيقة للمقارنة مع الطرق الأخرى المستخدمة في الدراسات المرجعية. تظهر نتائج الاختبار أن المتحكم المناعي الضبابي يمكن أن يوفر أداء أفضل وأكثر استقرارًا من الطرق الأخرى. كما يمكن أن يؤدي إلى تقليل تذبذب السرعة واستقرار عزم الدوران بحيث يمكن لمحرك BLDC العمل بشكل أكثر كفاءة وموثوقية.

الكلمات المفتاحية : محرك التيار المستمر عديم المسفرات، تقنيات التحكم، المتحكم PID، المتحكم المناعي الضبابي.

# Improving the performance of a brushless DC motor using a fuzzy immune controller

## Abstract

BrushLess DC motors BLDC are one of the most widely used types of DC motors in both industrial and automotive fields. In this paper, the BLDC motor was chosen because it has many advantages compared to other types of electric motors. However most control systems used in BLDC motors still use traditional control techniques. The traditional methods is easy and simple to apply, but it has many weaknesses. In this paper, a speed control system for BLDC motors using a fuzzy immune PID controller is designed and simulated through simulation using Matlab/Simulink. Simulations are performed by introducing a reference speed of 650 rpm for comparison with other methods used in reference studies. Test results show that the fuzzy immune controller can provide better and more stable performance than other methods. It also can reduce speed fluctuation and stabilize torque so that BLDC motor can work more efficiently and reliably.

**Keywords** : Brushless DC Motor, Control Technologies, PID Controller, Fuzzy Immune Controller.

## المقدمة

تعد محركات التيار المستمر عديمة المسفرات (BrushLess DC motors BLDC) من بين محركات التيار المستمر الأكثر استخدامًا في المجالات الصناعية والحديد في السيارات الكهربائية الحديثة<sup>[1]</sup>. لا يحتوي هذا النوع من محركات التيار المستمر على مسفرات ومبدل، لذلك تتطلب محركات BLDC صيانة أقل ويمكن أن تعمل بشكل أكثر هدوء من محركات التيار المستمر<sup>[2]</sup>. كما تعد محركات BLDC شائعة جدًا في العديد من التطبيقات الصناعية والطبية الحيوية والروبوتية التي تتطلب نسبة عزم دوران عالية إلى وزن وتحكم دقيق في الموقع من أجل الدقة<sup>[3]</sup>.

توجد بعض أنظمة التحكم المختلفة المستخدمة للتحكم في سرعة محرك BLDC<sup>[4]</sup>. هناك نوعان من أنظمة التحكم في السرعة، وهما نظام الحلقة المفتوحة Open-Loop system ونظام الحلقة المغلقة Closed-Loop system. نظام الحلقة المفتوحة هو نظام تحكم ليس لمخرجاته أي تأثير على التحكم ولا توجد تغذية عكسية. بالمقابل يستخدم نظام التحكم في المحرك BLDC نظام تحكم مغلق الحلقة والذي يحتوي على تغذية عكسية سالبة<sup>[5]</sup>.

في هذا البحث تم تصميم ومحاكاة نظام التحكم في السرعة لمحركات BLDC باستخدام المتحكم PID المناعي الضبابي. يستخدم المتحكم المناعي كمتحكم تناسبي فقط، ويستخدم المنطق الضبابي لضبط معلمات المتحكم المقترح. ثم تتم مقارنة نتائج الاختبار باستخدام طريقة PI التقليدية وطريقة المتحكم PID الضبابي من أجل الحصول على الطريقة الأفضل استخدامًا للتحكم في سرعة محرك BLDC.

## مشكلة البحث

معظم طرق التحكم في محركات التيار المستمر عديمة المسفرت BLDC تستخدم عناصر تحكم تقليدية مثل متحكم PI (تناسبي - تكاملي) ومتحكم PID (تناسبي - تكاملي - تفاضلي) والتي يتم اختيارها بسبب بساطتها وسهولة تشغيلها. لكن هذه الطرق تعاني من العديد من نقاط الضعف، مثل الاستجابة البطيئة والاهتزازات المتكررة التي تحدث نتيجة تغير حالة النظام.

## أهمية البحث

في هذا البحث تم اختيار محرك BLDC لأنه يتميز بخصائص الكفاءة العالية والموثوقية ومجال السرعة الواسع وعزم الدوران الكبير والطاقة الصغيرة. وبالتالي فإن إجراء الأبحاث حول هيكل محرك التيار المستمر عديم المسفرت ووحدة التحكم الخاصة به له أهمية نظرية وعملية كبيرة.

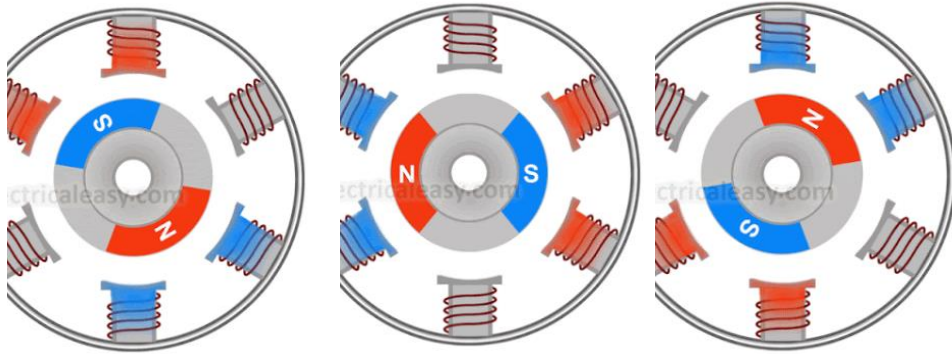
## الدراسات المرجعية

تم إجراء العديد من الدراسات لتطبيق أنظمة التحكم على محركات BLDC منذ تسعينيات القرن الماضي، وتزايد الاهتمام بهذا النوع من المحركات في الاعوام القليلة الماضية بشكل ملحوظ نظراً لاستخدامها في المركبات ذاتية القيادة، فيما يلي نذكر أحدث وأهم الأبحاث المطبقة على محركات BLDC في عام 2022 فقط نظراً لكثرة الدراسات.

قام كل من Musyaffa Ahmad, Hari Maghfiroh and etc بتصميم متحكم PID ضبابي للتحكم في سرعة المحرك، حيث تم في هذه الدراسة ضبط معاملات PID المتحكم باستخدام المنطق الضبابي.<sup>[6]</sup> كما قام كل من Kommula, Bapayya Naidu and Venkata Reddy Kota بتصميم متحكم FOPID للتحكم في سرعة وعزم المحرك BLDC، حيث يتم ضبط معاملات المتحكم PID باستخدام مزيج من الخوارزميات MFA و PSO<sup>[7]</sup>. كما قدم Zhang, Ran, and Lianxue Gao نموذج جديد للمتحكم PID للتحكم بسرعة المحرك، حيث تم تصميم متحكم PID ضبابي لشبكة عصبونية، وحدة التحكم المصممة مقسمة إلى ثلاثة أجزاء. الجزء الأول هو المتحكم PID. الجزء الثاني هو التضييب والذي يمثل دخل للشبكة BP العصبونية. الجزء الثالث هو شبكة BP العصبونية والتي تلعب دور المنطق الضبابي.<sup>[8]</sup> كما قام Shi, Jun, et al بتصميم متحكم تناسبي تكاملي PI للتحكم في سرعة المحرك وعزم دورانه، ويهدف البحث الى ضبط معاملات المتحكم PI بالشكل الأمثل من خلال استخدام خوارزمية سرب الجسيمات particle swarm.<sup>[9]</sup> ويهدف زيادة استقرار النظام والتحكم في سرعة المحرك قام كل من Xu, Jiali, and Yusheng Ju باقتراح إستراتيجية تجمع بين التحكم التقليدي PID مع مرشح كالمان الممتد، حيث تتم معالجة إشارة تغذية العكسية بواسطة خوارزمية مرشح كالمان الممتدة للحصول على نظام أكثر استقراراً.<sup>[10]</sup> كما قام Feng, Wen-Hao بضبط معاملات المتحكم PID للتحكم في سرعة المحرك باستخدام الشبكات العصبونية، كما تم أمثلة المعلمات باستخدام خوارزمية Flower Pollination.<sup>[11]</sup>

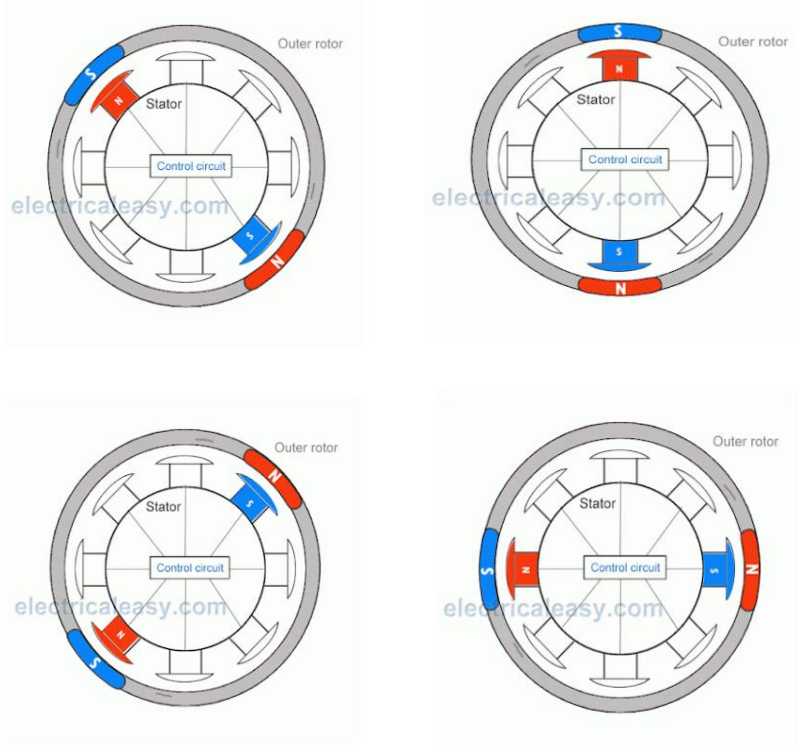
## محرك التيار المستمر عديم المسفرت BLDC

محركات BLDC هي نوع من المحركات المتزامنة. يتكون محرك BLDC من جزأين رئيسيين: الجزء الثابت والدوار. يتم تثبيت مغناطيس دائم على دوار محرك BLDC، ويتم لف الجزء الثابت لعدد محدد من الأقطاب كما يوضح الشكل (1)، كما أن المجال المغناطيسي الذي يولده الجزء الثابت والحقل المغناطيسي الناتج عن الجزء المتحرك يدور بنفس التردد. ولا تعاني محركات BLDC من "الانزلاق" الذي يُشاهد عادةً في المحركات الحثية. ويتم توصيل دائرة التحكم بملف الجزء الثابت، وفي معظم الأحيان يتم دمج وحدة التحكم في مجموعة الجزء الثابت كما يوضح الشكل (2). هذا هو الفرق الإنشائي الأساسي بين محرك عديم المسفرت ومحرك تيار مستمر نموذجي<sup>[12]</sup>.



الشكل (1) محرك التيار المستمر عديم المسفرت.





الشكل (2) آلية عمل محرك التيار المستمر عديم المسפרات.

## المتحكم PID التقليدي

هو حلقة تحكم شامل بتغذية عكسية سالبة شائع الاستخدام في نظم التحكم الصناعي، ويرمز PID اختصاراً لـ (Proportional + Integral + Derivative) أي (تناسبي + تكاملي + تفاضلي)، وهي المسؤولة عن تصحيح الخطأ الناتج عن الفرق بين القيمة المطلوبة والقيمة المقاسة. تتمثل الخوارزمية الحسابية للمتحكم PID بثلاثة معاملات منفصلة وهي: التناسبي (P)، التكاملي (I)، والتفاضلي (D). القيمة التناسبية تبين رد

الفعل مع الخطأ الحالي، أما القيمة التكاملية فتناسب مع استمرارية وجود الخطأ مع الزمن، أما القيمة التفاضلية فتناسب مع معدل التغير في الخطأ.<sup>[12]</sup> ويمكن تلخيص حلقة التحكم بثلاثة وظائف أساسية هي:

1. وظيفة القياس: تتم هذه الوظيفة بواسطة أجهزة تحسس أو مجسات، وتدعى أحياناً بالمرسلات، ويتم اختيار نوع المرسل وفقاً للعملية المراد التحكم بها.

2. وظيفة المقارنة والحساب: يتم مقارنة القيمة المقاسة عبر المرسل والقيمة المضبوطة مسبقاً والتي يراد الوصول إليها، تسمى القيمة المقاسة (PV) بينما القيمة المضبوطة (SP)، ونتيجة المقارنة ينشأ عنها قيمة تدعى الخطأ (e)، وتكرر بدوره إلى أحد أو مجموعة عناصر التحكم السابقة، ونتيجة المعالجة أو الحساب ترسل إلى قسم التحكم النهائي للعمل بها.

3. وظيفة التحكم النهائي: تختلف أنواع عناصر التحكم النهائي باختلاف العملية.

ويوجد ثلاثة أنواع رئيسية من نمط التحكم (PID) هي:

1. النوع التسلسلي (Series PID): وفيه تكون عناصر أو حدود  $I$  و  $D$  مرتكزة تماماً على الحد  $P$ ، بمعنى أنها لا تعمل بدونه.

2. النوع التفرعي (Parallel PID): تؤدي الوظائف  $P$  و  $I$  و  $D$  بشكل مستقل عن بعضها ثم تجمع معاً إلى مخرج واحد.

3. النوع المختلط (Mixed PID): وهو مزيج من التسلسلي والتفرعي.

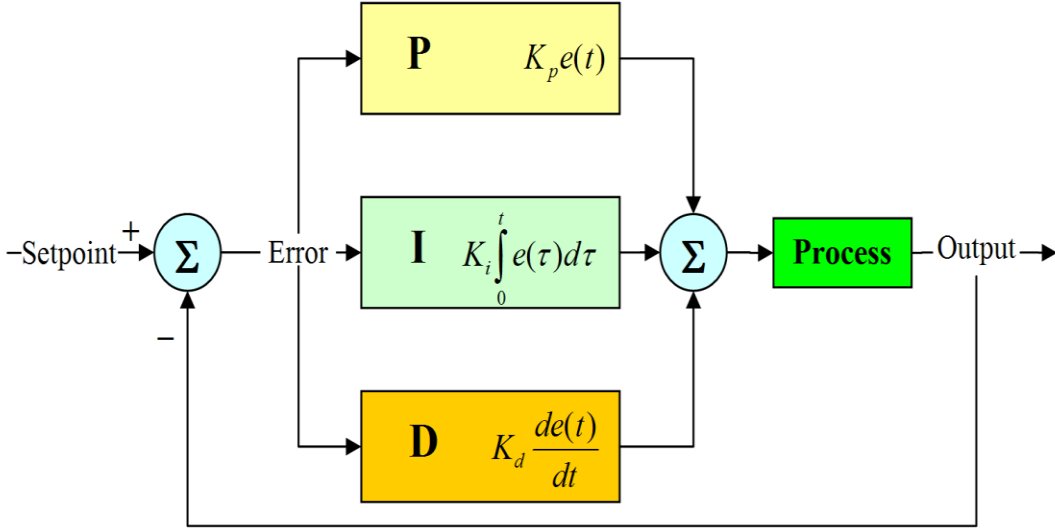
كما أن الأنواع الثلاثة يمكن دراستها عند الحلقة المفتوحة (Open Loop) والحلقة المغلقة (Closed Loop)، فإذا تم الأخذ بعين الاعتبار القيمة المقاسة تسمى الحلقة

مغلقة، أما إذا تم عزلها فيسمى النمط بالحلقة المفتوحة. وسيتم التركيز في هذا البحث على (PID) التفرعي والذي يعطى بالمعادلة (1):

$$MV(t) = p_{out} + I_{out} + D_{out} \quad (1)$$

حيث أن  $(P_{out}, D_{out}, I_{out})$  هي المساهمات التي تؤديها كل وظيفة من الحدود الثلاثة على حدة، تعمل الحدود التناسبية والتكاملية والتفاضلية معاً لتجمع وتعطي مخرجاً واحداً لعنصر التحكم (PID) كما يوضح الشكل (3)، بحيث تكون عناصر الموالفة هي:

- الريح التناسبي  $(Kp)$  ويمكن زيادتها لتسريع الاستجابة، ولكن إلى الحد الذي يبقى على استقرار النظام.
- الريح التكاملية  $(Ki)$  لتسريع عملية إزالة الخطأ.
- الريح التفاضلي  $(Kd)$  لتقليل الاهتزازات وتجاوز الحد الاعظمي مع مراعاة تأثير الضوضاء.

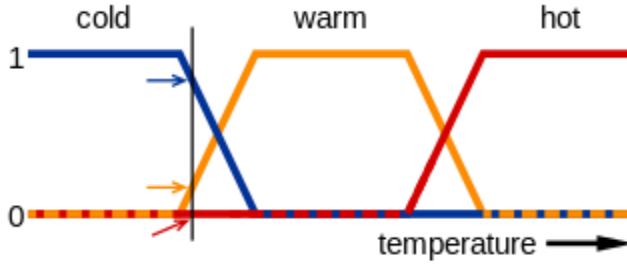


الشكل (3) بنية المتحكم التقليدي PID

## المنطق الضبابي

المنطق الضبابي هو طريقة عمليات منطقية تستند إلى منطق متعدد القيم بدلاً من منطق ثنائي. غالبًا ما يعتبر المنطق ذو القيمتين 0 غير صحيح و 1 صحيحًا. ومع ذلك فإن المنطق الغامض يتعامل مع قيم الحقيقة بين 0 و 1، ويمكن تطبيق المنطق الغامض على العديد من المجالات، بما في ذلك أنظمة التحكم والشبكات العصبية والذكاء الاصطناعي (AI). يمكن استخدام المنطق الغامض لوصف كيفية معالجة المعلومات داخل العقول البشرية. من أكثر الأنظمة شهرة هو النظام القائم على Mamdani والذي يتكون من الخطوات التالية:

- التضييب: تحويل قيم الإدخال الى قيم ضبابية باستخدام دالات الانتماء.
  - القواعد: قدح جميع القواعد المحققة لحساب الخرج الضبابي.
  - فك التضييب: تحويل الخرج الضبابي الى خرج صريح باستخدام طرق فك الضبابية.
- التضييب هو عملية تعيين المدخلات الرقمية لنظام ما إلى مجموعات ضبابية بدرجة معينة من العضوية كما يوضح الشكل(4)، حيث تكون درجة العضوية المخصصة لكل مجموعة ضبابية هي نتيجة التضييب.

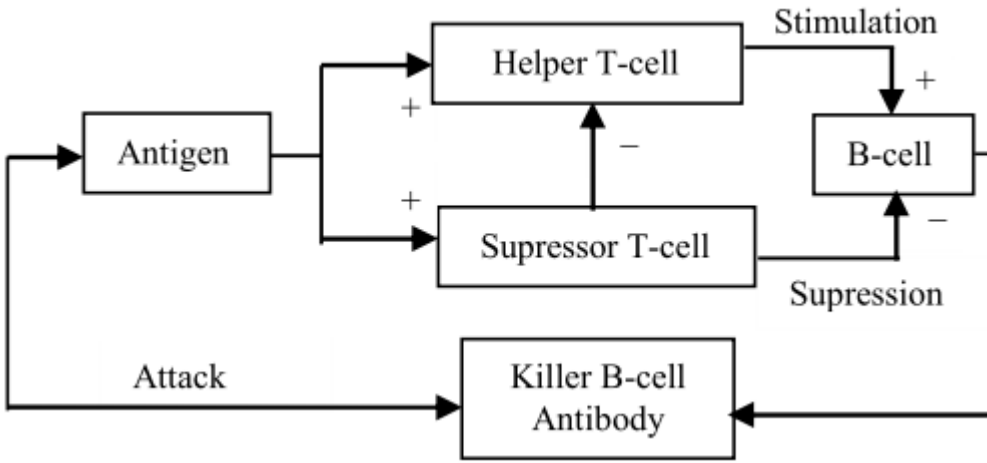


الشكل(4) عملية التضييب

غالبًا ما يتم تعريف المجموعات الضبابية على أنها منحنيات مثلثية أو شبه منحرفه، ويتم تحديد الخرج الضبابي باستخدام القاعدة IF-Then والتي تربط بين الدخل الضبابي والخرج الضبابي، كما يتم ربط المداخل الضبابية باستخدام المعاملات AND و OR، ويتم تحويل الخرج الضبابي الى قيم حقيقية باستخدام طرق فك الضبابية، ويمكن تلخيص عمل المنطق الضبابي بالخطوات التالية: لكل قيمة حقيقة في الدخل يتم قطع دالة الانتماء المقابلة، ومن ثم يتم جمع المنحنيات الناتجة باستخدام المعامل AND أو OR، ثم يتم حساب مركز الوزن للمنطقة الواقعة أسفل المنحنى، ويكون موضع المركز هو الناتج النهائي.

## نظام التحكم المناعي

أظهرت الدراسات الحديثة في علم المناعة أن الجهاز المناعي يلعب أدوارًا مهمة في الحفاظ على نظامه الخاص ضد تغييرات البيئة العدائية من خلال التفاعل المتبادل بين الخلايا الليمفاوية والأجسام المضادة. التوازن الديناميكي لجهاز المناعة يمكن أن يختل بواسطة المستضد. نظرًا للدور الرئيسي للخلايا التائية (T cells) في الاستجابة المناعية، فإن خوارزمية التغذية العكسية المناعية تعتمد أساسًا على مبدأ التغذية العكسية للخلايا التائية (T cells feedback) التي تنظم مبدأ نظام المناعة البيولوجي. الخلايا الأساسية التي تشارك في العملية هي المستضدات (antigens Ag)، والأجسام المضادة (antibodies Ab)، والخلايا البائية (B cells)، والخلايا التائية المساعدة (helper T cells TH) والخلايا التائية الكابتة (suppressor T cells TS) كما يوضح الشكل (5).



الشكل (5) مخطط النظام المناعي

عندما تغزو المستضدات Ag الجسم، يتم تمرير معلومات المستضد Ag إلى الخلايا التائية. وبعد تلقي الرسالة سيتم تحفيز الخلايا البائية بواسطة الخلايا التائية وتكوين الأجسام المضادة على الفور للتخلص من المستضد. عندما يزداد عدد المستضدات Ag سيزداد عدد خلايا TH ويمكن لجسم الإنسان إنشاء المزيد من الخلايا البائية لحماية نفسه. إلى جانب انخفاض المستضدات Ag، ستزداد كمية خلايا التائية الكابتة TS في الجسم وسيقل عدد الخلايا البائية، وفقاً لذلك بعد فترة من الزمن، يميل جهاز المناعة إلى التوازن. هذا التعاون بين الآلية المثبطة وآلية التغذية العكسية يمكن نظام التغذية العكسية المناعي من الاستجابة السريعة للمواد الغريبة وتثبيت جهاز المناعة بسرعة.

بفرض أن التحفيز والتثبيط مفروضان على الخلايا البائية، لذلك يمكن وصف نظرية التغذية العكسية المناعية بأن تأثير تحفيز الخلايا البائية يساوي الفرق بين تحفيز خلايا التائية المساعدة TH وتثبيط خلايا التائية الكابتة TS:

$$B(k) = T_H(k) - T_S(k) \quad (2)$$

$$T_H(k) = K_1 \cdot \varepsilon(k) \quad (3)$$

$$T_S(k) = K_2 \{ f \cdot \Delta B \cdot (k-d) \} \cdot \varepsilon(k) \quad (4)$$

حيث  $\varepsilon(k)$  هو تطابق المستضد عند الجيل  $k$ ،  $K_1$  هو عامل التحفيز، و  $K_2$  هو عامل التثبيط.  $\Delta B$  هو التغيير في تطابق الخلية  $B$ ، و  $d$  هو وقت تأخير الاستجابة المناعية.  $f(x)$  هي وظيفة غير خطية تمثل التفاعل بين الجسم المضاد الذي ينشأ من الخلايا البائية والمستضد.

من (2) و (3) ، يمكننا الحصول على صيغة العلاقة حول تطابق الخلايا البائية والمستضد. تظهر

$$B(k) = k_1 \varepsilon(k) - k_2 \{f[\Delta B(k-d)]\} \varepsilon(k)$$

على النحو التالي:

$$= k \{1 - \eta f[\Delta B(k-d)]\} \varepsilon(k)$$

(5)

حيث  $k = k_1$  و  $\eta = k_2 / k_1$  . يتم استخدام المعلمة  $k$  للتحكم في سرعة الاستجابة، ويتم استخدام المعلمة  $\eta$  للتحكم في تأثير التثبيط. لذلك فإن أداء نظام التغذية العكسية المناعية يعتمد بشكل كبير على كيفية اختيار هذه العوامل. وحدة تحكم مستوحاة من آلية التغذية العكسية لجهاز المناعة وتسمى وحدة تحكم IMF. يمكن اعتبار المعادلة (5) بمثابة قانون التحكم للتغذية العكسية في الوقت المتقطع. عندما نطبق هذا القياس بشكل مباشر لتصميم وحدة تحكم، فإن وحدة تحكم IMF التي تم الحصول عليها تشبه وحدة التحكم النسبية التي يتم ضبط مكاسبها باستخدام مخرجاتها الخاصة. ومن ثم، فإن قانون IMF من النوع P هو كما يلي:

$$u(k) = k \{1 - \eta f[\Delta u(k-d)]\} e(k)$$

$$= k_{pl} e(k)$$

(6)



يوضح الجدول (1) التحول بين جهاز المناعة ونظام التحكم.

نظام التحكم	النظام المناعي
$k^{th}$ : زمن أخذ العينات للنظام المتقطع.	$k^{th}$ : جيل التكاثر من المستضدات والأجسام المضادة.
$e(k)$ : هو انحراف القيمة المطلوبة وقيمة الخرج في زمن أخذ العينات $k^{th}$ .	$Ag(k)$ : هو تطابق المستضد للجيل $k^{th}$ .
$u(k)$ : هي قيمة خرج وحدة التحكم في لحظة أخذ العينات $k^{th}$ .	$B(k)$ : هو تطابق الخلية B للجيل $k^{th}$ .

الجدول (1) التحول بين جهاز المناعة ونظام التحكم.

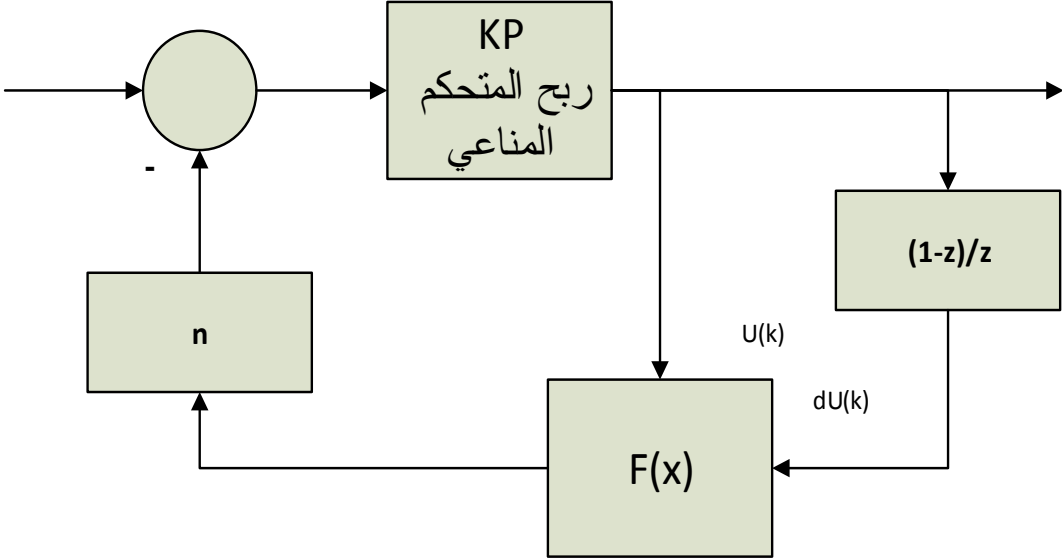
### نمذجة النظام المقترح

يتم وصف المحرك المستخدم في هذا البحث بما يتوافق مع الدراسات المرجعية بالجدول (2).

المواصفات	القيمة
الجهد	48 [V]
الطاقة	1 [KW]
السرعة العظمى	700 [RPM]

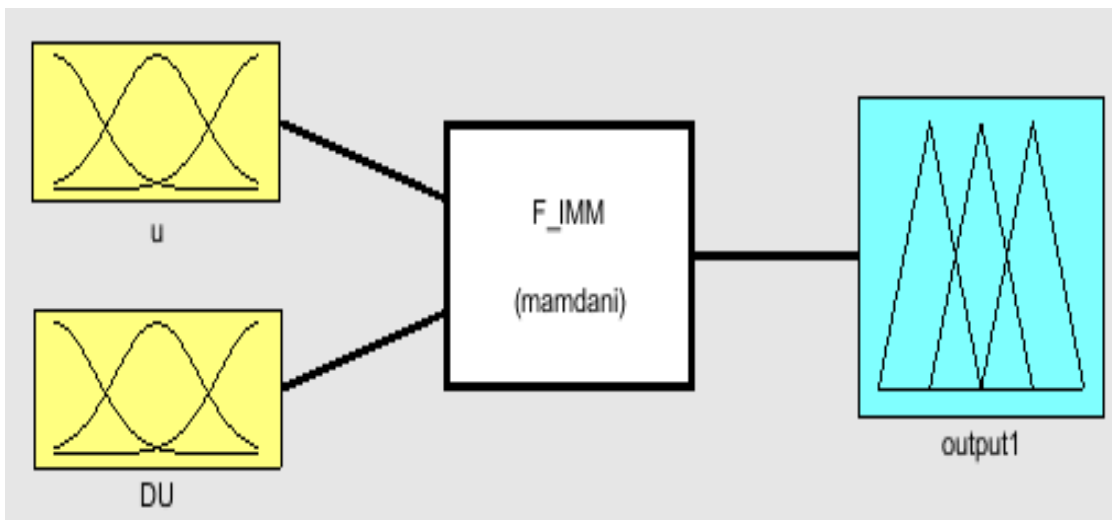
الجدول (2) مواصفات المحرك المستخدم

بالاعتماد على معادلة المتحكم المناعي (6) استنتجنا أن المتحكم عبارة عن متحكم تناسبي غير خطي، ويوضح الشكل (6) المخطط الصندوقي للمتحكم المناعي.



الشكل (6) المخطط الصندوقي للمتحكم المناعي.

الدالة  $f(x)$  هي عبارة عن الجزء غير الخطي من المتحكم، وبالنظر إلى الصعوبات في تصميم الدالة غير الخطية لوحدة التحكم المناعية، يتم استخدام المنطق ضبابية لتحقيق الوظيفة غير الخطية  $f(x)$ . في وحدة التحكم الضبابية هذه يوجد مدخلين وخرج وحيد. متغيرا الإدخال هما خرج وحدة تحكم  $U(k)$  ومقدار تغيرها  $\Delta U(k)$ ، بينما متغير الخرج هو كمية الخلايا TS التائنية الكابته. كما يوضح الشكل (7)



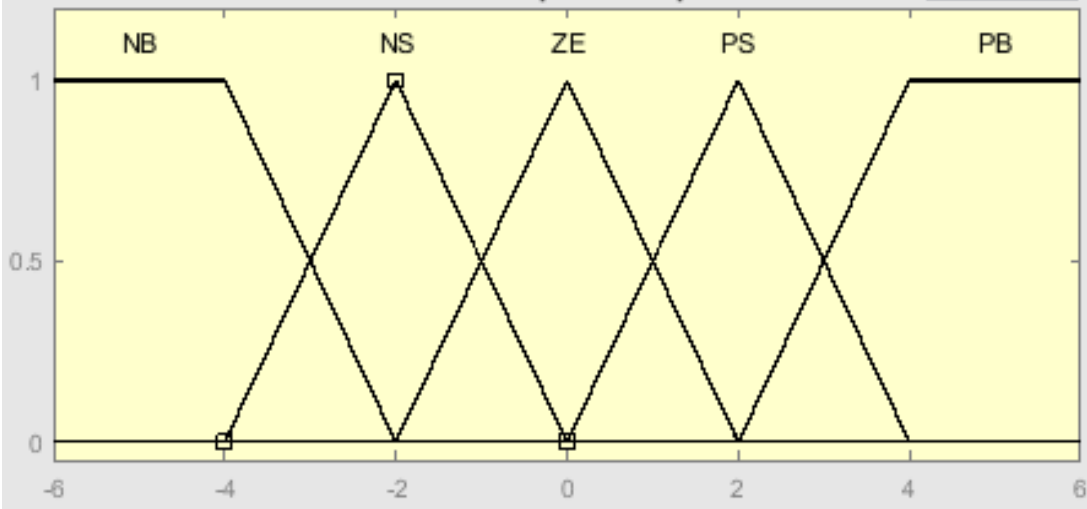
الشكل (7) وحدة التحكم الضبابية للدالة  $f(x)$

يوضح الجدول (3) البارامترات الخاصة بالمتحكم الضبابي.

2	عدد المداخل
1	عدد المخرجات
$[-6,6]$	مجال الدخل
$[-6,6]$	مجال الخرج
Mamdani	طريقة الاستدلال
Min	طريقة الضرب
Max	طريقة الجمع
Centroid	طريقة فك الضبابية

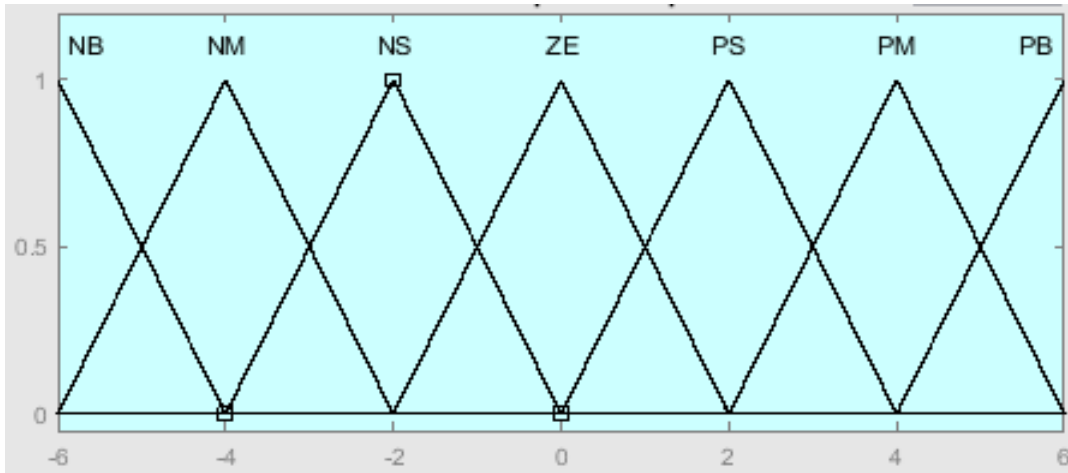
الجدول (3) البارامترات الخاصة بالمتحكم الضبابي.

لكل متغير دخل خمس مجموعات ضبابية وهي: NB و NS و ZE و PS و PB كما يوضح الشكل (8).



الشكل (8) دالات الانتماء لمتغيرات الدخل

ولمتغير الخرج سبع مجموعات ضبابية وهي: NB و NS و NM و ZE و PS و PM و PB. كما يوضح الشكل (9).



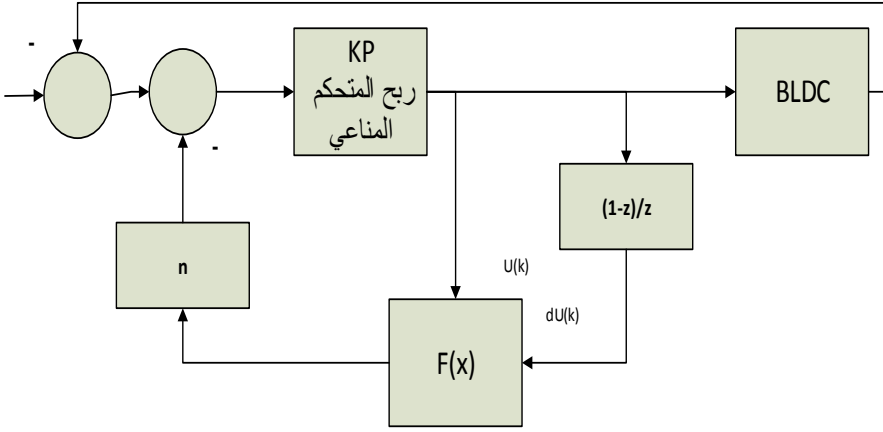
الشكل (8) دالات الانتماء لمتغيرات الخرج

بما أن عدد دالات الانتماء خمسة لكل متغير فان عدد القواعد لكل متغير خرج يساوي الى 25، ويوضح الجدول (4) القواعد التصميمية.

E	CE	NB	NS	ZE	PS	PB
	NB	PB	PB	PM	PS	ZE
	NS	PB	PM	PS	ZE	NS
	ZE	PM	PS	ZE	NS	NM
	PS	PS	ZE	NS	NM	NB
	PB	ZE	NS	NM	NB	NB

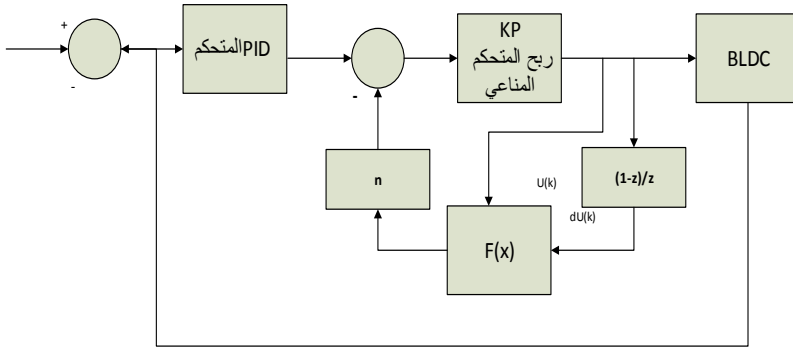
الجدول (4) القواعد التصميمية للدالة  $F(X)$

نتيجة للقواعد والخوارزميات المصممة أعلاه، يظهر المخطط الصندوقي للمتحكم التناسبي المناعي الضبابي في الشكل (10).



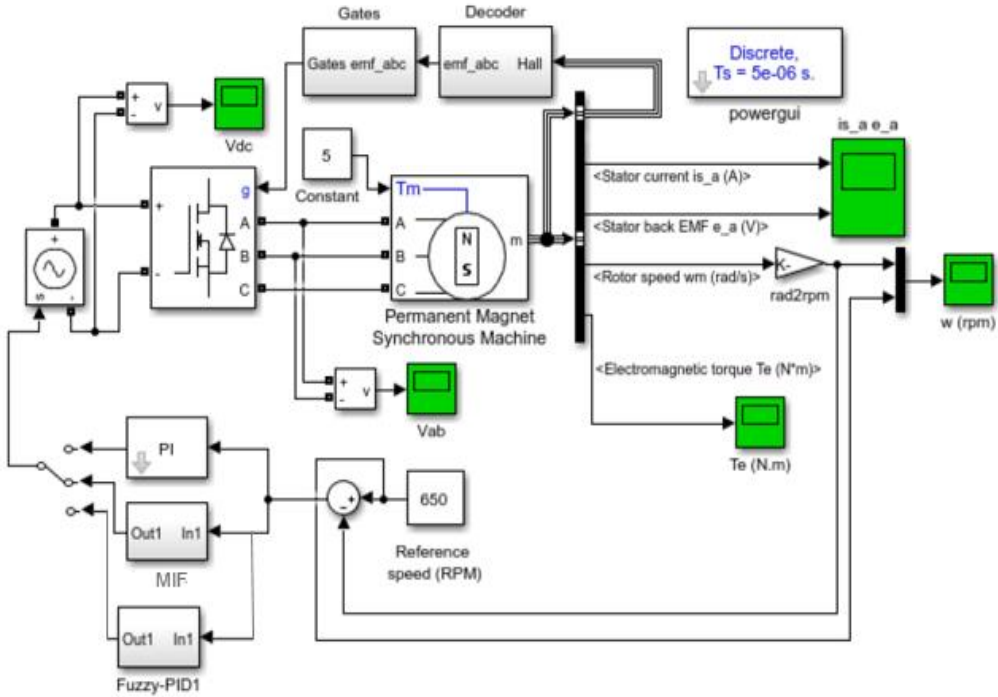
الشكل (10) المخطط الصندوقي للمتحكم المناعي

بما أن نظام التحكم المناعي هو وحدة تحكم غير خطية من النوع  $P$ . لا يمكن أن تعوض عن الأخطاء الناتجة عن الضوضاء أو التداخل غير الخطي، لذلك لا يتم استخدامه بمفرده بينما يأخذ المتحكم PID في الاعتبار المعلومات السابقة والحالية والمستقبلية للانحراف بشكل شامل، وبالتالي يمكنه تحسين أداء التحكم في النظام عن طريق توصيل نظام التحكم المناعي مع وحدة تحكم PID المستخدمة في الدراسات المرجعية كما يوضح الشكل (11).



الشكل (11) المخطط الصندوقي للنظام المقترح

يتم تنفيذ ومحاكاة النظام باستخدام الماتلاب، يوضح الشكل (12) نمذجة المحرك BLCD بالحلقة المغلقة، حيث يتم تطبيق المتحكم PI التقليدي المستخدم في الدراسات المرجعية<sup>[6]</sup> للمقارنة مع وحدة التحكم المقترحة، كما يتم تطبيق متحكم PID ضبابي المستخدم أيضا في الدراسات المرجعية<sup>[6]</sup>.

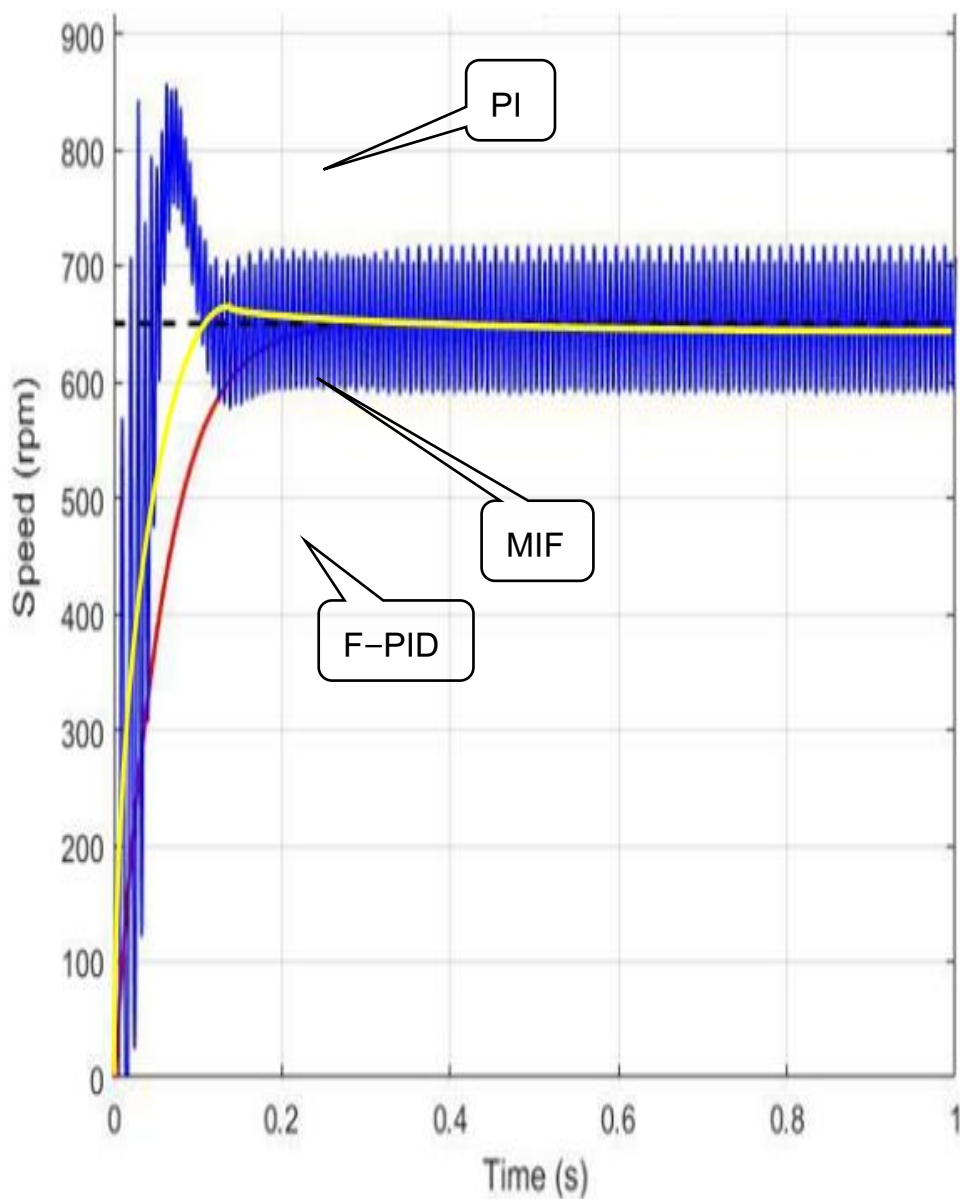


الشكل (12) نمذجة المحرك BLCD

## مناقشة النتائج

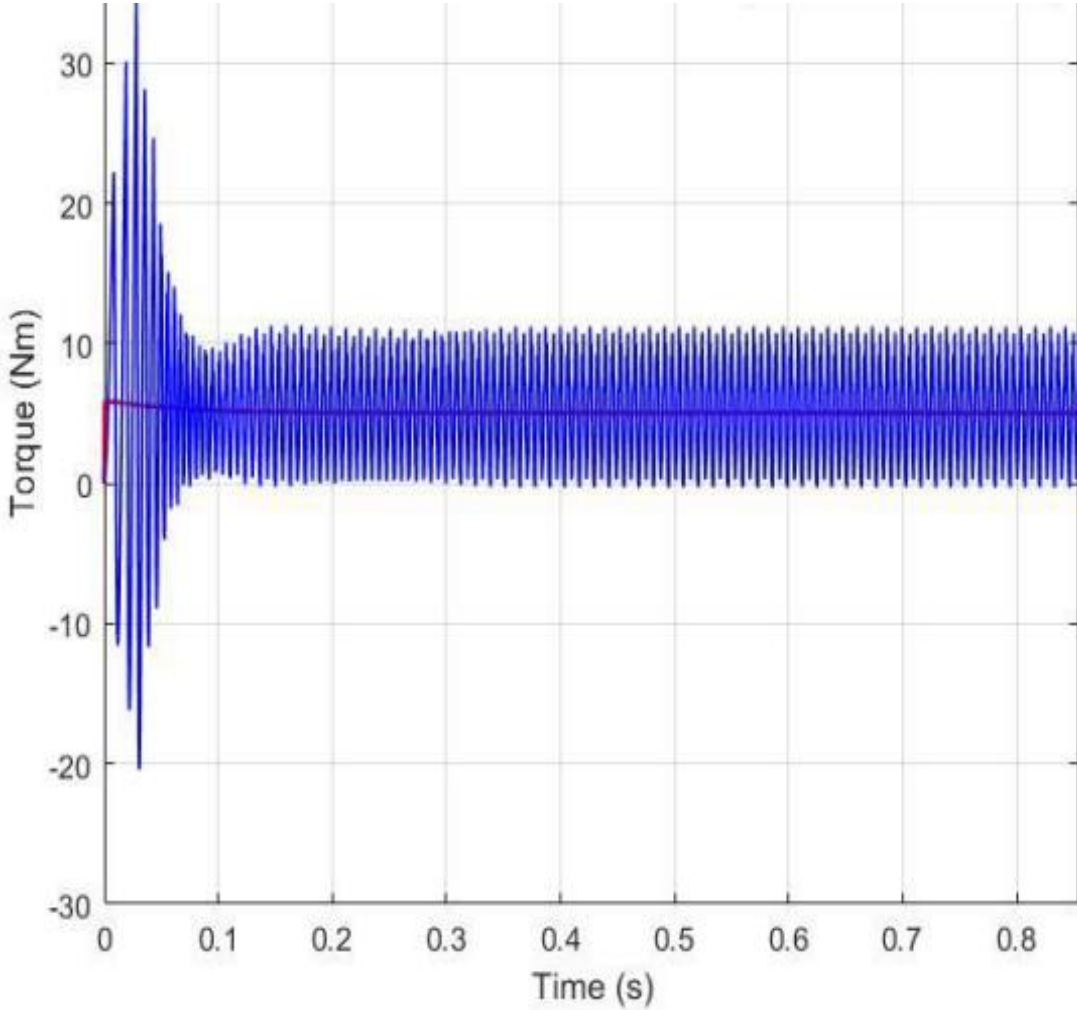
بالاعتماد على الشكل (13) الذي يوضح نتائج تطبيق كل من المتحكم PI التقليدي والمتحكم PID الضبابي والمتحكم MIF على سرعة المحرك، نلاحظ أن المتحكم التقليدي قادر على تحقيق السرعة المطلوبة خلال 0.2 ثانية، لكنه يعاني من تجاوز اعظمي كبير يصل الى 180 rpm واهتزازات شديدة، مما يجعل الاستجابة الزمنية للنظام غير مرغوبة، كما نلاحظ أن المتحكم PID الضبابي يمكنه تحقيق استجابة زمنية جيدة بالمقارنة مع استجابة المتحكم PI التقليدي، حيث انه قادر على تحقيق السرعة المطلوبة خلال 0.3 ثانية، لكن دون تجاوز اعظمي ودون اهتزازات مما يجعل من الاستجابة مستقرة ومرغوبة. في حين نلاحظ أن المتحكم المناعي المقترح يحقق استجابة زمنية جيدة بالمقارنة مع المتحكمين السابقين، حيث انه يحقق السرعة المطلوبة خلال زمن 0.2 ثانية، أي انه يحقق السرعة خلال الزمن ذاته الذي يحققه المتحكم PI التقليدي، ولكنه يقلل التجاوز الأعظمي للحد الأدنى حوالي 10 rpm، كما أنه يحقق السرعة المطلوبة دون أي اهتزازات، مما يعطي النموذج المقترح الأفضلية من حيث الزمن المطلوب لتحقيق السرعة المطلوبة والتجاوز الأعظمي والاهتزازات.





الشكل (13) مقارنة سرعة المحرك

بالنسبة لعزم الدوران الكهرومغناطيسي يوضح الشكل (13) أن طريقة المقترحة تنتج عزم دوران ثابت ومنطبق تقريبا على عزم الدوران الناتج عن المتحكم PID الضبابي ، حيث يتناقص عزم الدوران مع زيادة سرعة المحرك. يصل عزم الدوران إلى نقطة ثابتة عند 5 نيوتن متر عندما يصل المحرك إلى سرعة ثابتة. بينما توفر طريقة PI عزم دوران غير مستقر مع اهتزاز عالٍ وتجاوز يصل إلى 35 نيوتن متر قبل الوصول إلى سرعة الحالة المستقرة.



الشكل (13) مقارنة عزم الدوران

كما يوضح الجدول (5) زمن المحاكاة لكل طريقة. تظهر النتائج أن PID الضبابي لديه زمن معالجة أسرع بنسبة 6.27% مقارنة ب PI. كما أن الطريقة المقترحة أفضل بنسبة 11% من PI وأفضل بنسبة 5.5% من المتحكم PID الضبابي، لذلك تظهر النتيجة الإجمالية أن الطريقة المقترحة تحقق أفضل النتائج.

الطريقة	زمن المحاكاة (ثانية)
PI	31.56
F-PI	29.58
MIF(الطريقة المقترحة)	27.93

الجدول (5) مقارنة زمن المحاكاة

### الاستنتاجات

تم بنجاح تنفيذ تصميم ومحاكاة نظام التحكم يعتمد على النظام المناعي ودمجه مع المتحكم التقليدي للتحكم في سرعة المحرك BLDC. استنادًا إلى المحاكاة يمكن لعنصر التحكم المقترح أن يوفر أداء سرعة أفضل وأكثر استقرارًا من الطرق الأخرى. حيث يمكن أن يقلل من تذبذب السرعة ويعطي استقرارًا أفضل لعزم الدوران بحيث يمكن لمحرك BLDC العمل بشكل أكثر موثوقية. بالإضافة إلى ذلك فإن الطريقة المقترحة لديها وقت معالجة أسرع مقارنة بالطرق الأخرى.

## التوصيات المستقبلية

لزيادة استقرار أداء المحرك يمكن استبدال المتحكم PID الذي تم دمج مع المتحكم المناعي بمتحكم PID ضبابي، كما يمكن تصميم متحكم PID مناعي ضبابي تكيفي يعمل على تصحيح معاملات المتحكم التقليدي PID من خلال تصميم متحكم PID ضبابي يعطي في خرجه مقدار التغيير الذي يجب إضافته الى المتحكم التقليدي، ومن ثم دمج النظام مع المتحكم المناعي المصمم واختباره على عدة محركات.

## المراجع

- 1- Mohanraj, Deepak, et al. "A Review of BLDC Motor: State of Art, Advanced Control Techniques, and Applications." *IEEE Access* (2022).
- 2- Azab, Mohamed. "Comparative Study of BLDC Motor Drives with Different Approaches: FCS-Model Predictive Control and Hysteresis Current Control." *World Electric Vehicle Journal* 13.7 (2022): 112.
- 3- Kommula, Bapayya Naidu, and B. S. S. G. Pardhu. "A novel controller-based bldc motor for power factor improvement and speed control." *Energy* 1.2 (2022): 55-64.
- 4- Kommula, Bapayya Naidu, and Venkata Reddy Kota. "An integrated converter topology for torque ripple minimization in BLDC motor using an ITSA technique." *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* 13.4 (2022): 2289-2308.

- 5- Senthilnathan, A., P. Palanivel, and K. Ramash Kumar. "Mathematical Modelling and Torque Ripple Waning in BLDC Motor Using Outgoing-Phase Current Discharge Hysteresis Controlled ANFIS Controller." *Mathematical Problems in Engineering* 2022 (2022)
- 6- Maghfiroh, Hari, Agus Ramelan, and Feri Adriyanto. "Fuzzy-PID in BLDC Motor Speed Control Using MATLAB/Simulink." *Journal of Robotics and Control (JRC)* 3.1 (2022): 8-13.
- 7- Kommula, Bapayya Naidu, and Venkata Reddy Kota. "Design of MFA-PSO based fractional order PID controller for effective torque controlled BLDC motor." *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 49 (2022): 101644.
- 8- Zhang, Ran, and Lianxue Gao. "The Brushless DC motor control system Based on neural network fuzzy PID control of power electronics technology." *Optik* 271 (2022): 169879.
- 9- Shi, Jun, et al. "Optimizing BLDC motor drive performance using particle swarm algorithm-tuned fuzzy logic controller." *SN Applied Sciences* 4.11 (2022): 1-14.

- 10- Xu, Jiali, and Yusheng Ju. "Brushless DC motor control research based on extended Kalman filter algorithm." *Third International Conference on Artificial Intelligence and Electromechanical Automation (AIEA 2022)*. Vol. 12329. SPIE, 2022.
- 11- Feng, Wen-Hao. "Brushless DC motor control based on improved single neuron PID algorithm." *MEMAT 2022; 2nd International Conference on Mechanical Engineering, Intelligent Manufacturing and Automation Technology*. VDE, 2022.
- 12- [https://en.wikipedia.org/wiki/PID\\_controller](https://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller)
- 13- [https://en.wikipedia.org/wiki/Fuzzy\\_logic](https://en.wikipedia.org/wiki/Fuzzy_logic)
- 14- T.A. Shifat, J.-W. Hur, ANN Assisted Multi Sensor Information Fusion for BLDC Motor Fault Diagnosis ,IEEE Access., 9 (2021), pp. 9429-9441.
- 15- K. Sabanci, Artificial intelligence based power consumption estimation of two-phase brushless DC motor according to FEA

parametric simulation, Meas. J. Int. Meas. Confed., 155 (2020).

- 16- S. Gobinath, M. Madheswaran, Deep perceptron neural network with fuzzy PID controller for speed control and stability analysis of BLDC motor, Soft Comput., 24 (13) (2020), pp. 10161-10180.



## النموذج الديناميكية لنظام ضخ مياه كهروضوئي

أ.د.م علي بديع خضور \*

د.م جاسم إبراهيم يوسف \*\*

م. سامر محمد حسين \*\*\*

### الملخص:

تُعتبر أنظمة ضخ المياه باستخدام الألواح الكهروضوئية من التطبيقات الواعدة والمهمة، حيث تساعد هذه الأنظمة في حماية البيئة والتقليل من انبعاثات غاز  $CO_2$  بالمقارنة مع الأنظمة التي تستخدم مولدات الديزل.

يتناول البحث دراسة وتحليل أداء نظام ضخ مياه كهروضوئي. يتألف النظام المدروس من مصفوفة ألواح كهروضوئية - قالبة (مبدل) - مجموعة محرك - مضخة. أجريت الدراسة لتحديد خصائص وفعالية نظام الضخ عند تغير شدة الإشعاع الشمسي، كما تم نمذجة كل مكونات النظام من أجل إجراء محاكاة للنظام في Matlab/Simulink ودراسة تأثير إضافة متتبع نقطة الاستطاعة العظمى إلى قالبة الجهد.

**كلمات مفتاحية:** الطاقة المتجددة، ضخ المياه بالطاقة الكهروضوئية، الإشعاع الشمسي،

تتبع نقطة الاستطاعة الأعظمية، ألواح كهروضوئية PV

\* أستاذ في كلية الهندسة التقنية - قسم تقانات الطاقات المتجددة - جامعة طرطوس - سوريا.

\*\* مدرس في كلية الهندسة التقنية - قسم تقانات الطاقات المتجددة - جامعة طرطوس - سوريا.

\*\*\* طالب دراسات عليا (دكتوراه) - كلية الهندسة التقنية - قسم تقانات الطاقات المتجددة - جامعة

طرطوس - سوريا.

# Dynamic modelling of photovoltaic water pumping system

\* Dr.Eng. Ali khaddour

\*\* Dr.Eng. Jaseem yousef

\*\*\* Eng. Samer hossaien

## Abstract

Water pumping systems using photovoltaic panels are promising and important applications, as these systems help protect the environment and reduce CO2 gas emissions compared to systems that use diesel generators.

The research studies and analyzes the performance of a photovoltaic water pumping system. The studied system consists of a photovoltaic panel matrix - a switch (changer) - a motor group - a pump. The study was conducted to determine the characteristics and effectiveness of the pumping system when the intensity of solar radiation changes, and all components of the system were modeled in order to perform system simulations in Matlab/Simulink and study the effect of adding the maximum power point tracker to the voltage converter.

**Keywords :** Renewable energy, PV water pumping, solar radiation, maximum power point tracker MPPT, PV module

---

\*Professor – Faculty of technical engineering, renewable energy Department - Tartous University- Tartous- Syria.

\*\* Teacher – Faculty of technical engineering, Technologies renewable energy Department -Tartous University- Tartous- Syria.

\*\*\* Postgraduate student(PhD) – Faculty of technical engineering, Technologies renewable energy Department -Tartous University- Tartous- Syria.

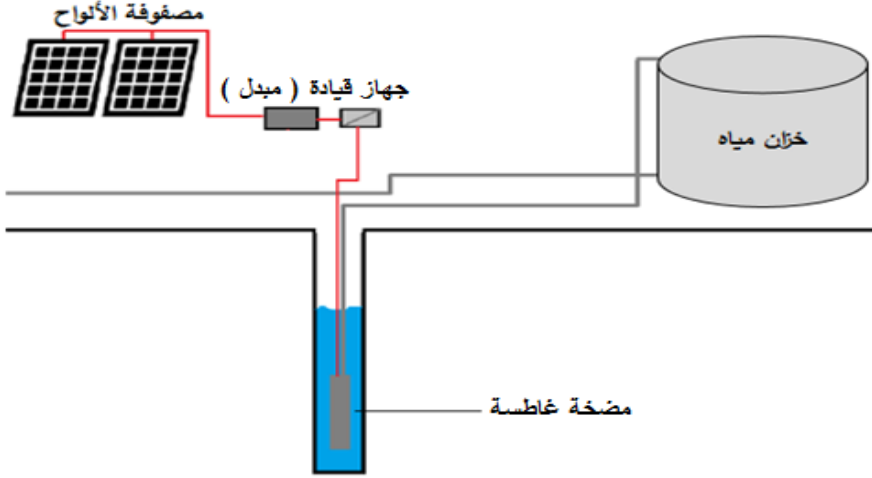
## 1- المقدمة:

يعاني قطاع الزراعة في سوريا من صعوبات عديدة أهمها نقص المشتقات النفطية ونقص ساعات التغذية الكهربائية كما يعمل عدد كبير من السوريين وخاصة في محافظة طرطوس في مجال الزراعة، وينتشر في ريف طرطوس عدد كبير من الآبار المستخدمة في ري المحاصيل الزراعية. في ظل هذه الصعوبات ومع بدء انتشار استخدام الألواح الكهروضوئية PV في سوريا لجأ المزارعون إلى استخدام هذه الأنظمة لتأمين التغذية الكهربائية للمضخات للغاطسة.

على الرغم من ارتفاع التكاليف الأولية لتثبيت و تشغيل أنظمة الطاقة الكهروضوئية إلا أنها بالإضافة لكونها صديقة للبيئة فهي تتمتع بالعديد من المزايا مثل سهولة التركيب و التشغيل و انخفاض تكاليف الصيانة، بالإضافة إلى كونها حلاً فعالاً للمزارع و الحقول البعيدة عن الشبكة العامة و بالإمكان تركيبها في أماكن الاستخدام [1].

تتمتع سوريا بموقع جغرافي مميز يصل فيها عدد الأيام المشمسة إلى ما يزيد عن 300 يوم مشمس في السنة [2]، الأمر الذي يشجع على استخدام أنظمة الطاقة الكهروضوئية في مجال ضخ المياه مع إمكانية الاستغناء عن استخدام المدخرات لتخزين الطاقة الكهربائية و إمكانية تخزين المياه في خزانات أو أحواض ليتم الاستفادة منها لاحقاً، كما أن الطلب على المياه و زيادة الإشعاع الشمسي متوافقان بشكل مميز، حيث يزداد الإشعاع الشمسي في فصل الصيف و يزداد معه احتياجات الري و السقاية للأراضي الزراعية [3].

يتكون نظام ضخ المياه بالطاقة الكهروضوئية من الأجزاء الأساسية التالية: ألواح كهروضوئية PV - جهاز قيادة (مبدل) - مجموعة مضخة - محرك، الشكل (1)، و يمكن استخدام خزان لتخزين المياه عوضاً عن تخزين الطاقة الكهربائية.



الشكل (1) مكونات نظام ضخ المياه الكهروضوئي

اختيار نوع جهاز القيادة (مبدل) يتعلق بنوع المحرك الكهربائي الذي يقود المضخة، هناك نوعان رئيسيان من المحركات الكهربائية المستخدمة لقيادة المضخات الغاطسة، المحرك التحريضي (أحادي الطور - ثلاثي الطور) يحتاج مبدل / قابلية (DC-AC) ومحرك التيار المستمر الذي يحتاج مبدل (DC-DC). معظم المضخات الغاطسة المستخدمة في سوريا من قبل المزارعين هي مضخات من النوع الذي يستخدم المحرك الكهربائي المتناوب والتي كانت تعتمد على شبكة الكهرباء العامة لتشغيلها.

تشير العديد من الدراسات والأبحاث إلى أهمية استخدام النمذجة الحاسوبية في دراسة تأثير تغير شدة الإشعاع الشمسي الساقط على الألواح الكهروضوئية على أداء نظام الضخ [4,5]. في هذا البحث سناقش النمذجة الديناميكية والمحاكاة لنظام الضخ المدروس، تم تصميم نموذج للنظام في بيئة Matlab/Simulink حيث يتم محاكاة مكونات النظام وإدخال البيانات الخاصة بالإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة.

**2- هدف البحث:**

يهدف البحث إلى نمذجة ومحاكاة نظام ضخ مياه كهروضوئي وذلك لمراقبة تأثير تغير شدة الإشعاع الشمسي على الخصائص الميكانيكية و الكهربائية للمحرك و المضخة. كما تكمن أهمية البحث في النقاط الآتية:

- إيضاح أهمية استخدام نظم الطاقة الكهروضوئية في تطبيقات ضخ المياه.
- استخدام النمذجة الحاسوبية في دراسة تأثير تغير الإشعاع الشمسي الساقط على الألواح الكهروضوئية.
- تحليل فعالية و خصائص نظام ضخ المياه الكهروضوئي.
- الحد من انتشار التلوث البيئي.

**3- مواد البحث و طرائقه:****1.3 مكونات نظام الضخ:**

يتألف نظام الضخ المدروس من مضخة غاطسة باستطاعة [HP] 1 مقادة بمحرك كهربائي متناوب أحادي الطور، يتم تأمين التغذية الكهربائية من مصفوفة كهروضوئية مؤلفة من 10 ألواح موصولة على التسلسل، استطاعة اللوح الواحد [w] 275 بالإضافة إلى قالبة (انفرتر) باستطاعة [Kw] 2 لتحويل الجهد المستمر المولد من الألواح إلى جهد متناوب.

### 2.3 نمذجة الألواح الكهروضوئية:

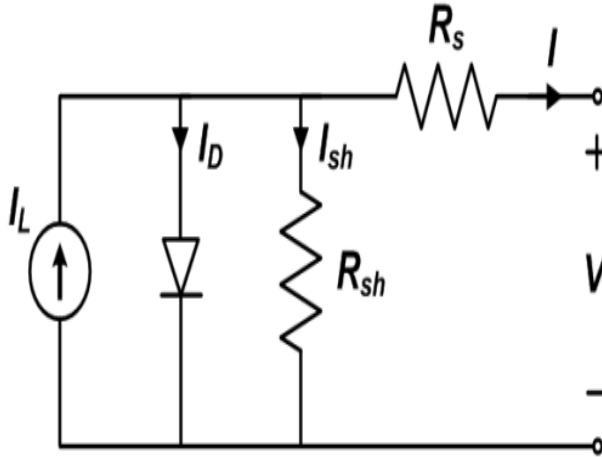
سنقوم بنمذجة اللوح الكهروضوئي CSUN275-60P، يتكون هذا اللوح من 60 خلية موصولة على التسلسل

لنتنتج استطاعة مقدارها [W] 275. الجدول (1) يبين الخصائص الفنية للوح الكهروضوئي المستخدم، كما يبين الشكل (1) الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية.

انطلاقاً من معطيات اللوح وبالقياس لألواح مشابهة في المراجع [6] وبمساعدة النموذج الجاهز في Matlab تم اعتماد البارامترات التالية، جدول (2)، للنموذج المستخدم للوح الكهروضوئي.

Mode No	CSUN275-60P
Open circuit voltage (Voc)	38.4V
Short circuit current(Isc)	9.27 A
Maximum power voltage(Vmpp)	31.3 V
Maximum power current(Impp)	8.79
Fire Resistance Rating	Class C

الجدول (1) مواصفات اللوح الكهروضوئي



الشكل (1) الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية

I <sub>ph</sub> =9.2786	التيار الكهروضوئي
I <sub>o</sub> =1.0001e-12	التيار التسريبي للديود
R <sub>s</sub> =0.3481	المقاومة التسلسلية المكافئة
R <sub>sh</sub> = 375.1490	المقاومة التفرعية المكافئة
n = 0.8346	بارامتر الجودة
N <sub>s</sub> =60	عدد الخلايا التسلسلية المكونة للوح
T <sub>stc</sub> =25+273.15	درجة الحرارة للوسط بالكلفن
G <sub>stc</sub> =1000	الإشعاع الكهروضوئي واطامتر مربع
E <sub>g<sub>stc</sub></sub> =1.121	جهد الثغرة
K=1.38e-23	ثابت بولتزمان
K <sub>I</sub> =0.045%/A/Kelven	عامل التغير الحراري للتيار
K <sub>V</sub> =-0.292%/V/Kelven	عامل التغير الحراري للجهد
q=1.6e-19	شحنة الإلكترون

الجدول (2) بارامترات النموذج المعتمدة

تيار الخلية  $I$  يعطى بالعلاقة التالية:

$$I = I_L - I_D - I_{sh}$$

$I_L$ : التيار المتولد عن الفعل الكهروضوئي.

$I_D$ : تيار الإشباع العكسي.

$I_{sh}$ : التيار التفرعي.

$R_s$ : المقاومة التسلسلية وتعبر عن مقاومة تدفق التيار وتتعلق بسماكة الوصلة النصف ناقلة ومقاومة التلامسات المعدنية وترتبط مع معدل الإشابة أيضاً.

$R_{sh}$ : المقاومة التفرعية وتعبر عن مقاومة التيار التسريبي باتجاه الأرضي.

في الخلية الكهروضوئية المثالية المقاومة التسلسلية معدومة والتفرعية لانهائية. في الخلية الواقعية من النوع عالي الجودة من السيلكون  $R_s = 0.05 \text{ to } 0.10 \Omega$ ,  $R_{sh} = 200 \text{ to } 300 \Omega$ . إن فعالية الخلية الكهروضوئية حساسة لتغيرات بسيطة في المقاومة التسلسلية ولكنها غير حساسة كثيراً لتغير في المقاومة التفرعية لذلك يمكن إهمالها واعتبارها لانهائية.

$$I = I_L - I_o \left( e^{\frac{q(V+IR_s)}{nkT_r}} - 1 \right) \quad (1)$$

$I_L$ : التيار المتولد بالفعل الكهروضوئي  $[A]$ .

$I_o$ : تيار الإشباع للديود  $[A]$

$V$ : جهد الخلية الكهروضوئية (الجهد على اللبوسين)  $[V]$ .

$q$ : شحنة الإلكترون  $[C]$   $1.6 \times 10^{-19}$ .

$T$ : درجة الحرارة المطلقة للوصلة النصف ناقلة ومقدرة بالكلفن  $[K]$ .

$k$ : ثابت بولتزمان Boltzmann وقيمه  $k = 1.38 \times 10^{-23} J/K$ .

$n$ : عامل المثالية للديود ويتغير بين  $[1 - 2]$ .

$V_t = k.T/q$ : الجهد الحراري  $[V]$ .

$R_s$ : المقاومة التسلسلية  $[\Omega]$ .

$R_p$ : المقاومة التفرعية  $[\Omega]$ .

$T$ : درجة حرارة الوسط الحالية.

$T_r$ : درجة حرارة اختبار المصنع.

$G$ : الإشعاع الشمسي الحالي  $(W/m^2)$ .

$G_r$ : الإشعاع الشمسي في اختبار المصنع  $(W/m^2)$ .



$N_S$ : عدد الخلايا التسلسلية في فرع واحد.

$N_P$ : عدد الفروع.

$$V = V_{sh} - R_S I \quad (2)$$

$V$ : جهد الخلية الكهروضوئية (الجهد على اللبوسين)  $[V]$ .

$I$ : تيار الخلية  $[A]$ .

$V_{sh}$ : الجهد على طرفي المقاومة التفرعية  $[V]$ .

### 1.2.3. تأثير تغير الإشعاع وتغير درجة الحرارة:

يؤثر تغير درجة الحرارة والإشعاع الشمسي على التيار الكهروضوئي المتولد كما في العلاقة التالية:

$$I_L = G \times \frac{I_{SC}(T_r)}{G_r} \left( 1 + \alpha_{I_{SC}} (T - T_r) \right) \quad (3)$$

$\alpha_{I_{SC}}$ : عامل الحرارة لتيار القصر  $(A/^\circ K)$ .

تؤثر درجة الحرارة بشكل أساسي على تيار الديود حسب العلاقة التالية:

$$I_o = I_o(T_r) \times \left( \frac{T}{T_r} \right)^3 \times e^{\frac{qV_g}{nk} \times \left( \frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right)} \quad (4)$$

$$I_o(T_r) = \frac{I_{SC}(T_r)}{e^{\left( \frac{qV_{OC}(T_r)}{nkT} \right) - 1}} \quad (5)$$

$I_{SC}(T_r)$ : تيار القصر عند درجة حرارة اختبار المصنع  $[A]$ .

$V_g$ : جهد الفجوة الطاقية  $(eV)$ . جهد فجوة الطاقة لأنصاف النواقل وهي المجال

الطاقي في الجسم الصلب حيث لا يمكن للإلكترونات التواجد فيه. يعبر عن الفرق

الطاقي بالإلكترون فولت بين أعلى نطاق التكافؤ وأسفل نطاق التوصيل.

$V_{OC}(T_r)$ : جهد الدارة المفتوحة عند درجة حرارة اختبار المصنع  $[V]$ .

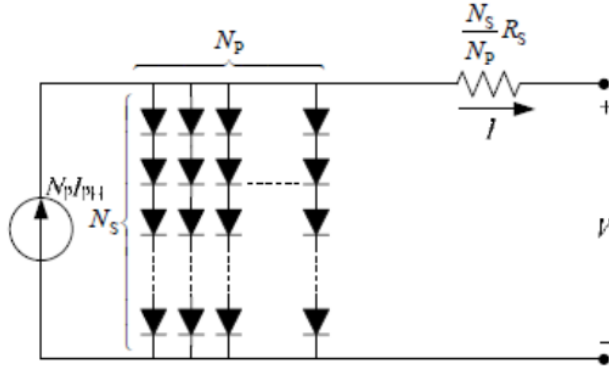
$T$ : درجة حرارة الوسط الحالية  $[^{\circ}K]$ .

$T_r$ : درجة حرارة اختبار المصنع  $[^{\circ}K]$ .

تستطيع الخلية الكهروضوئية انتاج  $2W, 0.5V$  تقريباً لذلك لابد من وصل عدة خلايا على التسلسل وعلى التفرع من أجل تأمين جهد وتيار معين. الدارة الكهربائية المكافئة للوح الكهروضوئي المؤلف من  $N_S$  خلية على التسلسل و  $N_P$  فرع موضحة بالشكل (2).

$N_S$ : عدد الخلايا التسلسلية في فرع واحد.

$N_P$ : عدد الفروع.



الشكل (2) اللوح الكهروضوئي حيث المقاومة التفرعية مهملة

$$I = N_P I_{ph} - N_P I_d \quad (6)$$

$$I_d = I_o \left( e^{\frac{q(V+IR_S)}{nkT_r N_S}} - 1 \right) \quad (7)$$

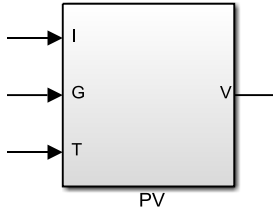
$$I_o = I_{o(T_r)} \times \left(\frac{T}{T_r}\right)^3 \times \quad (8)$$

$$e^{\frac{qV_g}{nk} \times \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T}\right)}$$

$$I_{o(T_r)} = \quad (9)$$

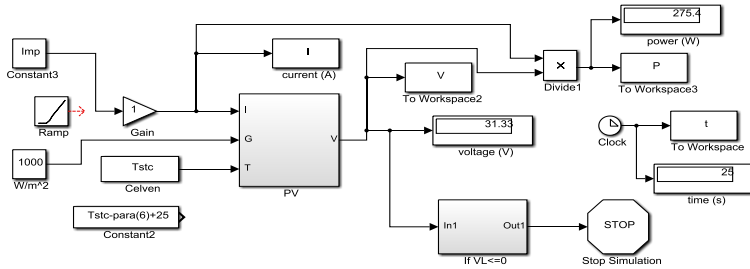
$$\frac{I_{SC(T_r)}}{e^{\left(\frac{qV_{OC}(T_r)}{nkTNS}\right) - 1}}$$

يوضح الشكل (3) النموذج الرياضي للوح الكهروضوئي وهو يعتمد على مجموعة المعادلات الرياضية الواردة أعلاه.



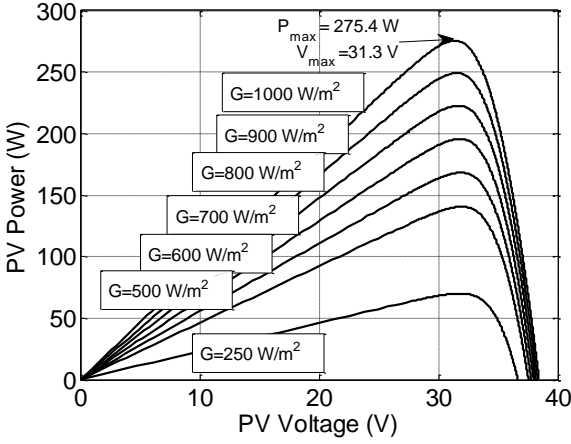
الشكل (3) النموذج الرياضي للوح الكهروضوئي

كما يبين الشكل (4) المخطط الصندوقي للنموذج لإنتاج منحنيات المميزات للوح الكهروضوئي.

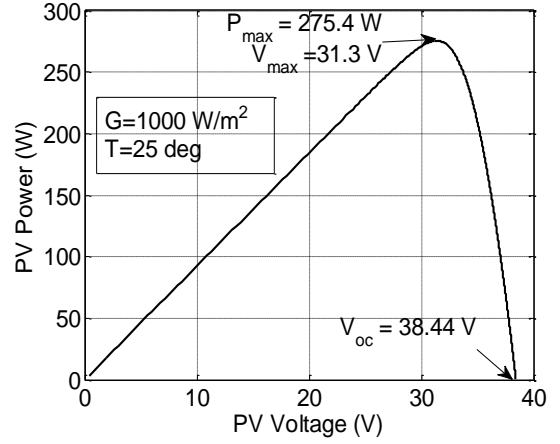


الشكل (4) المخطط الصندوقي لنموذج عمل اللوح الكهروضوئي

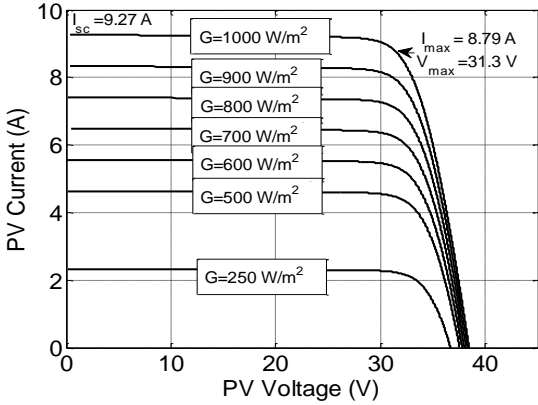
توضح الأشكال (4)، (5)، (6)، (7) تغير المميزات الكهربائية للوح الكهروضوئي المعتمد في النموذج مع تغير الإشعاع الشمسي. يلاحظ كيف أن الاستطاعة تتخفض بانخفاض الإشعاع وكيف تتبع الاستطاعة لجهد التشغيل حيث تبلغ ذروتها في نقطة الاستطاعة العظمى



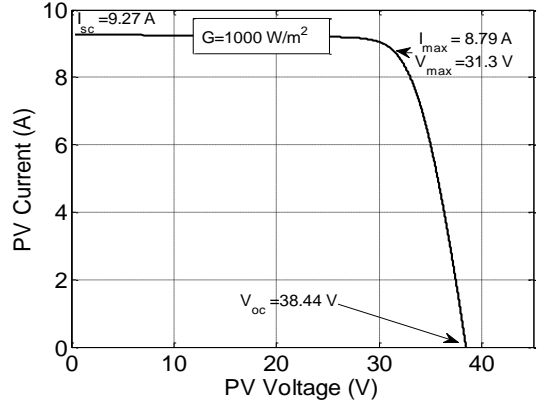
الشكل (5) تغير مميزة الاستطاعة للوح مع تغير الإشعاع



الشكل (4) مميزة الاستطاعة - جهد عند إشعاع  $G = 1000 W/m^2$



الشكل (7) تغير مميزة التيار - الجهد مع تغير الإشعاع



الشكل (6) مميزة التيار - جهد عند إشعاع  $G = 1000 W/m^2$

يبين الجدول (3) كيف تتغير المحددات الكهربائية للوح الكهروضوئي مع تغير الإشعاع الشمسي.

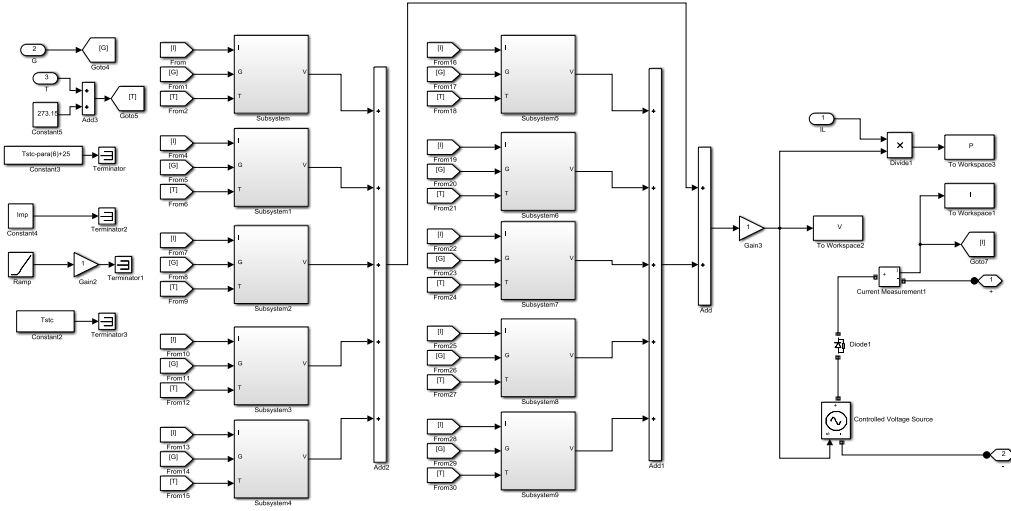
الإشعاع ( $W/m^2$ )	250	500	600	700	800	900	1000
الجهد الأعظمي ( $V$ )	32.24	31.99	31.9	31.6	31.71	31.31	31.33
التيار الأعظمي ( $A$ )	2.16	4.39	5.27	6.19	7.02	7.95	8.79
الاستطاعة العظمي ( $W$ )	69.76	140	168.3	195.6	222.6	249.2	275.4
تيار القصر ( $A$ )	2.317	4.63	5.56	6.49	4.41	8.34	9.27
جهد اللاحمل ( $V$ )	36.65	37.54	37.78	37.98	38.15	38.3	38.44

الجدول (3) محدّدات اللوح عند إشعاع شمسي متغير من أجل اللوح الواحد

من أجل تغذية المضخة لن يكفي لوح واحد بل نحتاج لمصفوفة ألواح حسب جهد الدخل للقالبة أو حسب جهد المضخة. بالنسبة للمضخة AC نحتاج إلى تأمين جهد يصل من 300-400V DC هذا يعني استخدام عشرة ألواح على التسلسل من الألواح المعتمدة.

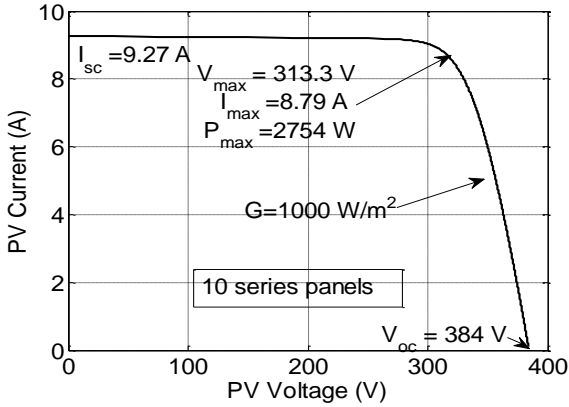
### 3.3 نمذجة مصفوفة كهروضوئية من 10 ألواح موصلة على التسلسل:

هذه المصفوفة مخصصة لتغذية المضخة الغاطسة التي يقودها محرك كهربائي متناوب أحادي الطور، و يوضح الشكل (8) طريقة توصيل الألواح على التسلسل حيث يجمع جهد الخرج لكل الألواح ويكون التيار نفسه بكل منها.

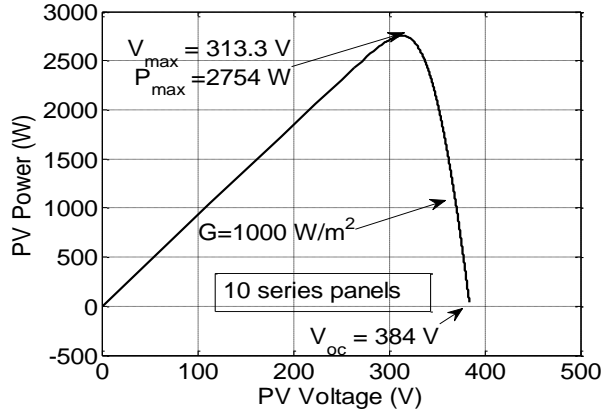


الشكل (8) توصيل عشرة ألواح كهروضوئية على التسلسل لتغذية المضخة AC

يمكن بنتيجة التوصيل السابق الحصول على المميزات الكهربائية الكلية للمصفوفة كما هو واضح في الشكلين (9)، (10).



الشكل (10) مميزة تيار - جهد لـ 10 ألواح



الشكل (9) مميزة استطاعة - جهد لـ 10 ألواح

أما الجدول (4) فيستنتج من الجدول (3) بضرب كل مقدار بـ 10.

250	500	600	700	800	900	1000	الإشعاع ( $W/m^2$ )
322.4	319.9	319	316	317.1	313.1	313.3	الجهد الأعظمي (V)
2.16	4.39	5.27	6.19	7.02	7.95	8.79	التيار الأعظمي (A)
697.6	1400	1683	1956	2226	2492	2754	الاستطاعة العظمى (W)
2.317	4.63	5.56	6.49	4.41	8.34	9.27	تيار القصر (A)
366.5	375.4	377.8	379.8	381.5	383	384.4	جهد اللاحمل (V)

الجدول (4) محددات المصفوفة المكونة من 10 ألواح موصولة على التسلسل عند  
إشعاع متغير

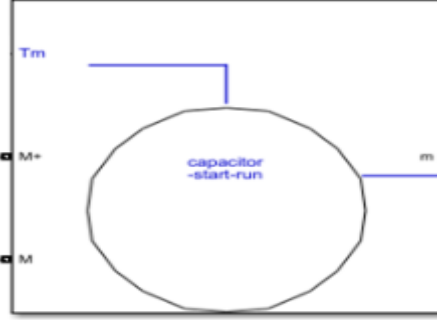
### 4.3 نمذجة المحرك - مضخة:

نظام الضخ يستخدم محرك تيار متناوب أحادي الطور مزود بمكثف إقلاع دائم  
ومواصفاته موضحة في الجدول (5).

سرعة الدوران	التردد	جهد التشغيل	استطاعة المحرك
2850 r.p.m	50 Hz	220 V	1[HP] – 750[w]

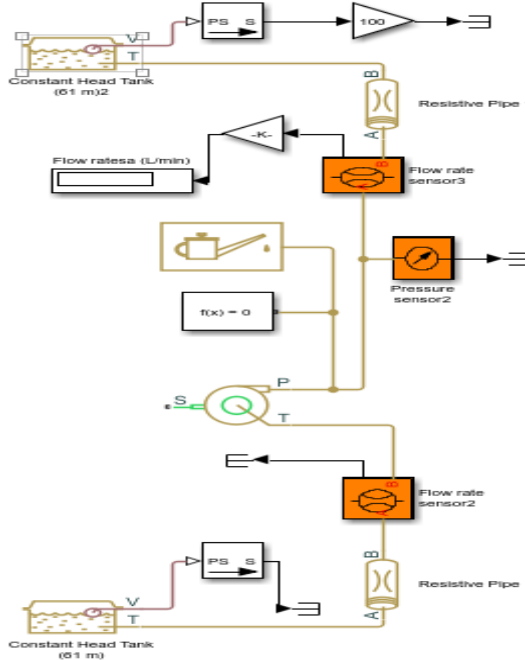
الجدول (5) المواصفات الفنية للمحرك الكهربائي المتناوب أحادي الطور

تم استخدام نموذج المحرك المتناوب أحادي الطور الموجود في مكتبة Matlab/simulink كما هو موضح في الشكل (11).



الشكل (10) نموذج المحرك الكهربائي المتناوب أحادي الطور

تعمل المضخة على رفع الماء من عمق [60 m] إلى سطح الأرض لملء خزان عبر انابيب بقطر 1.25 in. يبين الشكل (11) نموذج المضخة المستخدمة.

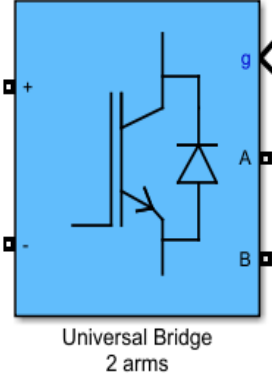


الشكل (11) نموذج المضخة



## 5.3 نمذجة القالبية (DC-AC):

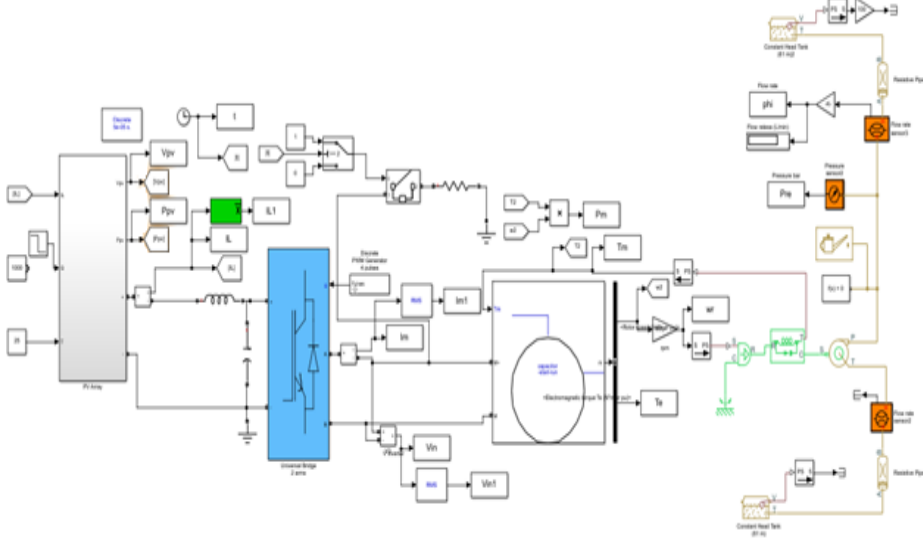
تم استخدام نموذج القالبية أحادية الطور من مكتبة Matlab/Simulink بتقنية التعديل النبضي العرضاني PWM لتغذية محرك المضخة أحادي الطور.



الشكل (12) نموذج القالبية المستخدم

بعد أن تم نمذجة مكونات نظام الضخ قمنا بتجميع هذه المكونات في نموذج واحد

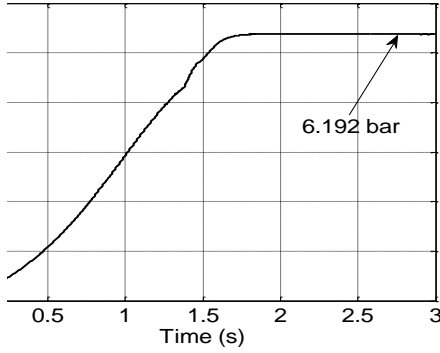
موضح في الشكل (13)



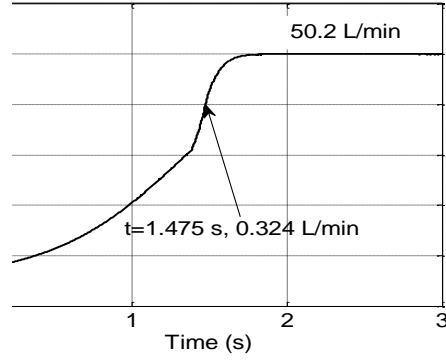
الشكل (13) نموذج المضخة AC مع قالبية ومرشح ومصفوفة مكونة من 10 موصلة ألواح على التسلسل

تم إجراء المحاكاة عند إشعاع شمسي ثابت  $1000 W/m^2$  وحصلنا على النتائج التالية:

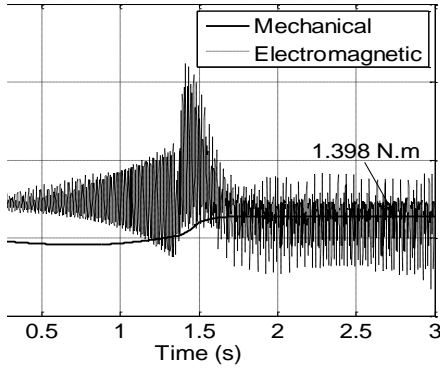
في الشكل (14) يبدأ التدفق بقيم سالبة أي أن الماء يعود للخزان السفلي نتيجة عدم كفاية السرعة ثم يرتفع تدريجياً ليصل لحالته المستقرة لقيمة  $50 L/min$ . أما الضغط في الشكل (15) فيرتفع إلى  $6.192 [bar]$ . أما الشكل (16) فيوضح تغير السرعة مع الزمن للمضخة بينما يوضح الشكل (17) تغير العزمين الكهرومغناطيسي والميكانيكي. يُلاحظ وصول كل من السرعة والعزم للقيم المطلوبة.



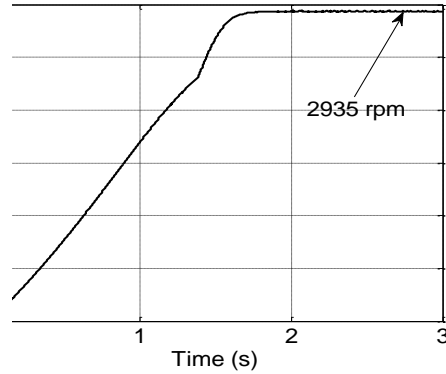
الشكل (15) الضغط



الشكل (14) التدفق

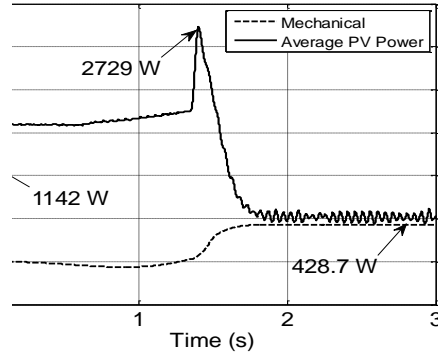
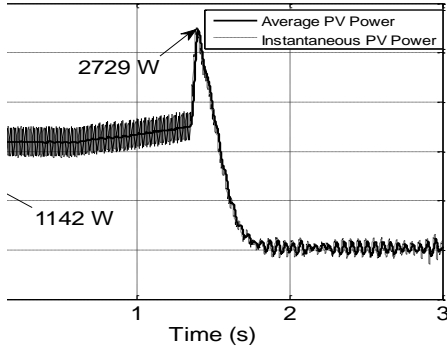


الشكل (17) عزم المضخة



الشكل (16) سرعة المضخة

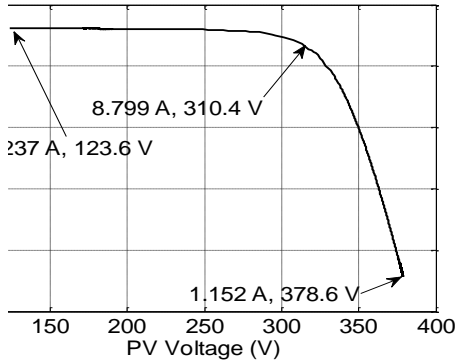
يبين الشكل (18) مقارنة بين الاستطاعة الكهروضوئية الوسطية المتولدة والاستطاعة الميكانيكية للمضخة، حيث تكون الاستطاعة الكهروضوئية مرتفعة عند الإقلاع ثم تتعرض لقفزة حتى القيمة العظمى ثم تهبط من جديد لتتلاقى الاستطاعة الميكانيكية. الفرق بين الاستطاعتين في الحالة الدائمة هو مقدار الضياعات. أما الشكل (19) فيعبر عن الاستطاعة الكهروضوئية اللحظية المتذبذبة والاستطاعة الوسطية التي تصل لحدود  $436 [W]$  في الحالة المستقرة.



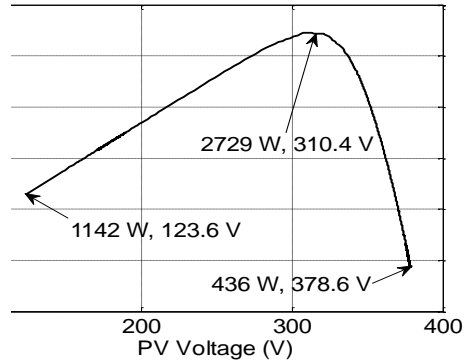
الشكل (18) الاستطاعة الكهروضوئية الشكل (19) الاستطاعة الكهروضوئية والميكانيكية اللحظية والوسطية

يمكن رسم المحل الهندسي لنقطة التشغيل خلال زمن المحاكاة كما في الشكلين (20) و(21). حيث يبدأ التشغيل بالنقطة  $1142 [W]$  ثم تصعد على الممیزة للوصول للقيمة العظمى  $2729 [W]$  بعد ذلك تنزل حتى تصل لنقطة الحالة الدائمة  $436 [W]$ . في الشكل (21) عند البدء يكون التيار أعلى ما يمكن وهو تيار القصر والجهد منخفض بعدها يزداد الجهد ويتناقص التيار لحين الوصول للحالة الدائمة.

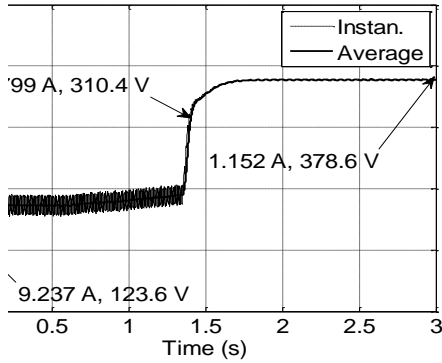
نفس نقاط التشغيل السابقة يمكن ملاحظتها برسم التيار مع الزمن والجهد مع الزمن للمصفوفة الكهروضوئية كما في الشكلين (22)، (23) وذلك كقيمة لحظية وكقيمة متوسطة.



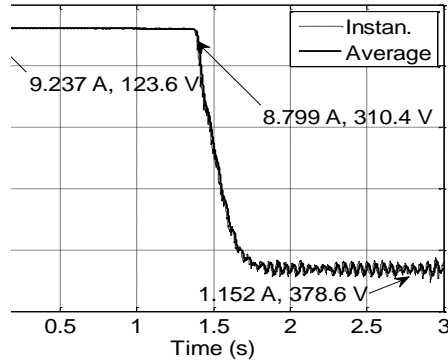
الشكل (21) مميزة التيار – الجهد



الشكل (20) تغيير الاستطاعة مع الجهد

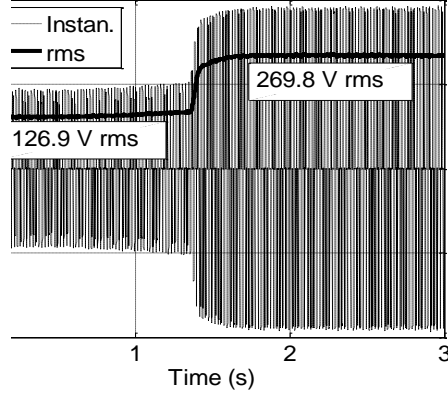
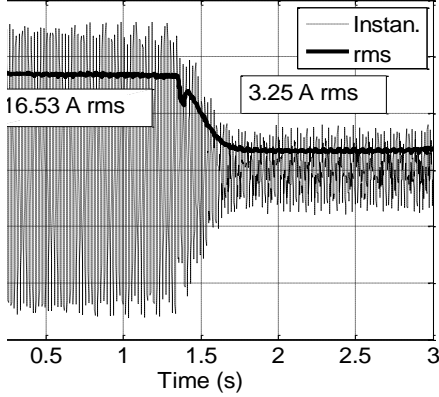


الشكل (23) تغيير الجهد مع الزمن



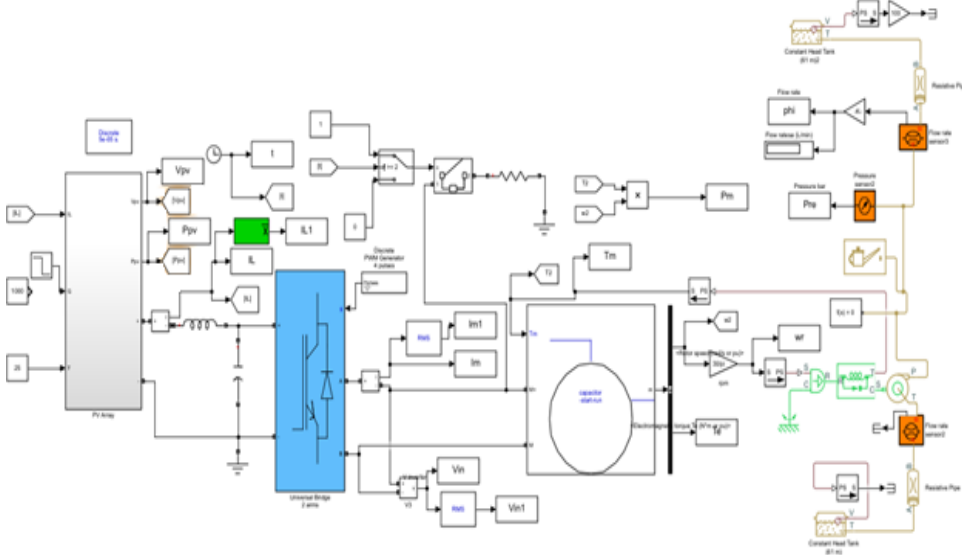
الشكل (22) تغيير التيار مع الزمن

في الشكل (24) نلاحظ انخفاض القيمة الفعالة لجهد خرج القالبية المغذية للمحرك اثناء البدء ثم ارتفاعه مع تغيير نقطة العمل للمصفوفة الكهروضوئية. نفس الملاحظة عن تأثير مميزة المصفوفة على القيمة الفعالة لتيار خرج القالبية في الشكل (25).



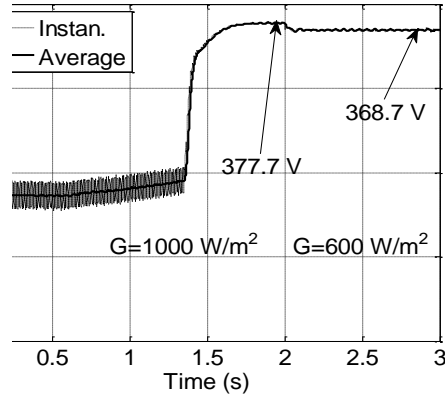
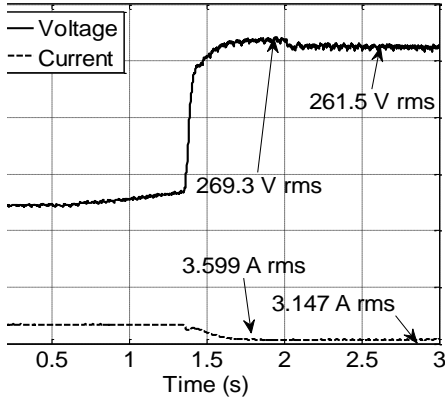
الشكل (24) القيمة اللحظية والفعالة لجهد المحرك  
الشكل (25) القيمة اللحظية والفعالة لتيار المحرك

بعد أن قمنا بتحليل عمل النظام عند إشعاع شمسي ثابت سنجري المحاكاة لإشعاع شمسي متغير لبيان أثر التغير في نتائج المحاكاة. يبين الشكل (26) النموذج المدروس دون حمل أومي أو خوارزمية تتبّع.

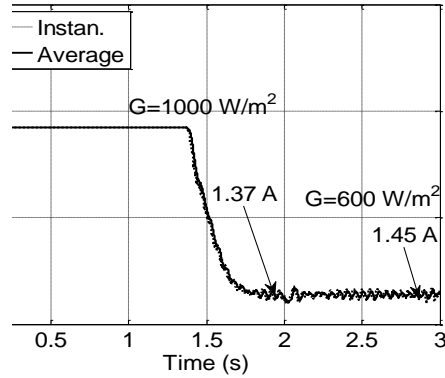
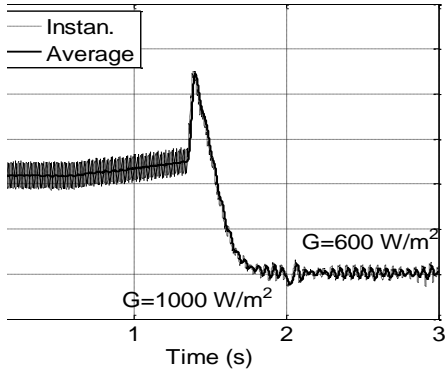


الشكل (26) النموذج المدروس لمحاكاة تأثير التغير في الإشعاع دون خوارزمية تتبّع نقطة عظمى

في الشكل (27) يُلاحظ انخفاض جهد المجموعة الشمسية بشكل طفيف بعد 2 ثانية بسبب انخفاض الإشعاع الشمسي من  $1000 \text{ W/m}^2$  إلى  $600 \text{ W/m}^2$ . يتبع ذلك انخفاض مماثل في القيمة الفعالة لجهد خرج القالب المغذية للمضخة كما في الشكل (28). كما ينخفض أيضاً التيار المسحوب من قبل المحرك حسب الشكل (28). بينما تيار المصفوفة الكهروضوئية يزداد وكذلك الاستطاعة كما في الشكلين (29) و (30).



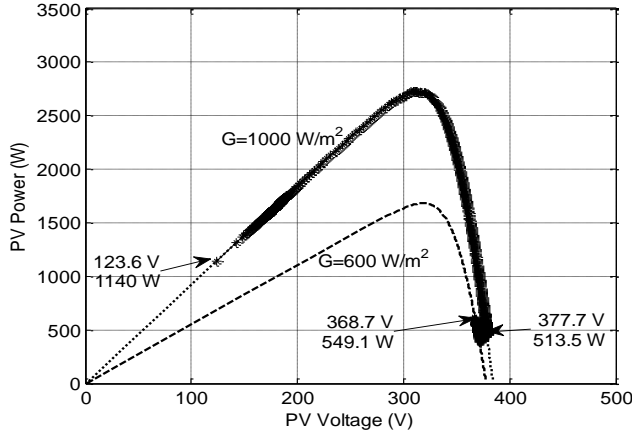
الشكل (27) جهد المصفوفة الكهروضوئية الشكل (28) تيار وجهد خرج القالب كقيمة فعالة



الشكل (30) الاستطاعة للمصفوفة الكهروضوئية

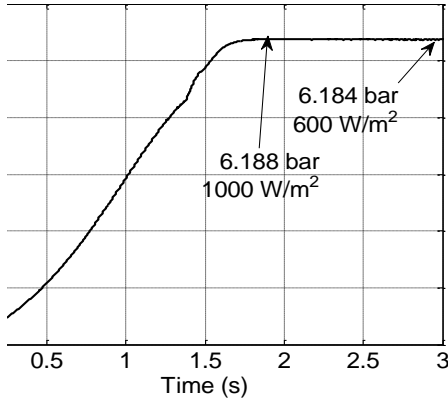
الشكل (29) تيار المصفوفة الكهروضوئية

أما تنتقل نقطة التشغيل، الشكل (31)، فيتم بداية على المميزة الأولى عند الإشعاع الأول لتصل لنقطة التشغيل المستقرة  $[W] 513.5$ ، ثم عند تغير الإشعاع تنتقل نقطة التشغيل للمميزة الثانية وتستقر على نقطة تشغيل جديدة  $[W] 549.1$ .

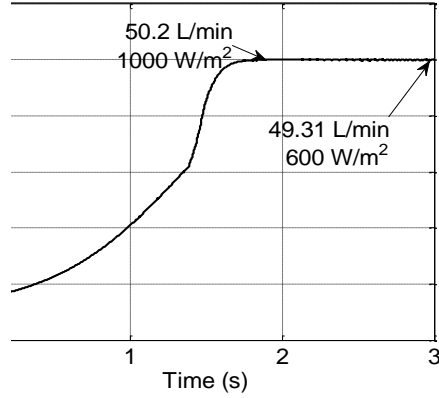


الشكل (31) تنتقل نقطة العمل أثناء تغير شدة الإشعاع الشمسي

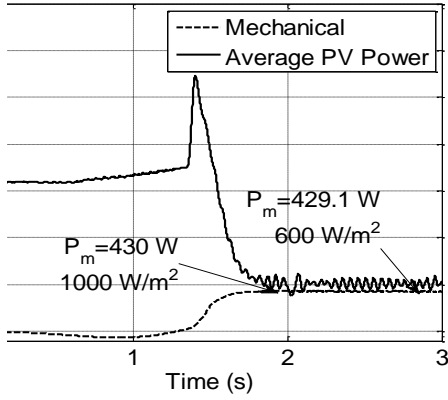
أما بالنسبة لتأثير تغير الإشعاع على التدفق والضغط فيوضحه الشكلان (32)، (33) ويبدو أن التغير طفيف حيث أن نقطة لتشغيل الجديدة لم تبعد كثيراً عن نقطة التشغيل القديمة للمصفوفة الكهروضوئية. يعود ذلك أن السرعة لم تنخفض كثيراً بسبب التغير في الإشعاع، الشكل (34). بالتالي تتغير الاستطاعة الميكانيكية للمضخة أيضاً بشكل طفيف كما في الشكل (35).



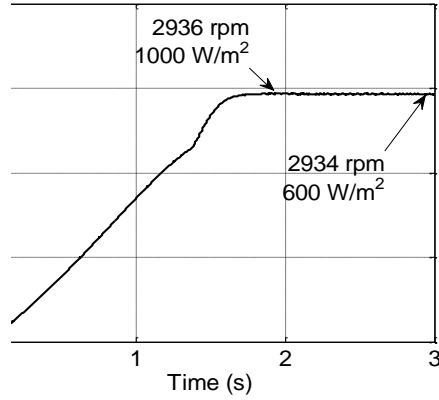
الشكل (33) الضغط أثناء تغير الإشعاع الشمسي



الشكل (32) التدفق أثناء تغير الإشعاع



الشكل (35) الاستطاعة الكهروضوئية و الميكانيكية



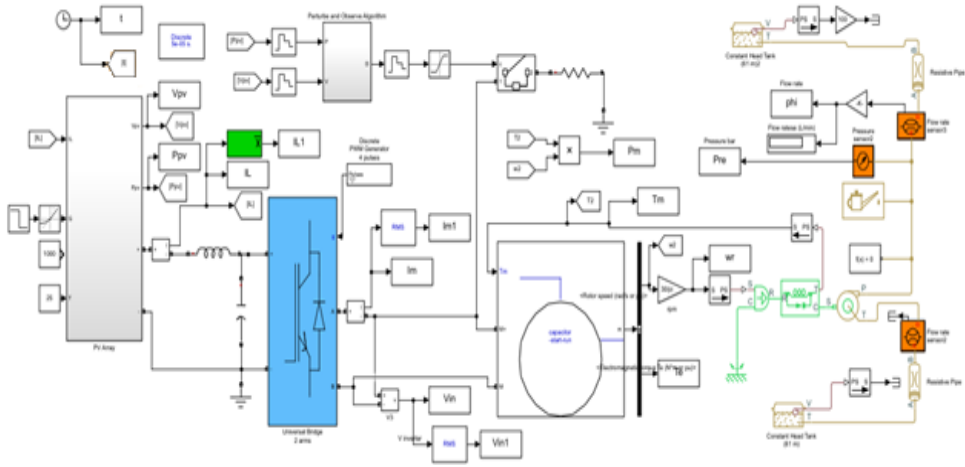
الشكل (34) السرعة أثناء تغير الإشعاع

بعد تشغيل المنظومة الكهروضوئية وملاحظة فائض بالاستطاعة المولدة في الحالة الدائمة سنقوم بمحاكاة إضافة حمل أومي (تسخين) لخرج القالبية، الشكل (36)، عبر قاطع أو مفتاح الكتروني (ثايرستور أو ترانزيستور). حيث يمكن إضافة الحمل بشكل



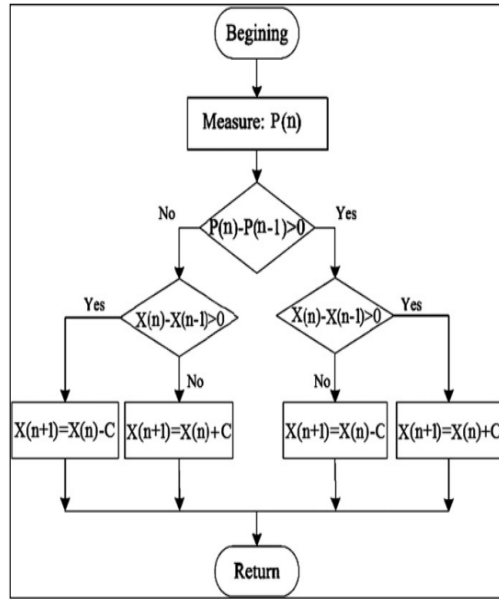
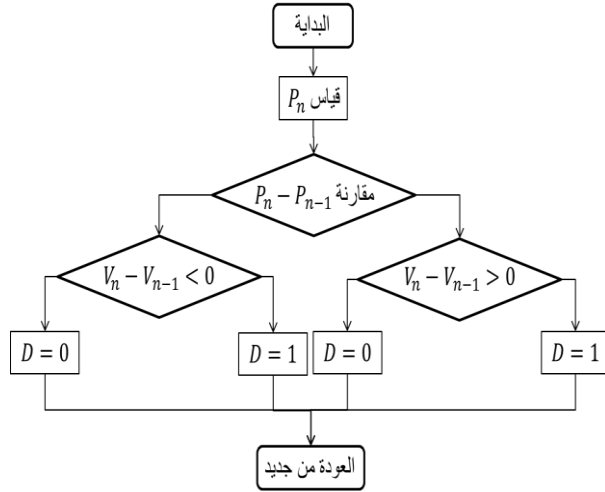
متقطع بمساعدة خوارزمية تتبع للنقطة العظمى للمجموعة الكهروضوئية. بذلك ستولد المجموعة الكهروضوئية استطاعتها العظمى حسب الإشعاع الشمسي والمضخة تعمل بشكل دائم ولكن مع انخفاض طفيف بالتدفق عن الحالة دون تتبع. هذا ما سنتطهره النتائج القادمة.

يتم تغيير الإشعاع الشمسي من  $1000 W/m^2$  إلى  $600 W/m^2$  في اللحظة [sec] 2 ومن المفروض أن الاستطاعة الكهروضوئية ستكون أعظمية في الحالتين.



الشكل (36) النموذج المدروس لمحاكاة تأثير التغير في الإشعاع مع خوارزمية تتبع نقطة عظمى

تم الاعتماد على خوارزمية الاضطراب والمراقبة، الشكل (b-36) مع بعض التعديل لملائمة الحالة المدروسة وذلك كما في الشكل (a-36).



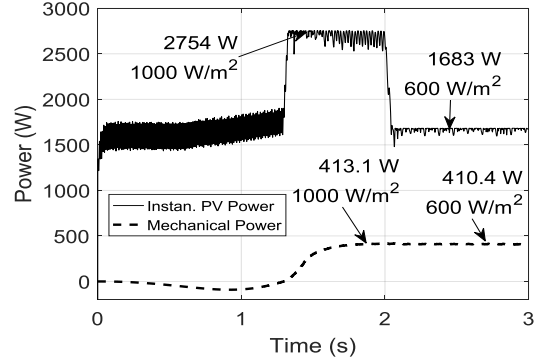
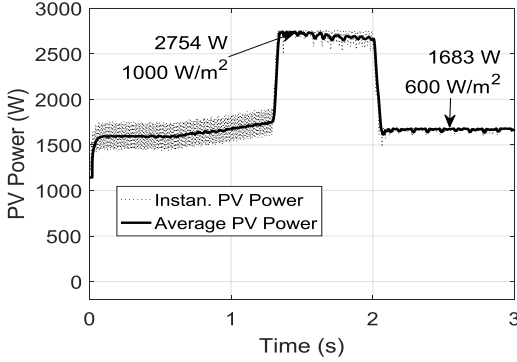
الشكل (b-36) خوارزمية

الشكل (a-36) الخوارزمية المعدلة المقترحة

الاضطراب و المراقبة p&o

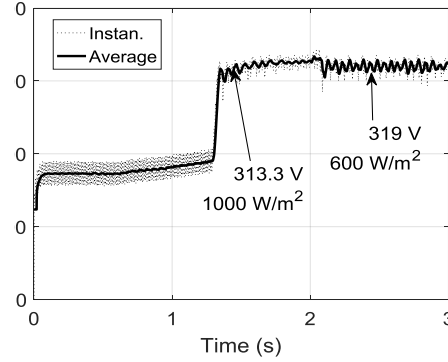
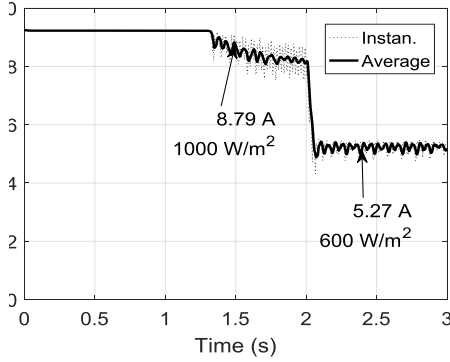
الشكل (36) خوارزمية التتبع المقترحة لإضافة الحمل الأومي

في الشكل (37) يلاحظ أن الحمل يعطي استطاعته الميكانيكية والمصفوفة تولد استطاعتها العظمى في الحالتين من الإشعاع الشمسي وهو ما يتوافق مع الجدول (4). الشكل (38) يبين الاستطاعة اللحظية والاستطاعة الوسطية للمصفوفة.



الشكل (37) تغير الاستطاعة الكهروضوئية الشكل (38) تغير الاستطاعة الكهروضوئية اللحظية و الميكانيكية الوسطى

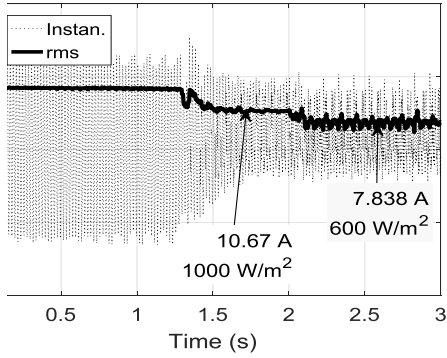
أما جهد و تيار المصفوفة في الشكلين (39)، (40)، فيتوافقان مع قيمتهما عند النقطة العظمى للاستطاعة كما في الجدول (4).



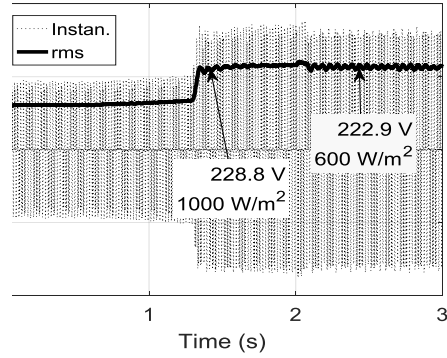
الشكل (40) تغير تيار المصفوفة

الشكل (39) تغير جهد المصفوفة

أما بالنسبة للقيمة الفعالة لخرج القالبه فإن الجهد سينخفض والتيار سيزداد نظراً لدخول الحمل الإضافي وذلك بشكل متقطع كما في الشكلين (41)، (42).

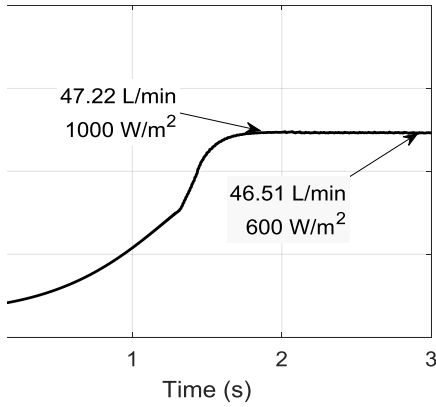


الشكل (42) تيار خرج القالبية

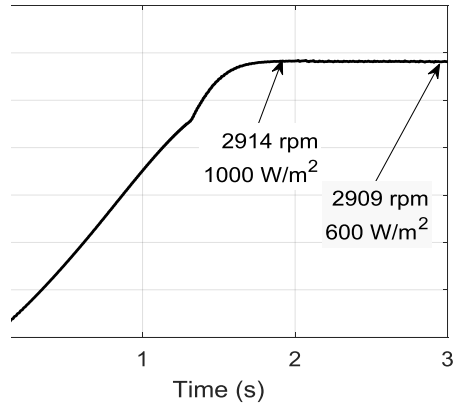


الشكل (41) جهد القالبية

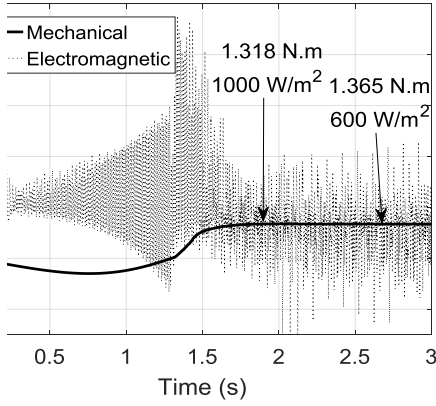
إن انخفاض الجهد سيؤدي حتماً لانخفاض السرعة كما في الشكل (43) وبالتالي انخفاض التدفق كما في الشكل (44) عن القيم دون تتبع. أيضاً ينخفض الضغط والعزم بشكل طفيف مع تتبع عنه في حالة عدم التتبع كما في الشكلين (45)، (46).



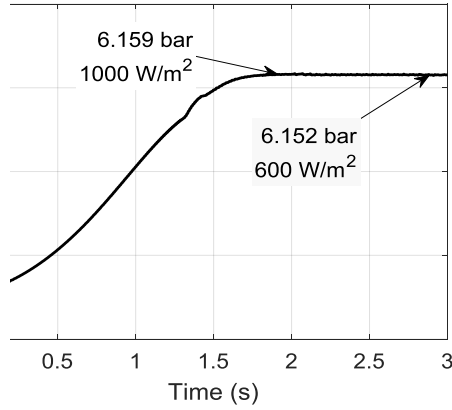
الشكل (44) التدفق



الشكل (43) سرعة المضخة



الشكل (46) العزم

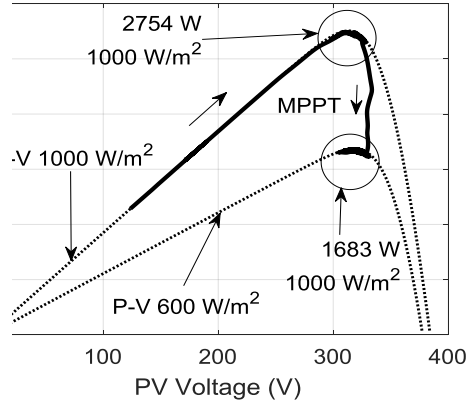
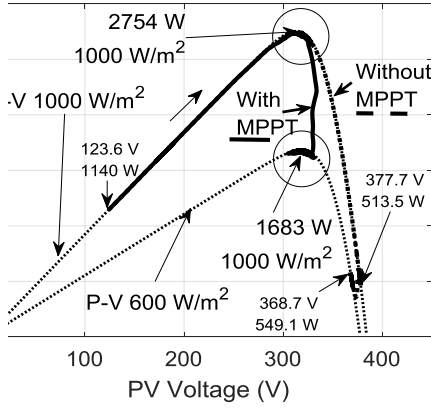


الشكل (45) الضغط

من أجل التحقق من التتبع إضافة للمقارنة مع الجدول (4) تم رسم تغير نقطة التشغيل للمصفوفة الكهروضوئية ومقارنة ذلك مع المميزات الكهربائية للمصفوفة الكهروضوئية ولاحظنا النقاط التالية:

في الشكل (47)، حالة تتبع، من نقطة البدء ترتفع نقطة التشغيل لتستقر عند القيمة العظمى للميزة الأولى وعند تغير الإشعاع تهبط نقطة العمل للقمة على الميزة الثانية.

في الشكل (48)، مقارنة بين حالة التتبع بالخط المتواصل وبين حالة عدم التتبع بالخط المتقطع والفرق واضح بالتوضع وبالقيم الموافقة.

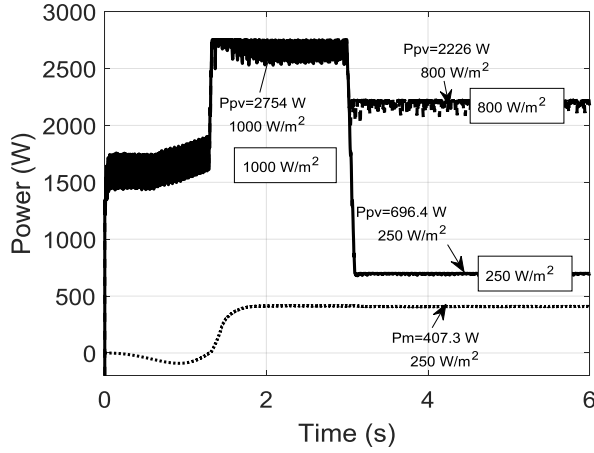


الشكل (47) تغيير نقطة التشغيل بوجود تتبع  
الشكل (48) مقارنة وجود تتبع وبدون  
تتبع

الإشعاع	الاستطاعة بوجود تتبع	الاستطاعة دون وجود تتبع
1000 W/m <sup>2</sup>	2754 W	513.5 W
600 W/m <sup>2</sup>	1683 W	549.1 W

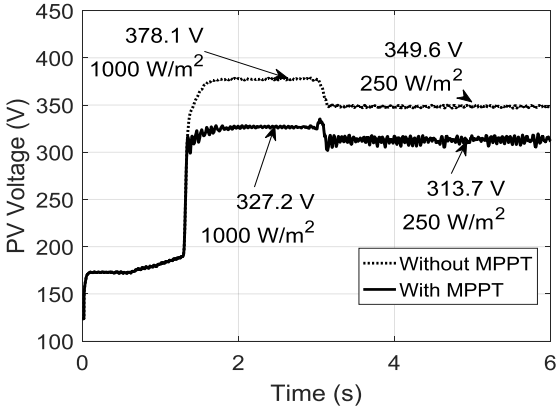
الجدول (5) مقارنة الاستطاعة المولدة بين حالة وجود تتبع وحالة عدم وجود تتبع

تم محاكاة تغير شدة الإشعاع الشمسي مرة من 1000 w/m<sup>2</sup> إلى 800 w/m<sup>2</sup> ومرة أخرى من 1000 w/m<sup>2</sup> إلى 250 w/m<sup>2</sup> فصلنا على النتائج في الشكل (49) وذلك للتأكد كفاءة التتبع عند سويات إشعاع مختلفة عالية ومنخفضة.

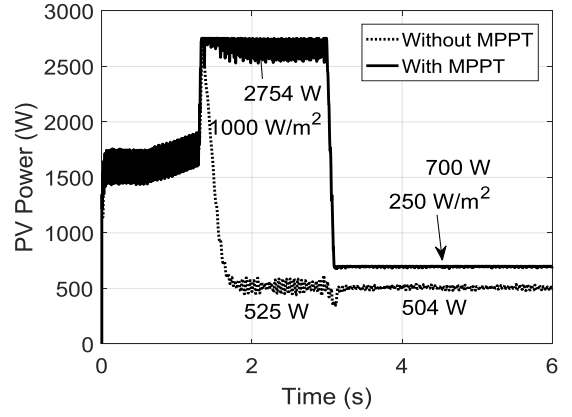


الشكل (49) الاستطاعة المولدة عند سويات مختلفة من الإشعاع

أما لبيان الاختلاف بالمقادير بين حالة وجود تتبع لنقطة الاستطاعة العظمى وعدم وجود تتبع فاخترنا أن نقارن حالتين من الإشعاع التقليدي  $1000 W/m^2$  و أصغر حد اختبار وهو  $250 W/m^2$ . تهدف هذه المقارنة لبيان دور التتبع في تحسين المردود وبيان كيف تتغير البارامترات الكهربائية والميكانيكية للنظام. يبين الشكل (a-50) أن الاستطاعة الكهروضوئية دون تتبع تفوق استطاعة الحمل بمقدار الضياعات بينما ترتفع الاستطاعة المولدة مع تتبع لتبلغ حدها الأعظم في كل حالة من الإشعاع الشمسي. أما في الشكل (b-50) فنلاحظ أن الجهد ينخفض أثناء تغير سوية الإشعاع دون تتبع وينخفض مع تتبع بالمقارنة مع دونه. هذا الانخفاض مبرر لأن جهد النقطة العظمى أقل من جهد نقطة العمل دون تتبع.



b



a

الشكل (50) مقارنة بين وجود تتبع وعدم وجود تتبع عند تغيير الإشعاع من  $1000 W/m^2$  إلى  $250 W/m^2$

الإشعاع $W/m^2$			
$250 W/m^2$	$1000 W/m^2$		
504	525	دون تتبع	الاستطاعة الكهروضوئية $W$
700	2754	مع تتبع	
48.39	50.03	دون تتبع	التدفق
46.17	47.50	مع تتبع	$L/min$
6.175	6.185	دون تتبع	الضغط
6.156	6.164	مع تتبع	$bar$

الجدول (6) مقارنة بين حالة وجود تتبع لنقطة الاستطاعة العظمى وحالة عدم وجود

تتبع



## 4- النتائج و مناقشتها:

تم في هذا البحث دراسة تأثير تغير شدة الإشعاع الشمسي على فعالية نظام ضخ مياه كهروضوئي من خلال نمذجة النظام ومحاكاته باستخدام برنامج Matlab/Simulink، كما تم إجراء مقارنة بين وجود نظام تتبع نقطة الاستطاعة العظمى وعدم وجود نظام تتبع، وبالإمكان تلخيص النتائج التي توصلنا إليها من خلال هذا البحث كما يلي:

- تعمل المضخة على تقديم تدفق ثابت طالما أن جهد التغذية لها يبقى ثابتاً.
- يؤثر انخفاض مطال جهد التغذية بالانخفاض لكل من التدفق والضغط والسرعة والاستطاعة الفعلية والردية.
- يؤثر انخفاض مطال جهد التغذية بالازدياد لكل من تيار المحرك وعامل الاستطاعة ومردود المحرك.
- استخدام حمل آخر مع المضخة لا يؤثر بشكل حاد على التدفق والضغط والسرعة ولكن تأثيره أكبر من تأثير تغير الإشعاع الشمسي.

## 5- الاستنتاجات و التوصيات:

## أولاً: الاستنتاجات:

- يجب أن تغطي الطاقة الكهربائية المولدة من المصفوفة الكهروضوئية الطاقة المطلوبة من الحمل في الحالة العابرة والمستقرة وإلا لن يقلع المحرك أو أنه سيحتاج وقتاً طويلاً للوصول للحالة المستقرة.
- لا يتأثر التدفق أو الضغط كثيراً بتغير الإشعاع الشمسي نظراً لقرب نقاط التشغيل عند اشعاع مختلف.

- يوجد فائض كبير في الاستطاعة المركبة في الحالة المستقرة حيث يكون المردود حوالي 18% في الحالة الدائمة إلا أن هذا الفائض ضروري لتأمين مرحلة الإقلاع.
- أمكن معالجة انخفاض المردود بإضافة مستهلك بعد نهاية اقلاع المضخة لاستهلاك الطاقة المركبة الفائضة للمجموعة الشمسية. بالتالي يمكن الاستفادة من الطاقة الفائضة في التسخين للاستعمال المنزلي أو الصناعي ويصبح المردود قرب 90%.

#### ثانياً: التوصيات:

- إضافة مقطع رافع لدارة المضخة يقلل عدد الألواح التسلسلية وبالتالي يتحسن المردود.
- التحكم بحلقة مغلقة بسرعة المضخة أو جهد القالبة في حالة التغذية من قبل المصفوفة الكهروضوئية.
- دراسة تغير شدة الإشعاع الشمسي في حال استخدام مضخة مقادة بمحرك تيار مستمر DC.

6-المراجع:

- [1] SHOUMAN, R, EL SHENAWY, E, BADR, A,2016 - **Economics analysis of diesel and solar water pumping with case study water pumping for irrigation in Egypt**, International Journal of Applied Engineering Research,Vol.11, 950–954.
- [2] International Energy Agency reports. Published: June 22, 2016.
- [3] KELLEY, L,2010 - **On the feasibility of solar-powered irrigation**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 14.9, 2669–2682.
- [4] LAJNEF, T, ABID, S, AMMOUS, A,2013 - **Design and simulation of photovoltaic water pumping system**, International Journal of Engineering and Advanced Technology, Vol,2–14.
- [5] ALSHAMANI, A, IQBAL, T, 2017 - **Modelling of a large-scale solar powered water pumping system for irrigation in Saudi Arabia**. Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON). IEEE, 416–421.
- [6] KESHAVANI, K, et al, 2014 - **Modelling and simulation of photovoltaic array using Matlab/Simulink**. International journal of engineering development and research, Vol 2.4: 3742–3751.



## التعرف الأوتوماتيكي على نوع التعديل

### في قناة MIMO-OFDM

الباحث: م. وراذ سعود + د. نادر خضرو + د. محي الدين وايناخ

المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا - دمشق

قسم الاتصالات ، المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا (دمشق، مساكن برزة مسبقاً  
الصنع، الموقع الإلكتروني [www.hiast.edu.sy](http://www.hiast.edu.sy)، صندوق بريد 31983).

#### ملخص

يهدف هذا البحث إلى التعرف الأوتوماتيكي على نوع تعديل الإشارات المستقبلية في نظام MIMO-OFDM عبر قناة لاسلكية متعددة المسارات. من أجل التعرف الأعمى على نوع التعديل، سنبين الشروط اللازمة والكافية للتقدير الأعمى للقناة وسنقوم بتقديرها وفق طريقة الفضاء الجزئي للضجيج subspace noise method. تعتبر هذه الطريقة تعميماً لطريقة التقدير الأعمى للقناة في أنظمة SISO-OFDM. تعتمد خوارزمية التعرف المقترحة على الإحصائيات من مراتب عليا (HOS) للإشارات المستقبلية كميزات خاصة features لتصنيف أنواع تعديل تلك الإشارات عبر استخدام الشبكات العصبونية. سنبين نتائج تطبيق هذه الخوارزمية كمنحني يعبر عن احتمال التعرف الصحيح على نوع الإشارات المستقبلية من أجل قيم مقبولة لنسبة الإشارة إلى الضجيج.

**الكلمات المفتاحية:** التعرف على نوع التعديل - تقدير القناة - الفضاء الجزئي للضجيج  
- الإحصائيات من مراتب عليا - الشبكات العصبونية.

# Automatic Modulation Recognition in MIMO-OFDM Channel

## Abstract

This research aims to automatically identify the modulation of a signal received in a MIMO-OFDM system through multipath wireless channel. To blindly identify the signal modulation, we establish conditions for channel identifiability and present a blind channel estimation technique based on a noise subspace approach. The proposed method generalizes the existing subspace-based methods for blind channel estimation in single-input single-output OFDM systems. The proposed identification algorithm is based on using higher order statistics (HOS) as features. The proposed classifier is an artificial neural network (ANN) which shows a high identification performance in acceptable signal-to-noise ratio (SNR) range.

**Keywords:** modulation recognition - channel estimation - subspace noise – higher order statistics – neural networks.

## 1. مقدمة

يُعتبر مجال الاتصالات اللاسلكية واحداً من أكثر المجالات حيويةً في هندسة الاتصالات، فقد كان مادةً بحث منذ عقود عديدة. شهد هذا المجال تطوراً كبيراً في الآونة الأخيرة لعدة أسباب. وأولها، الطلب المتزايد على اتصالات خالية من الأسلاك قادرة على نقل المعلومات بسرعات عالية. وثانياً، التطور الكبير في الدارات المتكاملة (VLSI) التي سمحت بتنفيذ خوارزميات معالجة الإشارة المعقدة وتقنيات الترميز على رُقاقات صغيرة المساحة وذات استهلاك منخفض للطاقة. وأخيراً، جاء النجاح في تقنيات الجيل الثاني ليؤكد أن تطبيق أفكار نظرية الاتصالات يُعطي نتائج جيدة عملياً [1].

يوجد ظاهرتان أساسيتان في نظم الاتصالات اللاسلكية تميزانها عن نظم الاتصالات السلكية، هما: الخفوت fading والتداخل interference. تبدو ظاهرة الخفوت في التغيرات اللحظية لقيم الاستطاعة المستقبلية؛ بسبب تعدد المسارات الذي تفرضه بيئة الانتشار، بالإضافة إلى أثر فقد المسار الحر وظاهرة التظليل shadowing الناتجة عن العوائق الكبيرة. يظهر أثر التداخل في رفع أرضية الضجيج؛ بسبب تداخل إشارات جميع المستخدمين عند المستقبل. واجهت نظم الاتصالات اللاسلكية التقليدية ظاهرة تعدد المسارات كمشكلة يعاني منها الإرسال اللاسلكي، بينما استفادت منها تقنيات الاتصالات الحديثة لزيادة ربح التنوع والرياح في درجات الحرية بما يزيد في الفعالية الطيفية للنظام. تعتبر تقنية MIMO-OFDM من أحدث التقنيات المستخدمة لاستغلال ظاهرة تعدد المسارات في قنوات الاتصال اللاسلكية عريضة الحزمة. تتغلب تقنية OFDM على الانتقائية الترددية للقناة عريضة الحزمة بتقسيمها إلى عدة قنوات متوازية ضيقة الحزمة. بينما تضيف تقنية MIMO بعداً مكانياً جديداً للإشارات المستقبلية يمكن العمل عليه لتحسين أداء القنوات اللاسلكية.

يتطلب الكشف المتناسك للإشارات المستقبلية تقديراً جيداً لمعاملات قناة الاتصال اللاسلكية. يوجد العديد من الاستراتيجيات المتبعة لتقدير قنوات MIMO-OFDM، ولكن أغلبها يحتاج إلى استخدام سلاسل معلومات معروفة لدى كل من المرسل والمستقبل training sequences، محمولةً على ترددات مرجعية (pilots). في نموذج النظام

المقترح لكشف نوع التعديل، لن يتوقف معطيات حول المعلومات المحمولة على الترددات المرجعية لدى المستقبل وخاصة نوع تعديلها الذي نعمل على كشفه. لذلك، كان من الأنسب استخدام تقدير أعمى لقناة الاتصال. يتم التقدير الأعمى لقناة MIMO-OFDM باستخدام طريقة الفضاء الجزئي للضجيج noise subspace method. نحصل باستخدام هذه الطريقة على تقدير للقناة في الحزمة القاعدية انطلاقاً من عينات الإشارة المستقبلية فقط. تستغل طريقة الفضاء الجزئي للضجيج خاصية التعمد بين الفضاء الجزئي للضجيج والفضاء الجزئي للإشارة، للحصول على علاقة تربيعية بدلالة معاملات القناة بحيث ينتج تقدير القناة المرغوب عن إيجاد قيمتها الصغرى [2].

تمر الرموز المستقبلية بعد كشفها إلى دخل المرحلة النهائية، والتي يتم فيها التعرف على نوع التعديل المستخدم. يوجد العديد من التطبيقات الهامة للتعرف الأوتوماتيكي على نوع التعديل، فبالإضافة إلى تطبيقاته العسكرية في المراقبة، واعتراض الإشارات، هناك تطبيقاته المدنية. يمثل التعرف الأوتوماتيكي على التعديل الخطوة الأولى في الراديو الإدراكي ("CR" Cognitive Radio) والراديو المعرف برمجياً Software Defined ("SDR" Radio)، كما يُستخدم في أنظمة الاتصال ذات التعديل الرقمي المتكيف adaptive modulation. يختار المرسل في هذه الأنظمة نوع ورتبة التعديل الرقمي حسب حالة قناة الاتصال، بحيث تكون رتبة التعديل منخفضة إذا كانت حالة القناة سيئة وترتفع رتبة التعديل مع تحسن حالة القناة. يتكفل التعرف الأوتوماتيكي على التعديل بتحديد نوع التعديل ورتبته دون الحاجة إلى تبادل أي معلومات إضافية بين المرسل والمستقبل.

## 2. مسألة البحث

يعتبر تكيف المرسل مع البيئة المحيطة من مميزات أنظمة الاتصالات الحديثة. يمكن تعريف تكيف المرسل مع البيئة المحيطة بأنه القابلية لإعادة التشكيل والمرونة في تغيير مستويات الإشارة الراديوية، مما يتيح إمكانية العمل بكفاءة عالية في بيئات متعددة وظروف متباينة. ويكون المرسل متكيفاً عندما يكون لديه القدرة على محاكاة المتطلبات المتغيرة والمتجددة التي يفرضها كل من نموذج القناة ونمط الضجيج والانشغالية الطيفية



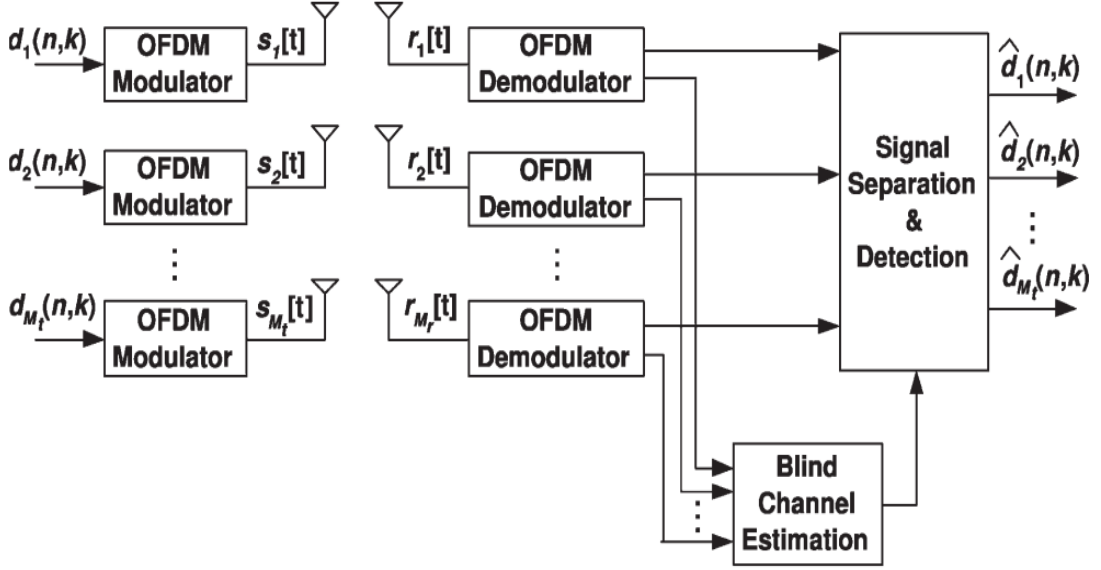
واستطاعة الإرسال. يفرض تكيف المرسل بناء مستقبلات متكيفة قادرة على مواكبة تغيرات خصائص الإشارات الراديوية الواردة من المرسل. يعتبر تعديل الإشارة أحد أهم خصائص الإشارة المرسل التي يقوم المرسل المتكيف بتغييرها لتتلاءم الإشارة المرسل مع ظروف القناة المتغيرة. من هنا أنت أهمية التعرف الأتوماتيكي على نوع تعديل الإشارة لتكون أحد المكونات الأساسية في المستقبل المتكيف.

### 3. نموذج نظام MIMO-OFDM

أصبحت تقنية (Orthogonal frequency division multiplexing) OFDM من التقنيات الشائعة الاستخدام في أنظمة الاتصالات اللاسلكية. تحولت تقنية OFDM القنوات ذات الحزمة العريضة، والتي تبدي خفوتاً انتقائياً مع التردد Wide band frequency selective channels إلى مجموعة من القنوات المتوازية المسطحة ترددياً. تستخدم تقنية OFDM الحزمة الترددية المتاحة بفعالية عالية، حيث يكون الفاصل الترددي بين الحوامل المتعامدة sub-carriers أصغر ما يمكن بما يحافظ على تعامدها، كما أن أطراف الإشارات الموافقة لكل حامل ترددي تتراكب فيما بينها في المجال الترددي مع الحفاظ على إمكانية الفصل بينها. يمكن النظر إلى تقنية OFDM على أنها نظام تعديل كتلي، حيث يرسل  $N$  رمز معلومات على  $N$  حامل ترددي. بالتالي، فإن الامتداد الزمني لرمز OFDM يساوي إلى  $N$  ضعف الامتداد الزمني للرمز في نظام أحادي الحامل الترددي single-carrier. يمكن تنفيذ معدل OFDM باستخدام تحويل فورييه العكسي IFFT على كتلة من رموز المعلومات بطول  $N$ ، ويتبع بمحو رقمي تماثلي (ADC). يُضاف على بداية كل كتلة مؤلفة من  $N$  رمز معلومات بعد إجراء تحويل فورييه العكسي - بادئة دورية Cyclic prefix مؤلفة من  $P$  عينة من نهاية الكتلة، بحيث تكون البادئة الدورية أطول من القناة ( $P > L$ ) حيث  $L$  طول القناة. ضمن هذا الشرط، يتحول جداء التلاف الخطي Linear convolution بين تسلسل الرموز المرسل والقناة إلى جداء تلاف حلقي circular convolution. بالنتيجة، يتم إلغاء التداخل بين رموز OFDM بسهولة. يستخدم المستقبل تحويل فورييه لفك التعديل [3].

#### 4. النَّمُودَجُ الرَّيَاضِيّ لِنِظَامِ MIMO-OFDM

نصف فيما يلي النَّمُودَجُ الرَّيَاضِيّ لِنِظَامِ MIMO-OFDM ذو  $N_t$  هوائي إرسال و  $N_r$  هوائي استقبال. يوضِّح الشَّكْلُ (1) المخطط الصندوقي لِنِظَامِ MIMO-OFDM المُقْتَرَح.



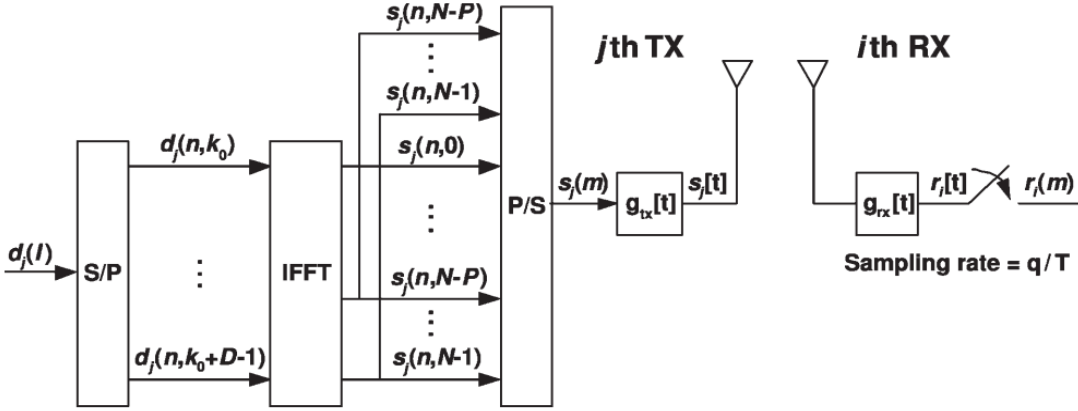
الشكل (1) نظام ذو هوائي إرسال و هوائي استقبال MIMO-OFDM

في الشَّكْلُ (2) نوضِّح نظام OFDM بين هوائي الإرسال رقم  $z$  وهوائي الاستقبال رقم  $i$  والذي يحوي  $N$  حامل ترددي جزئي. نقسم رموز المعلومات في المجال الترددي إلى كتل، بحيث نكتب الكتلة رقم  $n^{\text{th}}$  على هوائي الإرسال ذو الترتيب  $z^{\text{th}}$  كما يلي:

$$d_j(n) = [d_j(n, 0), d_j(n, 1), \dots, d_j(n, N - 1)]^T \quad (1)$$

يشير الرمز  $z$  إلى رقم هوائي الإرسال بحيث يكون  $1 \leq z \leq M_t$ . نفترض الآن إنَّ طول البادئة الدورية cyclic prefix يساوي إلى  $P$ ، نجري تحويل فورييه العكسي بطول  $N$  نقطة IFFT على الكتلة رقم  $n^{\text{th}}$ ، ونضيف آخر  $P$  عينة من ناتج تحويل فورييه العكسي على بداية ناتج تحويل فورييه العكسي لنحصل على شعاع من العينات في المجال الزمني والتي تمثل رمز الـ OFDM ذو الترتيب  $n^{\text{th}}$  والذي يكتب كما يلي:

$$S_j(n) = [s_j(n, N - P), \dots, s_j(n, N - 1), s_j(n, 0), \dots, s_j(n, N - 1)]^T \quad (2)$$



الشكل (2) نظام OFDM في الحزمة القاعدية بين هوائي الإرسال وهوائي الاستقبال  $i$  للانتقال من عينات الإشارة  $s_j(n)$  في الزمن المتقطع إلى الإشارة في الزمن المستمر ليتم إرسالها عبر القناة، يتم ضرب كل عينة في الشعاع  $s_j(n)$  بمرشح الإرسال  $g_{tx}[t]$ .

$$s_j[t] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=0}^{Q-1} s_j(n, \langle N - P + k \rangle_N) g_{tx}[t - (k + nQ)T] \quad (3)$$

حيث  $Q = N + P$  و  $T$  هي زمن الرمز في المجال الزمني. الحد  $\langle N - P + k \rangle_N$  يعني العينة رقم  $k^{th}$  من رمز الـ OFDM رقم  $n^{th}$ . يمكننا أن نكتب هذا الحد بالشكل  $s_j((k + nQ)T)$  نستبدل  $(k + nQ)T$  بـ  $a$ ، يمكننا بالنتيجة أن نعبر عن الإشارة المرسل في الزمن المستمر بالعلاقة:

$$s_j[t] = \sum_{a=-\infty}^{\infty} s_j(aT) g_{tx}[t - aT] \quad (4)$$

بالتالي، يتم إرسال الإشارات  $s_1[t], s_2[t], \dots, s_{M_t}[t]$  على هوائيات الإرسال، كل إشارة يتم إرسالها على هوائي الإرسال الموافق.

تعتبر هذه الإشارات عبر قناة متعددة المسارات ذات خفوت انتقائي مع التردد توصف بتابع استجابتها النبضية  $c_{ij}[t]$  بين هوائي الإرسال  $j$  وهوائي الاستقبال  $i$ . يضاف إلى هذه الإشارة ضجيج أبيض غوسي غير مترابط مكانياً  $v_i[t]$ ، يتم استقبال الإشارة على هوائي الاستقبال ذو الترتيب  $i$  لتمر عبر مرشح الاستقبال  $g_{rx}[t]$ . نرسم للاستجابة النبضية للقناة بين هوائي الإرسال  $j$  وهوائي الاستقبال  $i$  بالرمز  $h_{ij}[t]$  فيكون  $h_{ij}[t] = g_{tx}[t] * c_{ij}[t] * g_{rx}[t]$ ، ونرمز للضجيج الأبيض الغوسي على هوائي الاستقبال  $i$  بالرمز  $\eta_i[t] = v_i[t] * g_{rx}[t]$ .

بالتالي تكون الإشارة المستقبلية على هوائي الاستقبال  $i$  هي:

$$r_i[t] = \sum_{j=1}^{M_t} \sum_{a=-\infty}^{\infty} s_j(aT)h_{ij}[t - aT] + \eta_i[t] \quad (5)$$

نفترض أن الاستجابة النبضية للقناة  $h_{ij}[t]$  ذات امتداد زمني محدود  $[0, (L + 1)T]$  بحيث  $L \leq P$ ، وهذا يضمن أن الإشارة المستقبلية  $r_i[t]$  غير ملوثة برموز OFDM سابقة. بتقطيع الإشارة المستقبلية  $r_i[t]$  بمعدل  $\frac{1}{T_s} = \frac{q}{T}$ ، حيث  $q$  عدد طبيعي، تعطى الإشارة المستقبلية  $r_i[\epsilon_i + mT_s] = r_i[\epsilon_i + m\frac{T}{q}]$  بالعلاقة التالية:

$$r_i \left[ \epsilon_i + m \frac{T}{q} \right] =$$

$$\sum_{j=1}^{M_t} \sum_{a=\lfloor \frac{m}{q} \rfloor - L}^{\lfloor \frac{m}{q} \rfloor} s_j(aT)h_{ij} \left[ \epsilon_i + m \frac{T}{q} - aT \right] + \eta_i \left[ \epsilon_i + m \frac{T}{q} \right]$$

$$= \sum_{j=1}^{M_t} \sum_{l=0}^L s_j \left( \left[ \frac{m}{q} \right] T - lT \right) h_{ij} (\epsilon_i + \langle m \rangle_q \frac{T}{q} + lT) + \eta_i \left[ \epsilon_i + m \frac{T}{q} \right] \quad (6)$$

حيث  $\epsilon_i \in [0, T_s)$  هي خطأ التزامن المحتمل في أخذ العينة على هوائي الاستقبال رقم  $i$ .

بناءً على النظامين الموضَّحين في الشكلين (1) و(2)، نشكّل رموز المعلومات قبل تعديلها باستخدام تقنية OFDM كما يلي:

$$d(n, k) = [d_1(n, k), d_2(n, k), \dots, d_{M_t}(n, k)]^T \quad (7)$$

$$d_n = [d(n, 0)^T, d(n, 1)^T, \dots, d(n, N-1)^T]^T \quad (8)$$

حيث  $d_j(n, k)$  ترمز إلى رمز المعلومات على الحامل الترددي الجزئي ذو الرقم  $k$  في رمز الـ OFDM ذو الترتيب  $n$  ليتم إرساله على هوائي الإرسال  $j$ . بتجميع عدد  $J$  من رموز MIMO-OFDM نبني الرمز الشعاعي  $d(n)$  كما يلي:

$$d(n) = [d_n^T, d_{n-1}^T, \dots, d_{n-J+1}^T]^T \quad (9)$$

نرمز لمجموعة رموز MIMO-OFDM في المجال الزمني، بعد تعديل مجموعة رموز المعطيات  $d(n)$  بتعديل OFDM بالرمز  $s(n)$ ، يعبر عنه بالعلاقات التالية:

$$s(n, k) = [s_1(n, k), s_2(n, k), \dots, s_{M_t}(n, k)]^T \quad (10)$$

$$s_n = [s(n, N-1)^T, \dots, s(n, 0)^T, s(n, N-1)^T, \dots, s(n, N-P)^T]^T \quad (11)$$

$$s(n) = [s_n^T, s_{n-1}^T, \dots, s_{n-J+1}^T]^T \quad (12)$$

إن رموز MIMO-OFDM هي عبارة عن ناتج تحويل فورييه العكسي لرموز المعطيات في العلاقة (9) كما يلي:

$$s(n) = Wd(n) \quad (13)$$

حيث تعطى مصفوفة التحويل  $W$  كما يلي:

$$W(i) = \frac{1}{\sqrt{N}} [w_N^0, w_N^1, \dots, w_N^{N-1}] \quad (14)$$

$$W = [W(N-1)^T, \dots, W(0)^T, W(N-1)^T \dots, W(N-P)^T]^T \quad (15)$$

$$W = I_T \otimes W \otimes I_{N_t} \quad (16)$$

بتقطيع الإشارة المستقبلية بمعدل تقطيع  $\frac{1}{T}$ ، وذلك بتعويض قيمة  $q = 1$ ، يمكننا التعامل مع استجابة نبضية للقناة متقطعة في الزمن عوضاً عن التعامل مع استجابة نبضية مستمرة. نُمثل القناة بين مصفوفة هوائيات الإرسال ذات  $N_t$  هوائي إرسال ومصفوفة هوائيات الاستقبال ذات  $N_r$  هوائي استقبال بمرشح استجابة نبضية محدودة FIR معاملات عبارة عن مصفوفات بأبعاد  $N_r \times N_t$  والحد الأعلى لعدد المعاملات هو  $L$ . نرمز للعنصر  $h_{ij}(\epsilon_i + iT)$  في العلاقة (6) بالرمز  $h_{ij}(l)$ ، حيث  $l$  يمثل تأخير قناة MIMO كما يلي:

$$h(l) = \begin{bmatrix} h_{11}(l) & h_{12}(l) & \dots & h_{1N_t}(l) \\ h_{21}(l) & h_{22}(l) & \dots & h_{2N_t}(l) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N_r1}(l) & h_{N_r2}(l) & \dots & h_{N_rN_t}(l) \end{bmatrix} \quad (17)$$

بكتابة  $r_i[\epsilon_i + mT]$  بالشكل  $r_i[m]$ ، وإعادة ترتيب عينات الإشارة المستقبلية يمكننا أن نكتب  $r_i(n, k) = r_i(k + nQ)$ ، بالتالي نعبّر عن الإشارة المستقبلية على  $N_r$  هوائي استقبال كما يلي:

$$r(n, k) = [r_1(n, k), r_2(n, k), \dots, r_{N_r}(n, k)]^T \quad (18)$$

$$r_n = [r(n, Q-1)^T, r(n, Q-2)^T, \dots, r(n, 0)^T]^T \quad (19)$$

بتجميع  $J$  رمز MIMO-OFDM متتالي، نحصل على شعاع الإشارة المستقبلية  $r(n)$ ، وتكتب كما يلي:

$$r(n) = [r_n^T, r_{n-1}^T, \dots, r_{n-J+1}^T [1: (Q-L)N_r]^T]^T \quad (20)$$

وينفس الطريقة نكتب  $\eta_i[\epsilon_i + mT]$  بالشكل  $\eta_i[m]$ ، وبإعادة ترتيب عينات الضجيج يمكننا أن نكتب  $\eta_i(n, k) = \eta_i(k + nQ)$ ، بالتالي نعبر عن الضجيج على  $N_r$  هوائي استقبال كما يلي:

$$\eta(n, k) = [\eta_1(n, k), \eta_2(n, k), \dots, \eta_{N_r}(n, k)]^T \quad (21)$$

$$\eta_n = [\eta(n, Q-1)^T, \eta(n, Q-2)^T, \dots, \eta(n, 0)^T]^T \quad (22)$$

$$\eta(n) = [\eta_n^T, \eta_{n-1}^T, \dots, \eta_{n-J+1}^T [1: (Q-L)N_r]^T]^T \quad (23)$$

نعرف مصفوفة القناة  $H$  ذات الأبعاد  $JQ-L \times JQN_t$  كما يلي:

$$H = \begin{bmatrix} h(0) & \dots & h(L) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & h(0) & \dots & h(L) & \dots & 0 \\ & & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots \\ 0 & \dots & 0 & h(0) & \dots & h(L) \end{bmatrix} \quad (24)$$

باستخدام مصفوفة القناة في العلاقة (24)، يمكن التعبير عن الإشارة المستقبلية في العلاقة (20) بدلالة الإشارة المرسله كما يلي:

$$r(n) = Hs(n) + \eta(n) = HWd(n) + \eta(n) = Ed(n) + \eta(n) \quad (25)$$

حيث  $\eta(n)$  شعاع ضجيج غوصي عقدي ذو متوسط معدوم ومصفوفة تغاير مستقل زمنياً ومكانياً على هوائيات الاستقبال.  $\sigma_{\eta}^2 I_{(JQ-L)N_r}$

يتم في المرحلة الأولى من فكّ تعديل OFDM حذف البادئة الدورية cyclic prefix من رموز MIMO-OFDM ويتم ذلك باستخدام المصفوفة  $R_{cp}$  المعرفة بالعلاقة:

$$R_{cp} = \begin{bmatrix} I_{N_r N} & 0_{N_r N \times N_r N_g} \end{bmatrix} \quad (26)$$

بما أنّ الإشارة المستقبلية  $r(n)$  هي عبارة عن تجميع  $J$  رموز MIMO-OFDM تؤول علاقة المصفوفة  $R_{cp}$  إلى الشكل:

$$R_{cp} = I_J \otimes \begin{bmatrix} I_{N_r N} & 0_{N_r N \times N_r N_g} \end{bmatrix} \quad (27)$$

$$r_{cp\text{removed}}(n) = R_{cp} H W d(n) + \eta(n) \quad (28)$$

ثمّ نستخدم تحويل فورييه FFT للحصول على المعطيات المحمولة على الحوامل الترددية الجزئية subcarriers، بحيث يقتصر تأثير القناة ذات المسارات المتعددة والتي تبدي خفوتاً انتقائياً مع التردد على ضرب المعطيات على الحوامل الترددية بمصفوفات  $H(k); k = 0, 1, \dots, N - 1$ ، أي تتحوّل القناة إلى قناة مسطحة ترددياً flat fading channel. كما يلي:

$$y(n) = W^H R_{cp} H W d(n) + \eta(n) \quad (29)$$

إنّ المصفوفة  $H$  المعرفة في العلاقة (24) هي ذات تناظر دائري كتلي . وحسب خصائص المصفوفات ذات التناظر الدائري الكتلي فإنّ ناتج الجداء  $W^H R_{cp} H W$  هو عبارة عن مصفوفة  $D(H)$  قطرية كتلياً [8]، حيث:

$$D(H) = I_J \otimes \begin{bmatrix} H(0) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & H(1) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & H(N - 1) \end{bmatrix} \quad (30)$$



حيث:

$$H(k) = \sum_{l=0}^L h(l)e^{-2\pi j \frac{kl}{N}} \quad (31)$$

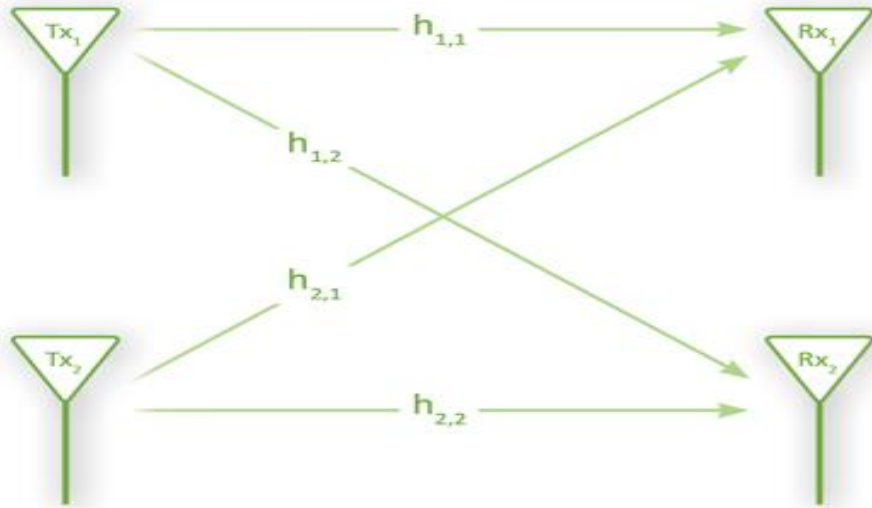
بالتالي تصبح العلاقة (29) كما يلي:

$$y(n) = D(H)d(n) + \eta(n) \quad (32)$$

أي أن المعطيات على الحامل الترددي ذو الترتيب  $k$  في رمز الـ MIMO-OFDM تُضرب بالمصفوفة الموافقة  $H(k)$ .

### 5. ترميز [5] Alamouti

إن تعدد الهوائيات يُكسب نظام الاتصالات ربحاً في الأداء أطلقنا عليه ربح التنوع  $diversity\ gain$ . يبدو ربح التنوع واضحاً في احتمال الخطأ، حيث يتناقص احتمال الخطأ مع القوة من المرتبة  $L$  لنسبة الإشارة إلى الضجيج SNR



الشكل (3) قناة  $2 \times 2$  MIMO

كما رأينا أنَّ تعدُّد الهوائيات من طرف المرسل يفرض مسائل متعلِّقة بالترميز وخاصَّة ترميز Space-time block coding. تمكَّن ترميز Space-time block coding من الاستفادة من تعدُّد الهوائيات من طرف المرسل، حيث إنَّ ربح التنوُّع في حالة قناة MIMO 2 × 2 من دون استخدام ترميز Space-time block coding يساوي إلى 2. ولكن استخدام هذه الترميز يزيد ربح تنوع قناة MIMO 2 × 2 إلى 4 وهي القيمة الأعظميَّة لربح التنوُّع في هذه القناة. يعتبر ترميز Alamouti 2 × 2 من الترميز البسيطة والفعَّالة لقناة MIMO 2 × 2 الموضَّحة بالشكل (3).

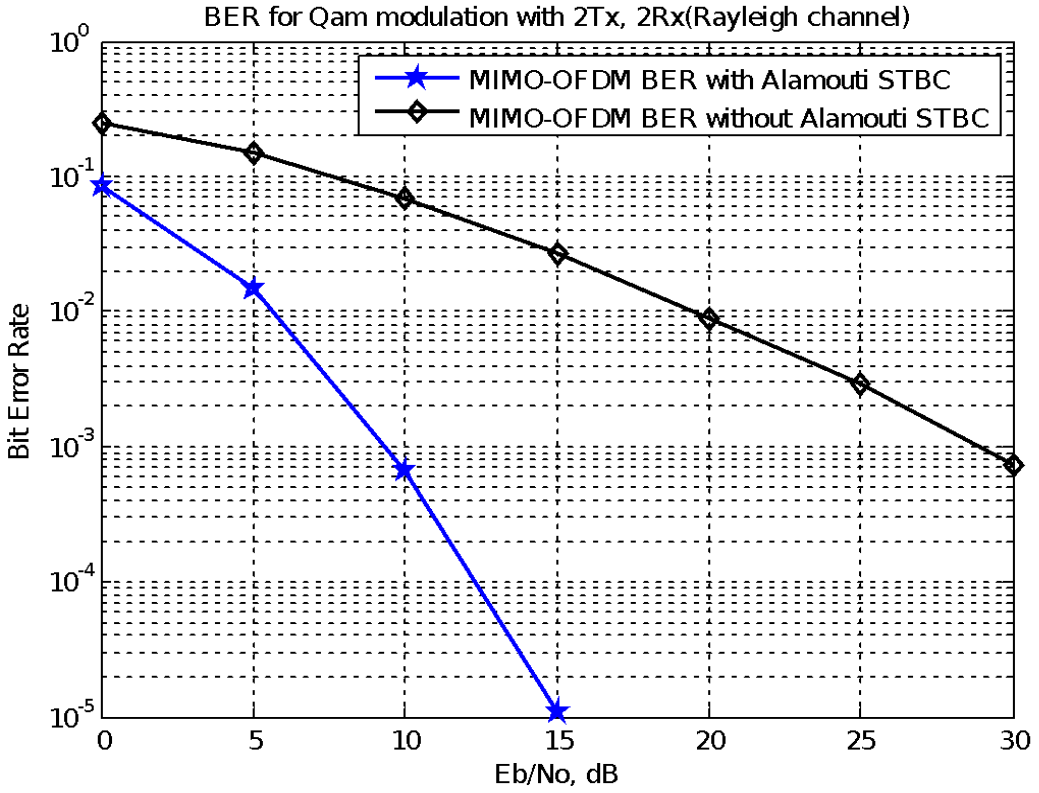
تعطى الإشارة المستقبلية على هوائِي الاستقبال في الحصَّة الزمنيَّة الأولى بالعلاقة:

$$[y_1^1 \ y_2^1] = [h_{11} \ h_{12} \ h_{21} \ h_{22}] [x_1 \ x_2] + [\eta_1^1 \ \eta_2^1] \quad (33)$$

والإشارة المستقبلية على هوائِي الاستقبال في الحصَّة الزمنيَّة الثانيَّة:

$$[y_1^2 \ y_2^2] = [h_{11} \ h_{12} \ h_{21} \ h_{22}] [-x_2^* \ x_1^*] + [\eta_1^2 \ \eta_2^2] \quad (34)$$

في نظام MIMO-OFDM يتمُّ إرسال الشعاع  $[x_1 \ x_2]$  على أحد الحوامل التردُّدية الجزئيَّة في رمز MIMO-OFDM، ليتَّم إرسال الشعاع  $[-x_2^* \ x_1^*]$  على نفس الحامل التردُّدي الجزئيِّ في رمز MIMO-OFDM التَّالي. لذلك، نعتبر أنَّ القناة ثابتة على طول رمز MIMO-OFDM. يمثَّل العنصر  $h_{ij}$  في المصفوفة  $H(k)$  الموافقة للحامل التردُّدي الجزئيِّ الَّذي استُخدم لإرسال شعاعيَّ المعطيات.



الشكل (4) أداء قناة MIMO 2 × 2-OFDM مع ترميز Alamouti وبدونه

بدمج العلاقتين (33) و (34) في علاقة مصفوية واحدة نحصل على:

$$\begin{bmatrix} y_1^1 & y_2^1 & y_1^{2*} & y_2^{2*} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{21} & h_{22} & h_{12}^* & -h_{11}^* & h_{22}^* & -h_{21}^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \eta_1^1 & \eta_2^1 & \eta_1^{2*} & \eta_2^{2*} \end{bmatrix} \quad (35)$$

نعرف المصفوفة H :

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{21} & h_{22} & h_{12}^* & -h_{11}^* & h_{22}^* & -h_{21}^* \end{bmatrix} \quad (36)$$

نستخدم مقلوب تقريبي للمصفوفة  $H$  معطى بالعلاقة:

$$(H^H H)^{-1} H^H \quad (37)$$

بالتالي يتم كشف الشعاع المرسل كما يلي:

$$[\widehat{x_1 \ x_2^*}] = (H^H H)^{-1} H^H [y_1^1 \ y_2^1 \ y_1^{2*} \ y_2^{2*}] \quad (38)$$

يمثل الشكل (4) أداء القناة مع ترميز Alamouti ومن دونه. نلاحظ أن استغلال ربح التنوع Diversity الذي يوفره تعدد الهوائيات من قبل المرسل قد حسن أداء القناة من ناحية احتمال الخطأ بشكل ملحوظ. حيث نلاحظ أن ميل منحني الخطأ يتناقص مع القوة من المرتبة الرابعة لنسبة الإشارة إلى الضجيج في حالة استخدام ترميز Alamouti، عوضاً عن تناقصه مع القوة من المرتبة الثانية في حال عدم استخدام الترميز.

مما تقدم نجد أن الكشف المتماسك للمعطيات المرسله عبر قناة MIMO-OFDM يتطلب معرفة الاستجابة النبضية للقناة من قبل المستقبل. لا تلبى الطرق التقليدية في تقدير استجابة القناة حاجة التعرف الأتوماتيكي على التعديل، لأن هذه الطرق تعتمد على إرسال سلسلة معطيات معروفة لدى المرسل والمستقبل على حوامل ترددية معروفة يطلق عليها اسم Pilots، ولكن بطبيعة الحال لن يكون التعديل المستخدم من قبل المرسل معروفاً لدى المستقبل. إضافة إلى أن تقدير القناة اعتماداً على تلك الطرق يتطلب كمية معلومات كبيرة قد تؤثر على أداء نظام الاتصالات [7]. لذلك، نعتمد على طرق التقدير الأعمى للاستجابة النبضية للقناة.

## 6. التعرف الأوتوماتيكي على نوع التعديل Automatic modulation recognition

تقوم خوارزميات التعرف على نوع التعديل modulation recognition بكشف نوع تعديل الإشارات المستقبلية، بما يضمن فك تعديل هذه الإشارات بشكل صحيح، وكشف

الإشارات المرسلّة. أغلب خوارزميّات التّعرفّ على نوع التّعدّيل تمّ العمل عليها في قنوات (SISO) (Single Input Single Output). تُصنّف هذه الخوارزميّات إلى مجموعتين: تعتمد المجموعة الأولى من خوارزميّات التّعرفّ على نهج نظري في اتّخاذ القرار decision theoretic approach، بينما تعتمد المجموعة الثّانية على نهج التّعرفّ على الأنماط pattern recognition على اعتبار كل نوع تعديل هو نمط له مميّزاته الخاصّة. يعتبر decision theoretic approach حلّ احتمالي يعتمد على معرفة التوزيعات الاحتمالية للإشارات المستقبلية. بالمقابل، يعتمد نهج التّعرفّ على الأنماط pattern recognition على استخلاص مميّزات خاصّة من الإشارات المستقبلية تدعى features. يُقسّم نظام التّعرفّ على الأنماط إلى جزأين: جزء استخلاص المميّزات الخاصّة (features)، وجزء التّصنيف بناءً على المميّزات الخاصّة المستخلّصة في الجزء الأوّل (classifier). يتميّز نهج التّعرفّ على الأنماط بسهولة تنفيذه مقارنة بالنهج النظري في اتّخاذ القرار، كما أنّ نتائجه أمثليّة تقريباً في حال اختيار مجموعة مناسبة من المميّزات الخاصّة للتصنيف [7].

#### 7. استخلاص المميّزات الخاصّة features extraction

يُعتبر اختيار المميّزات الخاصّة للتّعرفّ أحد الجوانب الأساسيّة في التّعرفّ على نوع التّعدّيل. بيّنت الدراسات السّابقة في أنظمة SISO، إنّ العزوم من مراتب عليا (HOS) والتراكيب اللّاحظيّة من هذه العزوم و التي تدعى Higher Order Cumulants (HOC) للإشارات المستقبلية من بين أفضل المميّزات التي يمكن الاعتماد عليها في التّعرفّ على نوع التّعدّيل [6]. تُعرّف العزوم من المرتبة k للإشارة x بالعلاقة:

$$M_{km} = E[x^{k-m}(x^*)^m] \quad (39)$$

وتُعرّف الـ Cumulants من المرتبة  $k$  للإشارة  $x$  بالعلاقة:

$$C_{km}(x) = \text{cum} \left( x, \dots, x \text{ بـ } (k-m) \text{ times}, x^*, \dots, x^* \text{ بـ } m \text{ times} \right) \quad (40)$$

تعطى العلاقة بين العزوم من المرتبة العليا والـ Cumulants كما يلي [7]:

$$\text{Cum}[x_1, \dots, x_n] = \sum_{\emptyset} (\alpha - 1)! (-1)^{\alpha-1} \prod_{v \in \emptyset} E \left( \prod_{i \in v} x_i \right) \quad (41)$$

حيث  $\emptyset$  مجموعة جميع أجزاء المجموعة  $v$ .  $\{1, \dots, n\}$  هي أحد المجموعات الجزئية المنتمية إلى  $\alpha$ .  $\emptyset$  عدد العناصر في التقسيم.  $\emptyset$  كما يظهر من العلاقة، فإنّ تقدير قيم العزوم من المرتبة  $k$  يقود إلى تقدير الـ Cumulants من المرتبة  $k$ . يمكن تقدير العزوم من المرتبة  $k$  لإشارة  $x$  ممثلةً بـ  $N$  عينةً بالعلاقة التالية:

$$\widehat{M}_{km}(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(i)^{k-m} (x(i)^*)^m \quad (42)$$

نفترض في العلاقات السابقة، أنّ الإشارة  $x$  ذات متوسط إحصائي معدوم (إشارة ممرّكة)، كما نفترض أنّها ذات استطاعة متوسطة تساوي إلى الواحد أي  $C_{21} = 1$ . يمكن تقييس الإحصائيات من المرتبة  $k$  كما يلي:

$$\widetilde{M}_{km}(x) = \frac{\widehat{M}_{km}(x)}{\widehat{M}_{21}^{\frac{k}{2}}(x)} \quad (43)$$

$$\widetilde{C}_{km}(x) = \frac{\widehat{C}_{km}(x)}{\widehat{C}_{21}^{\frac{k}{2}}(x)} \quad (44)$$

سنستخدم العزوم والـ (HOS) Cumulants للإشارات المستقبلية حتى المرتبة السادسة كميزات خاصة للتعرف على نوع التعديل المستخدم، عبر إدخالها إلى شبكة عصبونية متعددة الطبقات. يوضح الجدول (1) القيم النظرية للإحصائيات حتى المرتبة السادسة لبعض أنواع التعديل الرقمية، والتي سيتم اعتمادها كمجموعة أنواع التعديل التي سيتم التعرف عليها.

لزيادة سرعة تعليم الشبكة العصبونية وزيادة صحة التعرف، سنختار مجموعة جزئية أمثلة من مجموعة المميزات الخاصة من أجل عملية التصنيف. نختار المجموعة الجزئية من العزوم والـ Cumulants بناءً على خوارزمية تحليل المكون الأساسي principal component analysis (PCA). نقوم في البداية بتقييم المميزات الخاصة المستخلصة من الإشارات المستقبلية للتأكد من أنها ذات متوسط معدوم وتباين يساوي إلى الواحد. تقوم خوارزمية PCA ببناء تمثيل للمميزات الخاصة ذو أبعاد أقل من أبعاد المميزات الخاصة نفسها (15 في حالتنا هذه). يصف التمثيل ذو الأبعاد المخفضة الناتج عن تطبيق خوارزمية PCA تباين المميزات الخاصة بشكل أساسي. تعتبر خوارزمية PCA كتحويل خطي يُنتج مكونات متعامدة للمعلومات، ثم تُرتب هذه المكونات المتعامدة بحيث يأتي المكون ذو التغيير الأعظمي في البداية، يتبعه المكونات ذوات التغييرات الأقل. إذن، تؤمن خوارزمية PCA طريقة لتخفيض عدد أبعاد مجموعة معقدة من المعطيات، بحيث تظهر ما تخفيه من معلومات.

	2-PSK	4-PSK	8-PSK	4-ASK	8-ASK	16-QAM	64-QAM
C20	1	0	0	1	1	0	0
M40	1	1	0	1.64	1.77	-0.67	-0.18
M41	1	0	0	1.64	1.77	0	0
M42	1	1	1	1.64	1.77	1.32	1.34
C40	-2	1	0	-1.36	-1.24	-0.68	-0.62
C41	-2	0	0	-1.36	-1.24	0	0
C42	-2	-1	-1	-1.36	-1.24	-0.68	-0.62
M60	1	0	0	2.92	3.62	0	0
M61	1	-1	0	2.92	3.62	-1.32	0.38
M63	1	1	1	2.92	3.62	1.96	2.08
C60	16	0	0	8.32	7.19	0	0
C61	16	-4	0	8.32	7.19	2.08	1.8
C62	16	0	0	8.32	7.19	0	0
C63	16	4	4	8.32	7.19	2.08	1.8

الجدول (1) القيم النظرية لبعض أنواع التعديل الرقمية

## 8. خوارزمية تحليل المكون الأساسي principal component analysis (PCA)

تعتبر خوارزمية المكونات الأساسية من أهم النتائج التطبيقية للجبر الخطي. تُستخدم خوارزمية المكونات الأساسية لتحليل كافة أشكال المعطيات، لأنها طريقة بسيطة ولامعلمية nonparametric لاستخراج المعلومات المفيدة من مجموعة معطيات ذات دلالات غير واضحة [9]. في النظام المقترح للتعرف على نوع التعديل، تمثل المميزات الخاصة features المستخرجة من الإشارات المستقبلية مجموعة المعطيات التي سيتم تحليلها باستخدام خوارزمية المكون الأساسي PCA. ذكرنا في الفقرة السابقة إن المميزات الخاصة هي العزوم والـ Cumulants حتى المرتبة السادسة. كل نقطة في مجموعة



المعطيات هذه، هي عبارة عن شعاع ضمن فضاء شعاعي عدد أبعاده يساوي إلى  $m$ ، حيث  $m$  تساوي إلى عدد المميزات الخاصة المستخرجة من الإشارة المستقبلية. تقوم خوارزمية PCA ببناء أساس لفضاء جزئي ذو أبعاد أقل من  $m$ ، بما يجعل التغيرات البيني والترباط الذاتي للمعطيات في الفضاء الجديد أعظم ما يمكن، وهذا يعني تقليل أثر التكرار redundancy والضجيج في المعلومات التي تمثلها مجموعة المعطيات. سنشرح فيما يلي أثر كل من الضجيج والتكرار على مفهومية المعطيات وعلى كمية المعلومات التي يمكن استخلاصها منها.

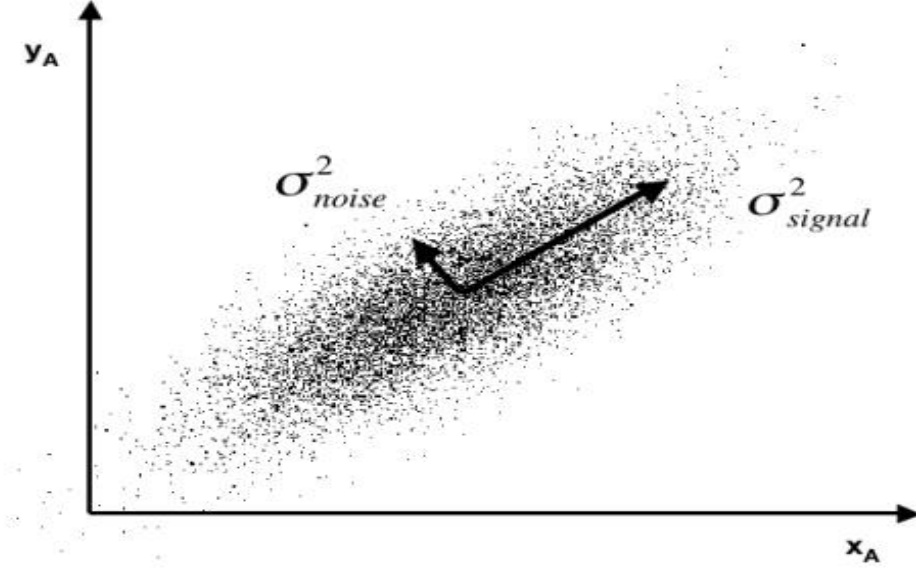
### 9. أثر الضجيج

يجب أن يكون الضجيج منخفض في أي مجموعة معطيات، وإلا لن نتمكن من استخلاص أي معلومات مفيدة -مهما كانت تقنية تحليل المعطيات المستخدمة- من مجموعة المعطيات. لا يوجد مقياس مطلق للضجيج، وإنما يتم قياس الضجيج بالنسبة إلى المعطيات. تعتبر نسبة تباين variance المعطيات إلى تباين الضجيج SNR مقياساً عاماً لكمية الضجيج في المعطيات.

$$SNR = \frac{\sigma_{\text{signal}}^2}{\sigma_{\text{noise}}^2} \quad (45)$$

يمكن أن نشرح أثر الضجيج بيانياً على مجموعة معطيات ذات بعدين  $(X_A, Y_A)$  مرتبطة بعلاقة خطية كما يوضح الشكل (5). يظهر أثر الضجيج في الشكل (5) بانتشار نقاط المعطيات بعيداً عن الخط المستقيم المعبر عن علاقة مسطوي تلك النقاط. يظهر تباين الإشارة  $\sigma_{\text{signal}}^2$  وتباين الضجيج  $\sigma_{\text{noise}}^2$  واضحاً في الشكل، بحيث تعطي نسبتهم

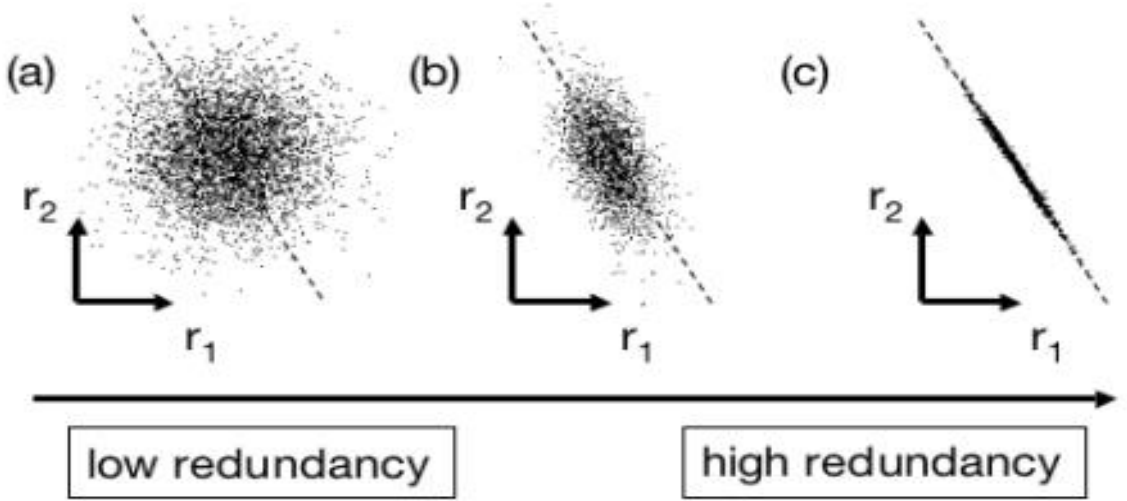
قيمة SNR. كلما كانت قيمة SNR أكبر كلما اقتربت نقاط المعطيات من منحى العلاقة الخطية والعكس بالعكس.



الشكل (5) أثر الضجيج على مجموعة من المعطيات ذات بعدين. يظهر تباين الإشارة  $\sigma_{\text{signal}}^2$  وتباين الضجيج  $\sigma_{\text{noise}}^2$  واضحاً في الشكل.

### 10. أثر التكرار redundancy effect

في هذه الحالة يكون الترابط البيني cross correlation بين أبعاد الفضاء الشعاعي الذي يحوي مجموعة المعطيات كبيراً. يوضح الشكل (6) توزع بياني لمجموعة معطيات ذات بعدين.



الشكل (6) توزيع بياني لمعطيات ببعدين  $(r_1, r_2)$  يوضّح التكرار المحتمل للمعلومات في مجموعة البيانات.

نلاحظ في التوزيع (a) أنه لا يوجد تكرار للمعلومات وفق البعدين  $r_1, r_2$ . بمعنى آخر، المنحيين  $r_1, r_2$  غير مترابطين وقيمة الترابط البيني بينهما معدومة. بالمقابل، نلاحظ إن المنحيين في التوزيع (c) مرتبطين بعلاقة خطية بالتالي يمكن حذف أحد البعدين دون التقليل من كمية المعلومات التي تحملها مجموعة المعطيات، وهنا تكمن الفكرة الأساسية لتقليل أبعاد الفضاء الشعاعي الحاوي على مجموعة المعطيات دون التقليل من كمية المعلومات التي تحملها. إن أبعاد نقاط المعطيات التي نحصل عليها من الإشارات المستقبلية يساوي إلى 14 ، نستخدم خوارزمية PCA لتقليل التكرار وتخفيض أبعاد مجموعة المعطيات إلى 7.

### 11. مصفوفة التغيرات covariance Matrix

وجدنا أنَّ قيمة SNR تُحسب بحساب تباين الإشارة وتباين الضجيج، وتدلُّ قيمتها على أثر الضجيج على مجموعة المعطيات . لتحديد مقدار التكرار في المعلومات التي تحملها مجموعة معطيات متعدّدة الأبعاد نحسب تباين covariance أبعاد الفضاء الشعاعي الحاوي على مجموعة المعطيات عن بعضها البعض. ليكن لدينا مجموعة معطيات ذات بعدين  $A = \{a_1, \dots, a_n\}$  و  $B = \{b_1, \dots, b_n\}$  وتباين  $A$  وتباين  $B$  يعرفان بالعلاقتين:

$$\sigma_A^2 = \langle a_i a_i \rangle_i \quad (46)$$

$$\sigma_B^2 = \langle b_i b_i \rangle_i \quad (47)$$

حيث  $\langle \cdot \rangle_i$  يرمز إلى متوسط القيم ذات الدلالة  $i$ . يعرف التغيرات بين  $A$  و  $B$  كما يلي:

$$\text{covariance of } A \text{ and } B \equiv \sigma_{AB}^2 = \langle a_i b_i \rangle_i \quad (48)$$

لتوضيح مفهوم التغيرات بين  $A$  و  $B$  نذكر إنَّ:

$\sigma_{AB}^2 = 0$  إذا فقط إذا كان  $A$  و  $B$  غير مرتبطين uncorrelated، بمعنى أنَّ أحدهما يحمل كامل معلومات الآخر .

$$\sigma_{AB}^2 = \sigma_A^2 \quad \text{إذا كان } A = B.$$

يمكن التعبير عن التغيرات بين  $A$  و  $B$  كجاء داخلي في حال عبّرنا عنهما كأشعة كما يلي:

$$a = [a_1, \dots, a_n] \quad (49)$$

$$b = [b_1, \dots, b_n] \quad (50)$$

عندئذٍ يكون:

$$\sigma_{ab}^2 = \frac{1}{n-1} ab^T \quad (51)$$

نعرف الآن مصفوفة  $X$  ذات أبعاد  $m \times n$  كما يلي:

$$X = [x_1 : x_n] \quad (52)$$

يمثل كل شعاع  $x_i$  في المصفوفة  $X$  نقطة في مجموعة المعطيات المكوّنة من  $n$  نقطة.

نصل الآن إلى تعريف لمصفوفة التّغاير كما يلي:

$$S_X = \frac{1}{n-1} XX^T \quad (53)$$

يمثل العنصر  $ij^{th}$  في المصفوفة  $S_X$  الجداء السّلمي للشّعاعين  $x_i$  و  $x_j$  الممثلين لنقطتين

في مجموعة المعطيات. نذكر النّقاط التّالية حول مصفوفة التّغاير  $S_X$ :

- المصفوفة  $S_X$  مصفوفة مربعة  $m \times m$  متناظرة.
- العناصر القطريّة للمصفوفة  $S_X$  تمثّل قيم التّرابط الذاتي للمناحي المختلفة المكوّنة لفضاء مجموعة المعطيات.
- العناصر غير القطريّة للمصفوفة  $S_X$  تمثّل قيم التّرابط البيني للمناحي المختلفة المكوّنة لفضاء مجموعة المعطيات.

إنّ حساب مصفوفة التّغاير  $S_X$  يكتمّ قيم التّرابط بين جميع مناحي المعطيات. بحيث إذا

كانت قيمة التّرابط بين أي زوج من المناحي كبيرة، نكون أمام حالة مشابهة للشكل (5)

(c)، وإذا كانت قيمة التّرابط صغيرة نكون أمام حالة مشابهة للشكل (5) (a). بالتّالي،

إذا كان لدينا إمكانية إعادة بناء المصفوفة  $S_X$  بما يقلّل التكرار في المعلومات التي

تحملها مجموعة المعطيات الممثلة بالمصفوفة  $X$ ، لكننا أخذنا بعين الاعتبار بناء مصفوفة

ترابط  $S_Y$  قطريّة. يوجد العديد من الطّرق للحصول على مصفوفة قطريّة  $S_Y$  من

المصفوفة  $S_X$ ، تختار خوارزمية PCA تحويلاً خطياً كما في العلاقة:

$$Y = PX \quad (54)$$

حيث تمثل أعمدة المصفوفة  $P$  أساساً نظامياً  $\{p_1, \dots, p_m\}$ . ترتب خوارزمية PCA الاتجاهات من حيث الأهمية بحيث تعتبر الاتجاهات ذات التباينات الذاتية الأكبر هي الأكثر أهمية، ومن هنا أتت تسمية الخوارزمية تحليل المكونات الأساسية.

## 12. حل خوارزمية PCA: الأشعة الذاتية (eigenvectors) لمصفوفة التغيرات

يتمثل حل الخوارزمية PCA بإيجاد المصفوفة  $P$  المعرفة بالعلاقة (54)، بحيث تكون أعمدة المصفوفة متعامدة وذات طولية تساوي إلى واحد. تدعى المصفوفة التي تحقق ذلك Orthonormal Matrix. وبهذا تكون مصفوفة الترابط  $S_Y = \frac{1}{n-1} Y Y^T$  مصفوفة قطرية. أسطر المصفوفة  $P$  هي المكونات الأساسية لمجموعة المعطيات الممثلة بالمصفوفة  $X$ .

لدينا :

$$S_Y = \frac{1}{n-1} Y Y^T \quad (55)$$

نعوض العلاقة (54) في العلاقة (55) فنحصل على:

$$\begin{aligned} S_Y &= \frac{1}{n-1} (PX)(PX)^T \\ &= \frac{1}{n-1} P X X^T P^T \\ &= \frac{1}{n-1} P A P^T \quad (56) \end{aligned}$$

تتميز المصفوفة  $A$  بأنها مصفوفة متناظرة، لذلك يمكن كتابة هذه المصفوفة بالشكل التالي:

$$A = EDE^T \quad (57)$$

حيث  $D$  مصفوفة قطريّة، و  $E$  مصفوفة الأشعة الذاتية للمصفوفة  $A$  بحيث كل عمود في  $E$  هو شعاع ذاتي. عدد الأشعة الذاتية المتعامدة للمصفوفة  $A$  يساوي إلى  $r$ ، حيث  $r$  رتبة المصفوفة و  $r \leq m$ . لذلك، نختار  $(m - r)$  شعاعاً متعامداً لمليّ المصفوفة  $E$ . لا تؤثر الأشعة المضافة إلى الأشعة الذاتية على الحل النهائي للخوارزمية لأنّ ترابطها البيئي معدوم. نختار الآن المصفوفة  $P$  بحيث يكون كل صف  $p_i$  شعاعاً ذاتياً للمصفوفة  $XX^T$ ، أي  $P = E^T$ . نعوض في العلاقة (56) فنحصل على:

$$S_Y = \frac{1}{n-1} E^T A E$$

$$S_Y = \frac{1}{n-1} (E^T E) D (E^T E)$$

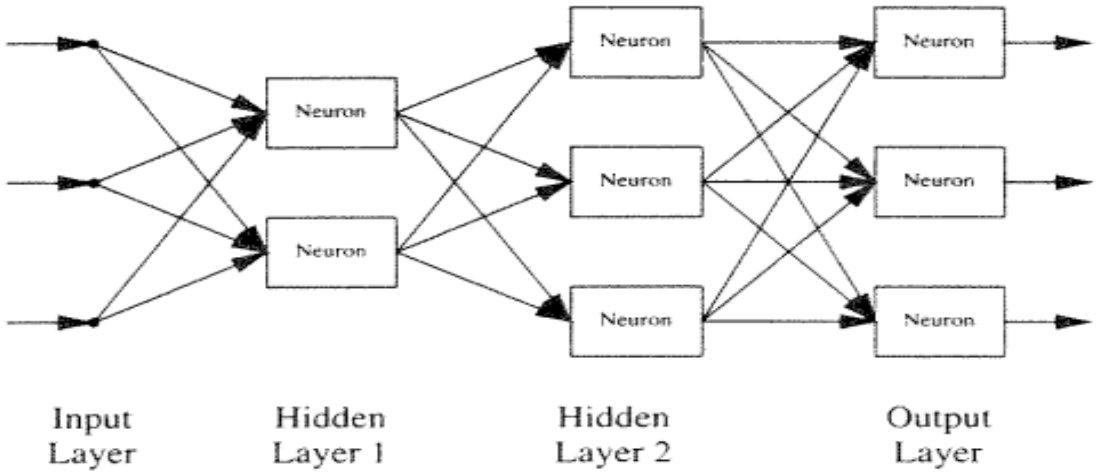
$$S_Y = \frac{1}{n-1} D \quad (57)$$

قادنا التحويل الخطّي الممثل بالمصفوفة  $P$  إلى مصفوفة ترابط قطريّة  $S_Y$ . نلخص فيما يلي النتائج التي حصلنا عليها حتّى الآن:

- المكوّنات الأساسيّة لمجموعة المعطيات الممثلة بالمصفوفة  $X$ ، هي الأشعة الذاتية للمصفوفة  $XX^T$ ، أو صفوف المصفوفة  $P$ .
- القيمة القطريّة  $i^{\text{th}}$  للمصفوفة  $S_Y$  تمثل ترابط المصفوفة  $X$  وفق المنحى  $p_i$ .

### 13. التّصنيف بالاعتماد على الشبكات العصبونية Neural Network Classifier

يمكن التعامل مع مسألة تحديد نوع التعديل كمسألة تُعرّف على الأنماط pattern recognition. تُعتبر الشبكات العصبونية الصناعية Artificial Neural Networks (ANN) واحدة من أفضل الحلول لمسائل التعرف على الأنماط ، لذلك ركّزت العديد من الأبحاث على استخدام الشبكات العصبونية للحصول على أداء عالٍ في تحديد نوع التعديل أوتوماتيكياً [6] .



الشكل (7) توضيح لطبقات العصبونات في الشبكة العصبونية الصناعية

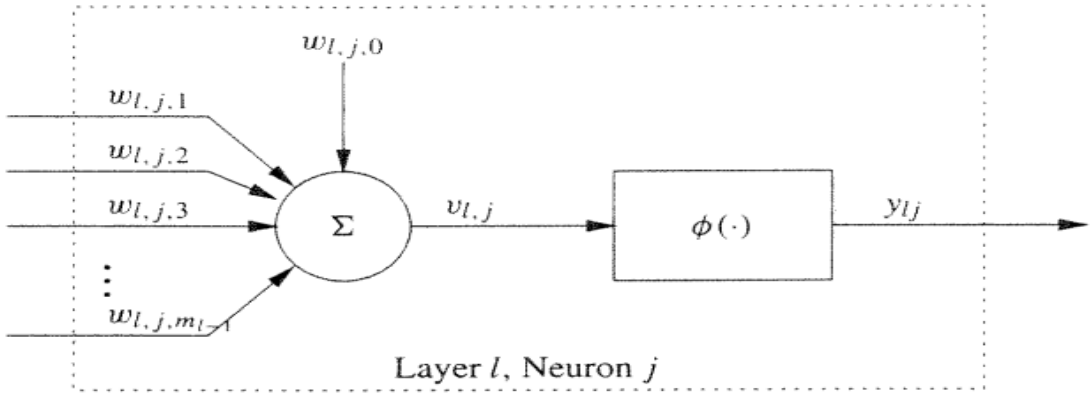
تُعرّف الشبكة العصبونية بأنها مجموعة من العناصر الحسابية البسيطة المرتبطة ببعضها البعض، والتي تُدرّب لأداء وظيفة حسابية مُحدّدة، كالتعرف على الأنماط [6]. يوجد العديد من البنى للشبكات العصبونية، بالاعتماد على البنية المختارة للشبكة العصبونية يتم اختيار خوارزمية التدريب. تُعتبر الشبكة العصبونية المتعددة الطبقات multilayer perceptron من أكثر بُنى الشبكات العصبونية شيوعاً وقوة. تتألف



الشبكة العصبونية المتعددة الطبقات من مجموعة من العناصر الحسابية البسيطة، والتي يُطلق عليها اسم عصبونات neurons، مُرتبطة ببعضها عن طريق أوزان.

الطبقة الأخيرة في الشبكة العصبونية المتعددة الطبقات هي طبقة الخرج output layer، يوجد طبقة مخفية أو أكثر hidden layers لتنفيذ العمليات الحسابية المطلوبة، بالإضافة إلى طبقة دخل input layer والتي لا تحتوي أي عصبونات وإنما تتلخص وظيفتها بتوزيع الدّخل إلى الطبقة المخفية الأولى في الشبكة.

يوضّح الشكل (8) مثلاً عن عصبون neuron له معاملات هي عبارة عن أوزان يتم ضبطها وفق خوارزمية تدريب لتقوم الشبكة بوظيفتها النهائية.



الشكل (8) عصبون صناعي artificial neuron

يتم جمع الأوزان بعملية خطية ثم تمرير النتيجة إلى تابع لا خطي  $\phi(\cdot)$ . من المهم وجود التابع اللاخطي  $\phi(\cdot)$ ، فمن دونه لن تكون الشبكة قادرة على تقريب التوابع اللاخطية. يتم تدريب الشبكة العصبونية باستخدام خوارزميات يطلق عليها اسم supervised training algorithm، تستخدم هذه الخوارزميات مجموعة من معطيات

الدَّخْلُ المعروفة الخرج. سنستخدم لتدريب الشبَّكة العصبونيَّة خوارزميَّة resilient back propagation rprop. تقوم هذه الخوارزميَّة بضبط أوزان الشبَّكة العصبونيَّة ليقترَب خرجها من الخرج المرغوب من أجل دخل معيَّن.

تتألَّف معطيات التدريب من  $N$  عيِّنة، كل عيِّنة تتألَّف من الدَّخْل والخرج الموافق المرغوب. نرسم لمعطيات الدَّخْل بالشُّعاع  $x(n), n = 1, \dots, N$  وللخرج الموافق المرغوب لكلُّ شعاع دخل بالزَّمز  $d(n), n = 1, \dots, N$ . نرسم لخرج الشبَّكة العصبونيَّة الموافق للدخل  $x(n)$  بالزَّمز  $y(n)$ . بالتَّالي، يكون مربَّع خطأ الخرج الموافق لعيِّنة التدريب  $(x(n), d(n))$  معطى بالعلاقة:

$$\varepsilon(n) = \frac{1}{2} \|d(n) - y(n)\|^2 \quad (58)$$

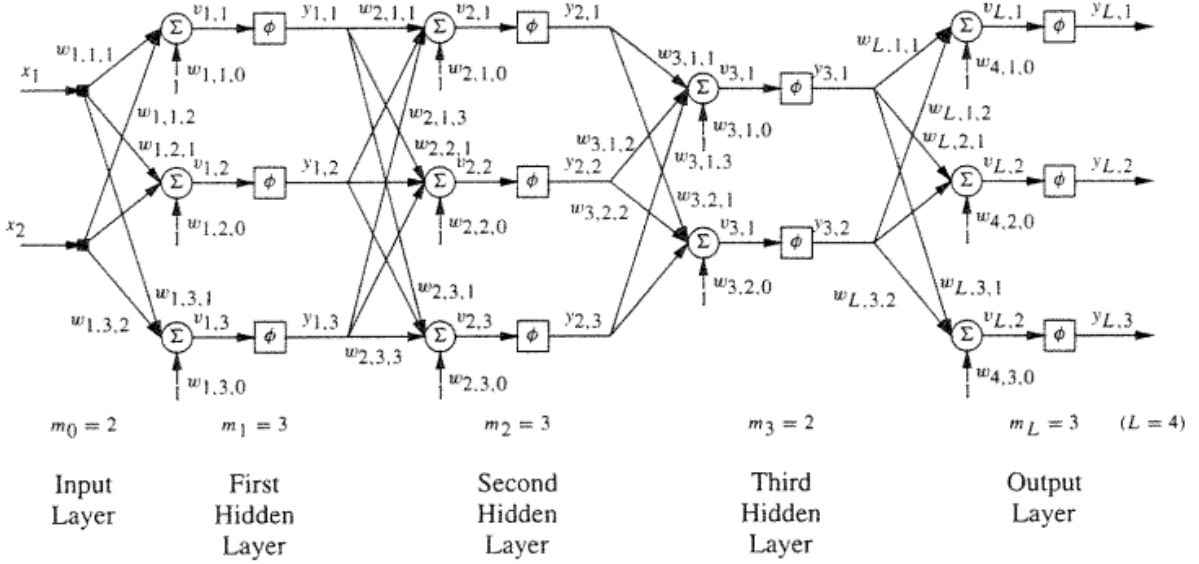
فيكون متوسطُّ الخطأ على كل عيِّنات التَّدريب:

$$\varepsilon_{av} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \varepsilon(n) \quad (59)$$

يهدف تدريب الشبَّكة العصبونيَّة إلى ضبط أوزان الشبَّكة بما يعطي القيمة الصُّغرى للخطأ  $\varepsilon_{av}$ . بعد انتهاء عملية التدريب، يمكن استخدام الشبَّكة لأداء وظيفتها. فعلى سبيل المثال، في حالة التَّعرُّف على الأنماط pattern recognition نعتد على خرج الشبَّكة لتصنيف أشعة المميِّزات الخاصَّة على دخل الشبَّكة إلى صفوفها.

## 14. خوارزمية [21] resilient Backpropagation rprop

لشرح خوارزمية resilient backpropagation لتدريب الشبكات العصبونية، نوضّح مجموعة من الرموز الخاصة ببنية الشبكة كما يوضّح الشكل (9).



الشكل (9) توضيح لرموز الشبكة العصبونية المتعددة الطبقات

- يُشير الدليل  $n$  إلى رقم عينة التدريب المؤلفة من الدخّل  $x(n)$  والخرج الموافق المرغوب  $d(n)$ .
- يُشير الدليل  $k$  (as a superscript) إلى رقم تكرار عملية التدريب.
- يُشير الدليل  $l$  إلى رقم الطبقة ضمن الشبكة العصبونية، بحيث تكون  $l = 0$  من أجل طبقة الدخّل، و  $l = L$  من أجل طبقة الخرج.
- يُشير الدليل  $i$  إلى رقم الدخّل (رقم العصبون في الطبقة السابقة)، بينما يُشير  $z$  إلى رقم العصبون في الطبقة الحالية.

- يُشير  $m_l$  إلى عدد العصبونات في الطبقة  $l$ ، بحيث  $m_L$  هو عدد العصبونات في طبقة الخرج و  $m_0$  هو عدد العقد في طبقة الدّخل.
  - $w_{l,j,i}^{[k]}$  هو وزن الوصلة بين العصبون رقم  $i$  في الطبقة  $(l - 1)$  والعصبون رقم  $j$  في الطبقة  $l$  عند التكرار رقم  $k$  لعملية التّدريب. خلال عمليّة التّدريب، يتمّ تعديل قيمة الأوزان من أجل كل دخل  $n$ ، بحيث يكون التغيّر في قيمة الأوزان يساوي إلى  $\Delta w_{l,j,i}(n)$ . الأوزان الخاصّة بالطبقة رقم  $l$  يمكن إظهارها كمصفوفة بأبعاد  $(1 + m_{l-1}) \times m_l$ ، يكمن السبب بإضافة واحد إلى عدد العصبونات في الطبقة  $(l - 1)$  إلى وجود دخل ثابت مقداره "1" إلى كل عصبون في الطبقة  $l$ .
  - يرمز  $y_{l,j}(n)$  إلى خرج العصبون رقم  $j$  في الطبقة  $l$ ، والموافق للدخل  $x(n)$ . في حال لم يتمّ ذكر الدليل  $l$  تكون الطبقة المقصودة هي طبقة الخرج. نجمّع الخرج على شكل أشعة كما يلي:
- $$y(n) = [y_1(n) \ y_2(n) \ : \ y_{m_L}(n)] \quad (60)$$
- يمثّل الشعاع  $y(n)$  مجموعة قيم الخرج لكلّ عصبون من عصبونات طبقة الخرج. ويمثّل الشعاع:
- $$y_l(n) = [1 \ y_{l,1}(n) \ y_{l,2}(n) \ : \ y_{l,m_l}(n)] \quad (61)$$
- مجموعة قيم الخرج لكلّ عصبون في الطبقة  $l$ .
  - يتمثّل نشاط كل عصبون بعملية تجميع خطّي لقيم الدّخل والأوزان الموافقة. على سبيل المثال يتمثّل نشاط العصبون  $j$  في الطبقة  $l$  من أجل الدّخل  $n$  بالعلاقة التّالية:

$$v_{l,j}(n) = \sum_{i=0}^{m_l-1} w_{l,j,i} y_{l-1,i}(n) \quad (62)$$

- خرج الشبكة العصبونية هو عبارة عن تابع لاخطي للدخل. بحيث يكون خرج العصبون:

$$y_{l,j}(n) = \Phi_{l,j}(v_{l,j}(n)) \quad (63)$$

- من الممكن أن يكون لكل عصبون تابع لاخطي خاص، ولكن في التطبيقات العملية يكون لجميع العصبونات توابع لاخطية متماثلة، بحيث  $\Phi_{l,j}(\cdot) = \Phi(\cdot)$ .
- من أجل طبقة الخرج فإن قيم الخرج المرغوب للعصبونات في هذه الطبقة يمكن الحصول عليه من عينات التدريب، ونرمز للخرج المرغوب في هذه الطبقة بالرمز  $d_{L,j}(n)$  أو  $d_j(n)$  أو بصيغة شعاعية  $d(n)$ . أما الخرج المرغوب لعصبونات الطبقات المخفية فيجب الاستدلال عليها من القيم المرغوبة لعصبونات الخرج.
- مقدار الخطأ بين خرج العصبون والخرج المرغوب للعصبون في الطبقة  $l$ ، يُعطى بالعلاقة:

$$e_{l,j}(n) = d_{l,j}(n) - y_{l,j}(n) \quad (64)$$

- في طبقة الخرج يُرمز لهذا الخطأ بالرمز  $e_j(n)$ . نكتب الخطأ ومتوسط الخطأ الواردين في العلاقتين (62) و (63) كما يلي:

$$\varepsilon(n) = \varepsilon_L(n) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{m_L} e_{L,j}^2(n) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{m_L} (d_{L,j}(n) - y_{L,j}(n))^2 \quad (64)$$

$$\varepsilon_{av} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \varepsilon_L(n) \quad (65)$$

إنَّ متوسط الخطأ  $\varepsilon_{av}$  تابع لجميع الأوزان في الشبكة العصبونية، لذلك تهدف عملية التَّدريب إلى تصغير قيمة متوسط الخطأ إلى حدوده الدنيا. يتمُّ تعديل قيم الأوزان في الشبكة من أجل الدَّخْل ذو التَّرتيب  $n$  وفق العلاقة التَّالية:

$$w_{l,j,i}^{[k+1]} = w_{l,j,i}^{[k]} - \mu \frac{\partial \varepsilon(n)}{\partial w_{l,j,i}^{[k]}} \quad (66)$$

يمثِّل  $\mu$  في هذه العلاقة مُعامل معدَّل التَّدريب. تُحسب علاقة تعديل الأوزان السَّابقة من أجل كل عيِّنة تدريب  $n = 1, \dots, N$  مرَّة أو أكثر إلى أن تتقارب قيم الأوزان.

يعتبر إيجاد المشتقات الجزئية:

$$\frac{\partial \varepsilon(n)}{\partial w_{l,j,i}^{[k]}}$$

مفتاح عملية التَّدريب. يوجد اختلاف في كيفية إيجاد هذه المشتقات الجزئية عند طبقة الخرج وعند الطبقات المخفية، يعود السَّبب في ذلك إلى أنَّ الخرج المرغوب على طبقة الخرج  $d_j(n)$  متوقَّف في معطيات التدريب، ولكن الخرج المرغوب للطبقات المخفية غير معروف. لذلك، نعالج هاتين الحالتين بشكل مختلف، ونبدأ بطبقة الخرج.

المشتقات الجزئية على طبقة الخرج

باستخدام قاعدة السلسلة عندما  $l = L$ ، يكون لدينا:

$$\frac{\partial \varepsilon(n)}{\partial w_{l,j,i}^{[k]}} = \frac{\partial \varepsilon(n)}{\partial e_{L,j}(n)} \frac{\partial e_{L,j}(n)}{\partial y_{L,j}(n)} \frac{\partial y_{L,j}(n)}{\partial v_{L,j}(n)} \frac{\partial v_{L,j}(n)}{\partial w_{l,j,i}^{[k]}} \quad (67)$$

ننظر في كل مشتق جزئي في العلاقة (67) على حده:

من العلاقة (57) والعلاقة (58)، فإن:

$$\frac{\partial \varepsilon(n)}{\partial e_{L,j}(n)} = e_{L,j}(n)$$

من العلاقة (63) فإن:

$$\frac{\partial e_{L,j}(n)}{\partial y_{L,j}(n)} = -1$$

من العلاقة (62) فإن:

$$\frac{\partial y_{L,j}(n)}{\partial v_{L,j}(n)} = \phi'_{l,j}(v_{l,j}(n))$$

من العلاقة (61)، فإن:

$$\frac{\partial v_{L,j}(n)}{\partial w_{l,j,i}^{[k]}} = y_{L-1,i}(n)$$

بتعويض ما سبق في العلاقة (67) يكون لدينا:

$$\frac{\partial \varepsilon(n)}{\partial w_{L,j,i}^{[k]}} = -e_{L,j}(n) \phi'_{l,j}(v_{l,j}(n)) y_{L-1,i}(n) \quad (68)$$

فيما يلي، سنقوم بتعريف التدرج المحلي local gradient، نقوم من أجل ذلك بكتابة العلاقة (67) بالشكل التالي:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon(n)}{\partial w_{l,j,i}^{[k]}} &= \left[ \frac{\partial \varepsilon(n)}{\partial e_{l,j}(n)} \frac{\partial e_{l,j}(n)}{\partial y_{l,j}(n)} \frac{\partial y_{l,j}(n)}{\partial v_{l,j}(n)} \right] \frac{\partial v_{l,j}(n)}{\partial w_{l,j,i}^{[k]}} \\ &= \delta_{l,j}(n) \frac{\partial v_{l,j}(n)}{\partial w_{l,j,i}^{[k]}} \quad (69) \end{aligned}$$

بالتالي، يكون  $\delta_{l,j}(n)$  هو التدرج المحلي ويعرّف بالعلاقة:

$$\delta_{l,j}(n) = \frac{\partial \varepsilon(n)}{\partial v_{l,j}(n)}$$

بالتالي، نكتب علاقة الاشتقاق (69) بدلالة التدرج المحلي كما يلي:

$$\frac{\partial \varepsilon(n)}{\partial w_{L,j,i}^{[k]}} = \delta_{L,j}(n) y_{L-1,i}(n)$$

التدرج على طبقة الخرج يُعطى بالعلاقة التالية:

$$\delta_{L,j}(n) = -e_{L,j}(n) \phi'_{L,j}(v_{l,j}(n)) \quad (70)$$

المشتقات الجزئية على طبقة مخفية

سنكتب علاقة المشتقات الجزئية بدلالة التدرج المحلي كما يلي:

$$\frac{\partial \varepsilon(n)}{\partial w_{l,j,i}^{[k]}} = \delta_{l,j}(n) \frac{\partial v_{l,j}(n)}{\partial w_{l,j,i}^{[k]}} = \delta_{l,j}(n) y_{l-1,i}(n) \quad (71)$$

يمكن حساب التدرج المحلي في العلاقة (71) كما يلي:



$$\begin{aligned}\delta_{l,j}(n) &= \frac{\partial \varepsilon(n)}{\partial v_{l,j}(n)} = \sum_{p=1}^{m_{l+1}} \frac{\partial \varepsilon(n)}{\partial v_{l+1,p}(n)} \frac{\partial v_{l+1,p}(n)}{\partial v_{l,j}(n)} \\ &= \sum_{p=1}^{m_{l+1}} \delta_{l+1,p}(n) \frac{\partial v_{l+1,p}(n)}{\partial v_{l,j}(n)} \quad (72)\end{aligned}$$

بما أن:

$$v_{l+1,p}(n) = \sum_{i=0}^{m_l} w_{l+1,p,i} \phi_{l,i}(v_{l,j}(n))$$

فإن المشتق في العلاقة (72) يمكن أن يكتب كما يلي:

$$\frac{\partial v_{l+1,p}(n)}{\partial v_{l,j}(n)} = w_{l+1,p,j} \phi'_{l,j}(v_{l,j}(n))$$

بالتعويض في العلاقة (72) نحصل على:

$$\delta_{l,j}(n) = \phi'_{l,j}(v_{l,j}(n)) \sum_{p=1}^{m_{l+1}} \delta_{l+1,p}(n) w_{l+1,p,j}(n) \quad (73)$$

### 15. خوارزمية التدريب في الاتجاه المباشر والاتجاه العكسي

عند تدريب الشبكة العصبونية، يتم حساب الخرج  $y_{l,j}(n)$  لكل عصبون في الشبكة من أجل شعاع دخل  $x(n)$ ، وهذا هو الاتجاه المباشر لخوارزمية التدريب. في الاتجاه العكسي، تبدأ الخوارزمية من طبقة الخرج وتقوم بتعديل قيم الأوزان وحساب قيم التدرج المحلي لكل طبقة. يمكن حساب التدرج المحلي لكل طبقة في الاتجاه العكسي، لأن قيمة التدرج المحلي في الطبقة  $l$  تعتمد على قيمته في الطبقة  $l+1$ ، وذلك حسب العلاقة (73)، كما يمكن حساب التدرج المحلي في طبقة الخرج من العلاقة (70). لذلك،

يتم تعديل الأوزان في الاتجاه العكسي اعتباراً من طبقة الخرج. تستمر عملية التدريب إلى أن يتحقق شرط التوقف. من وجهة نظر مثالية، فإن خوارزمية التدريب تتوقف عندما يندم تدرج متوسط الخطأ  $\varepsilon_{av}$  بالنسبة لكل وزن من أوزان الشبكة. يتطلب هذا الشرط وقتاً طويلاً لانتهاء عملية التدريب، لذلك يُقرب الشرط السابق بتوقف عملية التدريب عندما يصبح تغير متوسط الخطأ صغيراً.

## 16. نتائج المحاكاة

بعد كشف المعلومات المرسله عبر قناة MIMO-OFDM، نحسب المميزات الخاصة للإشارة المستقبلية وفق العلاقات التالية:

$$\hat{M}_{km}(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(i)^{k-m} (x(i)^*)^m \quad (74)$$

حيث  $\hat{M}_{km}(x)$  هي العزم من المرتبة  $k$  للإشارة  $x$ ، وعدد العينات المستخدمة لتوسيط قيمة العزم  $N = 524288$  عينة. بالإضافة إلى أن الـ cumulants من المرتبة  $k$  تُحسب من العلاقة:

$$C_{km}(x) = \text{cum}(x, \dots, x_{\text{ب}(k-m) \text{ times}}, x^*, \dots, x^*_{\text{ب}m \text{ times}}) \quad (75)$$

يتألف شعاع المميزات الخاصة من أربع عشرة مركبة كما وردت في الجدول (1). يميز النظام بين أربعة أنواع من التعديل الرقمية modulation pool = {4psk, 8psk, 16QAM, 64QAM} من أجل كل نوع تعديل من الأنواع المذكورة في المجموعة modulation pool، نحسب 300 شعاع من أشعة المميزات الخاصة عند كل قيمة من قيم  $E_b/N_0 = 0$ ، حيث  $E_b/N_0 = \{5, 10, 15, 20, 25, 30\}$ . نحصل بذلك على مصفوفة من المميزات الخاصة تُطلق عليها اسم featuresMatrix، أبعادها  $14 \times 7200$ . توضح المصفوفة التالية بنية

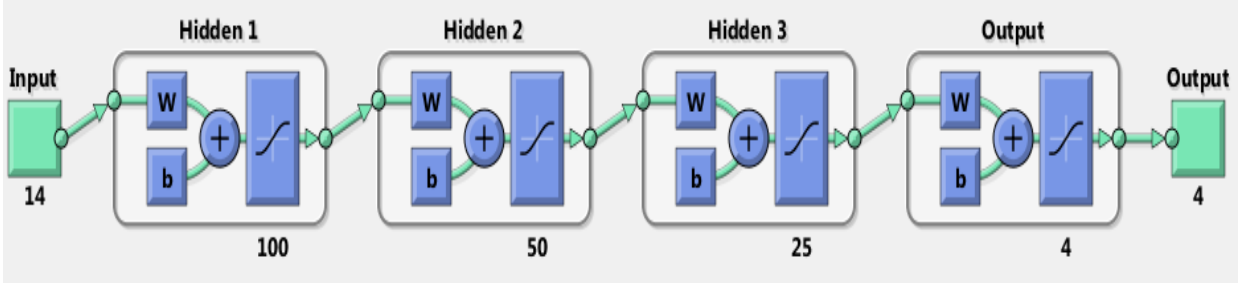
المصفوفة featuresMatrix. يمثل كل عمود في المصفوفة featuresMatrix شعاع  
مميزات خاصة ويمكن النظر إليه كنقطة في فضاء ذو 14 بعد.

$$\left[ \begin{array}{l} C_{20} M_{40} : C_{62} C_{63} \dots C_{20} M_{40} \\ : C_{62} C_{63} \square_{300 \text{ features vectors for } EbN0=5} \dots C_{20} M_{40} \\ : C_{62} C_{63} \dots C_{20} M_{40} \\ : C_{62} C_{63} \square_{300 \text{ features vectors for } EbN0=30} \square_{\text{Modulation type is 4PSK}} \dots C_{20} M_{40} \\ : C_{62} C_{63} \dots C_{20} M_{40} \\ : C_{62} C_{63} \square_{300 \text{ features vectors for } EbN0=5} \dots C_{20} M_{40} \\ : C_{62} C_{63} \dots C_{20} M_{40} \\ : C_{62} C_{63} \square_{300 \text{ features vectors for } EbN0=30} \square_{\text{Modulation type is 64QAM}} \end{array} \right]$$

يقابل كل شعاع من أشعة المميزات الخاصة صفًا تنتمي إليه المعطيات التي استخلصنا  
منها شعاع المميزات، يشير هذا الصف إلى أحد أنواع التعديل في المجموعة  
Modulation pool. نسمي الصف المرغوب لمجموعة المعطيات بالصف الهدف  
target class. بالتالي، بمقابلة كل شعاع من المميزات الخاصة في المصفوفة  
featuresMatrix بالصف الذي ينتمي إليه نحصل على المصفوفة targetMatrix  
ذات البنية الموضحة بما يلي:

$$\left[ \begin{array}{l} 00010001 \dots 0001 \quad \curvearrowright \text{Modulation type is 4PSK} \\ \dots 10001000 \dots 1000 \quad \curvearrowright \text{Modulation type is 64QAM} \end{array} \right]$$

بعد الحصول على المصفوفتين featuresMatrix و targetMatrix، نستخدم الأداة  
nprtool التي توفرها بيئة ماتلاب matlab لمحاكاة عمل الشبكة العصبونية في حالة  
التعرّف على الأنماط. رأينا من دراستنا للشبكات العصبونية في الفقرة 5.3 أنّ اختيار  
بنية الشبكة يتضمّن اختيار عدد الطبقات المخفية وعدد العصبونات ضمن كل طبقة  
بالإضافة إلى التابع اللاخطي. قمنا بمقارنة أداء الشبكة العصبونية من أجل العديد من  
البنى، فكانت البنية الموضحة في الشكل (10) هي الأفضل أداءً.



الشكل (10) بنية الشبكة العصبونية المستخدمة للتمييز بين أنواع التعديل

نلاحظ أن عدد الطبقات المخفية في الشبكة يساوي إلى ثلاث طبقات، تحوي الطبقة الأولى 100 عصبون، والطبقة الثانية 50 عصبون، والطبقة الثالثة 25 عصبون. التابع الملاحظ هو تابع سيكمويد الموضح في الفقرة 5.3.2. نمرر مصفوفة المميزات الخاصة `featuresMatrix` ومصفوفة الصفوف الموافقة `targetMatrix` إلى الأداة `nprtool` فتقوم بتقسيمها وفق ما يلي:

- 70% من المعطيات تُستخدم من أجل تدريب الشبكة العصبونية وفق خوارزمية `.RPROP` (training step).
- 15% من المعطيات تُستخدم من أجل التأكد من تقارب خوارزمية التدريب (validation step).
- 15% من المعطيات تُستخدم لقياس الأداء الفعلي للشبكة العصبونية بعد عملية التدريب (testing step).

يوضح الجدول (2) مصفوفات الالتباس `confusion matrices` لمرحلة التدريب ومرحلة التحقق ومرحلة الفحص، ثم مصفوفة الالتباس الكلية للمراحل الثلاث. نلاحظ أن أداء الشبكة في تصنيف المعطيات جيد كما توضح القيم المرتفعة للنسب المئوية الواردة في

المربعات القطرية والتي تدل على استجابة صحيحة للشبكة، والقيم المنخفضة للنسب المئوية الواردة في باقي المربعات والتي تدل على استجابة خاطئة للشبكة. يُشير المربع القطري الأخير في كل مصفوفة على الدقة الكلية لكل مرحلة.

### الجدول (2) مصفوفات الالتباس قبل استخدام خوارزمية PCA

#### Training Confusion Matrix

Output Class	1	1204 23.9%	252 5.0%	0 0.0%	0 0.0%	82.7% 17.3%
	2	51 1.0%	1019 20.2%	0 0.0%	0 0.0%	95.2% 4.8%
	3	0 0.0%	0 0.0%	1269 25.2%	0 0.0%	100% 0.0%
	4	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	1245 24.7%	100% 0.0%
			95.9% 4.1%	80.2% 19.8%	100% 0.0%	100% 0.0%
		1	2	3	4	
		Target Class				

#### Validation Confusion Matrix

Output Class	1	279 25.8%	46 4.3%	0 0.0%	2 0.2%	85.3% 14.7%
	2	10 0.9%	208 19.3%	0 0.0%	0 0.0%	95.4% 4.6%
	3	0 0.0%	0 0.0%	258 23.9%	0 0.0%	100% 0.0%
	4	0 0.0%	0 0.0%	2 0.2%	275 25.5%	99.3% 0.7%
			96.5% 3.5%	81.9% 18.1%	99.2% 0.8%	99.3% 0.7%
		1	2	3	4	
		Target Class				

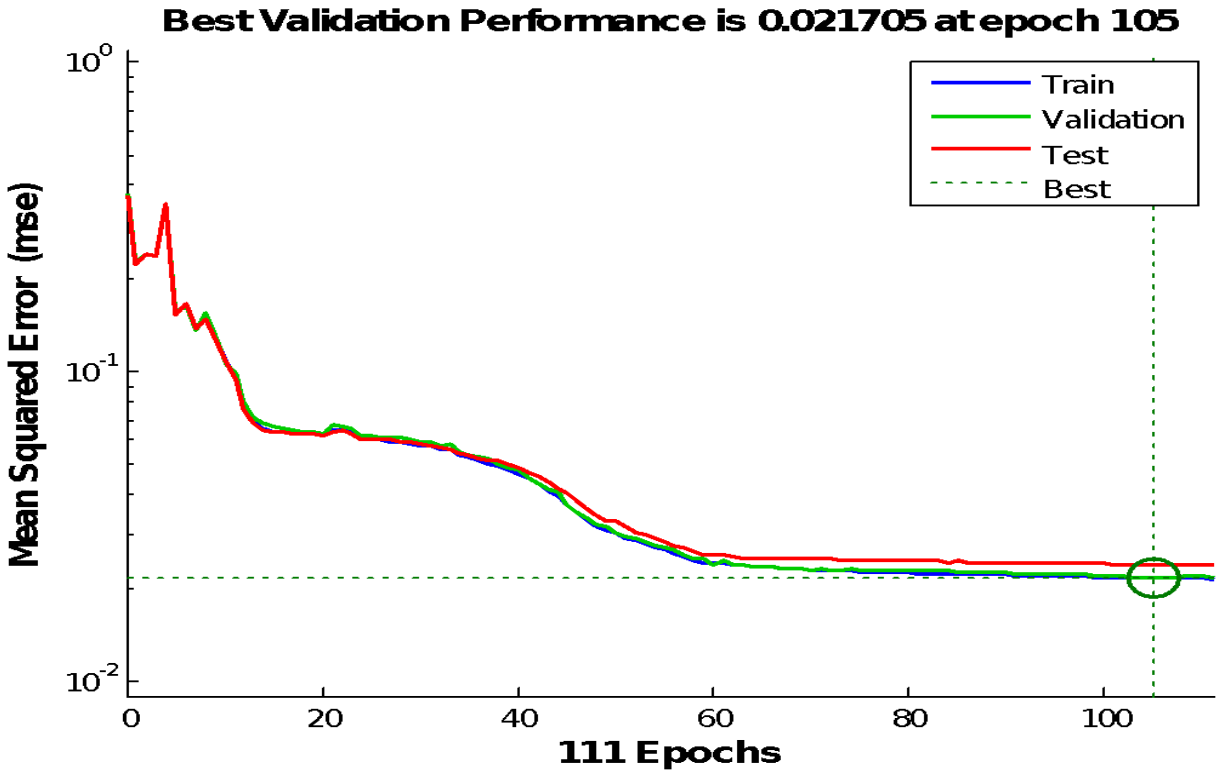
#### Test Confusion Matrix

Output Class	1	239 22.1%	62 5.7%	1 0.1%	1 0.1%	78.9% 21.1%
	2	17 1.6%	213 19.7%	0 0.0%	0 0.0%	92.6% 7.4%
	3	0 0.0%	0 0.0%	270 25.0%	1 0.1%	99.6% 0.4%
	4	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	276 25.6%	100% 0.0%
			93.4% 6.6%	77.5% 22.5%	99.6% 0.4%	99.3% 0.7%
		1	2	3	4	
		Target Class				

#### All Confusion Matrix

Output Class	1	1722 23.9%	360 5.0%	1 0.0%	3 0.0%	82.6% 17.4%
	2	78 1.1%	1440 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	94.9% 5.1%
	3	0 0.0%	0 0.0%	1797 25.0%	1 0.0%	99.9% 0.1%
	4	0 0.0%	0 0.0%	2 0.0%	1796 24.9%	99.9% 0.1%
			95.7% 4.3%	80.0% 20.0%	99.8% 0.2%	99.8% 0.2%
		1	2	3	4	
		Target Class				

يوضح الشكل (11) منحنيات تناقص الخطأ خلال المراحل الثلاث لتدريب الشبكة العصبونية. يمثل المحور الأفقي عدد تكرارات عملية التدريب والمحور العمودي مستوى الخطأ. نلاحظ أن أفضل أداء للشبكة العصبونية حصل عليه بعد 105 تكرارات لعملية التدريب، حيث تكون قيمة الخطأ من أجل الأوزان المحسوبة عند هذا التكرار يساوي إلى 0.021705.



الشكل (11) منحنيات تناقص الخطأ خلال مرحلة التدريب ومرحلة التحقق ومرحلة الفحص من دون استخدام خوارزمية PCA

لتحسين قيم النتائج التي حصلنا عليها وتسريع عملية التدريب نقوم باستخدام خوارزمية PCA لتخفيض أبعاد أشعة المميزات الخاصة من 14 إلى 7 أبعاد. للمقارنة بين النتائج في حال عدم استخدام خوارزمية PCA وفي حال استخدامها، نورد في الجدول (2) مصفوفات الالتباس وفي الشكل (11) منحنيات تناقص الخطأ بعد استخدام خوارزمية PCA. نلاحظ من مقارنة الجدولين (2) و (3) أن دقة النتائج ازدادت بمقدار 2% تقريباً، وتناقص عدد التكرارات اللازمة للوصول إلى هذا الأداء بمقدار 18 تكرار كما هو واضح من مقارنة الشكلين (11) و (12).

بإمعان النظر في مصفوفات الالتباس الواردة في الجدولين (2) (3) نجد أن مصدر الخطأ الأكبر هو التمييز بين التعديلين PSK4 و PSK8. في المصفوفة All confusion Matrix بعد استخدام خوارزمية PCA في الجدول (3)، بلغ عدد العينات الخاطئة 53 عينة من أصل 1799 عينة مرسله بتعديل PSK4 تم تصنيفها كإشارات مرسله بتعديل PSK8. كما بلغ عدد العينات الخاطئة 281 من أصل 1798 عينة مرسله بتعديل PSK8 تم تصنيفها كإشارات مرسله بتعديل PSK4. مصدر الخطأ التالي هو التمييز بين التعديل QAM16 والتعديل QAM64. إن نسبة الخطأ الواردة من التمييز بين التعديلين QPSK4 و PSK8 تبلغ 4.6%، بينما نسبة الخطأ الواردة من التمييز بين التعديلين QAM16

الجدول (3): مصفوفات الالتباس بعد استخدام خوارزمية PCA

**Training Confusion Matrix**

Output Class	1	1203 23.9%	202 4.0%	0 0.0%	2 0.0%	85.5% 14.5%
	2	39 0.8%	1047 20.8%	0 0.0%	2 0.0%	96.2% 3.8%
	3	0 0.0%	0 0.0%	1298 25.8%	3 0.1%	99.8% 0.2%
	4	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	1244 24.7%	100% 0.0%
			96.9% 3.1%	83.8% 16.2%	100% 0.0%	99.4% 0.6%
		1	2	3	4	
		Target Class				

**Validation Confusion Matrix**

Output Class	1	291 26.9%	34 3.1%	0 0.0%	0 0.0%	89.5% 10.5%
	2	9 0.8%	236 21.9%	0 0.0%	1 0.1%	95.9% 4.1%
	3	0 0.0%	0 0.0%	254 23.5%	0 0.0%	100% 0.0%
	4	0 0.0%	0 0.0%	1 0.1%	254 23.5%	99.6% 0.4%
			97.0% 3.0%	87.4% 12.6%	99.6% 0.4%	99.6% 0.4%
		1	2	3	4	
		Target C class				

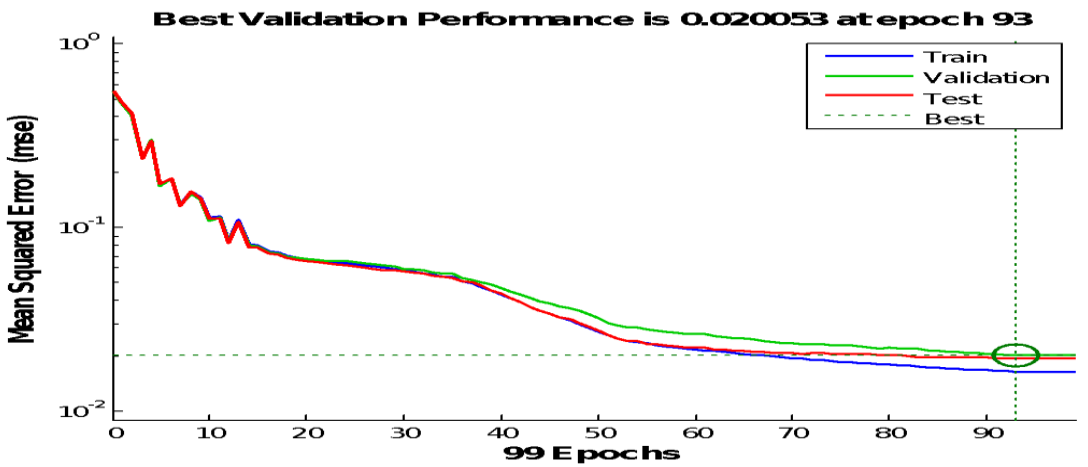
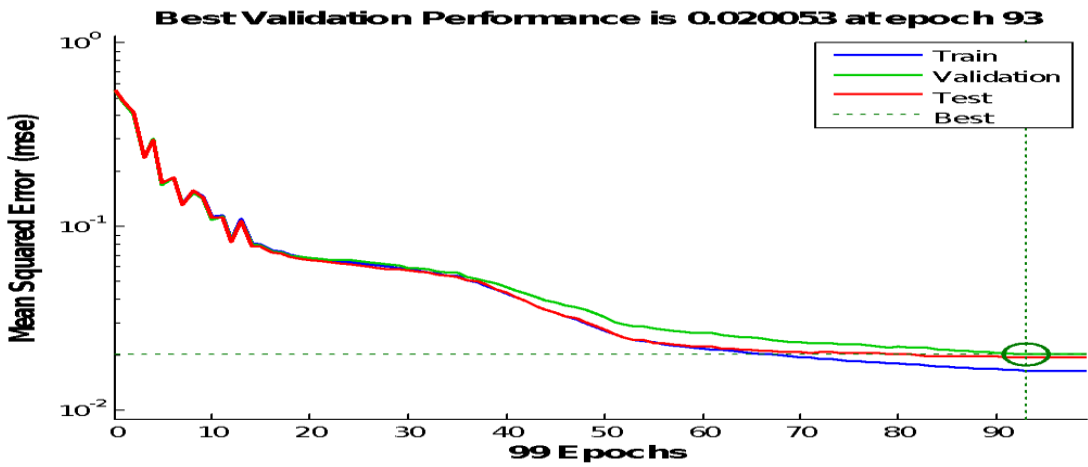
**Test Confusion Matrix**

Output Class	1	252 23.3%	45 4.2%	0 0.0%	0 0.0%	84.8% 15.2%
	2	5 0.5%	234 21.7%	0 0.0%	0 0.0%	97.9% 2.1%
	3	0 0.0%	2 0.2%	246 22.8%	2 0.2%	98.4% 1.6%
	4	1 0.1%	0 0.0%	1 0.1%	292 27.0%	99.3% 0.7%
			97.7% 2.3%	83.3% 16.7%	99.6% 0.4%	99.3% 0.7%
		1	2	3	4	
		Target Class				

**All Confusion Matrix**

Output Class	1	1746 24.3%	281 3.9%	0 0.0%	2 0.0%	86.1% 13.9%
	2	53 0.7%	1517 21.1%	0 0.0%	3 0.0%	96.4% 3.6%
	3	0 0.0%	2 0.0%	1798 25.0%	5 0.1%	99.6% 0.4%
	4	1 0.0%	0 0.0%	2 0.0%	1790 24.9%	99.8% 0.2%
			97.0% 3.0%	84.3% 15.7%	99.9% 0.1%	99.4% 0.6%
		1	2	3	4	
		Target C class				





الشكل (12) منحنيات تناقص الخطأ خلال مرحلة التدريب ومرحلة التحقق ومرحلة الفحص مع استخدام خوارزمية PCA

وQAM64 تبلغ 0.2%. نستنتج أنّ الطريقة المعتمدة للتعرف الأوتوماتيكي على نوع التعديل تجد صعوبة إلى حد ما في التمييز بين التعديلين QPSK4 و PSK8.

يوضّح الشّكل (13) احتمال التّعرف الصّحيح على نوع التّعديل المستخدم بدلالة نسبة طاقة البت إلى طاقة الضّجيج  $E_b N_0$ . لرسم منحني الاحتمال في الشّكل، استخدمنا الشّبكة العصبونيّة بعد تدريبها للتّعرف على نوع التّعديل من خلال توفير أشعة المميّزات الخاصّة على دخلها بعد حسابها من الإشارات المستقبلية عبر قناة MIMO-OFDM.

حيث تمّ تقدير القناة باستخدام خوارزمية subspace noise method بعد استخلاص مصفوفة المميّزات الخاصّة استخدمنا خوارزمية PCA لتخفيض أبعاد الأشعة من 14 إلى 7. حسبنا مقدار الخطأ بين خرج الشّبكة والخرج المرغوب باستخدام العلاقة (58) ونعيد كتابتها كما يلي:

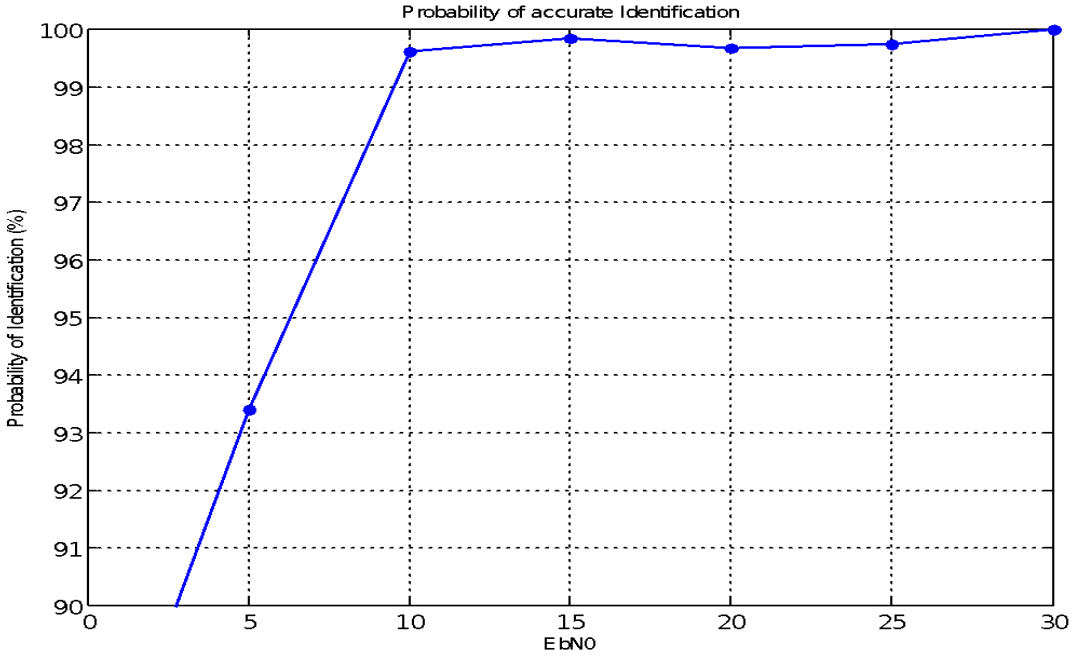
$$\varepsilon(n) = \frac{1}{2} \|d(n) - y(n)\|^2$$

ثمّ نحسب مقدار الخطأ المتوسّط من أجل كل قيمة لـ  $E_b N_0$  ونعيد كتابتها كما يلي:

$$\varepsilon_{av} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \varepsilon(n)$$

فيكون احتمال التّعرف الصّحيح معطى كنسبة مئوية معطى بالعلاقة:

$$P = (1 - \varepsilon_{av}) \times 100$$



الشكل (13) احتمال التعرف الصحيح على نوع التعديل بدلالة  $E_bN_0$ .

يظهر في الشكل (13) الأداء الجيد للطريقة المقترحة في التعرف الأوتوماتيكي على نوع التعديل. فمن أجل مجال معقول لطاقة البت إلى طاقة الضجيج حيث  $E_bN_0 \in [5 \ 30] \text{ dB}$ ، نجد أن احتمال التعرف الصحيح على نوع التعديل يتراوح بين 93.5% في حالة  $E_bN_0 = 5 \text{ dB}$  و 99% من أجل  $E_bN_0 = 30 \text{ dB}$ .

## 17. الخاتمة

في هذا البحث، تمت محاكاة ودراسة أداء نظام اتصالات MIMO-OFDM في قناة لاسلكية متعددة المسارات، وبيّنا الشرط اللازم و الكافي لإمكانية التقدير الأعمى لمعاملات القناة. تمّ التقدير الأعمى للقناة باستخدام طريقة الفضاء الجزئي للضجيج subspace noise method. قارنًا منحنيات احتمال الخطأ المعبرة عن أداء النظام

في ثلاث حالات: الحالة الأولى، من دون الاستفادة من ربح التنوع الذي يوفره تعدد الهوائيات من طرف المرسل مع معرفة دقيقة لحالة القناة من طرف المستقبل. الحالة الثانية، بالاستفادة من ربح التنوع من طرف المرسل عن طريق استخدام ترميز Alamouti مع معرفة دقيقة لحالة القناة من طرف المستقبل. الحالة الثالثة، باستخدام ترميز Alamouti وتقدير أعمى للقناة وفق طريقة الفضاء الجزئي للضجيج. تعتبر الطريقة المقترحة للتقدير الأعمى للقناة تعميماً لحالة أنظمة SISO-OFDM إلى حالة أنظمة MIMO-OFDM مع أي عدد لهوائيات الإرسال و الاستقبال. تحقق طريقة الفضاء الجزئي للضجيج تقديراً جيداً للقناة عندما يكون طول البادئة الدورية لرموز OFDM المرسلة أكبر من طول القناة المتعددة المسارات، ولا تبدي حساسية لمعرفة طول القناة بدقة، وإنما تتطلب فقط أن يكون أصغر من طول البادئة الدورية لرموز OFDM.

قدّمنا بعد كشف الرموز المرسلة عبر القناة المتعددة المسارات- خوارزمية لكشف نوع التعديل الرقمي للرموز المستقبلية مؤلفة من مرحلتين: المرحلة الأولى، تتلخص باستخلاص المميزات الخاصة لـ features للإشارات المستقبلية، وهي عبارة عن إحصائيات من مراتب عليا (HOS) higher order statistics حتى المرتبة السادسة. المرحلة الثانية، عبارة عن شبكة عصبونية مدربة وفق خوارزمية resilient backpropagation rprop لتصنيف الإشارات المستقبلية إلى أنواع تعديلها. أظهر تطبيق الخوارزمية أنها قادرة على كشف عدّة أنواع من التعديل الرقمي للإشارات المستقبلية بدقة جيّدة وبشكل أعمى. ولابد من الإشارة هنا إلى أنّه يجب دراسة حساسية الخوارزمية لأخطاء التزامن Synchronization errors، والانزياح الترددي frequency offsets كآفاق مستقبلية لهذا البحث.

## 18. المراءع

- [1] Wang, Zhiqin, et al. "Vision, application scenarios, and key technology trends for 6G mobile communications." *Science China Information Sciences* 65.5 (2022): 151301.
- [2] Kawasaki, Hikaru, and Takeshi Matsumura. "Semi-Blind Channel Estimation by Subspace Method for Orthogonal Precoded OFDM Systems." 2022 IEEE 33rd Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC). IEEE, 2022.
- [3] Ruo-Nan Yang, Wei-Tao Zhang, and Shun-Tian Lou, "Adaptive Blind Channel Estimation for MIMO-OFDM Systems Based on PARAFAC", *Wireless Communications and Mobile Computing*, Volume 2020, 24 Oct 2020.
- [4] Li, Lin, et al. "Deep-learning hopping capture model for automatic modulation classification of wireless communication signals." *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems* 59.2 (2022): 772-783.
- [5] Ansari, Sam, et al. "Automatic digital modulation recognition based on genetic-algorithm-optimized machine learning models." *IEEE Access* 10 (2022): 50265-50277.
- [6] Hussain, Asad, et al. "Automatic Modulation Recognition Based on the Optimized Linear Combination of Higher-Order Cumulants." *Sensors* 22.19 (2022): 7488.

[7] P. McCullagh, *Tensor Methods in Statistics.*: Chapman & Hall, 1987.

[8] Jonathon Shlens, "A Tutorial on Principal Component Analysis," *Google Research*, p. 12, April 2014.

[9] Zhechen Zhu and Asoke Nandi, *Automatic Modulation Classification, Principles, Algorithms and Applications*. London, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2015.

# استخدام خوارزمية النحل لتحديد البصمات المتطابقة في

## قاعدة بيانات معيارية

المهندسة مرح علي  
مهندسة تحكم آلي وحواسيب  
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية  
جامعة البعث

الدكتور ابراهيم الشامي  
أستاذ في قسم هندسة التحكم الآلي والحواسيب  
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية  
جامعة البعث

### ملخص البحث

تعتبر مسألة مطابقة بصمات الأصابع والتعرف عليها من أهم المسائل المدروسة لتحديد الهوية الشخصية في اختبارات الطب الشرعي وفحوصات الخلفية الاجتماعية، والأمن الحيوي، وتحديد ضحايا الكوارث الجماعية، وبالطبع في التحقيقات الجنائية. وعليه تم تطوير العديد من الخوارزميات التي تعمل على معالجة بصمات الأصابع رقمياً ومطابقتها.

أنجز في هذا البحث ملاتمة وتكييف على خوارزمية النحل لتحقيق خوارزمية جديدة للبحث عن بصمة الإصبع في قواعد بيانات البصمات، ومطابقتها مع أقرب بصمة مشابهة، وتعتبر خوارزمية النحل واحدة من أهم خوارزميات الذكاء الاصطناعي.

إن هدف معظم الخوارزميات التي تعمل على مطابقة بصمات الأصابع هو الوصول لأعلى نتيجة مطابقة صحيحة من بين البصمات الموجودة في قاعدة ما، وتقليل نسبة القبول الخاطئ ونسبة الرفض.

بينت المنهجية المقترحة المعتمدة على تكييف خوارزمية النحل قدرتها على الحصول على نسبة مطابقة جيدة مقارنة مع خوارزميات أخرى، وتعتبر خوارزمية واحدة في هذا المجال.

أثبتت النتائج في هذا البحث أن الخوارزمية المقترحة أعطت نسبة مطابقة للبصمات المدروسة وصلت إلى 97.3% وهي نسبة عالية مقارنة FVC2004 من قاعدة بيانات معيارية بالخوارزميات التقليدية وخوارزميات ذكاء الأسراب التي استخدمت في مطابقة بصمات الأصابع .

الكلمات المفتاحية : بصمات الأصابع - المطابقة - خوارزمية النحل - الذكاء

الاصطناعي - ذكاء الأسراب

## Using bee algorithm to identify matching fingerprints in a standardized database

**Dr. Ebrahim Al-Shami, professor in the Computer & Automation section of Electric & Mechanics Engineering faculty- AL-Baath University.**

**Eng. Marah Ali, Computer & Automation Engineer in Electric & Mechanics Engineering faculty- AL-Baath University.**

### **Abstract**

Fingerprint matching and identification is one of the most studied issues for personal identification in forensic examinations, social background checks, biosecurity, mass disaster victim identification, and of course in criminal investigations. Accordingly, many algorithms that digitally process and match fingerprints have been developed.

In this research, an adaptation and adaptation of the bee algorithm was carried out to achieve a new algorithm for searching for the fingerprint in the fingerprint databases, and matching it with the closest similar fingerprint. The bee algorithm is considered one of the most important artificial intelligence algorithms.

The goal of most fingerprint matching algorithms is to reach the highest correct match result among the fingerprints in a database, and to reduce the false acceptance rate and rejection rate.

The proposed methodology based on the adaptation of the bee algorithm showed its ability to obtain a good matching ratio compared to other algorithms, and it is considered a promising algorithm in this field.

The results in this research proved that the proposed algorithm gave a matching percentage of the studied fingerprints from a standard FVC2004 database that reached 97.3%, which is a high percentage compared to the traditional algorithms and swarm intelligence algorithms that were used in matching fingerprints.

**key words:** Fingerprints – matching – basic bees algorithm – artificial intelligence – swarm intelligence



## 1- مقدمة

يعتبر هذا البحث من البحوث المنجزة باختصاص المعلوماتية والتحكم الآلي والحواسيب، حيث تم فيه تكيف خوارزمية النحل لتحقيق منهجية جديدة لاستخدامها في عملية مقارنة بصمة مجهولة الهوية مع مجموعة من البصمات في قاعدة بيانات معيارية متاحة ومطابقتها وتم الحصول على نتائج البحث موضوعة في جداول.

لقد تم الحصول على نتائج جيدة في هذه البحث وتمت مقارنة هذه النتائج مع نتائج الطرائق المستخدمة في مطابقة بصمات الأصابع وأعطيت نتيجة المقارنة في هذا البحث.

## 2- هدف مشروع البحث

يهدف هذا البحث إلى دراسة وتنفيذ عملية مطابقة بصمات الأصابع بتكيف خوارزمية النحل وتطبيقها وفق المنهجية المقترحة والتحقق من دقة نتائج هذه المنهجية، ومقارنة نتائجها بنتائج الطرائق الأخرى التي استخدمت لنفس الغرض.

## 3- أهمية البحث

تأتي أهمية عملية مطابقة بصمات الأصابع من أهمية البصمة كواحدة من أكثر القياسات الحيوية استخداماً في محاكم العالم لتطبيق القانون حيث يساعد التعرف على بصمات الأصابع المحققين على تتبع السجل الجنائي للمتهمين، واعتقالاتهم السابقة وإدانتهم، وذلك للمساعدة في إصدار الأحكام والمراقبة، والإفراج المشروط، وقرارات العفو، فغدت بصمات الأصابع أهم دليل علمي في المحاكم القانونية في جميع أنحاء العالم.

## 4- مواد وطرائق البحث

تم في هذا البحث اختبار المنهجية المقترحة على قاعدة بيانات FVC2004 الناتجة عن المسابقة الدولية لخوارزميات التحقق من بصمات الأصابع التي نظمت في عام 2004 من قبل مختبر أنظمة القياسات الحيوية (جامعة بولونيا) والمركز القومي الأمريكي لاختبار الهوية (جامعة سان خوسيه الحكومية) وذلك بعد المعالجة الأولية لبصمات

الأصابع باستخدام برنامج MATLAB، كما تم كتابة كود الخوارزمية باستخدام البرمجة بلغة C# على برنامج Visual studio 2022 . تم حساب ومقارنة نتائج نسبة المطابقة باستخدام Microsoft Office Excel على المنهجية المقترحة من قبل الباحث على حاسب ذو معالج Intel ® Core ™ i5-5200U بنظام تشغيل Windows 10 Pro وذاكرة 8GB بتردد 2.20 GHz .

## 5- مسألة البصمة وخواصها

كانت بصمات الأصابع من أقدم القياسات الحيوية المستخدمة للتحقيق الجنائي، استخدمتها حضارة بابل القديمة منذ 500 عام قبل الميلاد لتمييز المعاملات التجارية وتسجيلها على ألواح الصلصال، كما استخدمتها الحضارة الصينية في العقود التجارية وفي حل المشاكل المتعلقة بإثبات الهوية فكانوا يميزون الأطفال عن بعضهم عن طريق أخذ بصمات أصابع اليد والقدم. وما تزال الطريقة الأكثر شيوعاً بفضل تفاصيلها الفريدة ومجال استخدامها الواسع وموثوقيتها العالية وسهولة تصنيفها وانخفاض تكلفة أنظمة التعرف عليها نسبياً مقارنة مع الأنظمة المعتمدة على أنواع أخرى من القياسات الحيوية. تعرف بصمات الأصابع في علم القياسات الحيوية على أنها نمط النسيج الذي يتكون من التلال المتشابكة والوديان (Hills and Valleys).

في الطب الشرعي بصمة الاصبع هي الانطباع المرئي أو غير المرئي الذي يترك عندما تلامس أصابع الشخص سطحاً ما ويتكون من نمط مميز من التلال والوديان والأقواس والحلقات وغيرها من المميزات التي تساهم في تحديد الهوية.

إذا بصمة الاصبع من أهم الأدلة التي يمكن للمرء العثور عليها في مسرح الجريمة، وذلك لسببين رئيسيين:

- 1- يلمس الناس الأشياء باستمرار كل يوم تاركين وراءهم بصمات أصابعهم.

2- لا توجد بصمتان متماثلتان تماماً. حتى التوائم المتطابقة التي تمتلك نفس الحمض النووي لن يكون لها نمط بصمات الأصابع نفسه حيث تأخذ البصمة شكلها النهائي في الشهر السابع من حياة الجنين وتبقى دون تغيير طيلة فترة حياته.

عمل الباحثون منذ اكتشاف البصمة وحتى اليوم على دراسة أنماط البصمات وتحليل تفاصيلها وذلك بهدف تصنيفها لتسهيل عملية التعرف عليها ومطابقتها. بداية تم تصنيف أنماط التلال إلى ثلاثة أنواع مميزة هي:

1. الحلقات (Loops): هي المطبوعات التي تتحرف مرة أخرى على نفسها لتشكل

حلقة وتمثل الحلقات حوالي 60% من أنماط البصمات وتقسّم إلى:

- حلقات نصف قطرية تشير إلى عظم الكعبرة أو الإبهام.

- حلقات زندية تشير إلى عظم الزند أو الخنصر.

2. الدوامات (المغازل) (whorls): هي مطبوعات التلال التي تأخذ شكلاً لولبياً مثل

الدوامات الصغيرة وتمثل الدوامات حوالي 35% من أنماط البصمات. ولها

أربعة أنواع:

- النمط العادي (دوائر متحدة المركز).

- حلقة الجيب المركزية (حلقة مع دوامة في نهايتها).

- حلقة مزدوجة وهي عبارة عن حلقتان تخلقان نمط يشبه حرف (S).

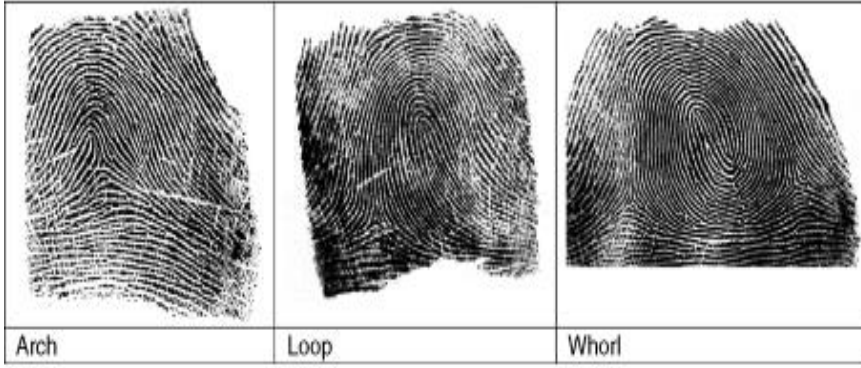
- حلقات عرضية (شكل غير منتظم).

3. الأقواس (Archs): هي مطبوعات التلال التي تعطي شكلاً شبيهاً بالموجة

وتنشئ أقواساً عادية وأقواساً خيمية، حيث ترتفع الأقواس الخيمية إلى نقطة أكثر

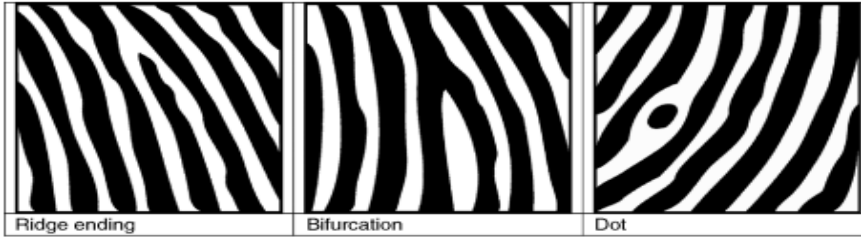
حدة من الأقواس العادية.

وتمثل الأقواس حوالي 5% فقط من أنماط البصمات. [1]



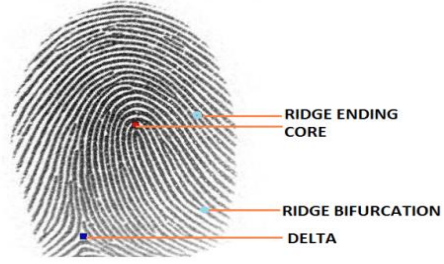
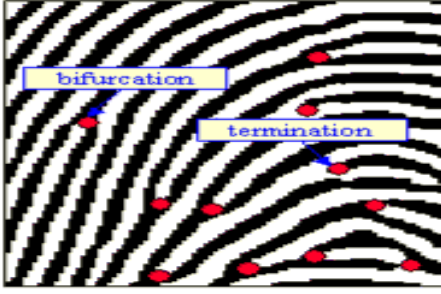
الشكل (1): القوس - الحلقة - الدوامة.

يكشف الفحص التفصيلي لجلد سلسلة الاحتكاك أيضاً أن مسار الحواف (التلال) لا يكون مستمراً عبر كامل سطح الإصبع، بعض الحواف (التلال) تتدفق وتنتهي فجأة وتسمى نهاية الحواف (Ridge Ending) أو النهايات (Terminations)، بينما تتدفق الحواف الأخرى وتنقسم إلى حافتين منفصلتين ومتميزتين وتسمى تشعب الحواف أو التشعبات (Ridge Bifurcation)، وبعض النتوءات تكون واسعة وتسمى نقاط.



الشكل (2): النهايات - التشعبات - النقاط.

ويسمى المركز التقريبي لانطباع البصمة بالنواة، وتسمى المنطقة الصغيرة حيث تلتقي ثلاث تدفقات من التلال لتشكيل نمط مثلث الشكل بـ (دلتا). حيث لا تحوي الأفراس على دلتا، وتحوي الحلقات دلتا واحدة، وتحوي الدوامات على 2 دلتا. يشار إلى هذه التغيرات في سلسلة التلال على أنها خصائص أو تفاصيل دقيقة (Minutiae) وتستخدم علاقة التفاصيل مع بعضها البعض ضمن منطقة محددة لتكوين انطباع سلسلة الاحتكاك اللازمة لمقارنة بصمات الأصابع وتحديد الهوية. [2]



الشكل (4): النهايات -

الشكل (3): النهايات - النواة - التشعبات - الدلتا.  
التشعبات.

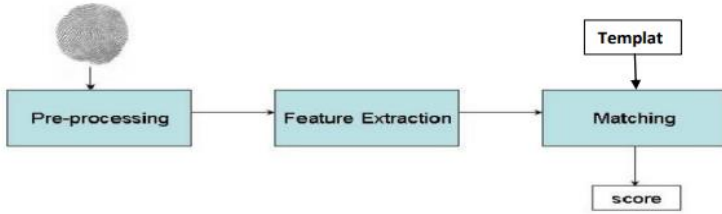
يعد تصنيف بصمات الأصابع مشكلة صعبة للغاية تزامناً مع أهميتها الكبيرة في عملية التعرف على الأنماط وذلك بسبب التباين الصغير بين الطبقات والتنوع الكبير داخل الصنف والوضوء والخصائص الكامنة لبصمات الأصابع. يمكن أن يلعب نهج التصنيف دوراً كبيراً في تقليل عدد عمليات المقارنة أثناء المطابقة وبالتالي تقليل وقت الاستجابة لعملية تحديد الهوية. تعتبر طريقة هنري للتصنيف هي الأشهر والأكثر استخداماً وتتكون من ثماني تصنيفات هي [3]:

- الدوائر العادية (Whrols). - الدوائر المزدوجة (Double whrols) - الحلقات اليسارية.
- الدوائر المركزية (Central whrols) - الأقواس العادية.
- الحلقات اليمينية.
- الدوائر العرضية (Transverse whrols) - الأقواس الخيمية.

يسمح نظام هنري للتصنيف بالتصنيف المنطقي لسجلات بصمات الأصابع العشر في مجموعات أولية بناء على أنواع أنماط بصمات الأصابع المذكورة سابقاً. يقلل هذا النظام من الجهد اللازم للبحث في أعداد كبيرة من سجلات بصمات الأصابع عن طريق تصنيف سجلات بصمات الأصابع وفقاً للخصائص الفيزيولوجية الاجمالية.



الشكل (5): (a) قوس الخيمة (b) القوس (c) الحلقة اليمنى (d) الحلقة اليسرى (e) الدائرة. تعد معالجة البصمات ومطابقتها من الأجزاء الرئيسية في نظام التعرف الآلي على بصمات الأصابع. اقترح الباحثون طرق مختلفة لمطابقة بصمات الأصابع التلقائية وجميعها تقريباً تعتمد على التفاصيل الدقيقة.



الشكل (6): الأجزاء الرئيسية لنظام التعرف الآلي على بصمات الأصابع. تنقسم مشكلة التحقق من بصمات الأصابع إلى ثلاث مهام رئيسية هي:

- المعالجة الأولية لصورة البصمة.
- استخراج التفاصيل الدقيقة.
- مطابقة التفاصيل الدقيقة. [3]

## 6- الطرق المستخدمة في مطابقة بصمات الأصابع

هنالك أيضاً الكثير من الخوارزميات المعتمدة في مطابقة بصمات الأصابع والتعرف عليها والتي يمكن تصنيفها إلى نمطين؛ تقليدية [4,6,7,8,9,10]، وتجريبية [5,11,12,13,14]

قدم الباحث [4] تقنية سريعة للتعرف على بصمات الأصابع باستخدام ANN. تُظهر نتائج التجارب أن نهج البحث هذا مع ANN مناسب لمطابقة بصمات الأصابع في قواعد البيانات الكبيرة. حقق المخطط المقترح ذاكرة أقل وتعقيداً أقل لأنه يلبي متطلبات وقت الاستجابة لأنظمة التحقق عبر الإنترنت نظراً لاستهلاكه أقل وقت الحساب في كل من مراحل استخراج الميزات والمطابقة. علاوة على ذلك، فقد حسن كلاً من معدل القبول الحقيقي ومعدل الرفض الخاطئ.

قدم المؤلف في [6] منهجية جديدة لاستخراج الميزات و التقييم في نظام التعرف على بصمات الأصابع باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية بعد عمليات معالجة صورة البصمة، وتم تقييم خوارزمية النظام في قاعدة بيانات UPEK و FVC2000 والدقة 95.57% و 91.38% في كل منهما على التوالي.

استخدم الباحثون في [7] الخوارزمية المعتمدة على التفاصيل الدقيقة Minutia لمطابقة بصمات الأصابع و ذلك بعد تحسين الصورة باستخدام مرشحات السطوح وغابور ومعالجتها باستخدام خوارزمية Zhang Suen . بينت النتائج أن هذه الطريقة هي الأكثر حساسية ودقة في كشف ومطابقة البصمات.

في [8] قدم الباحث نظام ذكي للتعرف التلقائي على بصمات الأصابع باستخدام دمج الميزات بواسطة مرشح Gabor والتعلم العميق" للمصادقة تلقائياً على بصمة الإصبع لتحديد الهوية والتحقق من الهوية الشخصية. أظهرت التجارب التي تم إجراؤها باستخدام قواعد البيانات العامة القياسية أن النهج المقترح أظهر أداءً أفضل فيما يتعلق بالدقة (99.87%) مقارنة بتقنيات التصنيف الأحدث مثل Support Vector Machine (97.86%) أو Random Forest (95.47%). ومع ذلك، أظهرت الطريقة المقترحة أيضاً دقة أعلى مقارنة بأساليب التحقق الأخرى مثل K-fold (98.89%) والتعميم (97.75%).

اقترح الباحثون في [9] تطبيق الشبكة العصبونية السيامية للتعرف على بصمات الأصابع وبتقييم الطريقة المقترحة أظهرت النتائج أن دقة الخوارزمية المقترحة تصل إلى 92%، بالمقارنة مع طرائق مطابقة بصمات الأصابع التقليدية.

قدم الباحثان في [10] طريقة لمطابقة بصمات الأصابع اعتمدت على أتمته سلوك خبير بشري بفحص العلاقات الموضعية المحلية بين التفاصيل المحلية يدوياً، وتأكيد المطابقة أخيراً باستخدام الهيكل العام الفريد للبصمة. الهيكل المحلي للتفاصيل الدقيقة يتكون من الاتجاه والموقع بالنسبة إلى التفاصيل الأخرى. يمكن للهيكل المحلي أن يتحمل تشوه معقول في صورة البصمة لأنه يتكون من مساحة صغيرة فقط من البصمة ولذلك يمكن استخدام الهياكل المحلية مباشرة للمطابقة. وتم التأكيد على أنه يمكن تخفيض قيم معدل القبول الخاطئ (FAR) False Acceptance Rate ومعدل الرفض الخاطئ (FRR) False Rejection Rate إذا تم ضمان وجود كمية كافية من المنطقة المشتركة (أكبر من 60%) من القالب وبصمة الادخال.

في [11] قدم الباحثان نهجاً جديداً لمطابقة بصمات الأصابع مستنداً إلى الخوارزمية الجينية (GA) في محاولة لإيجاد الطريقة الأفضل للتعامل مع صور بصمات الأصابع منخفضة الجودة. أظهرت النتائج التجريبية أن هذا النهج يحقق أداء جيد على قاعدة البيانات Nist-4 حتى لو كانت نسبة كبيرة من بصمات الأصابع في قاعدة البيانات ذات جودة رديئة. إحدى مشاكل الخوارزمية الجينية (GA) هي أن زمن حساب التطور يمكن أن يكون طويلاً وبالتالي هذه الخوارزمية لا تلبى متطلبات تطبيقات الزمن الحقيقي. في المرجع [12] اقترح الباحثان خوارزمية جديدة لتحسين مستعمرة النمل لإقامة مطابقة دقيقة لبصمات الأصابع ذات التشوه الكبير. أثبتت النتائج التجريبية أن هذه الخوارزمية يمكن أن تعمل بشكل فعال على تحسين أداء مطابقة بصمات الأصابع ذات التشوه الكبير المكتسبة من أجهزة استشعار متباينة.

اعتمد الباحث في [13] على خوارزمية تحسين اليراع Firefly Optimized (FOA) Algorithm في المصادقة وأعطت الخوارزمية نتائج دقيقة جداً في هذا المجال تراوحت بين 96.36% و 100% عند تطبيقها على قواعد البيانات FCV2002 و FCV2004 و FC V2006.

بينما قدم الباحثان في [14] نهجاً ألياً بتهجين خوارزمية البحث عن الوقواق وخوارزمية تحسين سرب الجسيمات مع التقييم باستخدام قاعدة البيانات البحثية لقاعدة البيانات



الخاصة Nist-27. حققت الخوارزمية الهجينة المقترحة معدل التعرف المتوسط بنسبة 91.38%.

قدم الباحثون في [5] نظام متعدد المقاييس الحيوية لدمج ميزات بصمة الاصبع ذاته المستخرجة من نفس المستشعر او من مستشعرات مختلفة وبأوضاع مختلفة معتمدين على خوارزمية النحل الأساسية لتفادي مشكلة الحجم الكبير لمتجه الميزات الناتج عن الدمج. حيث قللت الخوارزمية المقترحة تكلفة التخزين ووقت التصنيف وبالتالي وقت التعرف على بصمات الأصابع.

## 7- مطابقة بصمات الأصابع بتكليف خوارزمية النحل

### 7.1 خوارزمية النحل (ABC: Artificial Bee Colony)

هي النهج الذي تم استخدامه لإيجاد الحل الأمثل لمشكلات التحسين العددي. هذه الخوارزمية مستوحاة من سلوك نحل العسل عند البحث عن مصدر غذاء عالي الجودة. مخطط ABC (Artificial Bee Colony) هو أسلوب بحث عشوائي بسيط وسريع يعتمد على السكان.

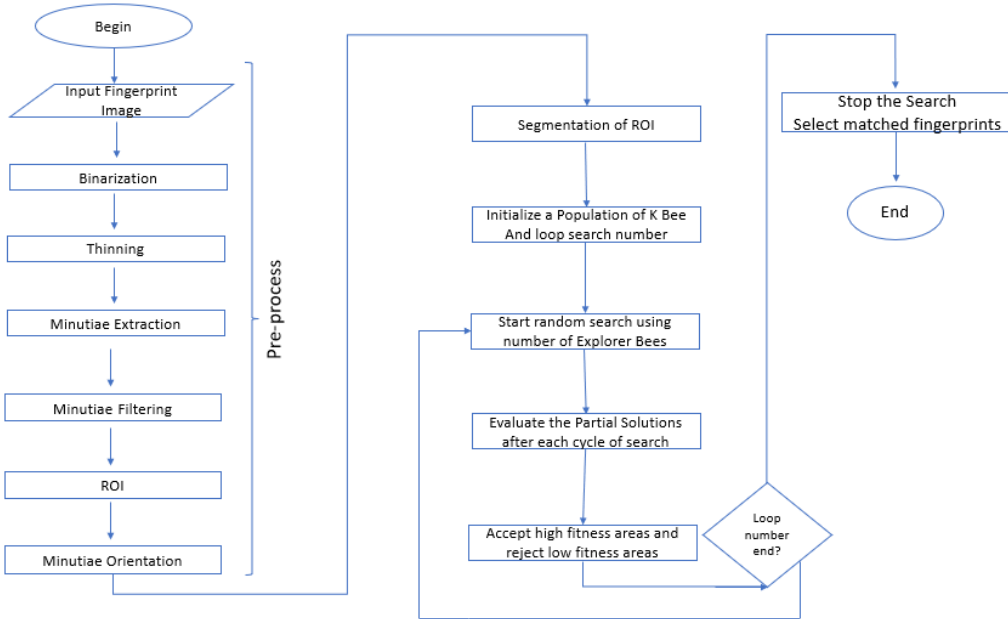
جذبت أبحاث ABC (Artificial Bee Colony) مؤخراً الكثير من الباحثين من مختلف أنحاء العالم وتم نشر 80 منشوراً على الأقل معتمداً على ABC (Artificial Bee Colony) فقط في عام 2011 وفقاً لسجل Scopus في مجالات متعددة. من هذه المجالات التطبيقات الهندسية والعلوم والطب باستخدام ABC.. الخ.[15] تعتبر خوارزمية ABC من أفضل الطرق التي تستخدم لاختبار البرمجيات والتي تتميز بكفاءتها من حيث استهلاكها لأقل وقت ممكن وسهولة تنفيذها مقارنة مع خوارزميات أخرى استخدمت لنفس الغرض. وكذلك قدرتها على إيجاد الحل الأمثل. تعتمد هذه الخوارزمية على عدد النحلات في المجتمع، مكان الغذاء يمثل حل محتمل للمسألة،

وكمية الرحيق تتطابق مع جودة الحل بينما يمثل عدد النحلات العاملات عدد الحلول. [17][18]

تعتمد هذه الخوارزمية على حجم الخلية (عدد النحلات) حيث يقسم سرب النحل الى 50% نحلات عاملات و 50% نحلات كشافة وعدد المتفرجات يساوي الواحد. كما أن عدد النحلات العاملات يساوي عدد الحلول [16]

## 7.2. المنهجية المقترحة

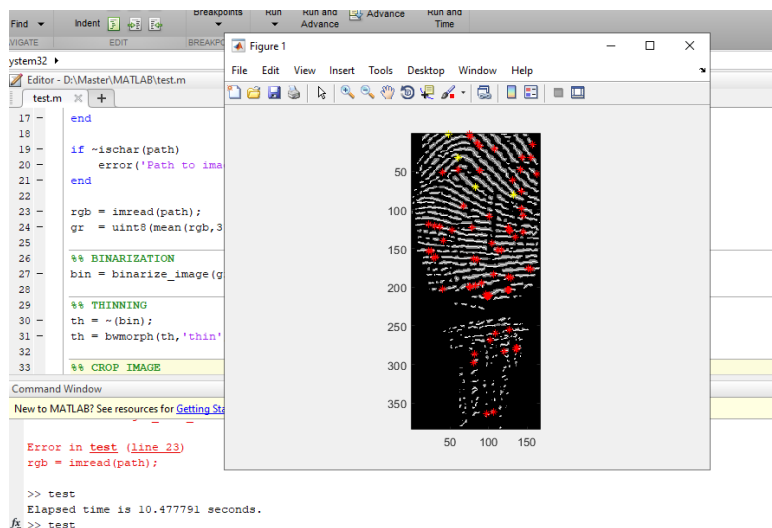
تنقسم المنهجية المقترحة في هذا البحث إلى مرحلتين أساسيتين، المرحلة الأولى تعمل على معالجة صورة البصمة المدخلة رقمياً وتمييز التفاصيل الدقيقة لتنتم مطابقتها في المرحلة الثانية باستخدام خوارزمية النحل (Artificial Bee Colony) ABC. وفق الشكل (7).



الشكل (7): المخطط التدفقي للمنهجية المقترحة في البحث.

## 7.2.1. المعالجة الأولية لصورة البصمة Preprocessing

تم العمل بداية على المعالجة الأولية لصورة البصمة رقمياً باستخدام برنامج MATLAB وفق خطوات متسلسلة من خلال استدعاء مجموعة من الدوال مكتوبة ضمن كود برمجي في الماتلاب في ملف (\*.m)، حيث يبين الشكل (8) النتيجة النهائية لكل العمليات لصورة بصمة محددة من القاعدة.



الشكل (8): النتيجة النهائية لمعالجة صورة البصمة باستخدام MALAB

إن الخطوات والدوال المطبقة مضمنة ضمن الكود، كما يبين الشكل (8)، لذا لا تظهر نتيجة كل خطوة على حدة ومن أجل إظهارها يجب التوقف عند كل مرحلة وهذه الخطوات موضحة ومشروحة كالتالي وفق تسلسلها:

### 1- Binarization

بما أن صور البصمات في قاعدة البيانات المختارة هي صور ذات تدرج رمادي (Grayscale) فالخطوة الأولى في المعالجة المسبقة هي تحويل تلك الصور لصور مرمزة ثنائياً (Binary) بحيث يتم تمييز الحواف الموجودة في البصمة باللون الأسود بينما تكون الأخاديد بيضاء. الشكل (9-a)

## Thinning -2

ترقيق الحواف (التلال) للتخلص من وحدات البكسل الزائدة وذلك لتقليل سُمك جميع الخطوط حتى يبلغ عرض الحواف (التلال) بكسل واحد فقط. الشكل (9-b)

### 3- استخراج التفاصيل (Minutiae extraction)

يكشف الفحص التفصيلي لجدد سلسلة الاحتكاك أيضاً أن مسار الحواف (التلال) لا يكون مستمراً عبر كامل سطح الإصبع، بعض الحواف (التلال) تتدفق وتنتهي فجأة وتسمى نهاية الحواف (النهايات)

(Terminations) (Ridge Ending)، بينما تتدفق الحواف الأخرى وتقسّم إلى حافتين منفصلتين وتميزتين وتسمى تشعب الحواف (التشعبات) (Ridge Bifurcation)، وبعض النتوءات تكون واسعة وتسمى نقاط. الشكل (9-c) و (9-d). يتم في هذه المرحلة استخلاص الميزات الأساسية (النهايات والتشعبات) من صورة البصمة وذلك بغية تقليل كلفة الحساب والمعالجة واستخدام ذاكرة الحاسب أثناء عملية المطابقة

### 4- فلتر التفاصيل (Minutiae filtering)

تتم إزالة التفاصيل الزائدة باستخدام 3 عمليات:

- إذا كانت المسافة بين النهاية و التشعب أصغر من D فإننا نزيل هذه التفاصيل الصغيرة.

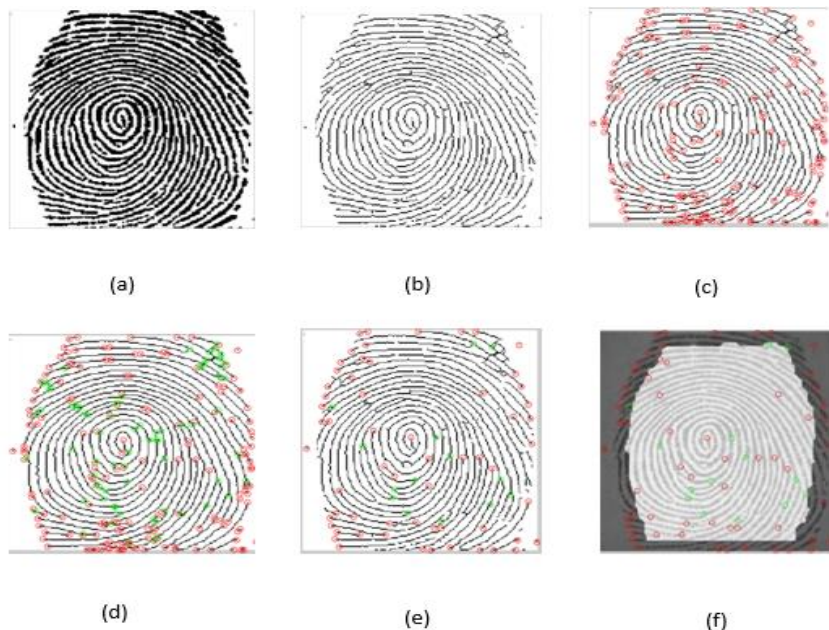
- إذا كانت المسافة بين تشعبين أصغر من D فإننا نزيل هذه التفاصيل الصغيرة .

- إذا كانت المسافة بين نهايتين أصغر من D فإننا نزيل هذه التفاصيل. الشكل (9-

e)

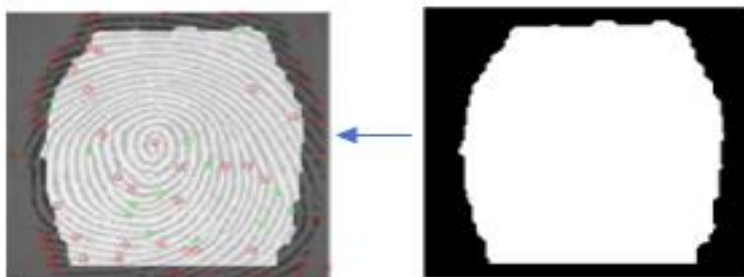
### 5- تحديد منطقة الاهتمام (ROI) (Reign of Interest)

هذا الاجراء يفصل بين بصمة الإصبع الأمامية ومنطقة الخلفية نظراً لأن استخراج الميزة والمطابقة يقتصر على منطقة الاهتمام بدلاً من صورة البصمة بأكملها. الشكل (10)



الشكل (9): المعالجة الأولية لصورة البصمة

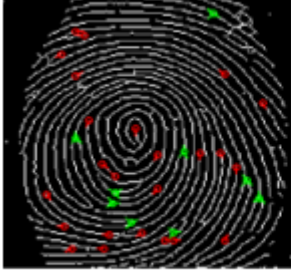
(a) الترميز الثنائي - (b) التخفيف (الترقيق) - (c) استخراج النهايات - (d) استخراج التشعبات - (e) فلتر التفاصيل - (f) تحديد منطقة الاهتمام.



الشكل (10) : منطقة الاهتمام (ROI) بعد تحديدها في اليمين ومن ثم تطبيقها على البصمة في اليسار

## 6- توجيه التفاصيل الدقيقة (Minutiae orientation)

بمجرد أن نحدد التفاصيل الدقيقة المختلفة، علينا أن نجد اتجاه كل منها. إذ يعد حساب الاتجاه أمراً بالغ الأهمية في عملية المطابقة.



Bifurcation Orientation



Termination Orientation

الشكل (11) : تحديد اتجاه التفاصيل الدقيقة

بالطريقة التقليدية يتم تمييز بصمة الاصبع باستخدام مستخرج المينوشا Minutiae Extractor . يقوم نظام المينوشا على فكرة رئيسية وهي ادخال صورتين مختلفتين لبصمة الاصبع ومن ثم ايجاد نسبة التطابق بينهم، وفي حال كانت النسبة اعلى من القيمة المحددة threshold فانهما يعتبرتا متطابقتان، وغير ذلك يعتبرتا مختلفتان. حيث تتم المقارنة العادية فقط بالاعتماد على مكان واتجاه المينوشا. [19]

لكن من أجل زيادة سرعة وفعالية عملية المطابقة تم استخدام خوارزمية النحل وتكييفها ودمجها مع المينوشا.

## 1- المطابقة بالاعتماد على المنهجية المقترحة بتكييف خوارزمية النحل (ABC)

1- تحديد منطقة العمل بعد المعالجة الأولية لصورة البصمة والتي تحدد المنطقة

الفعالة ROI. الشكل (12-a)

2- تقسيم منطقة العمل إلى قطاعات متساوية الأبعاد تمثل مصفوفة  $N * M$  حيث

يمثل عدد القطاعات البارامتر (1) في الخوارزمية. الشكل (12-b)

3- تجهيز عدد من النحلات  $K$  يمثل النحلات المستكشفة للمنطقة حيث تم

اختيار عدد  $K$  من نحلات البحث يحدد عدده وفق:  $K=(N * M)/4$

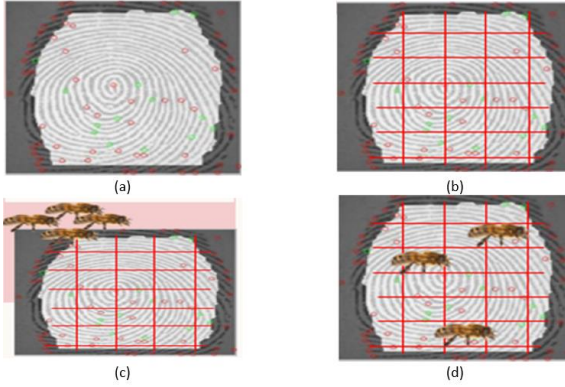
حيث يمثل  $K$  البارامتر (2). الشكل (12-c)

4- البدء بالبحث عشوائياً لمجموعة  $B$  من النحلات. يتم البحث ضمن منطقة

العمل ضمن جزء من القطاعات حيث تم اختيار عدد نحلات البحث من  $1$

إلى  $K$  بشكل عشوائي ويمثل العدد  $B$  و  $C$  البارامتر (3) وهو عدد النحلات

في كل دورة بحث. الشكل (12-d)



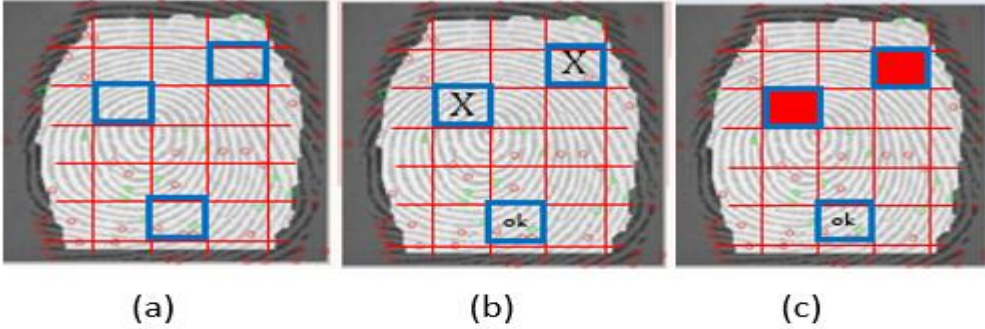
الشكل (12): (a) المنطقة المستهدفة لعملية البحث عن التفاصيل في البصمة بعد تحديد ROI-

(b) تقسيم المنطقة ROI إلى قطاعات من أجل البحث فيها عن حلول جزئية من قبل نحلات

البحث- (c) انطلاق لعدد من النحلات من الخلية لفحص المناطق وإعادة الحلول الجزئية -

المناطق التي غطتها نحلات البحث خلال دورة العمل الأولى للخوارزمية

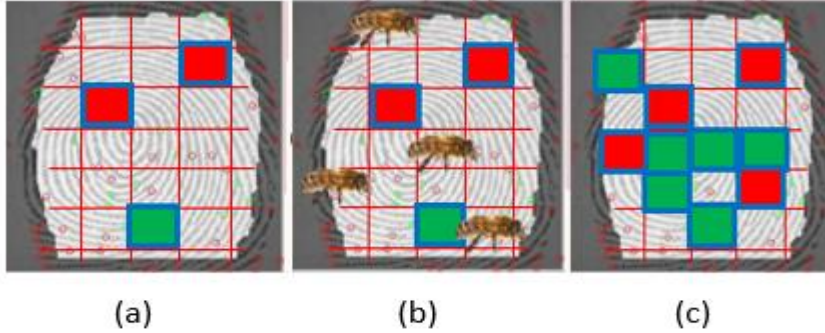
- 5- تقييم الحلول الجزئية لنحلات البحث بعد كل دورة من عمليات البحث. حيث تتم عملية التقييم وفق عتبة المينوشا للحلول الجزئية المقدمة في منطقة العمل والعتبة هنا مأخوذة من الطريقة التقليدية (المينوشا) وتعبّر عن العدد الأصغر المقبول من التفاصيل الدقيقة الموجود ضمن القطاع. الشكل (13-a)
- 6- تستبعد المناطق ذات التشعبات والنهايات وفق بارامتر يحدد العدد الأدنى الذي تستبعد عنده المناطق. الشكل (13-b) و (13-c)



الشكل (13): (a) المناطق التي تم عرض حلولها الجزئية في الخلية من قبل نحلات البحث في الدورة الأولى - (b) تقييم الحلول وفق الحد الموضوع للخوارزمية - (c) رفض مناطق لحلولها الضعيفة و قبول مناطق أخرى

- 7- تثبيت المناطق ذات جودة الحلول الجيدة واستبعاد المناطق من عمليات البحث في المرحلة التالية. الشكل (14-a)
- 8- تبدأ دورة عملية بحث جديدة للمناطق التي لم يتم زيارتها، كذلك الأمر بشكل عشوائي ويعدد C من النحلات. الشكل (14-b)
- 9- تقييم الحلول الجديدة وتثبيت المناطق ذات الجودة العالية. الشكل (14-c)





الشكل (14): (a) المناطق المحددة في الدورة الأولى - (b) انطلاق رحلات جديدة للبحث ضمن منطقة الاهتمام - (c) المناطق المختارة والمستبعدة في الدورة الثانية

10- توقف عمليات البحث عندما تحقق نسبة تطابق بين البصمة المجهولة والبصمات في قاعدة بيانات البحث نسبة معينة.

## 8- نتائج البحث

FVC هي قواعد البيانات الناتجة عن المسابقة الدولية لخوارزميات التحقق من بصمات الأصابع التي نظمت في عام 2000 من قبل مختبر أنظمة القياسات الحيوية (جامعة بولونيا) و المركز القومي الأميركي لاختبار الهوية (جامعة سان خوسيه الحكومية). كان الإصدار الأول في عام 2000 ثم تم تنفيذ 3 إصدارات أخرى كل عامين: FVC2002, FVC2004, FVC2006.

من أجل اختبار المنهجية المقترحة تم تطبيقها على قاعدة البيانات FCV2004 والتي تحوي على أربع مجموعات DB1 و DB2 و DB3 و DB4 حيث كل مجموعة تعبر عن حساس من نوع مختلف بمواصفات مختلفة. الصور في كل مجموعة لبصمات أصابع من نفس الأشخاص حيث أخذت كل بصمة على أربع حساسات وكل بصمة أخذت على كل حساس بثمان حالات مختلفة.

تم الدراسة والتجريب على المجموعة DB1-B وهي مؤلفة من 10 مجموعات بصمات لعشر اشخاص وكل شخص له 8 بصمات مختلفة، حيث تمت مطابقة كل بصمة من القاعدة DB1-B مع كل البصمات فيها. عند دراسة الجداول التي تنتج عن مقارنة البصمات فإن القيم التي تستخدم لتحليل الجداول عند المطابقة هي:

- البصمات المتطابقة Matching fingerprints
- البصمات غير المتطابقة Non-Matching fingerprints
- النسبة المئوية للمقارنة % Comparison Percentage (CP)
- نسبة التوافق Match Ratio (MR)
- نسبة القبول الخاطئ False Acceptance Rate (FAR)
- نسبة التوافق الحقيقية True Match Ratio (TMR)
- نسبة الرفض Rejection Rate (RR)
- القيمة العظمى للتشابه The Great Value of Similarity (GVS)
- القيمة الدنيا للتشابه The Minimum Value of Similarity (MVS)

نعرف كلا من هذه القيم، حيث:

2- البصمات المتطابقة: هي كل البصمات التي يكون لها نسبة تشابه أعلى من (حد القبول) وهو الحد الذي تقبل عنده الحلول الجزئية وفق خوارزمية النحل وفق المعادلة (1) وهنا درس عندما تكون النسبة أعلى من الواحد ( $>1$ ).

$\forall$  (matching% of 2 fingerprints)

$>$  Bee algorithm threesold

$\Rightarrow$  fingerprint acceptable ... (1)

تجدر الإشارة أن سلوك الخوارزمية يعطي تطابقات شاذة وهذه التطابقات لا يمكن اعتمادها حيث ينتج نسبة تطابق لها أكبر 100% ويكون فيها عدد

matching minutiae مساوي إلى 1، هذه التطابقات الشاذة لا يمكن إدخالها

في الحسابات لذا تحذف من نتائج عمليات المطابقة. كما يوضح الجدول (7)

لمطابقة البصمة 7-101 مع بصمات المجموعة DB1.

3- البصمات غير المتطابقة: أي بصمة لا تحقق الحد وفق خوارزمية النحل فهي غير

مقبولة (أصغر من 1).

4- النسبة المئوية للمقارنة %: وتعرف هذه النسبة لكل عملية مقارنة للبصمة التي

تتم مقارنتها مع بصمة أخرى. والقيم بنسبة المطابقة المئوية التي يكون قيمتها

أكبر من 1 (>1) هي البصمات المطابقة والتي يدخل عددها في حساب "نسبة

التطابق" وفق معادلة (2):

$$\text{matching\%} = \text{similarity} * 100 \quad \dots (2)$$

يمكن حساب النسبة المئوية من خلال normalization لقيم ال similarity

من المعادلة (3) التالية:

Normalized(matching%)

$$= \frac{\text{similarity} * 100}{\text{Max}(\text{similarity}) - \text{Min}(\text{similarity})} \dots (3)$$

في هذه الحالة تصبح البصمة ذات القيمة %100 هي البصمة ذات التطابق

الأعلى وتختار كبصمة مطابقة، وكل القيم التي أكبر من 100% هي قيم

مرفوضة. مبينة في الجدول (2) للبصمة 2-101.

5- نسبة التطابق: هي النسبة التي تحسب من خلال تحقيق مطابقة كل بصمة مع

عدد البصمات المرتبطة بها. أي أن البصمة 101 مرتبطة مع البصمات من

1-101 إلى 8-101 وعددها 8 بصمات فتكون نسبة التطابق 100% إذا

تحقق مطابقة البصمة المقارنة مع 8 بصمات من المجموعة الكلية. لكن العدد

8 والذي يعبر عن عدد البصمات المرتبطة ضمناً يجب أن يكون من

مجموعتها. ولكن يتبين أن العدد من الممكن أن يحوي 8 بصمات ولكن يوجد

بصمات ليست من مجموعتها. ومن اجل هذا السبب يعرف ما يسمى نسبة القبول الخاطيء. كذلك عندما تكون النسبة أكثر من 100% فإنه حكماً هناك بصمات تتبع للقبول الخاطيء. وتحسب من خلال المعادلة (4) التالية:

$$\text{matching rate\%} = \frac{(\text{Count (fingerprint matching\% > 1)} - \text{Count (fingerprint\% \leq 100)}) * 100}{\text{number of finger print for one person in Finger print Group}} \dots (4)$$

حيث:

$$\begin{aligned} &\text{number of finger print for one person in Finger print Group} \\ &= 8 \end{aligned}$$

6- نسبة القبول الخاطيء: هي البصمات التي حققت تطابق وفق (حد القبول) وهي ليست بصمات من مجموعة الشخص نفسه. وهي تحسب كنسبة من عدد بصمات الشخص والتي هي 8.

7- نسبة التطابق الحقيقية: هي عبارة عن نسبة البصمات المتطابقة منقوصاً منها نسبة القبول الخاطيء.

$$(5) \dots \text{الخاطيء القبول نسبة} - \text{الكلية التطابق نسبة} = \text{الحقيقية التطابق نسبة}$$

8- نسبة الرفض: هي النسبة عندما تكون البصمة موجودة ولا يتم كشفها أو إيجاد تطابق لها رغم وجود بصمات لنفس الشخص وهي من خارج قاعدة البيانات. وتحسب من عدد البصمات الموجودة لنفس الشخص والتي يبلغ عددها 8. وتستخدم هذه النسبة عندما نبحث عن تطابق لبصمة بالأساس غير موجودة بشكل مباشر واخذت لاحد الأشخاص في المجموعة ولكنها ليست من ضمن ال 8 بصمات الخاصة بالشخص نفسه.

9- القيمة العظمى للتشابه: هي أكبر قيمة بين قيم ال "النسبة المئوية للمقارنة %" أو matching%.

10- القيمة الدنيا للتشابه: هي أصغر قيمة بين قيم ال "النسبة المئوية للمقارنة % " أو % matching.

نعرض بعض جداول المقارنات، حيث يبين الجدول (2) مقارنة البصمة 2-101 مع كل البصمات في المجموعة DB1-B والجدول (3) مقارنة البصمة 7-101 مع كل البصمات في المجموعة DB1-B والجدول (4) مقارنة البصمة 8-101 مع كل البصمات في المجموعة DB1-B والجدول (5) مقارنة البصمة 3-102 مع كل البصمات في المجموعة DB1-B والجدول (6) مقارنة البصمة 6-102 مع كل البصمات في المجموعة DB1-B. وهذه الجداول تعرض كعينة من عمليات المقارنة الكاملة لهذه التجربة.

لاختبار الخوارزمية كما ذكرنا فإننا نختبر ونجري مطابقة للبصمة مع كل البصمات في مجموعتها، البصمة 101 هي بصمة لشخص محدد وينتمي له البصمات من (8-101 → 1-101) والبصمات الأخرى لأشخاص آخرين ومرتببة بنفس الصيغة، أي الشخص 2 فإن بصمته تكون 102 وتنتمي له البصمات (8-102 → 1-102) وعدد الأشخاص في المجموعة DB1-B من القاعدة FCV2004 هو عشرة أي الشخص العاشر بصماته تحمل الرقم 110-x. من خلال مطابقة كل بصمة مع البصمات الأخرى فإننا نحصل على رقمين، الأول هو نسبة التشابه similarity والثاني هو عدد المميزات المتطابقة بين البصمتين matching minutiae. نذكر للملاحظة أنه تم وضع الجداول بشكل مختصر وليس لكل قيم المقارنات وذلك لأحجام الجداول الكبيرة. يبين الجدول (1) مقارنة البصمة 1-101 مع كل البصمات في المجموعة DB1.

الجدول (1): مقارنة البصمة 101-1 مع كل البصمات في المجموعة DB1-B

مقارنة البصمة 101-1 مع بصمات المجموعة DB1-B				
Normalized%	النسبة المئوية للمقارنة %	البصمة المقارن معها	similarity	matching minutiae
0	0	103-2	0	0
0	0	106-8	0	0
0	0	107-4	0	0
0	0	107-7	0	0
0	0	108-4	0	0
0	0	108-7	0	0
0.058456742	0.03	105-6	0.03	1
0.058456742	0.03	105-8	0.03	3
0.058456742	0.03	107-2	0.03	1
:	:	:	:	:
1.597817615	0.82	103-3	0.82	6
2.143413874	1.1	101-7	1.1	9
7.540919719	3.87	101-4	3.87	14
9.898674981	5.08	101-5	5.08	17
15.14029618	7.77	101-2	7.77	16
100	51.32	101-1	51.32	24
	البصمات الغير مطابقة	0		
	عدد البصمات المحققة للشرط أكبر من 1	5		
		Max matching %	51.32	
		Min matching %	0	
	نسبة التطابق	62.5%		
	نسبة القبول الخاطئ	0		
	نسبة الرفض	0%		
	نسبة التطابق الحقيقية%	62.5%		

وكذلك يبين الجدول (2) مقارنة البصمة 101-2 مع بصمات المجموعة DB1-B.

الجدول (2): مقارنة البصمة 101-2 مع كل البصمات في المجموعة DB1-B

مقارنة البصمة 101-2 مع بصمات المجموعة DB1-B				
Normalized%	النسبة المئوية للمقارنة %	البصمة المقارن معها	similarity	matching minutiae
0	0	101-3	0	0
0	0	103-2	0	0
0.015342	0.01	108-7	0.0001	1
0.015342	0.01	108-8	0.0001	2
0.015342	0.01	110-5	0.0001	4
0.015342	0.01	110-6	0.0001	3
0.030684	0.02	102-6	0.0002	1
0.030684	0.02	103-6	0.0002	1
0.50629	0.33	105-3	0.0033	4
:	:	:	:	:
3.988954	2.6	101-6	0.026	22
5.078245	3.31	101-4	0.0331	20
5.308377	3.46	101-5	0.0346	20
5.968088	3.89	101-7	0.0389	25
11.92083	7.77	101-1	0.0777	16
100	65.18	101-2	0.6518	46
	البصمات الغير مطابقة	0		
	عدد البصمات المحققة للشرط أكبر من 1	6		
		Max matching %	0.6518	65.18%
		Min matching %	0	0%
	نسبة التطابق	75%		
	نسبة القبول الخاطئ	0%		
	نسبة الرفض	0%		
	نسبة التطابق الحقيقية %	75%		

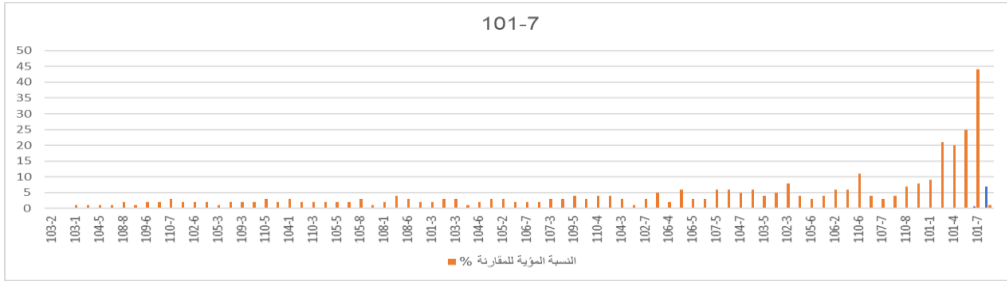
من خلال دراسة جدول (2) للبصمة 2-101 نلاحظ أن جميع البصمات التي تم التطابق معها والتي حققت شرط ( $>1$ ) عددها 6 وهي تقع ضمن بصمات الشخص نفسه أي تتبع لنفس مجموعة البصمات 101 ولا تحتوي على بصمات متشابهة مع أشخاص آخرين. ومنه نلاحظ أن نسبة التطابق 75% وهي مساوية لنسبة التطابق الحقيقي أي أن البصمات التي اختيرت تتبع لنفس الشخص. وهنا نلاحظ عدم وجود قبول خاطئ. وكلما قلت نسبة القبول الخاطئ كلما كانت خوارزمية المطابقة المستخدمة أفضل. وكذلك يبين الجدول (3) مقارنة البصمة 7-101 مع بصمات المجموعة DB1-B.

الجدول (3): مقارنة البصمة 7-101 مع كل البصمات في المجموعة DB1-B

مقارنة البصمة 7-101 مع بصمات المجموعة DB1-B				
Normalized%	النسبة المئوية للمقارنة %	البصمة المقارن معها	similarity	matching minutiae
0	0	103-2	0	0
0	0	106-3	0	0
0.016736402	0.01	103-1	0.0001	1
:	:	:	:	:
1.338912134	0.8	110-8	0.008	7
1.623430962	0.97	103-8	0.0097	8
1.841004184	1.1	101-1	0.011	9
5.071129707	3.03	101-5	0.0303	21
5.205020921	3.11	101-4	0.0311	20
6.510460251	3.89	101-2	0.0389	25
100	59.75	101-7	0.5975	44
1176.518828	702.97	103-6	7.0297	1
	البصمات الغير مطابقة	0		
	عدد البصمات المحققة للشرط أكبر من 1	5		
		Max matching %	59.75	
		Min matching %	0	
	نسبة التطابق	62.5%		
	نسبة القبول الخاطئ	0%		
	نسبة الرفض	0%		
	نسبة التطابق الحقيقية %	62.5%		



من خلال دراسة الجدول (3) للبصمة 7-101 نلاحظ أن جميع البصمات التي تم التطابق معها والتي حققت شرط ( $>1$ ) عددها 6 ولكن فقط 5 منها تقع ضمن بصمات الشخص نفسه أي تتبع لنفس مجموعة البصمات 101 وبصمة وحيدة بنسبة تطابق أكبر من 100% وهي بصمة شاذة (6-103) وليست من مجموعة الشخص نفسه وإن الـ matching minutiae لها مساوي إلى 1، هذه البصمات يتم حذفها من التطابقات والنسب لكونها لا تحقق مجال المطابقات المطلوب. ومنه نلاحظ أن نسبة التطابق 62.5% وهي مساوية لنسبة التطابق الحقيقي أي أن البصمات التي اختيرت تتبع لنفس الشخص. وهنا نلاحظ عدم وجود قبول خاطئ. يبين الشكل (15) النسبة المئوية للتطابق للبصمة 7-101 نسبة لباقى البصمات في المجموعة DB1-B.



الشكل (15): النسب المئوية لمقارنة البصمة 7-101 مع كل البصمات في المجموعة DB1-

B

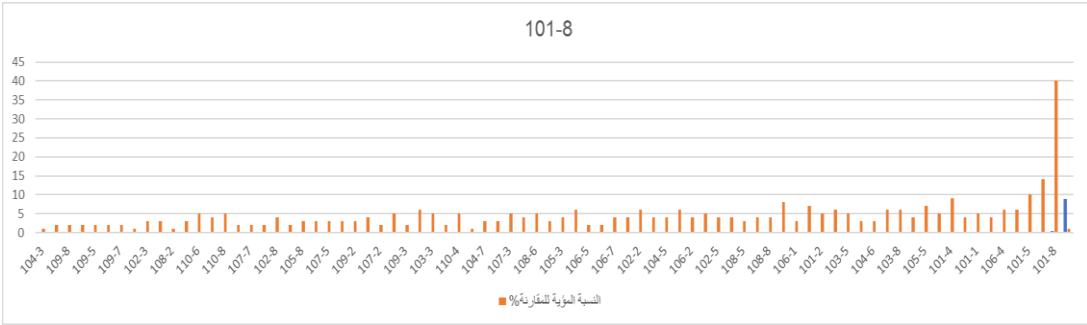
ويبين الجدول (4) مقارنة البصمة 8-101 مع بصمات المجموعة DB1-B.

الجدول (4): مقارنة البصمة 8-101 مع كل البصمات في المجموعة DBI-B

مقارنة البصمة 8-101 مع بصمات المجموعة DBI-B				
normalized %	النسبة المئوية للمقارنة %	البصمة المقارن معها	Similarity	matching minutiae
0.020947	0.01	104-3	0.0001	1
0.020947	0.01	105-2	0.0001	2
0.020947	0.01	109-8	0.0001	2
0.041894	0.02	105-4	0.0002	2
0.041894	0.02	109-5	0.0002	2
0.041894	0.02	109-6	0.0002	2
0.041894	0.02	109-7	0.0002	2
1.068289	0.51	103-6	0.0051	6
:	:	:	:	:
1.843322	0.88	101-6	0.0088	14
<b>100.0002</b>	<b>47.74</b>	<b>101-8</b>	<b>0.4774</b>	<b>40</b>
<b>1858.948</b>	<b>887.46</b>	<b>109-1</b>	<b>8.8746</b>	<b>1</b>
	البصمات الغير مطابقة	0		
	عدد البصمات المحققة للشرط أكبر من 1	1		
		Max matching %	47.74	
		Min matching %	0.0001	
	نسبة التطابق	12.5%		
	نسبة القبول الخاطئ	0%		
	نسبة الرفض	0%		
	نسبة التطابق الحقيقية %	12.5%		

من خلال دراسة جدول (4) للبصمة 8-101 نلاحظ أن هناك بصمة وحيدة حققت شرط ( $>1$ ) وهي تقع ضمن بصمات الشخص نفسه أي تتبع لنفس مجموعة البصمات 101 وبصمة وحيدة بنسبة تطابق أكبر من 100% وهي بصمة شاذة (1-109) وليست من مجموعة الشخص نفسه وإن ال matching minutiae لها مساوي إلى 1، هذه

البصمات يتم حذفها من التطابقات والنسب لكونها لا تحقق مجال المطابقات المطلوب. ومنه نلاحظ أن نسبة التطابق 12.5% وهي مساوية لنسبة التطابق الحقيقي أي أن البصمات التي اختيرت تتبع لنفس الشخص. وهنا نلاحظ عدم وجود قبول خاطئ. من الملاحظ هنا أن القيمة لنسبة التطابق منخفضة لوجود بصمة وحيدة مقبولة تم التطابق معها ولكن بما أن القيمة normalized لها حقق 100% فهذا يعني أنه تم تحديد البصمة المطلوبة ولا يوجد بصمات أخرى تتشابه معها. نلاحظ أيضاً أن قيمة normalized هي (100.0002)% وليست 100% وهذا نتيجة كون Min matching % ليس ذو قيمة صفرية نتيجة لوجود تطابق مميزة وحيدة مع كل البصمات في المجموعة DB1. وبالمجمل هذا لا يؤثر على تحديد البصمة المطابقة. يبين الشكل (16) النسبة المئوية للتطابق للبصمة 8-101 نسبة لباقي البصمات في المجموعة DB1.



الشكل (16): النسب المئوية لمقارنة البصمة 8-101 مع كل البصمات في المجموعة DB1-

B

ندرس المزيد من الجداول لبصمات أخرى لأشخاص آخرين مثل البصمة 3-102 في الجدول (5) والبصمة 6-102 في الجدول (6).

كذلك يبين الجدول (5) مقارنة البصمة 3-102 مع بصمات المجموعة DB1-B.

الجدول (5): مقارنة البصمة 3-102 مع كل البصمات في المجموعة DB1-B

مقارنة البصمة 3-102 مع بصمات المجموعة DB1-B				
normalized %	النسبة المئوية للمقارنة %	البصمة المقارن معها	Similarity	matching minutiae
0	0	105-1	0	0
0	0	106-1	0	0
0	0	106-4	0	0
0	0	106-6	0	0
0.016464	0.01	103-1	0.0001	1
0.016464	0.01	110-3	0.0001	2
:	:	:	:	:
0.032927	0.02	101-5	0.0002	2
1.037208	0.63	110-1	0.0063	4
<b>100</b>	<b>60.74</b>	102-3	0.6074	43
1443.431	<b>876.74</b>	110-4	8.7674	1
	البصمات الغير مطابقة	0		
	عدد البصمات المحققة للشرط أكبر من 1	1		
		Max matching %	60.74	
		Min matching %	0	
	نسبة التطابق	12.5%		
	نسبة القبول الخاطئ	0%		
	نسبة الرفض	0%		
	نسبة التطابق الحقيقية%	12.5%		

من خلال دراسة الجدول (5) للبصمة 3-102 نرى أن الحالة لنتائج هذا الجدول مشابهة للجدول (4) للبصمة 8-101. يبين الجدول التالي مقارنة البصمة 6-102 مع بصمات المجموعة DB1-B.

الجدول (6): مقارنة البصمة 6-102 مع كل البصمات في المجموعة B-DB1

مقارنة البصمة 6-102 مع بصمات المجموعة DB1-B				
normalized %	النسبة المئوية للمقارنة %	البصمة المقارن معها	Similarity	matching minutiae
0	0	101-3	0	0
0.032637	0.02	101-2	0.0002	1
0.032637	0.02	101-5	0.0002	2
0.032637	0.02	101-7	0.0002	2
0.032637	0.02	104-8	0.0002	1
:	:	:	:	:
1.077023	0.66	102-8	0.0066	8
1.142298	0.7	106-6	0.007	4
1.778721	1.09	103-2	0.0109	5
1.876632	1.15	102-4	0.0115	10
2.627285	1.61	102-1	0.0161	7
3.802219	2.33	102-5	0.0233	14
4.716057	2.89	102-7	0.0289	14
100	61.28	102-6	0.6128	33
	البصمات الغير مطابقة	1		
	عدد البصمات المحققة للشرط أكبر من 1	5		
		Max	61.28	
		Min	0	
	نسبة التطابق	75%		
	نسبة القبول الخاطئ	12.5		
	نسبة الرفض	0%		
	نسبة التطابق الحقيقية%	62.5%		

من خلال دراسة جدول (6) للبصمة 6-102 نلاحظ أن هناك 5 بصمات حققت شرط ( $>1$ ) وهي تقع ضمن بصمات الشخص نفسه أي تتبع لنفس مجموعة البصمات 102. ومنه نلاحظ أن نسبة التطابق 75% وهي غير مساوية لنسبة التطابق الحقيقي أي أن مجموعة البصمات التي تم اختيارها فيها بصمات تتبع لنفس الشخص ولشخص آخر. وهنا نلاحظ وجود قبول خاطئ عند البصمة 2-103. من خلال حساب القيمة normalized للبصمات المطابقة فإن البصمة 6-102 حققت 100% فهذا يعني أنه تم تحديد البصمة المطلوبة. نلاحظ وجود نسبة قبول خاطئ ناتج عن البصمة 2-103 وهي ليست لنفس مجموعة الشخص. هذه القيمة تتغير حسب بارمترات خوارزمية

استخدام خوارزمية النحل لتحديد البصمات المتطابقة في قاعدة بيانات معيارية

المطابقة المتبعة، وهنا الخوارزمية المطبقة من قبل الباحث هي خوارزمية النحل. من بارمترات خوارزمية النحل هو threshold أو الحد الذي عنده تقبل الحلول الجزئية. من خلال التجريب تبين أن قيمة الحد ( $>1$ ) أعطت نتائج جيدة لنسب المطابقة نسبة للقبول الخاطئ. من خلال إعادة عرض الجدول (1) للبصمة 101-1 ورؤية تأثير تغيير الحد لخوارزمية النحل وإيجاد حد المطابقة المناسب من خلال الجدول (7).

الجدول (7): مقارنة البصمة 101-1 مع كل البصمات في المجموعة DB1-B بعد تقليل حد قبول

الحلول الجزئية ل ( $>0.6$ )

مقارنة البصمة 101-1 مع بصمات المجموعة DB1-B				
النسبة المئوية للمقارنة $0.6 \leq \%$	النسبة المئوية للمقارنة $1 < \%$	البصمة المقارن معها	Similarity	matching minutiae
0	0	103-2	0	0
0	0	106-8	0	0
0	0	107-4	0	0
0	0	107-7	0	0
0	0	108-4	0	0
0	0	108-7	0	0
0.03	0.03	105-6	0.03	1
0.03	0.03	105-8	0.03	3
0.46	0.46	110-2	0.46	2
0.53	0.53	101-6	0.53	5
0.6	0.6	103-6	0.6	4
0.82	0.82	103-3	0.82	6
1.1	1.1	101-7	1.1	9
3.87	3.87	101-4	3.87	14
5.08	5.08	101-5	5.08	17
7.77	7.77	101-2	7.77	16
51.32	51.32	101-1	51.32	24
	البصمات الغير مطابقة $1 <$	0		
	البصمات الغير مطابقة $0.6 <$	2		
	عدد البصمات المحققة للشرط أكبر من 1	5		
	عدد البصمات المحققة للشرط أكبر من 0.6	7		
	نسبة التطابق $1 <$	62.5%		
	نسبة التطابق $0.6 <$	87.5%		
	نسبة القبول الخاطئ $1 <$	0%		
	نسبة القبول الخاطئ $0.6 <$	25%		
	نسبة التطابق الحقيقية $1 < \%$	62.5%		
	نسبة التطابق الحقيقية $0.6 < \%$	62.5%		

من خلال إعادة دراسة جدول البصمة 1-101 واستخدام قيمتين لحد قبول الحلول الجزئية بالنسبة لخوارزمية النحل والتي هي 1 و0.6 فإننا نلاحظ أن عدد البصمات التي حققت التطابق عند الحد 0.6 قد زاد، ولكن هذه الزيادة غير جيدة لأن البصمات التي حققت الشرط هي ليس لنفس مجموعة الشخص 101 إنما ضمن بصمات شخص آخر هي 103 (-103 3-103, 6). ومنه يزداد نسبة القبول الخاطيء والتي تقلل من دقة نتائج عملية المطابقة.

### 11- مقارنة نتائج الدراسة مع دراسات سابقة

من خلال الدراسات المرجعية عمل الباحثون على مجالات متعددة ضمن بصمة الإصبع تراوح من تحسين نسبة المطابقة إلى تحسين الصورة إلى تقليل نسبة القبول الخاطيء.. الخ. ومن أجل توثيق هذه الدراسات نسبة للعمل المقدم من قبل الباحث فقد تم وضع الجدول (8) لتبيان المقارنات بين هذه الدراسات.

الجدول (8): مقارنة نتائج الدراسة مع نتائج الدراسات المرجعية.

تصنيف	اسم الدراسة	سنة النشر	هدف البحث	التقنية المستخدمة	قاعدة البيانات	نسبة المطابقة
الخوارزميات التقليدية	Artificial Neural Networks Based Fingerprint Authentication With Clusters Algorithm	2005	التعرف على البصمة عن طريق اكتشاف مجموعات الميزات المتشابهة من ملفات صور النموذج التي تم انشاؤها من نفس الاصبع	ANN	FVC2002	-
	Novel Feature Extraction Methodology with Evaluation in Artificial Neural Networks Based Fingerprint Recognition System	2018	استخراج الميزات للتعرف على بصمات الأصابع	ANN	UPEK	95.57%
					FVC2000	91.38%

استخدام خوارزمية النحل لتحديد البصمات المتطابقة في قاعدة بيانات معيارية

-	-	Gabor filter & Zhang Suen Minutia algorithm	تحسين جودة الصورة و استخراج التفاصيل للمطابقة	2020	Fingerprint Enhancement, Minutiae Extraction and Matching Techniques	خوارزميات النكاه الصناعي
99.87%	-	التعلم العميق Convolution Neural Network CNN	تحديد الهوية والتحقق منها	2021	An intelligent system for automatic fingerprint identification using feature fusion by Gabor filter and deep learning	
92%	-	Siamese Neural Network SNN	التعرف على بصمات الأصابع	2022	A novel fingerprint recognition method based on a Siamese neural network	
-	-	أتمتة سلوك خبير بشري بفحص العلاقات الموضوعية بين التفاصيل المحلية يدوياً	مطابقة بصمات الأصابع	2000	Fingerprint Minutiae Matching Based on the Local And Global Structures	
-	Nist-4	الخوارزمية الجينية	مطابقة بصمات الأصابع	2006	Fingerprint matching by genetic algorithms	
-	FVC2004	خوارزمية تحسين مستعمرة النمل	مطابقة صور بصمات الأصابع ذات التشوه الكبير المكتسبة من أجهزة استشعار متباينة	2012	A novel ant colony optimization algorithm for large-distorted fingerprint matching	
تراوحت بين %96.36 و %100	FVC2002 FVC2004 FVC2006	خوارزمية تحسين البراع FOA	مطابقة بصمات الأصابع	2016	Correlated Feature Selection Model based on Swarm Intelligence to Enhance Rotational Invariant Fingerprint Authentication using Firefly Optimized Algorithm	



91.38%	Nist-27	نمط هجين بين خوارزمية PSO وخوارزمية NMD	مطابقة بصمات الأصابع	2020	The Recognition of Latent Fingerprints using Swarm Intelligence based Hybrid Approach	المنهجية المقترحة
1	1	ABC	تقليل زمن تصنيف البصمات قبل التعرف عليها من خلال تقليل حجم متجه الميزات	2021	Fingerprint Intramodal Biometric System Based on ABC Feature Fusion	
97.3%	FVC2004	ABC	مطابقة بصمات الأصابع	2023	Using bee algorithm to identify matching fingerprints in a standardized database	

## 12- النتيجة

من خلال دراسة النتائج التي تم الحصول عليها من تطبيق المنهجية المتبعة التي اعتمدت على تكيف خوارزمية النحل لاستخدامها لعملية مطابقة بصمات الأصابع بعد مرحلة معالجة صورة البصمة بالخطوات المذكورة في هذا البحث فإنه تم الحصول على نتائج جيدة مقارنة بالأبحاث السابقة التي تتشابه في موضوع الدراسة والمبينة في الجدول (8). حيث حققت الخوارزمية عند تطبيقها على الجزء (DB1) من قاعدة البيانات FCV2004 نسبة مطابقة وصلت إلى 97.3% والذي تم عرضه في هذا البحث، وكذلك تم الحصول على نسب متقاربة لعمليات المطابقة في الأجزاء الأخرى من القاعدة. وهي نتيجة جيدة مقارنة بخوارزميات أخرى تعمل على مطابقة البصمات كما تم عرضه في الجدول (8). ومن المتوقع الوصول إلى نتائج جيدة عند تطبيقها لاحقاً على قواعد أخرى معيارية وغير معيارية.

## المراجع

### References

- [1] National Forensic Science Technology Center (NFSTC). (2009). A Simplified Guide To Fingerprint Analysis (2009<sup>th</sup> ed., Vol. 028) [#2009---D1---BX---K028]. Bureau of Justice Assistance (BJA).
- [2] Meuwly, D. (2009). Fingerprint, Forensic Evidence of. In Springer eBooks (pp. 528–535). [https://doi.org/10.1007/978-0-387-73003-5\\_181](https://doi.org/10.1007/978-0-387-73003-5_181)
- [3] Maddala, S., Tangellapally, S. R., Bartunek, J. S., & Nilsson, M. (2011). Implementation and evaluation of NIST Biometric Image Software for fingerprint recognition. Master's Thesis MEE10:85. <https://doi.org/10.1109/brc.2011.5740672>
- [4] Allah, M. M. A. (2005). Artificial neural networks based fingerprint authentication with clusters algorithm. Informatica (Lithuanian Academy of Sciences), 29(3), 303–308. <https://doi.org/10.31449/inf.v29i3.44>
- [5] Jooda, J. O., Oke, A., Omidiora, E. O., Adedeji, O. T., & Makinde, B. O. (2021). Fingerprint Intramodal Biometric System based on ABC Feature Fusion. Asian Journal of Research in Computer Science, 1–10. <https://doi.org/10.9734/ajrcos/2021/v11i230256>
- [6] Kahraman, N., Taskiran, Z. G. C., & Taskiran, M. (2018). Novel Feature Extraction Methodology with Evaluation in Artificial Neural Networks Based Fingerprint Recognition System. Tehnicki Vjesnik-technical Gazette. <https://doi.org/10.17559/tv-20170816124949>
- [7] Socheat, S., & Wang, T. (2020). Fingerprint enhancement, minutiae extraction and matching techniques. Journal of Computer

and Communications, 08(05), 55–74.  
<https://doi.org/10.4236/jcc.2020.85003>

[8] Nur-A-Alam, Ahsan, M., Based, M., Haider, J., & Kowalski, M. (2021). An intelligent system for automatic fingerprint identification using feature fusion by Gabor filter and deep learning. Computers & Electrical Engineering, 95, 107387.  
<https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107387>

[9] Li, Z., Wang, Y., Zhong, Y., Tian, X., Li-Xin, Z., Wu, X., Yu, J., Gu, S., Huang, L., & Zhang, Y. (2022). A novel fingerprint recognition method based on a Siamese neural network. Journal of Intelligent Systems, 31(1), 690–705. <https://doi.org/10.1515/jisys-2022-0055>

[10] Jiang, X., & Yau, W. (2002). Fingerprint minutiae matching based on the local and global structures. Centre for Signal Processing, Nanyang Technological University.  
<https://doi.org/10.1109/icpr.2000.906252>

[11] Tan, X., & Bhanu, B. (2006). Fingerprint matching by genetic algorithms. Pattern Recognition, 39(3), 465–477.  
<https://doi.org/10.1016/j.patcog.2005.09.005>

[12] Cao, K., Yang, X., Chen, X., Zang, Y., Liang, J., & Tian, J. (2012). A novel ant colony optimization algorithm for large-distorted fingerprint matching. Pattern Recognition, 45(1), 151–161.  
<https://doi.org/10.1016/j.patcog.2011.04.016>

[13] Al-Azzawi, A. (2016). Correlated Feature Selection Model based on Swarm Intelligence to Enhance Rotational Invariant Fingerprint Authentication using Firefly Optimized Algorithm. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, 5(10), 1–9.  
<https://doi.org/10.17148/ijarcce.2016.51001>

- [14] Kumar, T. and Garg, R. S. (2020). The Recognition of Latent Fingerprints using Swarm Intelligence based Hybrid Approach. International Journal on Emerging Technologies, 11(5): 90–97.
- [15] Bansal, J. C., Sharma, H., & Jadon, S. S. (2013). Artificial bee colony algorithm: a survey. International Journal of Advanced Intelligence Paradigms, 5(1/2), 123. <https://doi.org/10.1504/ijaip.2013.054681>
- [16] Karaboga, D., & Basturk, B. (2008). On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm. Applied Soft Computing, 8(1), 687–697. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2007.05.007>
- [17] Castellani, M., & Pham, D. T. (2022). The Bees Algorithm—A Gentle Introduction. In Springer eBooks (pp. 3–21). [https://doi.org/10.1007/978-3-031-14537-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-031-14537-7_1)
- [18] IEEE Industrial Electronic Technology News (ITeN). (2023, March 23). The Bees Algorithm and Its Applications. <https://iten.ieee-ies.org/upcoming-online-webinar/2023/the-bees-algorithm-and-its-applications/>
- [19] Narwal, S., & Kaur, D. (2016). Comparison between Minutiae Based and Pattern Based Algorithm of Fingerprint Image. International Journal of Information Engineering and Electronic Business, 8(2), 23–29. <https://doi.org/10.5815/ijieeb.2016.02.03>