

مجلة جامعة حمص

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 47 . العدد 3

1447 هـ . 2025 م

الأستاذ الدكتور طارق حسام الدين رئيس جامعة حمص

المدير المسؤول عن المجلة

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

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

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة حمص

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

. هاتف / فاكس : 2138071 31 963 ++

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

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

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة حمص

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة + word / CD
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).

١- مقدمة

٢- هدف البحث

٣- مواد وطرق البحث

٤- النتائج ومناقشتها .

٥- الاستنتاجات والتوصيات .

٦- 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).
- ١. مقدمة.
- ٢. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
- ٣. أهداف البحث و أسئلته.
- ٤. فرضيات البحث و حدوده.
- ٥. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
- ٦. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
- ٧. منهج البحث و إجراءاته.
- ٨. عرض البحث و المناقشة والتحليل
- ٩. نتائج البحث.
- ١٠. مقترحات البحث إن وجدت.
- ١١. قائمة المصادر والمراجع.
- ٧- 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.
- ٨- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- ٩- 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.

١٠ - الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة
١١ - 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 حمص

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

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
52-11	سوزان التركماني د.مهند رجب	تمثيل استعلامات SQL باستخدام نموذج BERT
86-53	ناديا قسيس د.رانيا لطفي د.ايفا حريقص	التعرف على لغة الإشارة العربية في الوقت الحقيقي باستخدام التعلم العميق
116-87	د.حسام الوفائي	تقنية جديدة لمراقبة تشتت نمط الاستقطاب للألياف الضوئية باستخدام نغمة إشارة الساعة
130-117	سليمان قاسم د.هيثم حسن د.عصام المنصور	دراسة تأثير شكل سطح مواد متغيرة الطور (PCM) في أداء مقطر شمسي صندوقي تجريبياً
156-131	سامي محمد الحرح	تحسين أداء محطة توليد كهر وشمسية موصولة بالشبكة باستخدام متحكم PI معايير بخوارزمية النحل (دراسة محطة توليد حسياء)

تمثيل استعلامات SQL باستخدام نموذج BERT

م.سوزان محمد التركماني

د.مهند رجب

الملخص:

تحليل الاستعلامات المطبقة على قواعد البيانات يمثل نقطة الإنطلاق للعديد من المهام الرئيسية في إدارة قواعد البيانات، مثل تلخيص الأحمال، وضبط بالفهارس، ومهام إدارية أخرى. ونظراً لصعوبة إجراء تحليلات يدوية مع توسع أحجام قواعد البيانات ومرافقها من تعقيد في الاستعلامات وزيادة في حجم الأحمال المطبقة على القاعدة، كان من الضروري إيجاد تمثيلات رقمية فعالة للاستعلامات لتمثيل المعلومات بشكل دقيق يمكن استخدامها في خوارزميات التعلم الآلي، على سبيل المثال كإدخال لخوارزميات التعلم المعزز المصممة لضبط الفهارس.

تهدف هذه الدراسة إلى استغلال نموذج لغوي متقدم، وهو نموذج BERT، لإنشاء تمثيلات للاستعلامات. يشمل البحث استخراج التضمينات باستخدام النموذج، ثم تقييم كفاءتها في مهمتين اكتشاف التشابه بين الاستعلامات والتجميع.

أظهرت النتائج في مهمة اكتشاف التشابه الجودة العالية لتضمينات النموذج، حيث تفوق على أساليب تشابه الاستعلامات المرجعية في جميع مجموعات بيانات الاختبار بالنسبة لمعامل (Silhouette)، ووصل لتحسين لا يقل عن 90% بالنسبة لهذا المقياس كما حقق انخفاضاً كبيراً في معامل التماسك (BetaCV) بنسبة لا تقل عن 82% مقارنةً بأساليب التشابه المرجعية.

تم أيضاً تطبيق اختبارات على مستوى التجميع Clustering، حيث تمت مقارنة نموذج BERT مع ثلاثة نماذج لغوية معروفة أخرى باستخدام ثلاث خوارزميات تجميع و أظهرت

النتائج تفوق نموذج BERT بشكل ملحوظ في تشكيل تجمعات متماسكة ومنفصلة عبر مختلف مجموعات البيانات، خاصةً في خوارزميات Kmeans و HAC مع أداء جيد في خوارزمية Optics.

Representing SQL Queries using the Bert Model

Abstract:

Query analysis applied to databases is a starting point for many critical tasks in database management, such as workload summarization, index tuning, and other administrative tasks. Given the difficulty of performing manual analyses with the expansion of database sizes, the complexity of queries, and the increase in workload, it was essential to find effective numerical representations of queries to accurately represent information for use in machine learning algorithms. For example, these representations can serve as input for reinforcement learning algorithms designed for index tuning.

This study aims to utilize an advanced language model, BERT, to create representations for queries. The research involves extracting embeddings using the model and then evaluating their effectiveness in two tasks: similarity detection between queries and clustering.

The results showed high-quality embeddings for the model in the similarity detection task. BERT outperformed reference query similarity methods in all test datasets in terms of the silhouette score, achieving an improvement of at least 90% for this metric,

and significantly reducing the BetaCV coherence measure by at least 82% compared to reference similarity methods.

Clustering-level tests were also conducted, where BERT was compared with three other well-known language models using three clustering algorithms. The results demonstrated BERT's notable superiority in forming cohesive and distinct clusters across various datasets, especially with K-means and HAC algorithms, while also performing well with the Optics algorithm.

Keywords: Query Embeddings, Workload Analysis, Natural Language Processing, BERT Model, Similarity Metrics, Clustering.

مقدمة:

تُعتبر قواعد البيانات من الركائز الأساسية في الأنظمة الحديثة، حيث تلعب دوراً حيوياً في تنظيم وإدارة البيانات بكفاءة. تمثل قواعد البيانات محوراً رئيسياً في اتخاذ القرارات للأعمال والمؤسسات، ولها تأثير كبير على دقة التحليلات وأداء النظام بشكل عام. مع زيادة النشاط الرقمي وتطور التكنولوجيا، شهدت قواعد البيانات نمواً كبيراً في حجم البيانات المخزنة، مما أدى إلى تعقيد تنفيذ الاستعلامات وتحديات إضافية في إدارة الأحمال المطبقة على القواعد.

تحليل الاستعلامات يُعد من المهام الأساسية في إدارة قواعد البيانات، إذ يمكن أن يُحسن أداء النظام بشكل كبير من خلال ضبط الفهارس، تلخيص الأحمال، وغيرها من المهام الإدارية. ومع التزايد في حجم وتعقيد الاستعلامات، أصبحت الأساليب اليدوية لتحليل هذه الاستعلامات غير كافية. لذا، كان من الضروري البحث عن تمثيلات رقمية فعالة للاستعلامات يمكن استخدامها في خوارزميات التعلم الآلي لتحسين الأداء.

في هذا السياق، يتفوق نموذج BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) وهو نموذج لغوي متقدم يعتمد على معمارية المحولات، في معالجة النصوص وفهم السياق. نظراً لقدرته على التقاط التمثيلات

السياقية بدقة، فإن BERT يمثل أداة واحدة لتمثيل استعلامات SQL وتحليل الأحمال المطبقة على قواعد البيانات.

تسعى هذه الدراسة إلى استغلال نموذج BERT لإنشاء تمثيلات للاستعلامات SQL وتقييم كفاءتها في مهمتين رئيسيتين: اكتشاف التشابه بين الاستعلامات والتجميع. تتضمن الدراسة استخراج التضمينات باستخدام نموذج BERT، ومن ثم تقييم جودة هذه التضمينات مقارنة بأساليب تشابه الاستعلامات التقليدية.

أظهرت نتائج الدراسة في مهمة اكتشاف التشابه أن تضمينات BERT تتفوق بشكل ملحوظ على الأساليب المرجعية في جميع مجموعات بيانات الاختبار، حيث حققت تحسناً لا يقل عن 90% في معامل (Silhouette) وانخفاضاً كبيراً بنسبة لا تقل عن 82% في معامل التماسك (BetaCV). كما تم تطبيق اختبارات على مستوى التجميع، حيث تمت مقارنة نموذج BERT مع ثلاثة نماذج لغوية أخرى باستخدام ثلاث خوارزميات تجميع. أظهرت النتائج أن BERT يتفوق بشكل كبير في تشكيل تجمعات متماسكة ومنفصلة، خاصة في خوارزميات Kmeans و HAC، مع أداء جيد في خوارزمية Optics.

من خلال هذه الدراسة، نهدف إلى تحسين فهمنا لفعالية نموذج BERT في تحليل استعلامات SQL وتقديم رؤى قيمة لتحسين أداء قواعد البيانات

1. أهداف البحث:

الهدف الرئيسي لهذه الدراسة هو تقييم كفاءة و فعالية تضمينات BERT في تمثيل المعلومات الموجودة في استعلامات SQL حيث قمنا بهذا التقييم من خلال استخدام هذه التضمينات في مهمة التقاط التشابه الكامن بين الاستعلامات حيث أن الاستعلامات المتشابهة قد يتم تنفيذها لأداء واجبات متماثلة فعلى سبيل المثال:

1. select distinct course.course_id, course.title from course
2. select course_id, title from course

استعلامان متشابهان على الرغم من بعض الاختلاف في صياغتهما إلا أنهما يقومان باسترجاع نفس السجلات وبالتالي يؤديان إلى نفس النتائج.

يأتي اختيارنا لنموذج BERT استناداً إلى القدرة المميزة لهذا النموذج على احتساب التمثيلات السياقية للبيانات النصية، وللقيام بهذا التقييم نقوم بإجراء تجارب على عدة مجموعات بيانات تحوي استعلامات متعددة مطبقة على قواعد بيانات مختلفة، والتي تمثل أنواع متنوعة من الأحمال.

2. الدراسات السابقة:

تقدم الورقة البحثية [10] نموذجاً مبتكراً يعتمد على تقنية BERT لتجميع أكواد البرمجة بناءً على وظائفها. باستخدام CuBERT، وهو نموذج BERT مُدرَّب مسبقاً على أكواد البرمجة، يتفوق COCLUBERT بشكل كبير على النماذج التقليدية في دقة التجميع، حيث يحسن مؤشرات الأداء بشكل ملحوظ مثل مؤشر Dunn الذي زاد بمقدار 141 ضعفاً، ومؤشر Silhouette الذي تضاعف مرتين، ومؤشر Adjusted Rand الذي زاد بمقدار 11 ضعفاً. يبرز النموذج بفضل تقنيات تحسين متعددة مثل Triplet Loss و Unsupervised Clustering Loss و Deep Robust Clustering (DRC). ومع ذلك، يتطلب النموذج موارد حسابية كبيرة للتدريب والتنفيذ، مما يجعله معقداً ويحد من تطبيقه في بيئات أقل قوة. بالإضافة إلى ذلك، يعتمد على تحليل أسماء الدوال لتحديد الوظائف المشابهة، مما قد يكون محدوداً في بعض الحالات.

يستعرض الباحثون في [25] تأثير التعديلات على ميزات استعلامات SQL في تصنيفها كخبيثة أو غير خبيثة باستخدام نموذج Random Forest، من خلال تحليل تأثير التعديلات الفردية والمجمعة على الميزات. تركز الدراسة على مجموعة من الميزات الرئيسية منها : ميزة وجود أحرف خاصة: هذه الميزة تشير إلى وجود أحرف خاصة مثل '--' أو 'OR' في الاستعلامات، والتي غالباً ما تُستخدم في هجمات SQL injection. تفعيل هذه الميزة حول 87.62% من الاستعلامات غير الخبيثة إلى خبيثة، مما يبرز حساسيتها للعلامات التي قد تدل على هجوم.

ميزة وجود الكلمة المفتاحية ORDER: تتعلق بوجود كلمة ORDER التي تُستخدم لتنظيم البيانات. تفعيل هذه الميزة ساعد في تصنيف 11.25% من الاستعلامات الخبيثة كغير خبيثة، مما يشير إلى أن ORDER غالباً ما يرتبط بالاستعلامات المشروعة.

ميزة غياب الكلمة المفتاحية FROM: تتعلق بغياب كلمة FROM، وهي ضرورية لتحديد الجدول في استعلامات SQL. غيابها حول 7.88% من الاستعلامات غير الخبيثة إلى خبيثة، مما يشير إلى أهمية وجود هذه العناصر الأساسية.

الميزة غياب رمز =: تشير إلى غياب رمز = الذي يُستخدم للمقارنات في SQL. تفعيل هذه الميزة أثر على 9.54% من الاستعلامات الخبيثة بتحويلها إلى غير خبيثة، مما يبرز دور الرموز الأساسية في تحديد نوايا الاستعلامات.

توصلت الدراسة إلى أن التعديلات البسيطة على ميزات محددة يمكن أن تؤدي إلى تغييرات كبيرة في تصنيف الاستعلامات، حيث تكشف الدراسة عن حساسية النموذج للتعديلات على الميزات. مما يسلط الضوء على أهمية بعض الميزات في تصنيف الاستعلامات بشكل صحيح. وعلى الرغم من أن الدراسة تناولت تأثيرات تعديل الميزات بشكل فردي، فإن التفاعل بين الميزات قد يكون معقداً وقد يتطلب تحليلاً أعمق.

يقترح الباحثون في [15] مقياساً زوجياً للتشابه بين استعلامي SQL وعلى الرغم من أنه ليس الهدف الأساسي لبحثهم حيث أنهم يهدفون إلى تحسين اختيار المناظير في مستودعات البيانات اعتماداً على الاستعلامات الموجهة إلى النظام. قاموا بداية باستخراج السمات الممثلة لكل استعلام ضمن الحمل، حيث أن السمات التمثيلية هي تلك السمات التي تظهر في شرط Where وفي عبارات Group by وقاموا ببناء مصفوفة كل سطر فيها يمثل استعلام q_i و العمود يعبر عن سمة تمثيلية a_j حيث يتم إضافة أعمدة لجميع السمات التمثيلية لكافة الاستعلامات الموجودة ضمن الحمل قيمة كل خانة c_{ij} ضمن هذه المصفوفة يمكن أن تكون 1 أو 0 وتعبر عن إذا ما كانت الصفة a_j موجودة أم غير

موجود في الاستعلام qi على الترتيب، أثناء إنشاء المصفوفة، لا يهم إذا كان العنصر يظهر أكثر من مرة أو مكان العنصر. في الخطوة التالية يتم تطبيق مقياس التشابه المقترح حيث:

من أجل إيجاد التشابه بين الاستعلامين qk ، ql يتم مقارنة السطرين المعبرين عنهما ضمن المصفوفة السابقة ويتم استخدام مسافة هامينغ (Hamming distance) لإيجاد عدد السمات المشتركة بين الاستعلامين ويكون هدف البحث الأساسي ليس إيجاد التشابه بين الاستعلام وإنما كما ذكرنا سابقاً هو تحسين اختيار المناظير في مستودعات البيانات فلم يتم ذكر نتائج مخصصة لفعالية أسلوب التشابه المقترح أو لمقارنته مع أساليب أخرى أو حتى نسبة الاستعلامات المتشابهة التي تم الحصول عليها باستخدام المقياس.

تتبنى الدراسة [16] تحليل سجل الاستعلام بغاية تحليل الأحمال المطبقة، وتقدم مجموعة من التجارب على مجموعة بيانات Sloan Digital Sky Survey (SDSS). تنقيب النصوص، أو اكتشاف المعرفة في النصوص (Knowledge Discovery in Text)، هو تمديد لعملية اكتشاف المعرفة التقليدية في قواعد البيانات Knowledge Discovery in Databases (KDD)، وهي عملية تهتم بتحديد الأنماط الصحيحة والتي من المرجح أن تكون مفيدة في البيانات، ولكنه يستهدف البيانات غير المهيكلة أو شبه المهيكلة بدلاً من قواعد البيانات العادية، مثل رسائل البريد الإلكتروني والمستندات النصية الكاملة وبعض أنواع الملفات (على سبيل المثال، HTML و XML). إنها مجال متعدد التخصصات يمكن أن يشمل أمور أخرى كاسترجاع المعلومات، وتعلم الآلة، ومعالجة اللغة الطبيعية. تم التعامل مع استعلامات SQL في هذا السياق على أنها وثائق صغيرة حيث يمكن الاستفادة من الهيكل الذي توفره اللغة لتحسين خطوة معالجة الاستعلامات لتناسب الحالات الخاصة الموجودة. على سبيل المثال، لا حاجة لإزالة كلمات التوقف. يتم استخراج المصطلحات في عمليات $from$ ، $join$ ، $select$ ، $group-by$ ، $order-by$ على حدة ويتم تسجيل تكرار ظهورها في متجه ميزة ويستخدمونه لحساب التشابه التدريجي بين الاستعلامات باستخدام تشابه جيب التمام Cosine Similarity.

سلطت الدراسة [2] الضوء على أهمية أساليب التشابه وفعالية تقنيات هندسة الميزات في تحسين دقة تجميع الاستعلامات حيث تم التركيز على إيجاد التشابه بين الاستعلامات كون الاستعلامات التي لها بنية متشابهة تشير إلى أنه قد يتم تنفيذها لأداء واجبات مماثلة.

تم تقييم ثلاثة أساليب استدلالية لتشابه الاستعلامات المقترحة في الأدبيات المطبقة على تجميع الاستعلامات (Makiyama، Aouiche، Aligon) المذكورة في [13]، [15] و[16] كون هذه الأساليب تركز على البنية النحوية للاستعلام ولا تتطلب الوصول إلى البيانات في قاعدة البيانات حيث أن متطلبات الوصول إلى البيانات تتسبب في انتهاك الخصوصية، لذلك فقد تم التركيز على النهج القائم على البنية النحوية.

بعد الانتهاء من التقييم تم تطبيق تقنية هندسة الميزات المسماة التنظيم (التي تم اقتراحها كخطوة إضافية من قبل الباحثين) لتحسين دقة تجميع الاستعلامات. تستخدم الدراسة ثلاث مجموعات بيانات - استعلامات مؤلفة من أجوبة الطلاب من جامعة IIT Bombay ، واستعلامات تشكل اجابات الطلاب من جامعة بوفالو، وسجلات SQL من تطبيق Google+. ويظهر التقييم للأساليب الثلاثة أن Aligon يقوم بأداء أفضل عبر المجموعات الثلاث بناءً على مجموعة من مقاييس الأداء الخاصة بعملية التجميع مثل Silhouette Coefficient، Betacv، و Dunn Index. ومع ذلك، لا تؤدي أي من الأساليب بشكل جيد كما هو مرغوب، فقام الباحثون باقتراح وتقييم خطوة معالجة مسبقة تتضمن إنشاء تمثيل أكثر فعالية للاستعلامات بالاستفادة من قواعد مكافئة الاستعلام وعمليات تجزئة البيانات. حسنت خطوة المعالجة المقترحة أداء الأساليب بشكل واضح، خاصة من حيث Silhouette Coefficient حيث تراوحت نسبة التحسين بين 18% في بعض مجموعات الاختبار ووصلت حتى 200% في مجموعات أخرى كما حسنت الأداء على مستوى مقياس Betacv بشكل واضح في بعض مجموعات البيانات حيث وصلت نسبة التحسين إلى 33% فيما لم تؤثر بشكل كبير على الأداء في مجموعات أخرى كمجموعة بيانات PocketData-Google.

أما في [14] فقد كان تركيز الباحثين على تصنيف لغات التخصص بالمجال (DSL)، وبشكل خاص استعلامات SQL. بهذا الصدد، تم تقديم TRANS SQL واستخدام نموذجي لغة، BERT و GPT-3، لإيجاد تمثيل لاستعلامات SQL وتصنيفها. أكدت النتائج أن TRANS SQL القائم على BERT يحتاج إلى كميات كبيرة من البيانات في خطوة ضبط النموذج، وكون مجموعة البيانات التي تم العمل عليها كانت تحوي عدد قليل من الاستعلامات لذلك لم يتمكن النموذج من أن يؤدي بشكل جيد في سياق التعلم القليل (few_shot). و نظراً لأن GPT-3 هو نموذج فعال في سياق التعلم القليل، يتفوق TRANS SQL القائم على GPT على TRANS SQL القائم على BERT. علاوة على ذلك، كشفت التجارب أن استراتيجية اختيار الأمثلة في السياق في TRANS SQL القائم على GPT تلعب دوراً حاسماً في أداء مهمة التصنيف، حيث أدت إلى تحسين يصل إلى 33% في أداء المهمة.

3. تضمين الكلمات Word Embedding :

تضمين الكلمات في معالجة اللغة الطبيعية هو مصطلح مهم يُعبر عن تمثيل الكلمات لتحليل النصوص في شكل متجهات ذات قيم حقيقية.

بعض نماذج تضمين الكلمات:

:Word2Vec

يمثل Word2Vec [22] إحدى أولى النماذج التي قامت بتقديم فكرة تضمين الكلمات. تستخدم Word2Vec نموذجاً سهل الاستخدام يعتمد على الشبكات العصبونية.

يعمل النموذج على تمثيل الكلمة اعتماداً على سياقها في متجه أبعاده N ، تم تطوير هذا الأسلوب من قبل توماس ميكولوف Tomas Mikolov في العام 2013 لجعل التدريب في الشبكات العصبونية مبني على التضمين، والذي يحقق أكثر كفاءة ومنذ ذلك الحين أصبح المعيار الواقعي لتطوير تضمين الكلمة.

يتم تدريب النموذج باستخدام واحدة من طريقتين أساسيتين:

1. Continuous Bag of Words (CBOW): يحاول هذا النموذج التنبؤ بالكلمة المستهدفة بناءً على الكلمات السياقية المحيطة بها.
2. Skip-gram: في هذا النموذج، يتم تدريب النموذج على التنبؤ بالكلمات السياقية بناءً على الكلمة المستهدفة.

GloVe (Global Vectors for Word Representation)

GloVe [23] هو نموذج تضمين الكلمات طوره باحثون في مختبر الذكاء الصناعي بجامعة ستانفورد في عام 2014. يعتمد GloVe على تحليل المصفوفات المشتركة للكلمات في نصوص ضخمة. حيث يتم بناء مصفوفة كبيرة تحتوي على تكرارات مشتركة للكلمات، حيث تمثل كل خلية فيها عدد مرات ظهور كلمتين معاً في سياقات معينة. وتم استخراج التضمينات عبر تحليل المصفوفة باستخدام تقنيات مثل تحليل القيمة المفردة Singular Value Decomposition (SVD) وتقنيات التحسين العشوائي.

Word2Vec و GloVe هما أمثلة على نماذج التضمين التي يتم تدريبها على مجموعات نصية كبيرة بناءً على إحصائيات التواجد المشترك لتوليد تمثيلات دلالية للكلمات. ومع ذلك، فإن هذه النماذج تولد تضمينات كلمات غير مرتبطة بالسياق، مما يعني أن التمثيل الذي تُنشئه لكلمة ما لا يرتبط بمعنى الكلمة في تلك الجملة.

:XLNet

XLNet [24] هو نموذج حديث لمعالجة اللغة الطبيعية (NLP) تم تطويره من قبل باحثين في شركة Google AI و Carnegie Mellon University.

يعتمد على تقنية المحولات (Transformers) ويستخدم آلية مبتكرة تسمى نمذجة اللغة بالتباديل Permutation Language Modeling، حيث يقوم بتوليد كافة التباديل الممكنة لتسلسل الكلمات في الجملة، مما يسمح له بالنظر إلى كل كلمة في سياقات مختلفة ومتنوعة. هذا النهج يمكن النموذج من تجنب التحيزات الناتجة عن الترتيب الثابت للكلمات ويمنحه فهماً أعمق وأكثر شمولاً للنص. يتميز XLNet أيضاً بدمجه بين مزايا النماذج

التوليدية والتشفيرية الذاتية، مما يجعله فعالاً في كل من فهم وتوليد النصوص. كما يستخدم XLNet آلية ذاكرة لتتبع المعلومات الطويلة المدى في النصوص، مما يعزز قدرته على التعامل مع النصوص الأطول بشكل فعال. الأداء المتفوق لـ XLNet في مجموعة متنوعة من مهام معالجة اللغة الطبيعية، مثل التصنيف النصي، واستخراج الكيانات، وفهم القراءة، والترجمة الآلية، يجعله أداة قوية ومتعددة الاستخدامات.

نموذج Bert:

هو نموذج معالجة لغوية (NLP) مفتوح المصدر، تم تطويره من قبل باحثين في شركة جوجل في العام 2018 وتم تقديمه ضمن الورقة البحثية [7] وقد أحدثت هذه الورقة ضجة في مجتمع التعلم الآلي من خلال تحقيق نتائج متقدمة في مجموعة واسعة من مهام معالجة اللغة الطبيعية، بما في ذلك الإجابة على الأسئلة واستنتاج اللغة الطبيعية وغيرها حيث يعتبر BERT قوياً في فهم السياق اللغوي وتمثيل المعاني بشكل فعال.

في السابق، كان يمكن لنماذج اللغة الطبيعية قراءة النصوص بتسلسل - إما من اليسار إلى اليمين أو من اليمين إلى اليسار - ولكنها لم تكن قادرة على القيام بكليهما في نفس الوقت. يتميز BERT بقدرته على قراءة النص في الاتجاهين في نفس الوقت، وهو ما يعرف بالثنائية الاتجاهية حيث يمكن للنموذج فهم السياق من اليسار إلى اليمين ومن اليمين إلى اليسار.

تم تدريب BERT مسبقاً على بيانات ضخمة حيث استخدم الباحثون مجموعة بيانات (BooksCorpus) التي تحتوي على 800 مليون كلمة [8] و ويكيبيديا باللغة الإنجليزية التي تحتوي على 2500 مليون كلمة، كما تمت عملية التدريب بالاعتماد على مهمتين من مهام معالجة اللغة الطبيعية: نمذجة اللغة بالكلمات المخفية (MLM) و التنبؤ بالجملة التالية (NSP).

هدف تدريب نمذجة اللغة بالكلمات المخفية (MLM) هو إخفاء كلمة في جملة ومن ثم توجيه النموذج للتنبؤ بالكلمة التي تم إخفاؤها (تمييزها) استناداً إلى السياق المحيط بها.

وهدف تدريب التنبؤ بالجملة التالية (NSP) هو توجيه النموذج للتنبؤ بما إذا كان لدى جملتين ارتباط منطقي وتسلسلي أو إذا كانت علاقتهما عشوائية فقط.

يعتمد BERT على المحولات (Transformers)، وهي نموذج تعلم عميق حيث يكون كل عنصر من الإخراج متصلاً بكل عنصر من الإدخال، ويتم حساب الأوزان بينهم بشكل ديناميكي استناداً إلى اتصالاتهم. (في مجال معالجة اللغة الطبيعية، يطلق على هذه العملية اسم "attention").

نمذجة اللغة بالكلمات المخفية (MLM) :

هي تقنية تعلم عميق شهيرة تستخدم في مهام معالجة اللغة الطبيعية (NLP)، خاصة في تدريب نماذج النقل مثل BERT، GPT-2، و RoBERTa.

في MLM، يتم استبدال 15% من الكلمات في كل تسلسل برمز [MASK] قبل إدخال تسلسلات الكلمات إلى BERT ويتم تدريب النموذج على التنبؤ بالقيمة الأصلية للكلمات التي تم إخفاؤها استناداً إلى السياق المحيط به. الفكرة وراء ذلك هي تدريب النموذج على فهم سياق الكلمات وعلاقاتها مع كلمات أخرى في الجملة.

MLM هي تقنية تعلم ذاتي التوجيه، مما يعني أن النموذج يتعلم إنتاج النص بدون الحاجة إلى توجيهات صريحة أو تسميات، بل باستخدام النص الداخلي نفسه كإشراف. وهذا يجعلها أداة متعددة الاستخدام وفعالة لمجموعة واسعة من مهام NLP، بما في ذلك تصنيف النص، الإجابة على الأسئلة، وغيرها.

أثناء عملية التدريب، يتم تحديث النموذج استناداً إلى الفرق بين تنبؤاته والكلمات الفعلية في الجملة. تساعد هذه المرحلة النموذج على تعلم تمثيلات سياقية مفيدة للكلمات، يمكن بعد ذلك تعديلها بشكل دقيق لمهام معالجة اللغة الطبيعية المحددة. الفكرة وراء MLM هي الاستفادة من كميات كبيرة من بيانات النص المتاحة لتعلم نموذج لغوي متعدد الاستخدام يمكن تطبيقه على مشاكل مختلفة في مجال NLP.

تابع الخسارة المقدم في BERT يأخذ في عين الاعتبار فقط التنبؤ بقيم الرموز المخفية ويتجاهل التنبؤ ببقية الكلمات (غير المخفية). ونتيجة لذلك، يتقدم النموذج ببطء أكبر من النماذج الاتجاهية، ولكن في المقابل يكون لديه وعي أكبر بالسياق.

التنبؤ بالجملة التالية (NSP):

هي مهمة مسبقة التدريب تستخدم في تدريب نماذج BERT تم تصميم مهمة NSP لتمكين BERT من تعلم علاقات لا تقتصر فقط على الكلمات داخل الجملة، بل تشمل أيضاً العلاقات بين الجمل في وثيقة أو مجموعة نصوص.

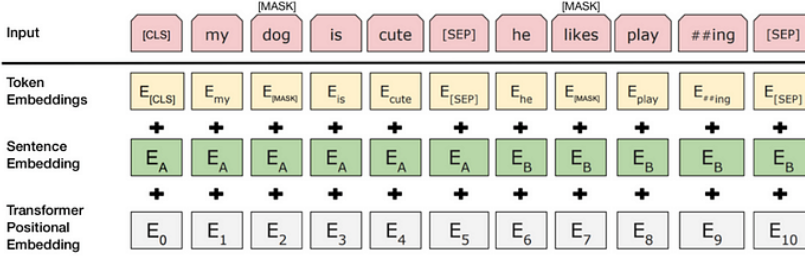
في هذه المهمة، يأخذ BERT زوجاً من الجمل كإدخال أثناء مرحلة ما قبل التدريب. تستخدم هذه الجمل عادة من نصوص طويلة. يتواجد رمز فاصل خاص (مثل [SEP]) بين الجملتين في الإدخال. ويطلب منه تحديد ما إذا كانت الجملة الثانية تأتي بعد الجملة الأولى بشكل مباشر أم لا، أي أن مهمة NSP هي مهمة تصنيف ثنائي حيث يتم تدريب النموذج على تصنيفين ممكنين:

1. تصنيف (IsNext): إذا كانت الجملة الثانية تتبع بشكل منطقي الجملة الأولى، يتم تعيين التصنيف إلى "IsNext".

2. تصنيف (NotNext): إذا لم تكن الجملة الثانية هي الجملة التالية، يتم تعيين التصنيف إلى "NotNext".

تساعد هذه المهمة النموذج في التقاط العلاقات والتماسك بين الجمل في وثيقة. خلال عملية التدريب، 50% من المدخلات تكون عبارة عن أزواج إيجابية من الجمل أي أن الجملة الثانية هي الجملة التالية للجملة الأولى، و 50% يتم اختيار أزواج من جمل عشوائية من المجموعة النصية، يفترض أن تكون الجملة الثانية منفصلة عن الجملة الأولى. هذا يساعد النموذج على فهم العلاقات السياقية بين الجمل وتحسين قدرته على فهم السياق اللغوي والتنبؤ بالجملة التالية في النصوص الطويلة.

تمثيل استعلامات SQL باستخدام نموذج BERT



الشكل 1: تمثيل دخل Bert

يوضح الشكل 1 مكونات التضمينات لـ BERT وهي عبارة عن ثلاثة أجزاء:

- الرمز (Token): الرمز هي أساساً الكلمات. (يستخدم BERT مجموعة مفردات مكونة من حوالي 30 ألف رمز أما بالنسبة للكلمات التي لا تظهر في مجموعة المفردات، يتم تجزئتها هذه الكلمات إلى عدة رموز). الرمز الأول في التسلسل هو [CLS] الذي يكون مفيداً لمهام التصنيف. خلال التدريب السابق لـ MLM، يتم إخفاء بعض الرموز.
- الجملة (Sentence): تسلسل رموز الإدخال يمكن أن يكون قسماً واحداً أو قسمين. يعد القسم جزء متتالي من النص، وليس جملة لغوية فعلية. يتم إنهاء كل قسم برمز [SEP]، على سبيل المثال في الإجابة على الأسئلة، يكون السؤال هو القطاع الأول والإجابة هي القطاع الثاني.
- الموضع (Position): يمثل هذا المكون موضع الرمز ضمن التسلسل.

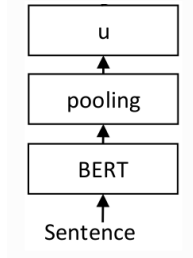
SBERT (Sentence-Bert):

عند تضمين الجمل أو النصوص، يكون الهدف إيجاد متجه كثيف ذو حجم ثابت انطاقاً من نص مدخل طوله متغير. صمم BERT بشكل أساسي لفهم المعاني على مستوى الكلمات word-level أو الرموز token-level داخل الجمل حيث يقدم النموذج تضمينات على مستوى الكلمة.

في الممارسة العملية، غالباً ما نحتاج إلى إنشاء تضمينات ليس لكلمات منفردة بل بدلاً من ذلك لجمل بأكملها، وبينما يُمكن ل BERT النقاط السياق بشكل جيد، إلا أنه لا ينمذج بشكل صريح العلاقات الدلالية بين الجمل بأكملها، لذلك ظهرت نسخة معدلة من نموذج BERT، مصممة خصيصاً لمهام التشابه الدلالي على مستوى الجملة وهو نموذج SBERT، يقوم SBERT بسد هذه الفجوة من خلال إنتاج تضمينات تمثل المعنى الدلالي العام للجمل، مما يتيح لها المقارنة بشكل أكثر دقة.

SBERT (Sentence-BERT) هو نموذج مصمم خصيصاً لإنتاج تضمينات معنوية للجمل. يقوم SBERT بتعديل هيكل BERT لإنشاء تضمينات على مستوى الجملة يمكن استخدامها لقياس التشابه الدلالي بين الجمل.

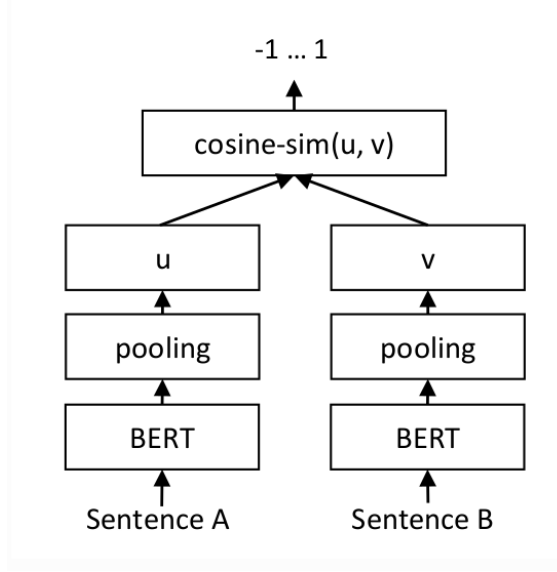
أبسط تصميم للشبكة العصبية الذي يمكن استخدامه هو التالي:



الشكل 2: بنية شبكة بسيطة لإيجاد تضمينات للسلاسل النصية

يتم تغذية شبكة BERT بالجملة أو النص. تنتج شبكة BERT تضمينات متناسبة مع السياق لجميع الرموز المدخلة في النص. نظراً لأننا نريد تمثيلات ذات حجم ثابت (متجه u)، فإننا بحاجة إلى طبقة تجميع (Pooling). تتوفر خيارات تجميع مختلفة، وأبسطها هو التجميع الوسيط mean-pooling الذي يقوم بإيجاد معدل جميع التضمينات (الكلمات) التي يقدمها BERT. هذا يعطي متجه في الخرج ذو أبعاد ثابتة بحجم 768 بحالة نموذج BERT-Base بغض النظر عن طول النص المدخل.

الشبكة السابقة، المكونة من طبقة BERT وطبقة التجميع، تشكل جزئية واحدة من نموذج SBERT. حيث تكون الشبكة كاملة بالشكل:



الشكل 3: بنية شبكة SBERT (Siamese-BERT)

هذا الشكل هو أحد النهج الشائعة والذي يعرف بالنموذج (Siamese-BERT) وهو تصميم يجمع بين نهج الشبكة المزدوجة (Siamese network) ونموذج BERT. يعتمد Siamese-BERT على استخدام شبكتين عصبيتين متطابقتين، كل منهما يأخذ إدخالاً مختلفاً (جملتين) عند تمرير الجملتين عبر طبقات التجميع (يقترح مؤلفو SBERT اختيار طبقة متوسط التجميع mean-pooling كطبقة افتراضية)، نحصل على متجهين بعدهما 768 بحالة BERT-Base، يُرمزان بـ u و v . ويتم مقارنة تضميناتها باستخدام مقياس مسافة مثل التشابه الجيبى. يكون هذا التصميم مفيداً بشكل خاص للمهام التي تتضمن مقارنات التشابه أو عدم التشابه بين المدخلات.

4. الضبط الدقيق لنموذج Bert:

تعني عملية "Fine-tuning" أو (الضبط الدقيق للنموذج) في سياق نماذج BERT ونماذج المحولات الأخرى المدربة مسبقاً استمرار تدريب النموذج على مجموعة بيانات

خاصة بمجال المهمة المراد استخدام النموذج لها بعد تدريبه المبدئي على مجموعة بيانات كبيرة وعامة. هذه العملية تجرى عادة لتكييف النموذج المدرب مسبقاً ليفهم بشكل أفضل الميزات الخاصة بمجموعة البيانات المرتبطة للمهمة المحددة.

يمكن استخدام BERT لمجموعة واسعة من المهام اللغوية، مع إضافة طبقة صغيرة إلى النموذج الأساسي:

- في مهام التصنيف مثلاً يتم القيام بذلك بشكل مماثل لمهمة التنبؤ بالجملة التالية، عن طريق إضافة طبقة تصنيف.

- في التعرف على الكيانات المعترف بها (NER)، يتلقى البرنامج تسلسل نصي ويتعين عليه وضع علامات على مختلف أنواع الكيانات (شخص، منظمة، تاريخ، إلخ) التي تظهر في النص. باستخدام BERT، يمكن تدريب نموذج NER عن طريق تغذية الشعاع الناتج لكل رمز إلى طبقة تصنيف تتنبأ بتصنيف NER.

في تدريب الضبط الدقيق، تظل معظم المعلومات الفائقة كما هو الحال في تدريب BERT. قد قام فريق BERT باستخدام هذه التقنية لتحقيق نتائج متقدمة على مجموعة واسعة من المهام اللغة الطبيعية.

5. تقنيات التجميع clustering methods :

توجد العديد من تقنيات التجميع، ولكننا في هذا العمل نركز على التقنيات المستندة إلى المركز Centroid-based clustering ، الكثافة Density-based clustering، والتجميع الهرمي Hierarchical clustering .

التجميع المستند إلى المركز يقوم بتقسيم نقاط البيانات في مجموعة البيانات عن طريق إيجاد مراكز لعدد معين من المجموعات، ثم يتم تعيين كل نقطة بيانات لأقرب مركز مجموعة لها، بحيث يتم تقليل المسافات المربعة بين النقاط ومركز المجموعة إلى الحد الأدنى. تعد خوارزمية K-means [19] واحدة من أبرز الخوارزميات في هذا النوع.

التجميع المستند إلى الكثافة يعتمد على كثافة المناطق في البيانات لتشكيل المجموعات. الفكرة الرئيسية هي أن نقاط البيانات في المناطق عالية الكثافة تكون أكثر تشابهاً فيما بينها وتختلف عن تلك الموجودة في المناطق منخفضة الكثافة. من الأمثلة على هذه الطرق

خوارزمية Ordering Points To Identify the Clustering Structure OPTICS [20]. وعلى عكس K-means، لا تتطلب هذه الخوارزميات تحديد عدد المجموعات مسبقاً.

التجميع الهرمي يشكل مجموعات باتباع بنية شجرية تستند إلى التسلسل الهرمي للبيانات، ويُنشئ مجموعات جديدة من المجموعات السابقة. التجميع الهرمي التراكمي (HAC) [21]، كأحد أمثلة هذا النوع من الخوارزميات، يبدأ بتعيين كل نقطة بيانات إلى مجموعة منفصلة، ثم يتم دمج المجموعات الأكثر تشابهاً تدريجياً لتشكيل مجموعات جديدة. بعد كل عملية دمج، يتم إعادة حساب مقاييس التشابه وتستمر عملية الدمج

6. الإطار العملي:

يتم في هذا القسم إجراء مقارنة في الأداء بين التمثيلات التي يتم الحصول عليها من نموذج Bert وأساليب التشابه السابقة المذكورة في الأدبيات إضافة إلى معرفة كفاءة تضمينات Bert على مستوى التجميع clustering مقارنة بمجموعة من النماذج اللغوية الشهيرة.

مجموعات البيانات:

يتم تنفيذ مقارنة الأداء على عدة مجموعات مكونة من استعلامات:

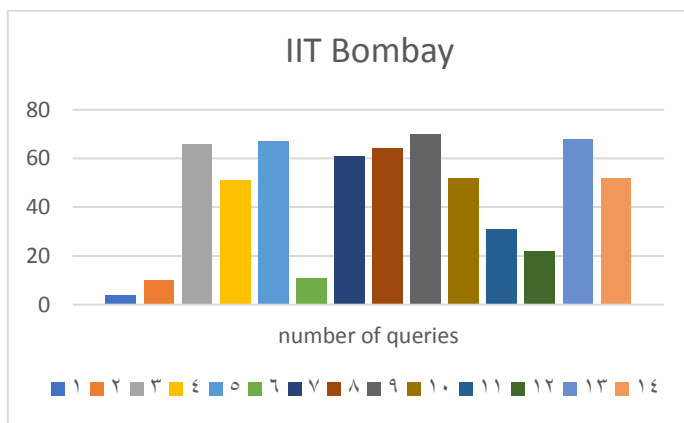
المجموعة الأولى IIT Bombay [17]، المستحصلة من جامعة IIT Bombay، تحتوي على إجابات الطلاب على امتحان في مادة قواعد البيانات على مدى سنتين. (14 سؤال).

المجموعتين الثانية UB Exam [2] والثالثة Goggle Plus [2] تم تقديمهما من خلال الورقة البحثية [2]، الأولى تتألف أيضاً من إجابات الطلاب، وتتضمن إجابات لسؤالين تم

تتفيذهما كجزء من امتحانات منتصف الفصل لعامين متتاليين أما المجموعة الثانية، فهي تتضمن سجلات SQL تسجل جميع الأنشطة في قواعد البيانات على 11 هاتفاً ذكياً على مدى شهر واحد. يتم تصنيف هذه السجلات بوحدة من ثماني فئات مختلفة: الحساب، النشاط، التحليلات، جهات الاتصال، الأخبار، الصيانة، الوسائط، والصور.

المجموعة الأخيرة [18] Automated-Grading-of-SQL-Statements تم تقديمها من قبل الجامعة الوطنية الأسترالية تتضمن إجابات 393 طالبا على 15 تمرين.

مجموعة بيانات IIT Bombay :



الشكل 4: توزيع الاستعلامات على الفئات الـ 14 ضمن مجموعة بيانات IIT Bombay

مثال للإستعلامات الموجودة في مجموعة البيانات:

label	query
1	select distinct course_id,title from course
1	select course_id,title from course
2	select course_id,title from course where dept_name='comp. sci.'
2	select distinct course.course_id,course.title from course where course.dept_name='comp. sci.'
2	select course.course_id,course.title from course where dept_name='comp. sci.'
2	select course id,title from course where course.dept name = 'comp. sci.'

الشكل 5: عينة من الاستعلامات في مجموعة بيانات IIT Bombay

مجموعة بيانات UB Exam:

السنة	السؤال
2014	How many distinct species of bird have ever been seen by the observer who saw the most birds on December 15, 2013?
2015	You are hired by a local birdwatching organization, who's database uses the Birdwatcher Schema on page 2. You are asked to design a leader board for each species of Bird. The leader board ranks Observers by the number of Sightings for Birds of the given species. Write a query that computes the set of names of all Observers who are highest ranked on at least one leader board. Assume that there is no tied rankings.

جدول 1: الأسئلة المستخدمة في مجموعة بيانات UB Exam

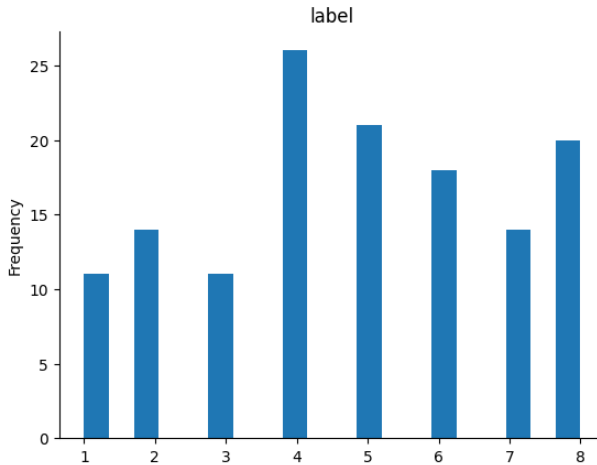
Year	2014	2015
Total number of queries	117	60
Number of syntactically correct queries	110	51
Number of distinct query strings	110	51
Number of queries with score > 50%	62	40

جدول 2: ملخص البيانات الموجودة في مجموعة بيانات UB Exam

مجموعة بيانات google plus :

تم تصنيف هذه السجلات في ثماني فئات مختلفة: الحساب، النشاط، التحليلات، جهات الاتصال، الأخبار، الصيانة، الوسائط، والصور.

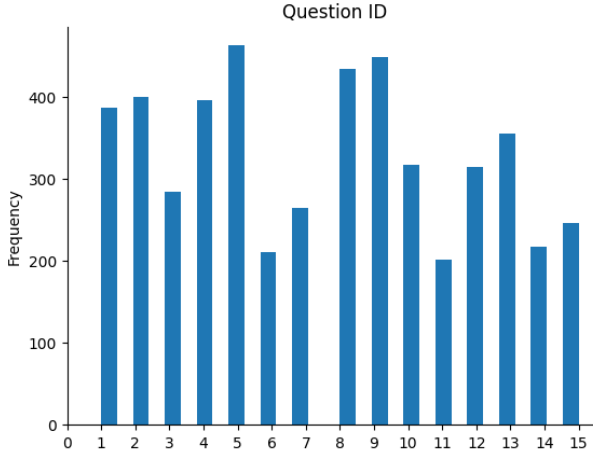
توزع الاستعلامات ضمن هذه الفئات:



الشكل 6: توزيع الاستعلامات بين الفئات في مجموعة بيانات google plus

مجموعة بيانات Automated-Grading-of-SQL-Statements :

توزع الاستعلامات ضمن الفئات:



الشكل 7: توزيع الاستعلامات بين الفئات في مجموعة بيانات SQL-Grading

الضبط الدقيق للنموذج:

في حالة BERT، يحتاج النموذج المدرب مسبقاً على مهام واسعة وحجم كبير من البيانات، إلى عملية ضبط دقيق لكي يعطي نتائج جيدة عند نقله إلى مهام أخرى. هذا الأسلوب يكون مفيداً خاصةً عندما تكون مجموعة البيانات محدودة للتدريب على المهمة المحددة.

قمنا باستخدام sentence-transformers وهو إطار عمل برمجي يستخدم بشكل أساسي لإيجاد تضمينات للجمل، النصوص والصور. الإطار يعتمد على PyTorch و المحولات ويقدم مجموعة واسعة من النماذج المدربة مسبقاً على مهام متنوعة. وتم تصميمه بطريقة تجعل من السهل ضبط النماذج بما يتوافق مع المهمة المراد العمل عليها.

أي أننا سنتعامل مع ما يعرف ب Sentence-BERT (SBERT) [3] وهو تعديل على شبكة BERT باستخدام عدة تنوعات كالشبكات السيامية Siamese. يتيح ذلك لـ BERT أن يستخدم في بعض المهام التي لم تكن قابلة للتطبيق سابقاً مثل مقارنة الشبه الدلالي

على نطاق واسع والتجميع واسترجاع المعلومات عبر البحث الدلالي ويتم استخدام أساليب التجميع (استخدام طبقة تجميع "mean, max pooling" لتجميع تضمين جميع الرموز) للحصول على التضمينات على مستوى الجمل وبالتالي اكتشاف التشابهات بين الجمل المدخلة.

باستخدام SBERT يتم ضبط نموذج BERT المدرب مسبقاً على مهمة تشابه الجمل زوجياً حيث أنه في هذا الشبكة، يحصل النموذج على جملتين كإدخال ويتنبأ ما إذا كانتا متشابهتين أم لا.

وبهذا فإن عملية الضبط الدقيق لا تحتاج أي تعديل على بنية نموذج BERT حيث يقوم نموذج SBERT بمهمة التعديل هذه مع وجود شبكتين كل منهما تحوي نموذج BERT مع طبقة تجميع مهمتها الحصول على تضمينات ذات طول ثابت على مستوى الجمل (الاستعلامات) ويتم استخدام هذا النموذج بشكل خاص في عمليات ضبط نموذج BERT لاسيما في المهام التي تهدف إلى إيجاد التشابه بين الاستعلامات.

تحتوي مجموعات البيانات التي نستخدمها بشكل أساسي الاستعلامات مع الفئة التي ينتمي إليها الاستعلام. وكوننا نتعامل مع استعلامات (لغة مهيكلة) فلا نحتاج معالجة مسبقة للبيانات بشكل موسع لاسيما أن مجموعات البيانات هي في الأساس مجموعات منقحة يدوياً من قبل الباحثين للتأكد من صحة الاستعلامات، لتحضير البيانات قمنا بما يلي:

1. معالجة مسبقة بسيطة:

- تحويل جميع المحارف إلى محارف صغيرة.
- إزالة المسافات المزدوجة.

بالنسبة لمجموعة البيانات Automated-Grading-of-SQL-Statements فقد احتاجت خطوة معالجة إضافية حيث قمنا بالاعتماد على الحقل is_correct الذي يحوي قيمة بوليانية تعبر عن كون الاستعلام الحالي صحيح كإجابة للسؤال المطروح أم لا فقمنا باسترجاع الاجابات الصحيحة فقط (الاستعلامات التي تكون صحيحة كإجابة للسؤال) مع

الاعتماد على حقل exercise_id الذي يعبر عن رقم السؤال كعنونة label وبالتالي أصبحت هذه المجموعة مماثلة لبقية المجموعات من حيث الأعمدة وتحتوي عمودين query وهو الاستعلام وعمود label وهو رقم السؤال الذي تمت الإجابة عليه من خلال الاستعلام query.

2. إنشاء أزواج البيانات:

تم إنشاء مجموعة تدريب جديدة مؤقتة من مجموعات التدريب الأساسية تحوي أزواج من الاستعلامات مع قيمة ثنائية تحدد فيما إذا كان الاستعلامين من ذات الصنف (1) أم لا (0). حيث من أجل كل استعلام في مجموعة البيانات، يتم إنشاء عدة صفوف كل صف جديد يحتوي على الاستعلام نفسه واستعلام آخر من نفس التصنيف مع قيمة "1" (تشير إلى أن الاستعلامين متشابهين) حيث يتم المرور على جميع الاستعلامات من نفس الصنف مع مراعاة عدم تكرار الأزواج. ثم يتم إضافة عدد متساوٍ من الاستعلامات من تصنيفات أخرى مع قيمة "0" لكل زوج (تشير إلى أن الاستعلامين مختلفين).

قمنا بضبط نموذج Bert باستخدام أسلوب تشابه الجمل زوجياً وباستخدام الإطار المذكور، مع استخدام مقياس الخسارة التباينية.

مقياس الخسارة التباينية contrastive loss: هو نوع من دوال الخسارة المستخدمة بشكل شائع في الشبكات السيامية (المزدوجة) ونماذج أخرى لتعلم التضمينات حيث يكون الهدف هو تعلم التمثيلات التي تكون متشابهة للمدخلات المتشابهة ومختلفة للمدخلات المختلفة. في سياق تضمين الجمل أو تعلم التشابهات، يتم استخدام الخسارة التباينية لتشجيع النموذج على رسم أزواج مماثلة من الجمل بجوار بعضها البعض في الفضاء التضميني وبعيدة عن بعضها البعض للأزواج المختلفة.

تعمل دالة الخسارة التباينية من خلال مقارنة المسافات بين تضمينات أزواج المدخلات وتطبيق عقوبة استناداً إلى مدى تشابه المدخلات أو اختلافها. فبعد الحصول على التضمينات يتم:

• حساب المسافة: لكل زوج من التضمينات، يتم حساب المقياس البعدي (مثل المسافة الإقليدية أو مسافة التشابه الجيبية cosine distance) لتقدير تشابه التضمينات.

• حساب الخسارة: بناءً على المسافة بين التضمينات وعلاماتها (مماثلة 1 أو مختلفة 0)، يتم حساب الخسارة التباينية.

بشكل رياضي، تُعرف دالة الخسارة التباينية على النحو التالي:

$$L(y, d) = (1 - y) \times \frac{1}{2} d^2 + y \times \frac{1}{2} (\max(0, m - d))^2$$

حيث:

Y: هي التسمية التي تُشير إلى ما إذا كان الزوج متشابهاً (1) أم مختلفاً (0).

D: هو المسافة (أو درجة الاختلاف) بين تضمينات الزوج.

M: هو معامل التباعد الذي يتحكم في مدى تباعد الأزواج المختلفة، العينات السلبية يجب أن تكون لها مسافة على الأقل تساوي قيمة معامل التباعد.

تابع الخسارة المذكور يقيس الخسارة من أجل زوج واحد من الجمل ومن أجل حساب الخسارة بشكل كامل لجميع الأزواج يتم أخذ معدل الخسارة من أجل الأزواج جميعهم.

تم الاعتماد في الدراسة على القيم الافتراضية في إطار العمل المستخدم بالنسبة لتابع المسافة وهو مسافة التشابه الجيبية.

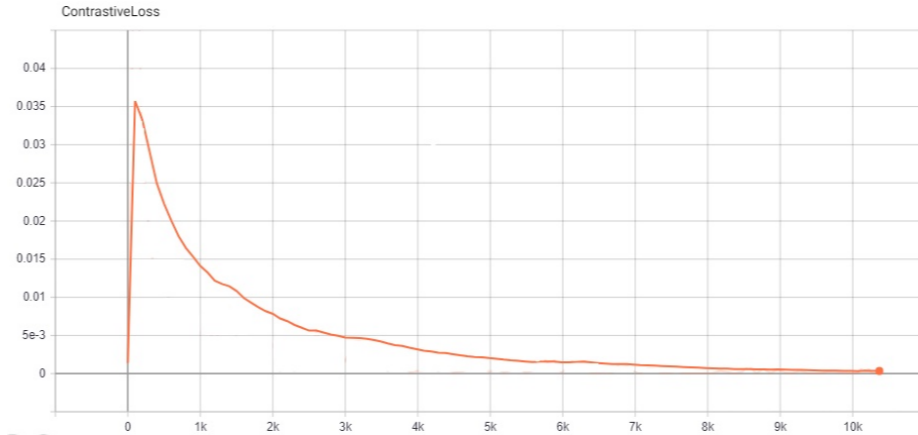
يوضح الجدول إعدادات التجربة التي قمنا بها لضبط نموذج Bert.

3	Epoch
2,4	Batch size
Adam	Optimizer
2e-5	Learning rate

0.3	Margin (معامل التباعد)
-----	------------------------

جدول 3: إعدادات ضبط نموذج BERT

تقييم النموذج باستخدام تابع الخسارة التباينية:



الشكل 8: الخسارة التباينية لنموذج BERT

7. مقاييس التجميع المستخدمة:

نرغب في فهم مدى قدرة تضمينات Bert على تمثيل الاستعلامات التي تقوم بنفس المهمة تمثيلاً متقارباً وحتى إذا كانت مكتوبة بشكل مختلف حيث أنه ومن المعروف أنه يمكن كتابة الاستعلام بطرق مختلفة لأداء مهام متشابهة فعلى سبيل المثال الاستعلامين التاليين:

الاستعلام الأول:

```
SELECT category, SUM(sales_amount) AS total_sales
FROM sales
WHERE YEAR(sale_date) = 2023
GROUP BY category;
```

الإستعلام الثاني:

```
SELECT category, total_sales
FROM (SELECT category, SUM(sales_amount) AS total_sales
      FROM sales
      WHERE YEAR(sale_date) = 2023
      GROUP BY category) AS sales_summary;
```

الاستعلامين الأول والثاني يعتبران متشابهين حيث يتم استخدامهما لأداء ذات المهمة بالرغم من اختلاف طريقة صياغة كل منهما.

للقيام بالتقييم نقوم باستخدام مجموعة من المقاييس المستخدمة في مجال عمليات التجميع ولكننا نقوم بتقييم كل مقياس وفقاً للتسميات الحقيقية للتجميع بدلاً من تقييم نتائج التجميع نفسها أي دون استخدام خوارزمية تجميع معينة، نقوم بتقييم خطوة وسيطة وهي المسافات الزوجية (pairwise distance) لمجموعة من الاستعلامات حيث أنه باستخدام هذه المسافات ومجموعات البيانات المعنونة التي ذكرناها، يمكننا استخدام مقاييس تقييم التجميع المختلفة دون تطبيق خوارزمية معينة وذلك لفهم مدى فعالية التضمينات في توصيف مجموعة من الاستعلامات.

أي أنه يلزمنا أيضاً تابع مسافة لحساب المسافة بين التضمينات بعد تطبيق النموذج وقد اعتمدنا في دراستنا على مسافة التشابه الجيبية (cosine distance) كونها ومن خلال التجارب أدت إلى نتائج أفضل من التتابع الأخرى كالمسافة الإقليدية، مانهاتن وغيرها.

تستخدم مقاييس تقييم التجميع بشكل خاص للتحقق من جودة المجموعات الناتجة عن طريق تقدير درجة تماسك العينات التي تنتمي إلى نفس المجموعة إضافة إلى تقدير درجة الفصل بين العينات التي تنتمي إلى مجموعات مختلفة. ونتيجة لذلك، سنستخدم ثلاث

مقاييس للتحقق من التجميع بما في ذلك معامل السيلويت المتوسط (Silhouette Coefficient)، ومؤشر Betacv، ومؤشر دان (Dunn index)، حيث تقيم كل منها الصفات المذكورة أعلاه في صياغتها. ونقوم بمقارنة النتائج مع أساليب التشابه الثلاث (Aligon، Aouiche، Makiyama).

كما نقوم باستخدام هذه المقاييس لتقييم التجميعات الناتجة عن نموذج BERT وعدد من النماذج اللغوية الأخرى اعتمادا على ثلاث خوارزميات تجميع Clustering هي Kmeans, HAC, Optics.

مؤشر Dunn:

هو مقياس يستخدم لتقدير جودة التجميع، إذا كانت القيمة عالية فإن هذا يشير إلى أن العناصر داخل المجموعة تمتاز بشكل كبير عن العناصر في المجموعات الأخرى، مما يشير إلى جودة تجميع جيدة. على العكس من ذلك، إذا كانت القيمة منخفضة. يعطى المؤشر بالعلاقة:

$$\text{Dunn Index} = \min (\text{inter-cluster distances}) / \max (\text{intra-cluster distances})$$

حيث أن:

Inter-cluster distances: مصطلح يشير إلى المسافة بين مجموعات مختلفة. ويقاس الفارق أو عدم التشابه بين المجموعات. كلما زادت المسافة بين المجموعات، زاد تمييزها وانفصالها عن بعضها البعض. عادةً ما يتم حساب المسافة بين المراكز (النقاط الوسطى أو المراكز) للمجموعات أو كأدنى مسافة بين نقاط البيانات في مجموعات مختلفة.

Intra-cluster distances: هذا المصطلح يشير إلى المسافة بين نقاط البيانات داخل نفس المجموعة. بمعنى آخر، يقيس التماسك أو الانسجام بين نقاط البيانات داخل مجموعة واحدة. كلما كانت المسافة داخل المجموعة أقل، زاد تشابه وتجمع نقاط البيانات داخل

المجموعة. يتم حساب المسافة داخل المجموعة عادةً كالمسافة المتوسطة أو القصوى بين جميع أزواج نقاط البيانات داخل المجموعة.

معامل Silhouette Coefficient:

معامل الظل (Silhouette Coefficient) هو مقياس يستخدم لتقدير جودة التجميع، يوفر هذا المعامل تقييماً لمدى تماسك المجموعات. لحساب معامل الظل، يتم قياس مدى تشابه نقاط المجموعة الفردية مقارنة بنقاط المجموعات الأخرى. يكون معامل الظل في النطاق من -1 إلى 1. القيم الإيجابية تشير إلى أن النقاط داخل المجموعة أقرب إلى بعضها البعض من متوسط المسافة بين المجموعات وكلما كانت القيمة قريبة من 1، فهذا يشير إلى أن العنصر موجود في المجموعة المناسبة وأنه قريب جداً من العناصر الأخرى في نفس المجموعة، في حين أن القيم السالبة تشير إلى أن هناك تشابهاً أقل بين نقاط المجموعة مما هو متوسط المسافة بين المجموعات.

في مجموعة ما، يمكن حساب معامل الظل للنقطة i بالشكل التالي:

$$S(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max\{a(i), b(i)\}}$$

حيث:

- $S(i)$ هو معامل الظل للنقطة i .
- $a(i)$ هو المسافة المتوسطة بين نقطة i ونقاط المجموعة التي تحتوي عليها.
- $b(i)$ هو المسافة المتوسطة بين نقطة i وأقرب مجموعة تحتوي على نقاط لا تنتمي إليها.

يمكن حساب معامل الظل لكل النقاط في المجموعة، ومن ثم يتم حساب المعامل الإجمالي بواسطة القيمة المتوسطة لمعاملات الظل لجميع النقاط.

مقياس Betacv:

يستخدم لتقدير جودة التجميع، يقيس مدى الجودة بناءً على ارتباطها المجموعة (intra-distance) واستقلالها (inter-distance). يعتبر $Beta_{cv}$ هو النسبة بين متوسط المسافة داخل المجموعة ومتوسط المسافة بين المجموعات. القيم الصغيرة للمقياس تشير إلى جودة أفضل لعملية التجميع.

8. التجربة والنتائج:

تم إجراء التجربة وتنفيذها على منصة Google Colaboratory السحابية واستخدام `sentence_transformers` ومكتبات `sklearn`، `beta_cv` لاستخدام مقاييس الأداء منهما.

التجربة الأولى:

الهدف معرفة كفاءة تضمينات نموذج Bert بالنسبة لايجاد التشابه بين الاستعلامات مقارنة بالأساليب المذكورة في الدراسات السابقة. بدايةً قمنا بتمرير الاستعلامات إلى النموذج المدرب وحصلنا على التضمينات الخاصة بهذه الاستعلامات. في الخطوة التالية قمنا بتمرير مجموعة التضمينات التي حصلنا عليها مع عنوان المجموعة التي من المفترض أن ينتمي إليها كل استعلام (كوننا نتعامل مع مجموعات بيانات معنونة) إضافة إلى تحديد تابع المسافة (جيب التمام cosine distance) إلى مقاييس الأداء المعرفة ضمن المكتبات (`silhouette`، `Dunn index`، `betacv`) لتقييم أداء النموذج.

تظهر الأشكال التالية مقارنة بين ثلاثة أساليب تشابه مذكورة في المراجعيات (Aligon، Makiyama، Aouiche) كل منها يستخدم أسلوب لتمثيل الاستعلام مع تابع مسافة

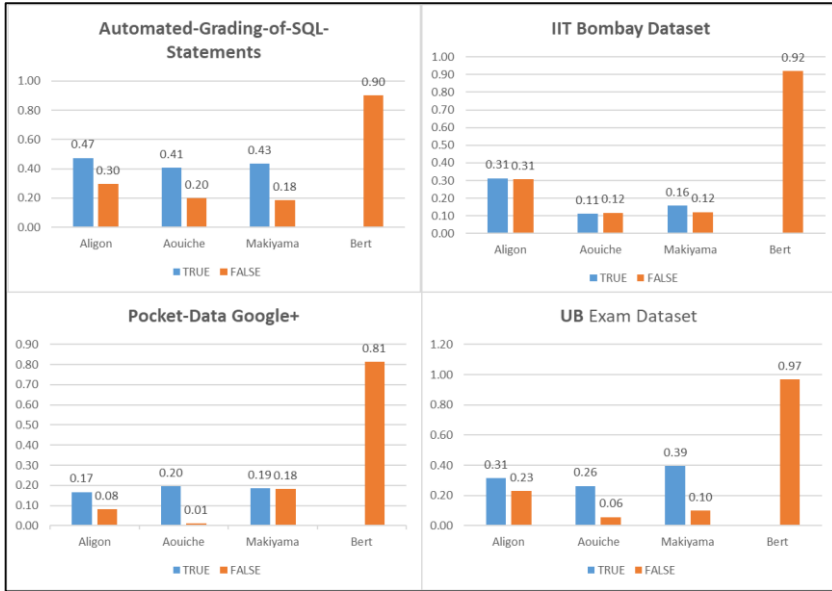
معين لقياس التشابه، والتشابه بين الاستعلامات باستخدام تضمينات Bert، حيث أن الأعمدة التي تعبر عن القيمة False هي دون تطبيق خطوة المعالجة المسبقة للإستعلامات (خطوة استخراج الميزات) المقترحة في الدراسة [2] بينما القيمة True تعبر عن إجراء هذه المعالجة قبل تطبيق مقياس التشابه والجدير بالذكر أننا نستخدم نموذج Bert الذي قمنا بضبطه دون تطبيق أي معالجة مسبقة للإستعلامات وذلك لأن هدف البحث هو تسليط الضوء على مدى فعالية التضمينات المستخرجة من نموذج Bert في تمثيل الاستعلامات دون أي تدخل بخطوات معالجة إضافية للبيانات مصممة يدوياً.

نتائج التجربة الأولى:

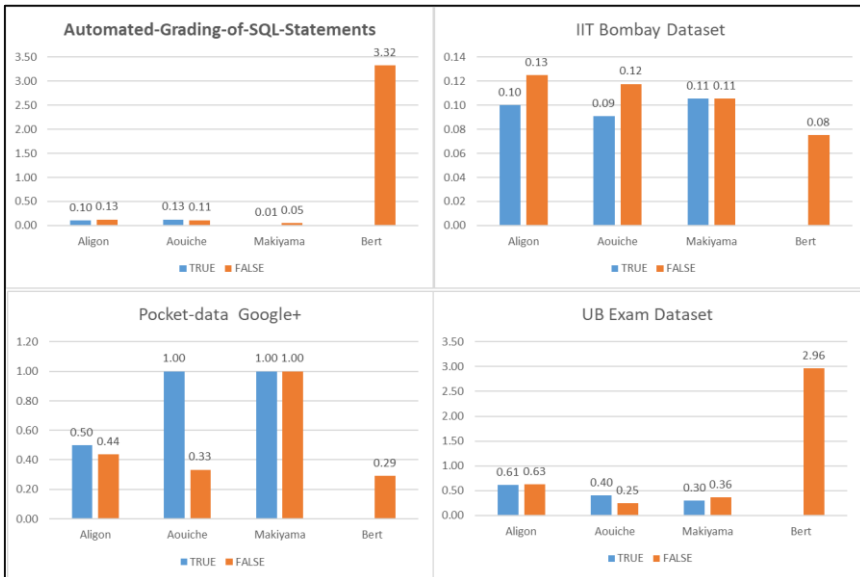


الشكل 9: الأداء حسب مقياس β_{cv} (القيم الأصغر هي الأفضل)

تمثيل استعلامات SQL باستخدام نموذج BERT



الشكل 10: متوسط silhouette coefficient (القيم الأكبر هي الأفضل)



الشكل 11: الأداء حسب Dunn index (القيم الأكبر هي الأفضل)

مناقشة نتائج التجربة الأولى:

أظهرت النتائج التفوق الواضح لنموذج Bert على الأساليب الأخرى (Aligon، Aouiche، Makiyama) حيث حصل نموذج Bert على أعلى قيم لمعامل Silhouette وصلت لتحسين لا يقل عن 90% كحد أدنى (في مجموعة بيانات automated-grading-sql-statements). كما وتفوق بالنسبة لمقياس Betacv عبر جميع مجموعات البيانات الأربع المختبرة. بنسبة لا تقل عن 82%. مما يشير إلى قدرة النموذج الفائقة في تمييز الاستعلامات المتشابهة وغير المتشابهة بشكل فعال. تفوقه يعكس قدرة النموذج على تكوين تجميعات متماسكة ومنفصلة بوضوح عن بعضها البعض. بالمقابل، أظهرت الأساليب الأخرى أداءً أقل وتباينت في اعتمادها على خطوات المعالجة المسبقة لتحسين النتائج، مما يوضح محدودية هذه الأساليب مقارنة بـ Bert.

أما بالنسبة لـ Dunn index تفوق نموذج Bert في مجموعتين من بيانات الاختبار حيث أظهر قدرة عالية في تكوين تجميعات ذات جودة أفضل. ومع ذلك، كان أدائه أقل مقارنة بالنماذج التقليدية في مجموعات البيانات الأخرى مثل Pocket-Data Google+ و UB Exam Dataset. تعكس هذه النتائج أن نموذج Bert يمكن أن يكون فعالاً جداً في بعض الحالات، بينما قد تكون النماذج التقليدية أكثر فعالية في حالات أخرى، مما يشير إلى أن اختيار النموذج المناسب يعتمد بشكل كبير على طبيعة البيانات المستخدمة.

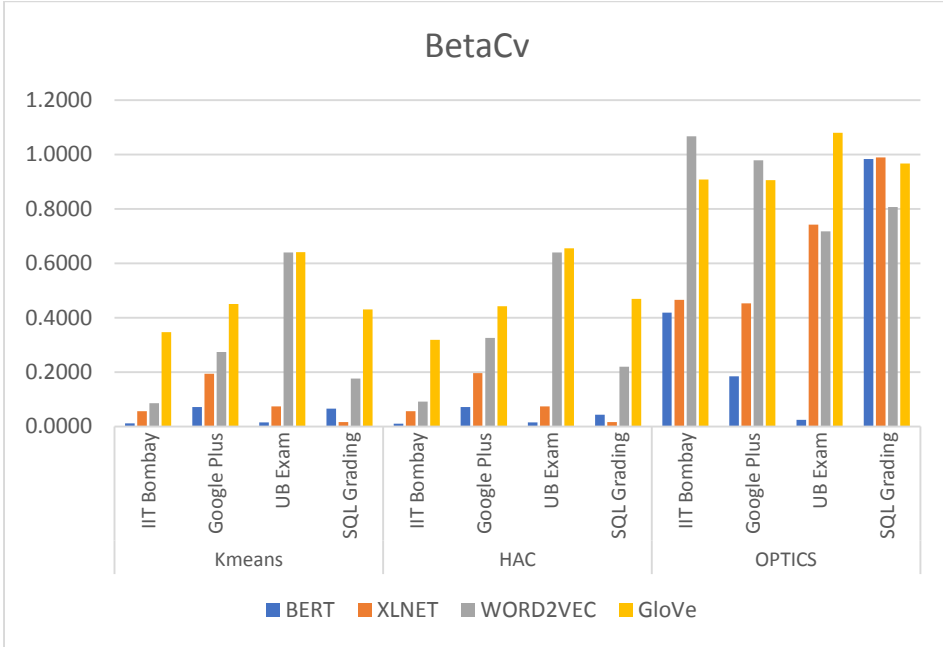
التجربة الثانية:

في هذه التجربة، قمنا بتقييم أداء نماذج التضمين في سياق التجميع باستخدام ثلاثة خوارزميات تجميع مختلفة Optics, Kmeans و HAC. ركزنا بشكل خاص على Bert ونماذج أخرى مثل XLNet و Word2Vec و GloVe وتم تطبيق كل نموذج من النماذج الأربعة على مجموعات البيانات الأربعة المستخدمة في البحث. كان الهدف من التجربة هو تحديد النموذج الذي يقدم أفضل تمثيلات نصية تساعد في تشكيل تجمعات واضحة ومتميزة.

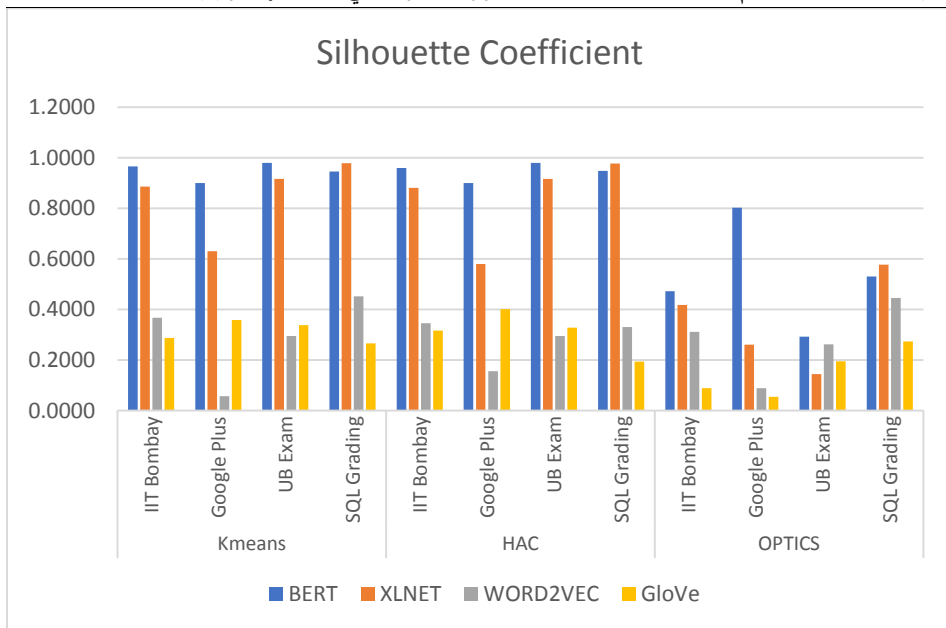
حيث يتم بداية استخراج التضمينات من النموذج المختبر ومن ثم تطبيق خوارزمية التجميع (جميع الخوارزميات بالتسلسل) وفي النهاية يتم حساب مقاييس الأداء (مقاييس التجميع المعتمدة في بحثنا Silhouette, Dunn Index, Betacv, ومعامل

نتائج التجربة الثانية:

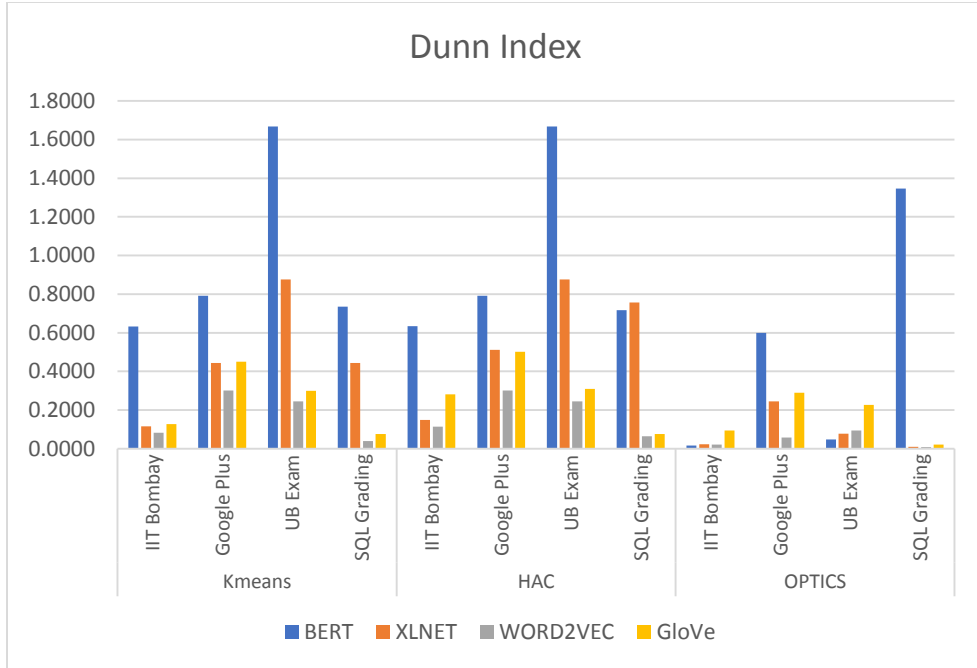
ملاحظة: في مخططات النتائج لهذه التجربة تم اختصار تسمية مجموعة البيانات automated-grading-sql-statements إلى SQL Grading بغرض التخفيف من تعقيد عرض المخططات.



الشكل 12: الأداء حسب مقياس beta_cv (القيم الأصغر هي الأفضل)



الشكل 13: متوسط silhouette coefficient (القيم الأكبر هي الأفضل)



الشكل 14: الأداء حسب Dunn index (القيم الأكبر هي الأفضل)

مناقشة نتائج التجربة الثانية:

نلاحظ انه وبالنسبة لمقياس Betacv أظهرت النتائج أن نموذج BERT هو الأكثر تفوقاً في معظم الحالات عبر جميع خوارزميات التجميع في ثلاث مجموعات اختبار مع نتائج مقارنة لأفضل النماذج في مجموعة البيانات الأخيرة -Automated-Grading-SQL-Statements.

بالنسبة ل Dunn Index نلاحظ من النتائج السابقة أن BERT يتفوق بشكل ملحوظ في تشكيل تجمعات متماسكة ومنفصلة عبر مختلف مجموعات البيانات، خاصة في خوارزميات Kmeans و HAC مع ملاحظة أداء أقل بالنسبة لخوارزمية Optics ويمكن أن يعزى السبب إلى التعقيد الحسابي حيث أن Optics أكثر تعقيداً من حيث الحسابات مقارنة مثلاً ب-K-means ، وقد تواجه صعوبة في التعامل مع تمثيلات البيانات العالية الأبعاد التي ينتجها BERT .

أما بالنسبة لمعامل silhouette الذي يقيس مدى تشابه النقاط داخل التجمع الواحد مقارنةً بتشابهها مع النقاط في التجمعات الأخرى.

يتضح من النتائج أن BERT يظهر أداءً قوياً ومتسقاً عبر مختلف مجموعات البيانات وخوارزميات التجميع، باستثناء بعض الحالات لاسيما مجموعة بيانات Automated-Grading-SQL-Statements التي تفوق فيها نموذج XLNET .

9. الاستنتاجات والتوصيات:

أظهر استخدام تضمينات BERT لاستعلامات SQL أداءً جيداً حيث تمكن النموذج من توفير تمثيلات سياقية غنية أثبتت جدواها في مجال تقييم الشبه بين الاستعلامات حيث تشير النتائج بقوة إلى أنه يمكن باستخدام تضمينات BERT استكشاف العلاقات والأنماط المعقدة في استعلامات SQL.

تفوق النموذج في أداءه على أداء الأساليب الموجودة في المرجعيات حيث كان هناك تفوق ملاحظ في مقياس Betacv مما يعني أن تضمينات BERT تلتقط بشكل فعال كل من الاتساق والفصل بين التجمعات في البيانات حيث يعتبر وجود تجمعات جيدة الفصل وتمييزاً ضرورياً للقيام بتحليلات دقيقة. كما تفوق على عدد من النماذج اللغوية فيما يتعلق بالتجميع Clustering عبر عدة خوارزمية وأظهر النتائج نموذج XLNET كمنافس قوي لنموذج BERT.

علاوة على ذلك، يؤكد التفوق الملاحظ لنموذج BERT في مقياس silhouette على قدرته على إنتاج تجمعات متماسكة داخلياً بشكل أفضل مقارنةً بالأساليب السابقة والنماذج اللغوية الأخرى. تعتبر هذه النتيجة مهمة لفهم الهيكل الأساسي والأنماط ضمن استعلامات SQL.

التحسين الكبير المقدم من النموذج يشير إلى أن التضمينات التي يقدمها نموذج BERT تضيف مستوى جديداً لفهم الاستعلامات المطبقة واستخراج الأنماط ويمكن أن يرجع النجاح

إلى كفاءة النموذج في توسيع السياق وفهم دلالات الاستعلامات، متجاوزاً بذلك قدرات الأساليب المعتمدة على النحو.

10. الأعمال المستقبلية:

يمكن توسيع الدراسة لتشمل إجراء مقارنة شاملة بين تضمينات BERT ونماذج لغوية أخرى. كما يمكن تقييم فعالية هذه التضمينات في مهام أخرى مثل مهام ضغط الأحمال التي تعتمد في جوهرها على تجميع Clustering الاستعلامات واستخراج عينة معبرة من الحمل (مجموعة من الاستعلامات المطبقة على القاعدة). إضافة إلى إمكانية تقييم أداء النموذج الذي تم ضبطه في هذا البحث في مهام إدارة قواعد البيانات كمهمة ضبط الفهارس.

11.المراجع:

- [1] Qiu, X., Sun, T., Xu, Y., Shao, Y., Dai, N., & Huang, X. 2020- Pre-trained models for natural language processing: A survey. **Science China Technological Sciences**, Vol.63, 10, 1872–1897.
- [2] Kul G., Luong, D. T. A., Xie, T., Chandola, V., Kennedy, O., Upadhyaya, S. 2018-Similarity Metrics for SQL Query Clustering. **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering**, Vol.30, 12, 2408–2420.
- [3] Reimers, N., Gurevych, I. 2019- Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks. **arXiv (Cornell University)**.
- [4] MacQueen, J. B.1967- Some methods for classification and analysis of multivariate observations. **In Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability**, Vol.1, 14, 281–297.
- [5] Ankerst, M., Breunig, M., Kriegel, H., Sander, J. 1999- Optics: Ordering points to identify the clustering structure, **ACM Sigmod record**, Vol.28, 2, 49–60.
- [6] Lukasová, A. 1979- Hierarchical agglomerative clustering procedure. **Pattern Recognition**, Vol.11, 5–6, 365–381.
- [7] Devlin, J., Chang, M., Lee, K., Toutanova, K. 2018- BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. **arXiv (Cornell University)**.
- [8] Zhu, Y., Kiros, R., Zemel, R. S., Salakhutdinov, R., Urtasun, R., Torralba, A., Fidler, S. 2015- Aligning Books and Movies: Towards Story-like Visual Explanations by Watching Movies and Reading Books. **arXiv (Cornell University)**, 19–27.
- [9] Trummer, I. 2022- DB-BERT: A Database Tuning Tool that Reads the Manual. **Proceedings of the 2022 International Conference on Management of Data**.

- [10] Hagglund, M., Pena, F. J. R., Pashami, S., Al-Shishtawy, A., Payberah, A. H. 2021- COCLUBERT: Clustering Machine Learning Source Code. **2021 20th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)**.
- [11] Chandra, B., Joseph, M., Radhakrishnan, B., Acharya, S., Sudarshan, S. 2016- Partial marking for automated grading of SQL queries. **Proceedings of the VLDB Endowment**, Vol.9, 13, 1541–1544.
- [12] Jain, S., Howe, B. 2018- Query2VEC: NLP meets databases for generalized workload analytics. **arXiv (Cornell University)**.
- [13] Aligon, J., Golfarelli, M., Marcel, P., Rizzi, S., Turricchia, E. 2013- Similarity measures for OLAP sessions. **Knowledge and Information Systems**, Vol.39, 2, 463–489.
- [14] Tahmasebi, S., Payberah, A. H., Soylu, A., Roman, D., Matskin, M. 2022- TranSQL: A Transformer-based Model for Classifying SQL Queries. **2022 21st IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)**.
- [15] Aouiche, K., Jouve, P., & Darmont, J. 2006- Clustering-Based materialized view selection in data warehouses. **In Lecture Notes in Computer Science**, 81–95.
- [16] V. H. Makiyama, M. J. Raddick, and R. D. Santos, 2015- Text mining applied to SQL queries: A case study for the SDSS SkyServer, **in SIMBig**.
- [17] B. Chandra, B. Chawda, B. Kar, K. V. Reddy, S. Shah, and S. Sudarshan, “Data generation for testing and grading SQL queries,” VLDBj, 2015.
- [18] Wang, J.: Dataset: combining dynamic and static analysis for automated grading sql statements (2020).URL <https://doi.org/10.5281/zenodo.6526769>

- [19] J. MacQueen et al., Some methods for classification and analysis of multivariate observations, **in Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability**, vol. 1, no. 14. Oakland, CA, USA, 1967, pp. 281–297.
- [20] M. Ankerst, M. M. Breunig, H.-P. Kriegel, and J. Sander, Optics: Ordering points to identify the clustering structure, **ACM Sigmod record**, vol. 28, no. 2, pp. 49–60, 1999
- [21] A. Lukasova, Hierarchical agglomerative clustering procedure, Pattern Recognition, vol. 11, no. 5-6, pp. 365–381, 1979.
- [22] T. Mikolov, I. Sutskever, K. Chen, G. Corrado, and J. Dean, “Distributed representations of words and phrases and their compositionality,” arXiv preprint arXiv:1310.4546, 2013.
- [23] J. Pennington, R. Socher, and C. D. Manning, 2014 - Glove: Global vectors for word representation, in **Proceedings of the 2014 conference on empirical methods in natural language processing (EMNLP)**, 2014, pp. 1532–1543.
- [24] Yang, Z., Dai, Z., Yang, Y., Carbonell, J., Salakhutdinov, R., & Le, Q. V., 2019- XLNet: Generalized autoregressive pretraining for language understanding. **arXiv preprint arXiv:1906.08237**.
- [25] Brian A. Cumi-Guzman, Alejandro D. Espinosa-Chim, Mauricio G. Orozco-del-Castillo, and Juan A. Recio-García, 2024-Counterfactual Explanation of a Classification Model for Detecting SQL Injection Attacks. **ICCBR’24 Workshop Proceedings**.

التعرف على لغة الإشارة العربية في الوقت الحقيقي باستخدام التعلم العميق

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المعلوماتية باختصاص
هندسة البرمجيات ونظم المعلومات

إعداد
م. ناديا قسيس

إشراف:

د. إيفا حريقص
مشرفاً مشاركاً

أ.د. رانيا لطفي
مشرفاً أساسياً

مُلخَصُ البَحْث

تُعتبر لغة الإشارة الطريقة الأكثر تعبيراً وفعاليةً لتمكين ضعاف السمع من الانغماس في الأنشطة الاجتماعية وتحسين قدرات التواصل الاجتماعي لديهم، إلا أن أنظمة التعرف على لغة الإشارة لاسيما لغة الإشارة العربية تواجه عدة تحديات تجعل دقة التعرف الخاصة بها غير جيدة.

يهدف هذا البحث إلى تطوير نظام للتعرف على لغة الإشارة العربية باستخدام تقنيات التعلم العميق، وعلى وجه التحديد بنية الشبكات العصبية التلافيفية CNN. يهدف النظام إلى سد

فجوة التواصل للأشخاص ضعاف السمع مع محيطهم من خلال ترجمة إيماءات لغة الإشارة العربية تلقائياً إلى نص مكتوب، حيث تم اختبار أداء أربعة بنى معمارية من نماذج CNN وهي: نموذج CNN مخصص، VGG-16، MobileNet V1، MobileNet V2 على مجموعتي بيانات للغة الإشارة العربية إحداهما تم بناؤها يدوياً ومعترف بها من قبل جمعية رعاية الصم والبكم في مدينة حمص. أظهرت النتائج أن نموذج MobileNet V2 حقق أعلى دقة بلغت 96% على مجموعة البيانات المبنية، مع إمكانية تضمين هذا النموذج ضمن تطبيق على منصات الويب والأجهزة المحمولة لترجمة لغة الإشارة العربية لنص في الوقت الحقيقي.

الكلمات المفتاحية: التعرف على لغة الإشارة العربية، التعلم العميق، التعلم بالنقل، الشبكات العصبية التلافيفية (CNNs).

Real-Time Arabic Sign Language Recognition Using Deep Learning

Abstract

Sign language is considered the most expressive and effective way for enabling the hearing impaired to engage in social activities and improve their social communication skills. However, sign language recognition systems, especially Arabic sign language, face several challenges that hinder their recognition accuracy.

This research aims to develop a system for recognizing Arabic sign language using deep learning techniques, specifically convolutional

neural network (CNN) architecture. The system aims to bridge the communication gap between hearing impaired people and their surroundings by automatically translating Arabic sign language gestures into written text. The performance of four CNN architectures was tested: a custom CNN model, VGG-16, MobileNet V1, and MobileNet V2 on two datasets for Arabic sign language, one of which was manually built and authenticated by the Deaf and Dumb Care Association in Homs. The results showed that the MobileNet V2 model achieved the highest accuracy of 96% on the manually constructed dataset, with the potential to integrate this model into web and mobile applications for real-time translation of Arabic sign language into written text.

Keywords: Arabic Sign Language Recognition (ASLR), Deep Learning, Transfer Learning, Convolutional Neural Networks (CNN). **مقدمة.**

تعد اللغة المنطوقة أحد وسائل التواصل بين البشر، لكن بالنسبة للأشخاص الذين يعانون من مشكلة في السمع والنطق فقد تم تطوير نظام تواصل بصري يسمى لغة الإشارة والذي يستخدم إيماءات محددة لترجمة التعبيرات إلى لغة لفظية. وفقاً لمنظمة الصحة العالمية عام 2020، هناك حوالي 466 مليون شخص يعانون من مشاكل فقدان السمع، 34 مليون منهم من الأطفال [1]، لذا تُعتبر لغة الإشارة وسيلة هامة للتواصل بين الصم والبكم أنفسهم ومع الناس العاديين للتعبير عن أفكارهم ومشاعرهم.

مع وجود هذه الطريقة البديلة للتواصل بين الصم والبكم يبقى من الصعب جداً تواصلهم مع عامة الناس، لأنه على الرغم من إتقان العديد من الأشخاص ضعاف السمع للغة الإشارة، إلا أنّ القليل جداً من الأشخاص العاديين بإمكانهم فهمها واستخدامها كونها تحتاج إلى الكثير من التدريب والممارسة. نتيجة لذلك، فإن هذه المشكلة تخلق الكثير من العزلة

الاجتماعية بين الأشخاص ذوي الإعاقة السمعية والنطقية في المجتمع الذي يعيشون فيه، ومن هنا ظهرت الحاجة لنظام يسمح بترجمة لغة الإشارة تلقائياً إلى نص والعكس بالعكس.

لغة الإشارة ليست ترجمة مرئية للغة المنطوقة، إنما لديها القواعد الخاصة بها. وهي من اللغات التي تستخدم فيها حركة اليدين بإشارات محددة تؤثر على معنى الإيماءات، وتكون الإشارات تبعاً لكل حرف من الحروف الأبجدية، ومن خلالها يمكن تكوين جمل. كما أنه لا يوجد توحيد بشأن لغة الإشارة التي يجب اتباعها على مستوى العالم، حيث أنها تختلف باختلاف الأشخاص والمنطقة التي ينتمون إليها.

تم تقديم لغة الإشارة العربية (اللغة المستخدمة في المناطق العربية) (ArSL) (Arabic Sign Language) رسمياً عام 2001 من قبل الاتحاد العربي للصم (AFOD) (Arab Federation of the Deaf)، وهي تتضمن مفردات وقواعد خاصة بها، مما يجعلها نظاماً مستقلاً للتواصل. كما يوجد العديد من اللهجات المختلفة لـ ArSL والتي تختلف من بلد إلى آخر، لكنها بالعموم مكونة من 28 حرفاً تتفق عليها اللهجات المختلفة.

هناك نوعان رئيسيان من لغات الإشارة التي يستخدمها الصم والبكم:

- لغة الإشارة التي تعتمد على الكلمات (الكلمات والإيماءات الكاملة): يعتمد هذه النوع على إشارات يدوية وحركات تعبر عن كلمات أو مفاهيم كاملة، مثل لغة الإشارة الأمريكية (ASL) (American Sign Language) أو لغة الإشارة البريطانية (BSL) (British Sign Language) أو لغة الإشارة العربية (ArSL).
- لغة الإشارة التي تعتمد على الأحرف (أبجدية الأصابع): يستخدم هذا النوع حركات يدوية لتمثيل الحروف الأبجدية، حيث يتم تهجئة الكلمات حرفاً بحرف، مثل أبجدية الأصابع الإنجليزية (Fingerspelling) المستخدمة في لغة الإشارة الأمريكية أو أي لغة إشارة أخرى.

بما أن قاموس الاشارات المستخدمة يومياً ضخم وقد يصل إلى الآلاف من الكلمات فإن المهمة في التعرف على الإيماءات محدودة في عدد قليل من الكلمات، مما يشكل تحدي كبير في قابلية التوسع في التعرف على لغة الإشارة [2]. لذلك تم الاعتماد في هذا البحث على الاحرف الأبجدية للغة العربية فقط والتي من خلالها يمكن تشكيل أي جملة.

في الوقت الحالي، هناك العديد من الدراسات المتعلقة بالتعرف على لغة الإشارة (SLR) التي تهدف إلى تقليص الفجوة بين الأشخاص الصم والأشخاص العاديين، حيث يمكن لهذه التقنيات أن تحل محل الحاجة إلى المترجمين. ومع ذلك، تواجه أنظمة التعرف على الإشارات تحديات عديدة، مثل الدقة المنخفضة، الإيماءات المعقدة، الضوضاء العالية، والقدرة على العمل في ظروف متغيرة مع الحفاظ على التعميم أو التقييد ضمن هذه الظروف، ونظراً لأن كل لغة لها إشارات خاصة، فإن تغطية جميع إشارات اللغات يُعد تحدياً كبيراً. يمثل الانتشار الواسع للهواتف المحمولة فرصة للأشخاص ذوي الإعاقة السمعية للمشاركة بشكل أكبر في مجتمعاتهم، لذا فإن تصميم وتنفيذ نظام للتعرف على لغة الإشارة العربية (ArSL) يمكن أن يؤثر بشكل كبير على جودة حياتهم.

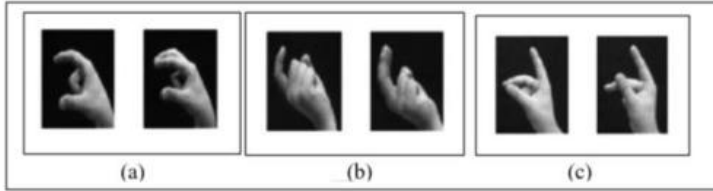
1. مشكلة البحث

هناك الكثير من الأبحاث والدراسات التي تهتم بالتعرف التلقائي على لغة الإشارة من أجل اللغة الانكليزية، في حين أن هناك ندرة بالأبحاث المتعلقة بالتعرف على لغة الإشارة العربية، كما تكمن صعوبة هذا البحث في ناحيتين:

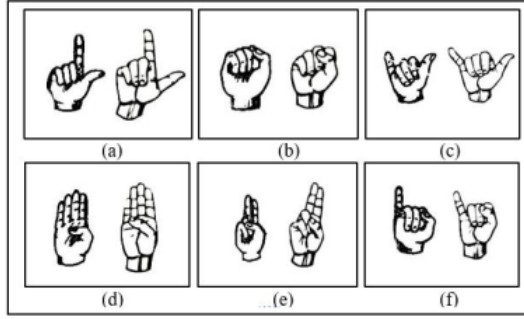
- تنوع طرق الحصول على البيانات
- تنوع الطرق المستخدمة للتعرف على لغة الإشارة

هناك العديد من الأسباب التي تجعل التعرف على لغة الإشارة مجال بحثي صعب أهمها:

- يعد تفسير مجموعة المعلومات المرئية على أنها جمل لغة طبيعية أحد التحديات الصعبة في حل مشكلة ترجمة لغة الإشارة، لأنه من أجل تفسير جملة واحدة علينا فهم الاختلاف الدقيق في شكل وحركة اليدين والجسد وأحياناً تعابير الوجه.
- يعد تجزئة المنطقة التي تشير إلى الإيماءة من الصورة بأكملها مشكلة أيضاً بسبب البيئات المختلفة التي يتم فيها التقاط الصور، والإضاءة، حجم اليد، وتعابير الوجه، والاتجاه وما إلى ذلك. حيث ستؤدي التغييرات الديناميكية في الإضاءة والخلفية ومواضع الكاميرا إلى صعوبة استخراج المناطق المهمة من الإطار بأكمله كون الحركة في الخلفية لا يمكن التحكم بها، كما أن الكشف المعتمد على الجلد ليس أسلوباً دقيقاً لأنه لا يمكن استخراج منطقة الجلد بناءً على عتبة غير معروفة بسبب اختلاف ألوان البشرة.
- تتكون كل لغة إشارة من آلاف الاشارات التي تختلف عن بعضها باختلافات طفيفة في شكل اليد وحركتها وموضعها، وهذه المشكلة موجودة بشكل كبير في لغة الإشارة العربية حيث يوجد عدة أحرف تتشابه فيهم حركة اليد مع اختلاف بسيط في الأصابع مما يخلق غموضاً في مهمة تصنيف الصور كما هو موضح في الشكل (1) الذي يمثل إيماءات متماثلة في ArSL. كما يمكن أن تتشابه أيضاً إشارات أحرف اللغة العربية مع إشارات أحرف اللغة الأميركية كما هو موضح في الشكل (2).



الشكل (1): إيماءات متماثلة في ArSL - (a) التشابه بين حرفي (د) و(ذ)، (b) التشابه بين حرفي (ز) و(ر)، (c) التشابه بين حرفي (ظ) و(ط)



الشكل (2): إيماءات متماثلة بين ASL و ArSL – (a) "ل" و "L" (b) "ص" و "S" (c) "ي" و "y" (d) "ك" و "B" (e) "ت" و "H" (f) "م" و "I"

- يتمثل التحدي الرئيسي في SLR في تصميم واستخراج الوصفات المرئية التي يمكنها تحديد الإشارات وتصنيفها بشكل موثوق، واختلاف نتائج الأنظمة باختلاف مجال الدراسة، وضبط البارامترات الفائقة الخاصة بهذه الأنظمة بما يتناسب مع حجم وطبيعة البيانات المستخدمة.

لاتزال الأساليب الحالية المتبعة للتنبؤ بلغة الإشارة للأحرف العربية تعاني من بعض الصعوبات والقصور في عدة جوانب، لذا لابد من العمل على محاولة إيجاد حل للتحديات السابقة من أجل بناء نموذج للتعرف على لغة الإشارة العربية بدقة عالية بحيث يساهم في تحسين عملية التواصل بين الصم والبكم والأشخاص العاديين.

2. الهدف من البحث وأهميته

يهدف البحث بشكل أساسي إلى تطوير نموذج للتعرف على لغة الإشارة العربية من خلال استخدام تقنيات التعلم العميق ونقل التعلم للوصول إلى أفضل دقة ممكنة ضمن المجال المدروس، وفي النهاية تضمين هذا النموذج في تطبيق ويب يساعد على تحويل الإشارات إلى نص باللغة العربية لمساعدة الصم والبكم في التواصل مع الآخرين. ويتم ذلك من خلال تحقيق الآتي:

- دراسة تحليلية للأبحاث الموجودة التي تعمل على التعرف على لغة الإشارة العربية.
- بناء مجموعة بيانات خاصة بلغة الإشارة العربية.
- بناء نموذج قادر على التنبؤ بأحرف لغة الإشارة العربية بأفضل دقة ممكنة بالاستفادة من تقنيات التعلم العميق واستخدام النماذج المدربة مسبقاً في تحقيق هذا النموذج.
- مقارنة نتائج هذه الدراسة مع دراسات مشابهة.
- تطوير واجهة تفاعلية للنموذج الذي تم التوصل له لتوضيح إمكانية استثماره في التطبيقات الحقيقية في تحويل لغة الإشارة العربية إلى نص مكتوب، بحيث يتمكن الأشخاص الصم من فتح الكاميرا وإدخال حركات الأحرف بالوقت الحقيقي ليتم تحويلها إلى أحرف مكتوبة وتشكيل كلمات وجمل منها يمكن قراءتها من قبل المستخدم العادي.

تكمن أهمية هذا البحث من حيث كونه يُعنى بأحرف لغة الإشارة العربية من جهة مع توفير مجموعة بيانات خاصة بها معترف بها من قبل جمعية رعاية الصم والبكم في مدينة حمص يمكن الاستفادة منها في العديد من الدراسات والأبحاث المستقبلية ضمن هذا المجال، وبكونه يستخدم أحدث تقنيات التعلم العميق واستثمار النماذج المدربة مسبقاً في بناء نموذج قادر على التنبؤ بأحرف لغة الإشارة العربية بأفضل دقة ممكن، واستخدام هذا النموذج ضمن تطبيق ويب والذي من خلاله يمكن توفير وسائل لتدريس لغة الإشارة العربية القياسية في مراكز الصم والبكم واعتماده كوسيلة لتواصل الصم والبكم مع محيطهم في العديد من المجالات مثل المطاعم والمستشفيات ووسائل النقل وغيرها. يمكن للأشخاص العاديين أيضاً من خلال التطبيق تعلم لغة الإشارة العربية القياسية بسهولة أكبر واستخدام ماتعلموه للتواصل مع الصم والبكم، مما يجعل اندماجهم أفضل مع كافة نواحي المجتمع.

3. دراسات ذات صلة

قام الباحثون في الدراسة [3] بتطوير نظام للتعرف التلقائي على لغة الإشارة العربية يستخدم نموذج CNN للتعرف على 28 حرفاً عربياً باستخدام مجموعة بيانات تسمى ArSL2018 تتضمن أحرف لغة الإشارة العربية على شكل صور ملونة RGB. تتناول الدراسة مشكلة التواصل المحدود بين مجتمع الصم والبكم ومجتمع الأشخاص الطبيعيين بسبب نقص المترجمين والاستخدام المحدود للغة الإشارة في مجتمع الصم، مما يؤدي إلى انخفاض فرص التعليم والعمل للأفراد الصم، لذا تم اقتراح إطار عمل جديد قائم على نموذج CNN، تم اختباره على (10810 صورة) والتي تمثل حوالي 20% من مجموعة البيانات، وقياس دقة النموذج وكذلك معدل الخطأ خلال مراحل التدريب والاختبار، وحقق النموذج دقة تعرف بلغت 92.9%.

قام الباحثون في الدراسة [4] من أجل تسهيل التواصل للأفراد ذوي الإعاقات السمعية بتطوير نظام آلي للتعرف على لغة الإشارة العربية وتحويلها إلى نص باللغة العربية. تم بناء نظام التعرف باستخدام نموذج التعلم العميق CNN المستخدم على نطاق واسع في مهام التعرف على الصور، حيث يقوم النظام بالنقاط صور لإشارات اليد، والتعرف على أحرف معينة من أبجدية لغة الإشارة العربية، ثم توليد نص مطابق باللغة العربية. لضمان قوة النموذج، شملت مجموعة البيانات تنوعات في ظروف الإضاءة، الزوايا، والمسافات لتغطي 31 حرفاً من لغة الإشارة العربية. حققت الدراسة معدل دقة تعرف بنسبة 90%، وتم اقتراح كعمل مستقبلي دمج أجهزة متقدمة للتعرف على الإيماءات، مثل Leap Motion أو Xbox Kinect وتوسيع مجموعة البيانات.

اقترح الباحثون في الدراسة [5] نظاماً يعتمد على تقنية التعلم الآلي باستخدام الشبكة العصبية الالتفافية (CNN)، والتي تستفيد من أجهزة استشعار قابلة للارتداء للتعرف على 30 حرفاً من لغة الإشارة العربية. يتميز النموذج المقترح بقدرته على التكيف مع جميع الإيماءات المحلية العربية التي يستخدمها أفراد المجتمع العربي من ضعاف السمع. تم

استخدام نهج CNN لأغراض التصنيف، حيث تكون إيماءات اليد الخاصة بلغة الإشارة العربية هي المدخلات، بينما يكون الصوت المنطوق هو المخرج للنظام المقترح. في البداية، تم بناء شبكة CNN لاستخراج الميزات من البيانات التي تم جمعها بواسطة قفازات DG5-V المزودة بأجهزة استشعار قابلة للارتداء لالتقاط حركات اليد في مجموعة البيانات، من ثم تم معالجة البيانات المجمعة من هذه المستشعرات لتنسيق الصور، وتقسيمها إلى 80% مجموعة تدريب و 20% مجموعة اختبار. حقق النموذج المقترح دقة تعرف 90% وكان فعالاً للغاية في ترجمة إيماءات اليد الخاصة بلغة الإشارة العربية إلى كلام وكتابة.

سعى الباحثون في الدراسة [6] إلى تطوير نظام فعال للتعرف على لغة الإشارة العربية (ArSL) يجمع بين أداء التصنيف العالي وكفاءة التكلفة الحسابية، مما يجعله مناسباً للاستخدام على الأجهزة المحمولة. لتحقيق هذا الهدف، اعتمد الباحثون على بنية خفيفة تعتمد على نماذج EfficientNet، المعروفة بكفاءتها من حيث عدد المعلمات وتكلفة الحساب، كما استخدموا مجموعة بيانات واقعية تحتوي على صور لإيماءات اليد تمثل ثلاثين حرفاً مختلفاً من الأبجدية العربية، وقاموا بتطبيق وتقييم نماذج EfficientNet المتنوعة وتقنيات المعالجة المسبقة بهدف تحسين الأداء. أسفرت التجارب عن تحقيق أفضل النتائج باستخدام بنية EfficientNet-Lite 0 مع تقنية Label Smooth كدالة خسارة (Loss Function)، مما أدى إلى دقة بلغت 94%. كما أثبت هذا النهج فعاليته في التعامل مع الخلفيات المتنوعة. تناولت منهجية الدراسة أربعة سيناريوهات تجريبية، تضمنت دراسة تأثير تقسيم الصورة على أداء النموذج، ومقارنات بين إصدارات مختلفة من نماذج EfficientNet Lite، وتقنيات التحسين. أشارت النتائج إلى أن تقسيم الصورة كان له دور محوري في تحسين دقة النموذج، حيث حقق النموذج الأخف أفضل أداء. خلصت الدراسة إلى أن النماذج الحالية للتعرف على ArSL غالباً ما تعتمد على تقنيات معقدة ومرهقة من حيث الموارد، بينما يظهر النظام المقترح، المبني على EfficientNet،

تحسينات كبيرة من حيث الكفاءة والدقة. وتقتصر الدراسة في المستقبل استكشاف استخدام نماذج قائمة على المحوّل Transformer لمهام الرؤية وتوسيع النظام ليشمل التعرف على الكلمات والتعبير الشائعة في لغة الإشارة العربية.

قام الباحثون في [7] بإنشاء نظام للتعرف على لغة الإشارة العربية (ArSLR) يركز على التعرف على الحروف العربية. تم تطوير نظام ArSLR باستخدام طريقة خاصة لمعالجة الصور لاستخراج الموقع الدقيق لليد، بالإضافة إلى اقتراح هيكلية لشبكة عصبية تلافيفية عميقة (CNN). يهدف هذا النظام إلى تسهيل تفاعل الأشخاص الذين يعانون من مشاكل سمعية مع الأشخاص العاديين. بناءً على مدخلات المستخدم، يمكن للنظام اكتشاف والتعرف تلقائياً على حروف الأبجدية العربية التي تُعبر بالإشارة. حقق النظام دقة تبلغ 97.07% في التعرف على حروف لغة الإشارة العربية. أشارت النتائج إلى أن الطريقة المقترحة تتفوق على الدراسات المماثلة في التعرف على الإشارات الثابتة باستخدام نفس مجموعة البيانات. واقتروا كعمل مستقبلي توسيع مجموعة البيانات وتحسين تقنيات تحويل النصوص باستخدام معالجة اللغة الطبيعية.

في الدراسة [8]، سعى الباحثون إلى تطوير نماذج قوية للتعلم بالنقل، مدربة على مجموعة بيانات تحتوي على 54,049 صورة تمثل 32 حرفاً من الأبجدية العربية بلغة الإشارة، بهدف تصنيف هذه الصور بدقة عالية إلى الحروف العربية المقابلة. اعتمدت الدراسة على نهجين: الأول تمثل في استخدام التعلم بالنقل، حيث تم تطبيق عدة نماذج مدربة مسبقاً مثل DenseNet، InceptionResNet، Inception، Xception، MobileNet وBiT، إضافة إلى محولي رؤية هما ViT وSwin. وقد تم تقييم إصدارات مختلفة من هذه النماذج باستخدام أوزان مهيأة من مجموعة بيانات ImageNet أو بشكل عشوائي. النهج الثاني تمثل في استخدام التعلم العميق عبر الشبكات العصبية الالتفافية (CNN)، حيث تم تدريب عدة نماذج من الصفر ومقارنتها بنتائج منهجية التعلم بالنقل. تم تقييم

النماذج باستخدام معايير متعددة تشمل الدقة (Accuracy)، المساحة تحت المنحني (AUC)، الدقة (Precision)، الاسترجاع (Recall)، F1-score، والخسارة. أظهرت النتائج أن منهجية التعلم بالنقل حققت أداءً ممتازاً على مجموعة بيانات ArSL، متفوقة على نماذج CNN الأخرى، حيث حققت نماذج ResNet و InceptionResNet نسبة دقة بلغت 98%. كما أظهر استخدام محولي ViT و Swin، من خلال دمج بنية المحولات مع التدريب المسبق، فعالية كبيرة في تقليل عدد المعلمات المطلوبة للتدريب، مما جعلها أكثر كفاءة واستقراراً مقارنة بالنماذج الأخرى والدراسات السابقة في تصنيف ArSL. يبرز هذا البحث فعالية وقوة استخدام التعلم بالنقل مع محولات الرؤية للتعرف على لغة الإشارة في اللغات التي تعاني من نقص في الموارد.

في الدراسة [9] تم تطوير نظام للتعرف على لغة الإشارة العربية باستخدام تقنيات التعلم العميق، وتم استخدام إحدى شبكات الـ CNN المدربة مسبقاً وخفيفة الوزن تدعى MobileNet V2 للتنبؤ بـ 32 حرف مختلف من أحرف اللغة العربية. تم تدريب النموذج على مجموعة البيانات تدعى ArSL21L حيث تم تقسيم الصور إلى 9955 صورة للتدريب و 4247 صورة للاختبار وبحجم صور $416 \times 416 \times 3$ لذلك تم تعديل حجم الصور في مجموعة البيانات قبل تدريب النموذج عليها لتصبح $224 \times 224 \times 3$ حتى تتوافق مع دخل النموذج، وتم التدريب على 60 epochs. أعطى النموذج دقة تعرف جيدة حيث كانت قيمة مقياس F1-score تساوي 80% و قيمة مقياس Precision تساوي 80% ومقياس Recall تساوي 81%.

4. مواد وطرائق البحث

1.5 مجموعات البيانات (datasets) المستخدمة

قمنا باستخدام مجموعتي بيانات لأحرف لغة الإشارة العربية إحداها تم جمعها يدوياً باستخدام كاميرا موبايل نتيجة صعوبة إيجاد مجموعة بيانات باللغة العربية ملائمة لمتطلبات جميع

النماذج التي تم العمل عليها وضبطها ضمن التجارب العملية لهذه الدراسة، وقد تم الحصول على تأكيد جمعية رعاية الصم والبكم في مدينة حمص حول صحة مجموعة البيانات هذه بحيث يمكن استخدامها في الدراسة.

تتألف مجموعة البيانات الأولى من صور لـ 28 حرف من أبجدية لغة الإشارة العربية، بالاستعانة بـ 10 أشخاص لتمثيل صور الإشارات لكل حرف، حيث تم جمع 500 صورة مختلفة لكل حرف بحجم $224 \times 224 \times 3$ ولاحقة 'jpg' تراعي اختلاف حجم اليد وموضعها، ظروف تغيير الإضاءة والخلفيات وذلك للحصول على مجموعة بيانات أكثر شمولية. هذا نتج عنه حوالي 13440 صورة ككل. تم تقسيم مجموعة البيانات هذه بحيث يكون 80% من البيانات للتدريب و20% للاختبار. يوضح الشكل (3) مثلاً عن الصور التي تم جمعها لكل حرف من أحرف لغة الإشارة العربية في مجموعة البيانات الأولى.



الشكل (3): عينة من مجموعة البيانات الأولى

تتألف مجموعة البيانات الثانية من صور لـ 32 حرف من أبجدية لغة الإشارة العربية وهي مستخدمة في الدراسة [9]، حيث تم جمع 500 صورة مختلفة لكل حرف بحجم $416 \times 416 \times 3$ ولاحقة 'jpg' تراعي اختلاف حجم اليد وموضعها، ظروف تغيير الإضاءة. هذا نتج عنه حوالي 17448 صورة ككل. تم تقسيم مجموعة البيانات هذه أيضاً

بحيث يكون 80% من البيانات للتدريب و 20% للاختبار. يوضح الشكل (4) مثلاً عن الصور لكل حرف من أحرف لغة الإشارة العربية في مجموعة البيانات الثانية [9].



الشكل (4): عينة من مجموعة البيانات الثانية [9]

2.5 مقاييس الأداء المستخدمة

تم الاعتماد على 4 مقاييس لتقييم أداء النماذج في التجارب العملية التي تم القيام بها في هذا البحث والتي يتم تحديدها عموماً بالاستعانة بمصفوفة الارتباك (Confusion matrix) لمسألة تصنيف ثنائية. هذه المقاييس هي [10]:

- **مقياس الدقة Accuracy:** يمثل هذا المقياس نسبة التوقعات الصحيحة (كل من التوقعات الإيجابية والسلبية) من إجمالي التوقعات ويعطى وفق الصيغة التالية:

$$\text{Accuracy} = (TP + TN) / (TP + TN + FP + FN)$$

- **مقياس الإحكام Precision:** يمثل هذا المقياس نسبة التوقعات الإيجابية الصحيحة من إجمالي التوقعات الإيجابية ويعطى وفق الصيغة التالية:

$$\text{Precision} = TP / (TP + FP)$$

- **مقياس الاسترجاع Recall:** يمثل هذا المقياس نسبة التوقعات الإيجابية الصحيحة من إجمالي الحالات الإيجابية الفعلية ويعطى وفق الصيغة التالية:

$$Recall = TP / (TP + FN)$$

- **مقياس F1-score:** هو المقياس الذي يجمع بين الإحكام والاسترجاع في مقياس واحد عن طريق أخذ الوسط التوافقي بينهما ويعطى وفق الصيغة التالية:

$$F1\ score = 2[(Precision \times Recall) / (Precision + Recall)]$$

3.5 مرحلة المعالجة المسبقة للبيانات

تعد المعالجة المسبقة للصور وتحضيرها العملية الأساسية في كشف إيماءات اليد بهدف تحسين دقة النماذج المستخدمة، لذلك تم تطبيق مجموعة من العمليات على الصور قبل إدخالها للنماذج وهي:

- زيادة عدد الصور من خلال تغيير اتجاه الصور وتكبيرها وتدويرها.
- تطبيق توابع لتجزئة الصور واستخراج الميزات المهمة منها.
- تطبيق توابع لتحديد الحواف المهمة في الصور والتي تحدد مكان اليد في الصورة.

4.5 التجارب والنتائج

تم تقييم أداء أربع نماذج تعلم عميق على مجموعتي البيانات الأولى والثانية وهي: CNN، VGG-16، MobileNet V1، MobileNet V2.

1.4.5 التجارب العملية للنماذج المدروسة على مجموعة البيانات الأولى

- **نموذج CNN**

الكتلة الأساسية للشبكة العصبية التلافيفية CNN هي الطبقة التلافيفية. تتميز شبكات CNN بالتعلم الهرمي للميزات، حيث تلتقط الطبقات المبكرة الميزات منخفضة المستوى

(مثل الحواف)، وتلتقط الطبقات العميقة أنماطاً أكثر تعقيداً (مثل الأشكال والأشياء). يعد هذا الهيكل الهرمي أمراً بالغ الأهمية لمعالجة البيانات المرئية بكفاءة.

يوضح الجدول (1) بنية طبقات CNN المستخدمة في التجربة، حيث اعتمدنا على 3 طبقات تلافيفية الأولى عدد فلاترها 32 بينما الثانية 64 والثالثة 128. كما يوضح الجدول (2) الإعدادات التي تم بها ضبط بارامترات شبكة CNN أثناء تدريبها، حيث تم ضبط عدد الـ epochs المستخدمة في التجربة لتكون 25 لأنها أعطت النتائج الأفضل من بين القيم الأخرى التي تم تجربتها على مجموعة البيانات.

الجدول (1): بنية طبقات نموذج CNN على مجموعة البيانات الأولى

الجدول (2): إعدادات نموذج CNN على مجموعة البيانات الأولى

32, 64, 128	Batch size
2	Pooling
10, 15, 20, 25	Epoch
Adam	Optimizer
0.001	Learning rate

طبقة الالتفاف الأولى:	
32	عدد الفلاتر
3	أبعاد الفلتر kernel size
ReLU	تابع التنشيط activation
طبقة التجميع max pooling	
طبقة الالتفاف الثانية:	
64	عدد الفلاتر
3	أبعاد الفلتر kernel size
ReLU	تابع التنشيط activation
طبقة التجميع Max pooling	
طبقة الالتفاف الثالثة:	
128	عدد الفلاتر
3	أبعاد الفلتر kernel size
ReLU	تابع التنشيط activation

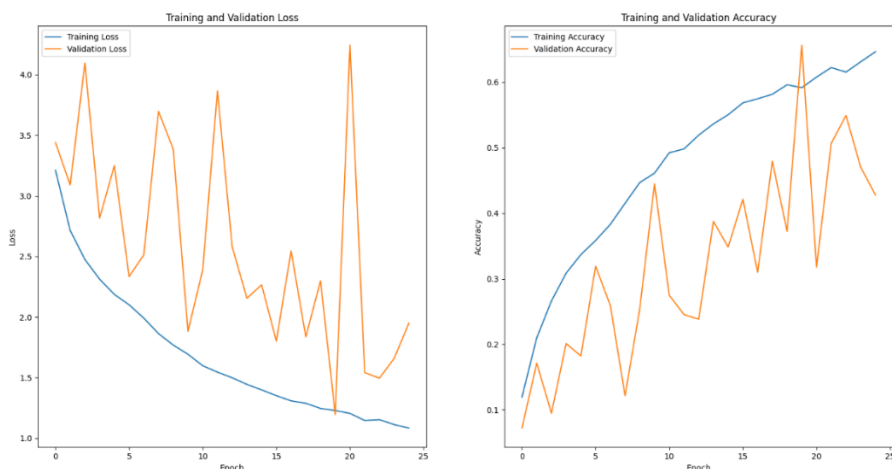
الجدول (3): نتائج أداء نموذج CNN على مجموعة البيانات الأولى

F1-score	Recall	Precision	Accuracy
63%	63%	63%	64%

طبقة متصلة بالكامل
Fully connected layer

طبقة الإخراج الأخيرة (طبقة التصنيف): تابع
softmax

يوضح الجدول (3) نتائج أداء نموذج CNN على مجموعة البيانات الأولى باستخدام توليفة من أفضل قيم البارامترات الموضحة سابقاً. بينما يوضح الشكل (5) مقدار تناقص دالة الخسارة خلال عملية التدريب لنموذج CNN مع زيادة عدد الـ epochs (المخطط على اليسار)، ومقدار زيادة دقة النموذج المقابلة والتي وصلت لـ 64% (المخطط على اليمين).



الشكل (5): دالة الخسارة والدقة لنموذج CNN على مجموعة البيانات الأولى

• نموذج VGG-16

نظراً للنقد الكبير الذي تم إحرازه في تصنيف الصور، تم تقديم العديد من بنى CNN المدربة مسبقاً والتي أثبتت فعاليتها عند تدريبها والتحقق منها على مجموعة بيانات واسعة النطاق مثل ImageNet التي تتكون من 1.2 مليون صورة طبيعية مصنفة لأكثر من 1000 فئة. بالتالي بدلاً من إنشاء نموذج CNN من الصفر، يمكن الاستفادة من هذه

البنى لتقليل الوقت المطلوب لإنتاج النموذج المطلوب. يُعتبر نموذج VGG16 واحداً من أكثر الشبكات العصبية التلافيفية العميقة تأثيراً، والتي طورتها مجموعة الهندسة البصرية VGG (Visual Geometry Group) في جامعة أكسفورد.

يوضح الجدول (4) بنية طبقات نموذج VGG16 المستخدمة، والتي تم اعتمادها بعد عدة تجارب للوصول إلى ضبط البارامترات الأفضل لهذا النموذج، كما يوضح الجدول (5) الإعدادات التي تم بها ضبط بارامترات نموذج VGG16 أثناء تدريبه، حيث تم ضبط قيمة الـ epochs المستخدمة في التجربة لتكون 20 مع إمكانية إيقاف التدريب عند الوصول إلى أفضل نتيجة تدريب ممكنة لتجنب مشكلة فرط التلائم overfitting، لذا تم إيقاف التدريب عند الحقبة 17 كونها أعطت أفضل النتائج من بين القيم الأخرى التي تم تجربتها على مجموعة البيانات، كما اعتمدنا أيضاً على Adam optimizer.

الجدول(4): بنية طبقات نموذج VGG-16 على مجموعة الجدول (5): إعدادات نموذج VGG-16 على

مجموعة البيانات الأولى

32, 64, 128	Batch size
17	Epoch
Adam	Optimizer
0.001	Learning rate

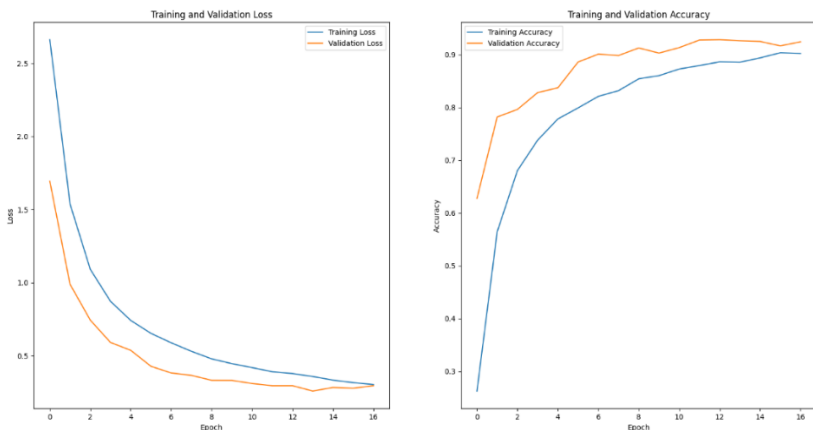
البيانات الأولى

نموذج VGG16 المدرب مسبقاً	
طبقة التجميع GlobalAveragePooling2D	
طبقة متصلة بالكامل Fully connected layer	
0.5	Dropout طبقة
طبقة الإخراج الأخيرة (طبقة التصنيف): تابع softmax	

يوضح الجدول (6) نتائج أداء نموذج VGG16 على مجموعة البيانات الأولى باستخدام توليفة من أفضل قيم البارامترات الموضحة سابقاً، بينما يوضح الشكل (6) مقدار تناقص دالة الخسارة خلال عملية التدريب للنموذج مع زيادة عدد الـ epochs ومقدار زيادة دقة النموذج المقابلة والتي وصلت لـ 90% تقريباً.

الجدول (6): نتائج أداء نموذج VGG-16 على مجموعة البيانات الأولى

F1-score	Recall	Precision	Accuracy
93%	94%	94%	90%



الشكل (6): دالة الخسارة والدقة لنموذج VGG-16 على مجموعة البيانات الأولى

• نموذج MobileNet V1

يتم استخدام MobileNet لأنها بنية عمل فعالة مصممة للتشغيل على أي منصة محدودة حسابياً مثل الأجهزة المحمولة فهي تعد منصات غير قوية مثل أجهزة الكمبيوتر ذات الأغراض العامة، ولكنها تتطلب دقة تصنيف قوية، وذلك لأن الـ MobileNet شبكة عصبية تلافيفية عميقة خفيفة الأوزان، أصغر حجماً، وأسرع في الأداء مقارنةً مع العديد من نماذج الشبكات العصبية الشائعة. يتم في شبكة MobileNet تغيير حجم كل صورة ملونة إلى 224×224 بكسل ثم يتم تغذيتها كمدخل لشبكة التعلم، والتي يمكنها معالجتها بنفس سرعة معالجة الصورة الغير ملونة أي ذات قناة واحدة.

يوضح الجدول (7) بنية طبقات نموذج MobileNetV1 المستخدمة، والتي تم اعتمادها بعد عدة تجارب للوصول إلى ضبط البارامترات الأفضل لهذا النموذج، كما يوضح الجدول

التعرف على لغة الإشارة العربية في الوقت الحقيقي باستخدام التعلم العميق

(8) الإعدادات التي تم بها ضبط بارامترات نموذج MobileNet V1 أثناء تدريبه. في حين يوضح الجدول (9) نتائج أداء نموذج MobileNet V1 على مجموعة البيانات الأولى باستخدام توليفة من أفضل قيم البارامترات الموضحة سابقاً. ويبين الشكل (7) مقدار تناقص دالة الخسارة خلال عملية التدريب للنموذج مع زيادة عدد الـ epochs، ومقدار زيادة دقة النموذج المقابلة والتي وصلت لـ 94% تقريباً.

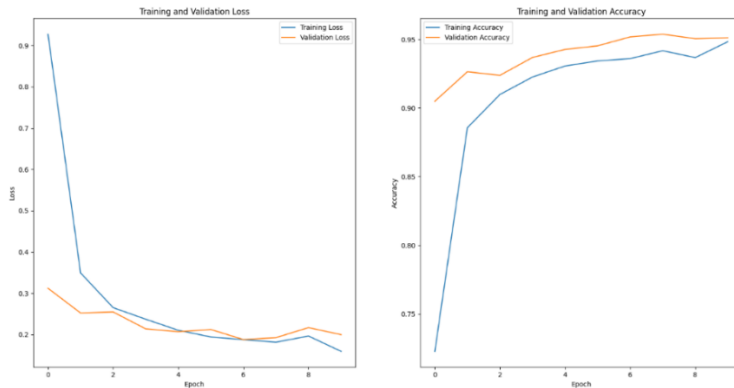
الجدول (7): بنية طبقات نموذج MobileNet V1 على مجموعة البيانات الأولى
الجدول (8): إعدادات نموذج MobileNet V1 على مجموعة البيانات الأولى

Batch size	128، 64، 32
Epoch	11، 20
Optimizer	Adam
Learning rate	0.001

نموذج MobileNet V1 المدرب مسبقاً	
طبقة التجميع GlobalAveragePooling2D	
طبقة متصلة بالكامل Fully connected layer	
Dropout	0.5
طبقة الإخراج الأخيرة (طبقة التصنيف): تابع softmax	

الجدول (9): نتائج أداء نموذج MobileNet V1 على مجموعة البيانات الأولى

F1-score	Recall	Precision	Accuracy
95%	95%	96%	95%



الشكل (7): دالة الخسارة والدقة لنموذج MobileNet V1 على مجموعة البيانات الأولى

• نموذج MobileNet V2

إنّ نموذج MobileNetV2 هو نموذج محسن من MobileNetV1، وهو يقلل بشكل كبير من عدد المعلمات والتكلفة الحسابية مقارنة بالهندسة المعمارية التقليدية (مثل VGG-16 أو ResNet) مع الحفاظ على الدقة العالية. كما أنه أسرع بحوالي 30-40% من MobileNetV1 نظراً لتقليل العملية الحسابية للنصف والتقليل من البارامترات بنسبة 30%.

يوضح الجدول (10) بنية طبقات نموذج MobileNet V2 المستخدمة، والتي تم اعتمادها بعد عدة تجارب للوصول إلى ضبط البارامترات الأفضل لهذا النموذج. كما يوضح الجدول (11) الإعدادات التي تم بها ضبط بارامترات نموذج MobileNet V2 أثناء تدريبه. في حين يوضح الجدول (12) نتائج أداء نموذج MobileNet V2 على مجموعة البيانات الأولى باستخدام توليفة من أفضل قيم البارامترات الموضحة سابقاً، ويبين الشكل (8) مقدار تناقص دالة الخسارة خلال عملية التدريب للنموذج مع زيادة عدد الـ epochs، ومقدار زيادة دقة النموذج المقابلة والتي وصلت لـ 96% تقريباً.

الجدول(10): بنية طبقات نموذج MobileNet V2 على

الجدول(11): إعدادات نموذج MobileNet V2 على مجموعة البيانات الأولى

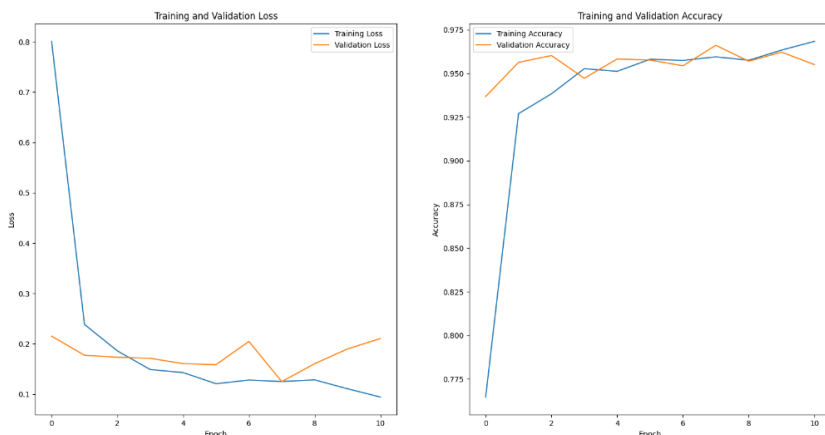
Batch size	32، 64، 128
Epoch	10، 20
Optimizer	Adam
Learning rate	0.001

نموذج MobileNet V2 المدرب مسبقاً	
طبقة التجميع GlobalAveragePooling2D	
طبقة متصلة بالكامل Fully connected layer	
Dropout	0.5
طبقة الإخراج الأخيرة (طبقة التصنيف): تابع softmax	

التعرف على لغة الإشارة العربية في الوقت الحقيقي باستخدام التعلم العميق

الجدول (12): نتائج أداء نموذج MobileNet V2 على مجموعة البيانات الأولى

F1-score	Recall	Precision	Accuracy
96%	97%	97%	96%



الشكل (8): دالة الخسارة والدقة لنموذج MobileNet V2 على مجموعة البيانات الأولى

2.4.5 التجارب العملية للنماذج المدروسة على مجموعة البيانات الثانية

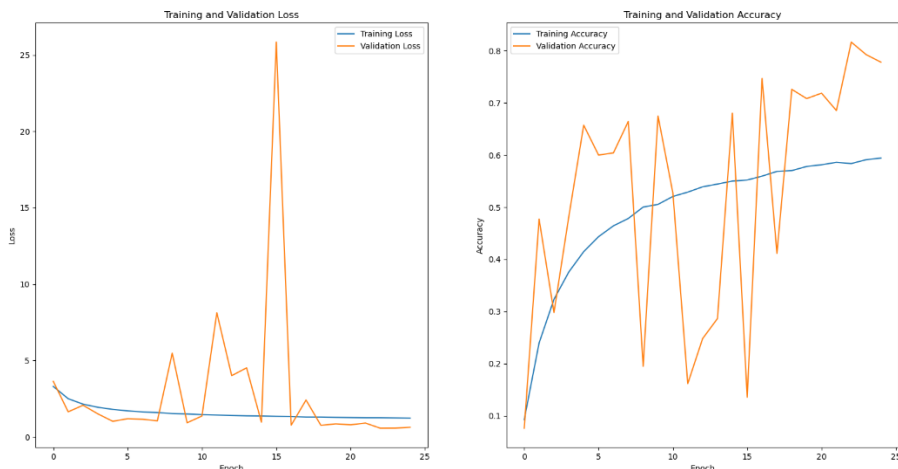
• نموذج CNN

تم تطبيق نموذج CNN على مجموعة البيانات الثانية بنفس بنية طبقاته الموضحة في الجدول (1) ونفس إعدادات بارامتراته الموضحة في الجدول (2) وتم التدريب على epoch=25، والحصول على النتائج الموضحة في الجدول (13) التي تمثل أداء نموذج CNN على مجموعة البيانات الثانية.

الجدول (13): نتائج أداء نموذج CNN على مجموعة البيانات الثانية

F1-score	Recall	Precision	Accuracy
58%	60%	60%	59%

يوضح الشكل (9) مقدار تناقص دالة الخسارة خلال عملية التدريب لنموذج CNN مع زيادة عدد الـ epochs، ومقدار زيادة دقة النموذج المقابلة والتي وصلت لـ 59% تقريباً.



الشكل (9): دالة الخسارة والدقة لنموذج CNN على مجموعة البيانات الثانية

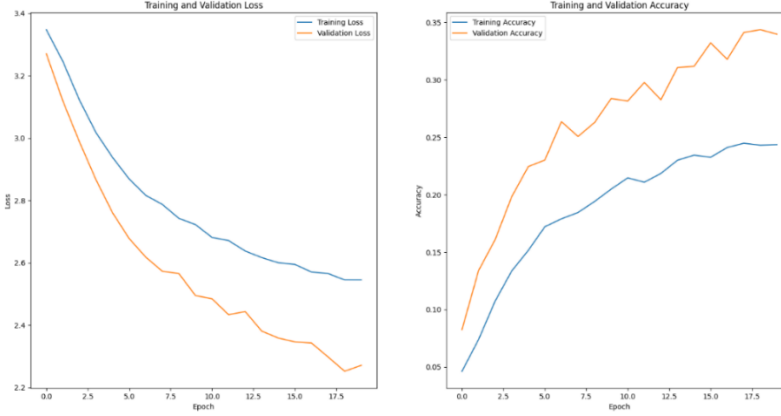
• نموذج VGG-16

تم تطبيق نموذج VGG-16 على مجموعة البيانات الثانية بنفس بنية طبقاته الموضحة في الجدول (4) ونفس إعدادات بارامترات الموضحة في الجدول (5)، ولكن تم التدريب على epoch=20 وتم الحصول على النتائج الموضحة في الجدول (14) التي تمثل أداء نموذج VGG-16 على مجموعة البيانات الثانية.

الجدول (14): نتائج أداء نموذج VGG-16 على مجموعة البيانات الثانية

F1-score	Recall	Precision	Accuracy
23%	35%	38%	24%

يوضح الشكل (10) مقدار تناقص دالة الخسارة خلال عملية التدريب لنموذج VGG-16 مع زيادة عدد الـ epochs، ومقدار زيادة دقة النموذج المقابلة والتي وصلت لـ 24%



الشكل (10): دالة الخسارة والدقة لنموذج VGG-16 على مجموعة البيانات الثانية

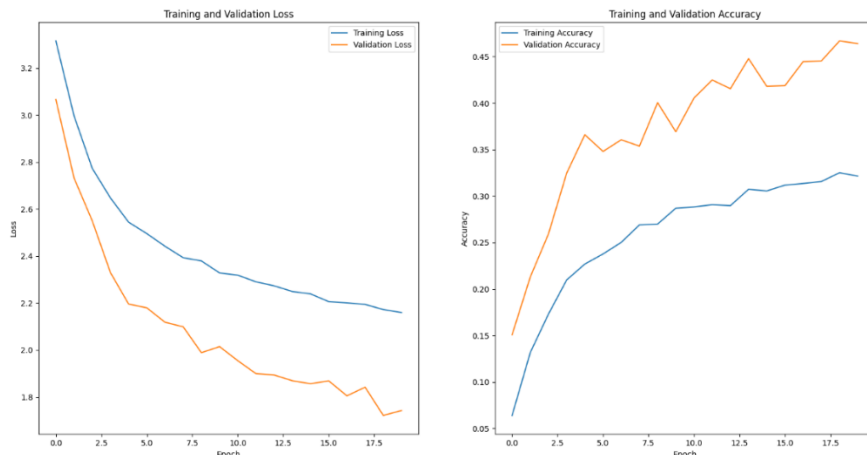
• نموذج MobileNet V1

تم تطبيق نموذج MobileNet V1 على مجموعة البيانات الثانية بنفس بنية طبقاته الموضحة في الجدول (7) ونفس إعدادات بارامتراته الموضحة في الجدول (8) ولكن تم التدريب على epoch=20، وتم الحصول على النتائج الموضحة في الجدول (15) التي تمثل أداء نموذج MobileNet V1 على مجموعة البيانات الثانية.

الجدول (15): نتائج أداء نموذج MobileNet V1 على مجموعة البيانات الثانية

F1-score	Recall	Precision	Accuracy
30%	40%	46%	32%

يوضح الشكل (11) مقدار تناقص دالة الخسارة خلال عملية التدريب للنموذج مع زيادة عدد الـ epochs، ومقدار زيادة دقة النموذج المقابلة والتي وصلت لـ 32% تقريباً.



الشكل (11): دالة الخسارة والدقة لنموذج MobileNet V1 على مجموعة البيانات الثانية

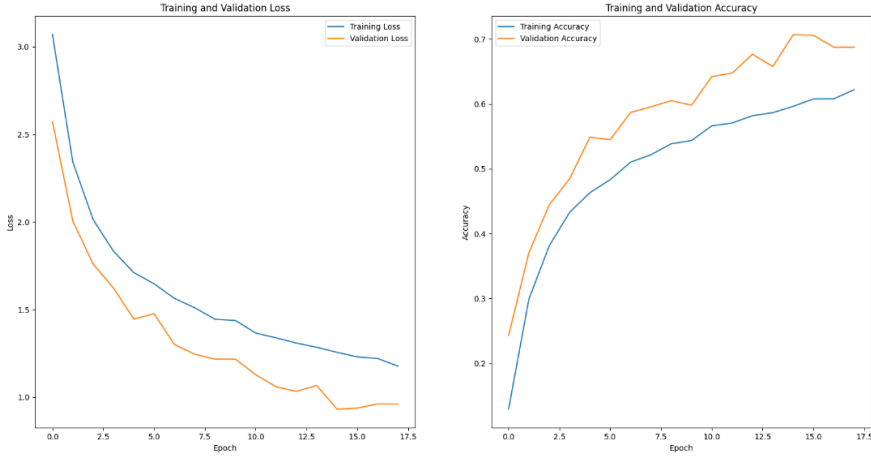
• نموذج MobileNet V2

تم تطبيق نموذج MobileNet V2 على مجموعة البيانات الثانية بنفس بنية طبقاته الموضحة في الجدول (10) ونفس إعدادات بارامتراته الموضحة في الجدول (11) ولكن تم إيقاف التدريب عند epoch=18، وتم الحصول على النتائج الموضحة في الجدول (16) التي تمثل أداء نموذج MobileNet V2 على مجموعة البيانات الثانية.

الجدول (16): نتائج أداء نموذج MobileNet V2 على مجموعة البيانات الثانية

F1-score	Recall	Precision	Accuracy
60%	71%	76%	62%

يوضح الشكل (12) مقدار تناقص دالة الخسارة خلال عملية التدريب للنموذج مع زيادة عدد الـ epochs، ومقدار زيادة دقة النموذج المقابلة والتي وصلت لـ 62% تقريباً.



الشكل (12): دالة الخسارة والدقة لنموذج MobileNet V2 على مجموعة البيانات الثانية

3.4.5 تحليل ومناقشة النتائج

يوضح الجدول (17) ملخص نتائج النماذج الأربعة المدروسة على مجموعتي البيانات الأولى والثانية. نلاحظ أن النتائج على مجموعة البيانات الثانية عموماً ليست جيدة نتيجة أن مجموعة البيانات هذه تحتوي على تنوع أكبر في الصور أو خصائص بصرية معقدة مثل الإضاءة، الخلفيات، الألوان، والأنماط المختلفة للأحرف أو الإشارات، وبالتالي فإن النماذج تجد صعوبة في التكيف مع هذه الاختلافات. مثلاً نموذج VGG16 يعتمد بشكل كبير على الأشكال والأنماط الأساسية (low-level features) في المراحل الأولى من الشبكة، وعندما كانت مجموعة البيانات تحتوي على خصائص بصرية متداخلة أو معقدة، أصبح النموذج غير قادراً على استخراج الميزات المطلوبة بشكل فعال. كما أنّ مجموعة البيانات لم تكن كبيرة بما يكفي لتمثيل الأنماط المختلفة بشكل جيد، ممّا أدى إلى تدهور الدقة بشكل كبير في هذا النموذج. بالإضافة إلى أنّ VGG16 ليس جيداً بما فيه الكفاية في التمييز بين الخلفية والموضوع الرئيسي في الصورة عند التدريب على بيانات ذات

خلفيات متنوعة، وذلك كون الطبقات التلافيفية في النموذج تتعلم خصائص منخفضة المستوى (مثل الحواف والخطوط)، بالتالي فإنّ اختلاف الخلفيات قد يؤدي إلى تشويش النموذج وجعله أقل قدرة على التعلم الفعال من البيانات. في حين أنّ نماذج MobileNetV1 أو MobileNetV2 تمتاز بأنها أخف وتتمتع بعدد أقل من المعاملات وقابلة للتكيف مع الصور ذات الأبعاد الكبيرة، ومع ذلك أعطت هذه النماذج دقة سيئة على مجموعة البيانات الثانية وذلك لأنها تحتاج إلى عدد خطوات كبير للتدريب، الأمر المكلف جداً حسابياً وكأننا لم نستفد من مزايا النماذج المدربة مسبقاً مقارنة مع النماذج التقليدية.

الجدول (17): ملخص نتائج النماذج على مجموعتي البيانات الأولى والثانية

مجموعة البيانات الثانية				مجموعة البيانات الأولى				النماذج المدروسة
F1-score	Recall	Precision	Accuracy	F1-score	Recall	Precision	Accuracy	
58%	60%	60%	59%	63%	63%	63%	64%	نموذج CNN
23%	35%	38%	24%	93%	94%	94%	90%	نموذج VGG-16
30%	40%	46%	32%	95%	95%	96%	95%	نموذج MobileNet V1
60%	71%	76%	62%	96%	97%	97%	96%	نموذج MobileNet V2

نستنتج أن طبيعة مجموعة البيانات تلعب دوراً مهماً في دقة النماذج وطريقة عملها عموماً، ومن خلال تجاربنا تبين أن مجموعة البيانات التي قمنا بجمعها تتناسب أكثر مع نماذج التعلم العميق المدروسة وساعدت على إعطاء أفضل نتيجة بأقل وقت تدريب ممكن، وتتناسب أكثر مع هدف هذا البحث في تسهيل عملية تواصل الصم والبكم مع مجتمعهم كونه سيتم استثمار هذا النموذج في النهاية في تطبيق يستطيع التعرف على الإشارات من حركات اليد أمام كاميرا الموبايل وترجمتها لأحرف مكتوبة.

بالمقارنة بين النماذج التي تم التدريب عليهم نجد أن نموذجي MobileNet V2 و MobileNet V1 قد أعطوا نتيجة جيدة وسرعة في التنفيذ مقارنة مع النماذج الأخرى وكان نموذج MobileNet V2 افضل من MobileNet V1 بنسبة 1% بسبب بنيته التي تخفف من الأعباء الحسابية في طبقاته، حيث أنه بمعالجة بسيطة للصور مثل تجزئة الصور وتحديد الحواف فيها استطاع النموذج اكتشاف اليد والتمييز بين الأحرف المتشابهة بأفضل شكل ممكن مع نسبة خطأ قليلة نسبياً.

5. مقارنة مع دراسات مشابهة

تم بناء صور مجموعة البيانات حسب ايماءات محددة ومعرفة عالمياً بالنسبة للغة الإشارة العربية لذلك يمكن القيام ببعض المقارنات بين نتائجنا ونتائج ما سبق من أعمال على مجموعة البيانات للغة الإشارة العربية مع مقارنة النماذج المستخدمة في كل دراسة.

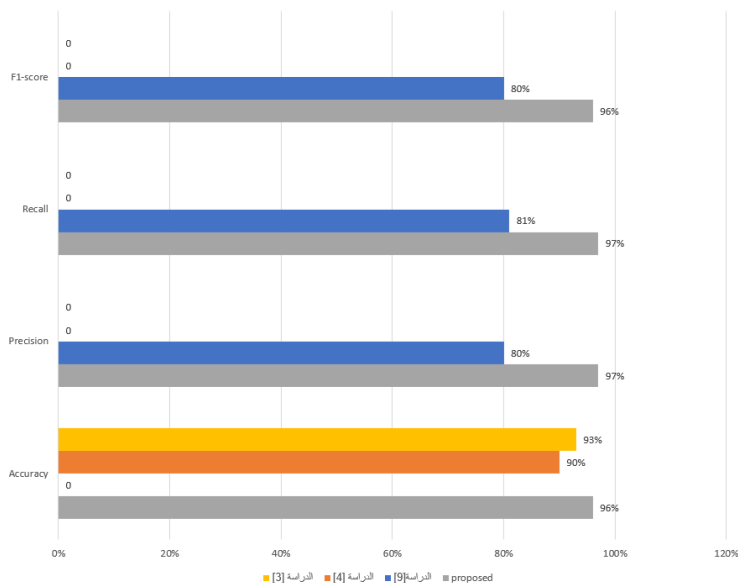
يظهر الشكل (13) والجدول (18) تفوق نتائج الدراسة الحالية على ما سبق من أعمال وتقنيات من ناحية الدقة وسرعة التدريب، حيث حققت دقة قدرها 96% مع استخدام المعاملات التالية: حجم الدفعات Batch Size يساوي 32، عدد الحقبات epoch تساوي

10، خوارزمية التحسين Adam، ومعدل التسريب 0.5.

الجدول (18): مقارنة نتائج الدراسة مع الدراسات المشابهة

الدراسات المشابهة	مجموعة البيانات المستخدمة	النموذج المستخدم	عدد الـ epochs	Accuracy	Precision	Recall	F1-score
الدراسة [9]	ArSL21L	MobileNet V2	60	-	%80	%81	%80
الدراسة [4]	غير متاحة	CNN	100	90%	-	-	-
الدراسة [3]	ArSL2018	CNN	300	92.9%	-	-	-

96%	97%	97%	96%	10	MobileNet V2	مجموعة البيانات التي تم تجميعها يدوياً من أجل هذه الدراسة	الدراسة الحالية
-----	-----	-----	-----	----	--------------	--	--------------------

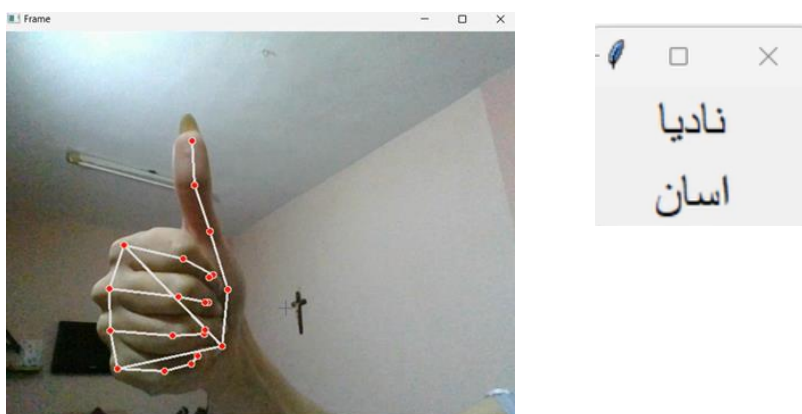


الشكل (13): مقارنة نتائج جميع المقاييس مع الدراسات المشابهة

6. بناء تطبيق للتعرف على لغة الإشارة اعتماداً على النموذج الأفضل

بالاستفادة من نتائج الدراسة الحالية، تم بناء تطبيق على أجهزة الحاسب باستخدام نموذج MobileNet V2 يقوم بالنقاط شكل اليد عبر الكاميرا ضمن مربع محدد عليها، وكتابة الحرف المقابل لحركة اليد التي يتم التنبؤ بها وتكوين جملة. عندما تكون اليد داخل المربع المحدد على الواجهة الأولى بالشكل الصحيح يتم ظهور مجموعة من النقاط التي تحدد شكل اليد وتميزه عن باقي أجزاء الجسم ويجب الضغط على زر (r) ليتم كتابة الحرف المطابق لشكل اليد. وعند الانتهاء من جميع الأحرف للكلمة الوحدة يجب الضغط على الزر (w) لكي يتم كتابة الكلمة كاملة التي تم التنبؤ بها. في حال أردنا إضافة مسافة بين

الكلمتين يجب الضغط على زر (s)، وفي حال أردنا الحذف يجب الضغط على زر (d). لقد تم اتباع هذه الطريقة في القراءة وكتابة التنبؤ لضبط سرعة الكتابة وضمان كتابة الحرف الصحيح للصورة التي يتم التقاطها في وقتها الصحيح. يوضح الشكل (14) مثال عن آلية عمل التطبيق.



الشكل (14): مثال عن التقاط اليد باستخدام كاميرا الحاسب وكتابة الكلمة المطلوبة

كما تم بناء تطبيق تعليمي يحتوي على إيماءات الأحرف على شكل أزرار بحيث يتم كتابة الكلمة المطلوبة من خلال الضغط على صورة الحرف ثم الضغط على زر عرض الكلمة ليتم كتابتها بشكل كامل، مع إمكانية حذف حرف أو إضافة مسافة بين الكلمات. وبالعكس يمكن كتابة الكلمة المطلوبة ومن ثم الضغط على زر عرض الصور ليتم عرض صور للأحرف المكتوبة كما هو موضح في الشكل (15)، بالتالي يمكن للأشخاص الصم والبكم التواصل مع محيطهم بسهولة بالإضافة الى إمكانية تعلم إيماءات لغة الإشارة العربية بسهولة أيضاً للراغبين بذلك.



الشكل (15): مثال عن واجهة البرنامج التعليمي

7. الاستنتاجات والتوصيات

تم في هذا البحث تطوير نموذج للتعرف على لغة الإشارة العربية من خلال استخدام تقنيات التعلم العميق ونقل التعلم مع بناء مجموعة بيانات خاصة بلغة الإشارة العربية معترف بها من قبل جمعية رعاية الصم والبكم في مدينة حمص يمكن الاستفادة منها في العديد من الدراسات والأبحاث المستقبلية ضمن هذا المجال، واستخدام هذا النموذج ضمن تطبيق ويب يساعد على تحويل الإشارات إلى نص باللغة العربية واعتماده كوسيلة لتواصل الصم والبكم مع محيطهم في العديد من المجالات.

تناولت الدراسة تقييم أداء 4 نماذج تعلم عميق وهي CNN، VGG-16، MobileNet V1، MobileNet V2 من أجل مهمة التعرف على لغة الإشارة العربية، وتوصلت إلى أنّ نموذج MobileNet V2 حقق أفضل النتائج من حيث حيث الدقة التي بلغت 96% وسرعة التدريب على مجموعة البيانات الأولى التي تم جمعها يدوياً، كما تبين أنّ طبيعة مجموعة البيانات تلعب دوراً هاماً في دقة النماذج المدروسة عموماً.

وبناءً على الدراسة الحالية والنتائج التي تم الحصول عليها، يمكن اقتراح بعض الأعمال المستقبلية لتطوير هذا العمل بشكل أفضل، ومنها:

- **تحسين بيانات التدريب:** يمكن توسيع مجموعة البيانات لتشمل تنوعاً أكبر في الإشارات والحركات لضمان تحسين دقة النماذج مثل إضافة بعض الإيماءات لكلمات مستخدمة بشكل يومي.
- **الدمج بين النماذج:** تجربة دمج النماذج المختلفة أو إنشاء شبكة هجينة تجمع بين ميزات كل نموذج للحصول على أداء أقوى.
- **استخدام تقنيات تعلم محسنة:** تطبيق تقنيات مثل التعلم العميق المتقدم أو النقل المعرفي لتحسين أداء النماذج على مجموعات البيانات الصغيرة.
- **استخدام تقنيات تحسين الأداء:** مثل التنقيح المستمر للنماذج وضبط المعلمات بشكل أفضل للحصول على نتائج دقيقة بشكل أكبر.

- [1] Deafness and hearing loss. [online] Available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss> [Accessed 29 Oct. 2020].
- [2] Li, D., Rodriguez, C., Yu, X. and Li, H., 2020. **Word-level deep sign language recognition from video: A new large-scale dataset and methods comparison**. In Proceedings of the IEEE/CVF winter conference on applications of computer vision (pp. 1459–1469).
- [3] Althagafi, A., Alsubait, G.T. and Alqurash, T., 2020. **ASLR: Arabic sign language recognition using convolutional neural networks**. IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, 20(7), pp.124–129.
- [4] Kamruzzaman, M.M., 2020. **Arabic sign language recognition and generating Arabic speech using convolutional neural network**. Wireless Communications and Mobile Computing, 2020(1), p.3685614.
- [5] Ritonga, M., Abd El-Aziz, R.M., Alazzam, M.B., Alassery, F., NagaJyothi, A., Abd Algani, Y.M. and Balaji, S., 2021. **Machine Learning Approach for Gesture Based Arabic Sign Language Recognition for Impaired People**.
- [6] AlKhuraym, B.Y., Ismail, M.M.B. and Bchir, O., 2022. **Arabic sign language recognition using lightweight cnn-based architecture**. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 13(4).
- [7] Hdioud, B. and Tirari, M.E.H., 2023. **A deep learning based approach for recognition of Arabic sign language letters**. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 14(4).
- [8] Alharthi, N.M. and Alzahrani, S.M., 2023. **Vision transformers and transfer learning approaches for arabic sign language recognition**. Applied Sciences, 13(21), p.11625.
- [9] Mohamed Hamdy Abdallah Eissa, Alaa Ismaeel, Sherimon P.C., Vinu Sherimon, Remya Revi K.(2022). **Arabic Sign Language Letter Recognition using MobileNet-v2 Deep Neural Network**.

- [10]Lum, K.Y., Goh, Y.H. and Lee, Y.B., 2020. **American sign language recognition based on MobileNetV2**. Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, 5(6), pp.481–488.

تقنية جديدة لمراقبة تشتت نمط الاستقطاب

للألياف الضوئية باستخدام نغمة إشارة الساعة

الدكتور المهندس: حسام الوفائي مدرس في قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة حمص

ملخص البحث

يعد تشتت نمط الاستقطاب (PMD) Polarization Mode Dispersion للألياف الضوئية من أهم العوامل التي تؤدي إلى تشوه الإشارات الضوئية المرسل، لهذا تُستخدم معوضات التشتت المتكيفة، وأجهزة مراقبة PMD للتخلص منه وتقليل تأثيره. يوجد عدة تقنيات مقترحة لمراقبة PMD، من بينها التقنية المعتمدة على قياس استطاعة نغمة إشارة الساعة للإشارة المرسل بعد الكشف الضوئي، والتي تتناسب مع تأخير المجموعة التفاضلي (DGD) differential group delay الذي يصف تشتت PMD. على الرغم من أن هذه التقنية تتسم ببساطتها، وزمن قياسها المنخفض، إلا أنها تعاني بشكل كبير من تأثير عوامل أخرى عليها كالتشتت اللوني، والزرقة chirp، واستطاعة الإشارة المستقبلية، والضجيج.

تعتمد التقنية المقترحة في هذا البحث على إجراء تعديل على تقنية نغمة إشارة الساعة التقليدية، فبالإضافة لقياس استطاعة هذه النغمة (P_1)، سيتم قياس استطاعة نغمة إشارة الساعة لنفس الإشارة ولكن مع إضافة تأخير DGD_{offset} عليها (P_2). تم إثبات أن نسبة الاستطاعتين P_1/P_2 تتناسب مع DGD المراد قياسه، ولا تعتمد على العوامل الأخرى المذكورة أعلاه. كذلك تم التوصل إلى حساسية عالية للقياس في بداية ونهاية مجال القياس. تم استخدام برنامج المحاكاة VPI photonics لإثبات صحة عمل وحدة المراقبة وتحليل أدائها.

الكلمات المفتاحية : تشتت نمط الاستقطاب ، تأخير المجموعة التفاضلي ، مراقبة تشتت نمط الاستقطاب ، نغمة إشارة الساعة ، برنامج المحاكاة VPI photonics.

New Technique for Monitoring the Polarization Mode Dispersion of Optical Fibers Using Clock Tone

Abstract

Polarization Mode Dispersion (PMD) of optical fibers is one of the most important factors that lead to distortion of transmitted optical signal, so adaptive dispersion compensators and PMD monitors are used to eliminate it and reduce its effect.

There are several proposed techniques for monitoring PMD, including the technique based on measuring the power of the clock signal tone of the transmitted signal after optical detection, which is proportional to the differential group delay (DGD) that describes PMD dispersion. Although this technique is characterized by its simplicity and relatively low measurement time, it suffers greatly from the influence of other factors such as chromatic dispersion, chirp, received signal power, and noise.

The proposed technique in this research depends on modifying the traditional technique for the clock signal tone, so in addition to measuring the power of this tone (P_1) the power of the clock signal tone for the same signal will be measured but with the addition of a DGD_{offset} delay (P_2). The power ratio P_1/P_2 was proven to be related to DGD, and not dependent on other factors mentioned above. High sensitivity of measurement at the beginning and end of the measurement range was also achieved. The VPI photonics simulator was used to validate the operation of the monitoring unit and analyze its performance.

Keywords: Polarization mode dispersion (PMD), polarization mode dispersion (PMD) monitoring, differential group delay (DGD), optical fiber communication, VPI photonics.

1- مقدمة

نظرًا لمعدل البيانات الضخم الذي تدعمه شبكات الألياف الضوئية، فمن الأهمية بمكان التركيز على التحكم بأعطال أجهزة الشبكة وتحسين موثوقيتها. فقد يتسبب فشل أحد أجزاء الشبكة إلى خسارة كبيرة للبيانات، مما يؤدي إلى تعطيل حرج لخدمات الشبكة وخسارة هائلة في الإيرادات [1].

تتدهور معلمات جودة الإرسال (QoT) تدريجياً مع مرور الزمن، وهو ما يعرف بالفشل الناعم soft failure في الشبكة، والذي قد يؤدي في النهاية إلى حدوث فشل كامل للشبكة. لذلك فإن كشف حدوث الفشل الناعم، وتحديد سببه، ومعرفة جزء الشبكة المسبب للخلل (أي تحديد الموقع) أمر مرغوب فيه للغاية لمنع سيناريوهات فشل الشبكة [1].

تعرف التقنيات التي يمكن من خلالها كشف الفشل وقياس وتقدير المعلمات الفيزيائية المختلفة للإشارات بتقنيات مراقبة الأداء البصري Optical Performance Monitoring (OPM). تتضمن المعلمات الشائعة تشتت اللون Chromatic Dispersion (CD)، وتشتت نمط الاستقطاب Polarization Mode Dispersion (PMD)، ونسبة الإشارة الضوئية إلى الضجيج Optical Signal to Noise Ratio (OSNR)، وعامل الجودة Q-factor، والفقد المعتمد على الاستقطاب Polarization-dependent loss (PDL)، وعدم خطية الألياف. يتيح معرفة معلمات جودة القناة إمكانية تعويضها والتحكم بها بشكل فعال [2].

مع انتقال الشبكات الضوئية حالياً لمعدلات نقل أعلى من 10Gb/s أصبح العامل المحدد الرئيسي في هذه الأنظمة تشتت نمط الاستقطاب (PMD) ويجب أخذه في الاعتبار. وأصبح من الضروري تعويضه بشكل تكيفي خصوصاً أن قيمته متغيرة مع الزمن [3]. يتطلب التعويض التكيفي إشارة تغذية عكسية عن القيمة الفعلية لتشتت PMD. وهو ما تقوم به وحدة مراقبة PMD.

تم في الآونة الأخيرة اقتراح العديد من التقنيات لمراقبة تشتت PMD. تم في الأبحاث [4,5,6] إضافة نغمة دلالية مع الإشارة الضوئية المرسله. تتعرض هذه النغمة لنفس عوامل

تدهور الأداء التي تتعرض لها الإشارة الضوئية أثناء عبورها للليف، وهذا ما يمكن استغلاله لقياس بارامترات الأداء المختلفة بما فيها تشتت PMD. يقترح البحث [7] إرسال زوج من نغمات القيادة ضمن محوري استقطاب الإشارة، لتتأثر بعوامل ضعف القناة بما فيها تشتت PMD وبالتالي إمكانية قياسه. تمتاز التقنيات السابقة ببساطة تنفيذها وسرعة استجابتها، ولكن تتطلب عزل بارامترات الأداء المختلفة عن بعضها البعض، وإضافة تعديل على المرسل لإرسال النغمة. في البحث [8] تم استخدام زوج من أجهزة الاستقبال المتماثلة ذات النطاق الترددي المنخفض واثنين من الليزر المحلي لمراقبة بارامترات OPM. على الرغم من إمكانية مراقبة عدة بارامترات بنفس الوقت إلى أنها ذات تعقيد كبير وتكلفة مادية عالية. وفي البحث [9] تم استخدام طريقة مراقبة حالة الاستقطاب (SOP) بدقة عالية للطول الموجي استناداً إلى تشتت بريلون المحفز Stimulated Brillouin Scattering (SBS) في الألياف الضوئية لمراقبة تشتت PMD. أما البحث [10] فيعتمد على أخذ عينات من مركبتي استقطاب الإشارة وتشكيل مخطط توزيع إحصائي ثنائي البعد لقياس تشتت PMD. تتطلب هذه التقنية أخذ عدد كافٍ من العينات، وهذا ما يزيد من زمن القياس. تم استخدام الذكاء الاصطناعي وتعلم الآلة لمراقبة الأداء الضوئي في الأبحاث [11,12,13,14,15]. تستخدم هذه التقنيات مخططات التوزيع الإحصائية، أو مخطط العين كبيانات تدريب. بالرغم من أنها أثبتت تنبؤاً دقيقاً للعديد من بارامترات الأداء إلا أنها تتطلب تدريباً جيداً، وكماً هائلاً من بيانات التدريب خصوصاً مع الأنماط العديدة من التعديلات الضوئية، كما أن استجابتها الزمنية منخفضة لأنها تعتمد على أخذ عينات من الإشارة المطلوب مراقبتها.

2-هدف البحث

يهدف البحث إلى تقديم طريقة جديدة لمراقبة تشتت نمط الاستقطاب في الألياف الضوئية بالاعتماد على تقنية قياس استطاعة إشارة الساعة التقليدية، ولكن مع إجراء تعديل عليها بحيث يتم التخلص من العوامل الأخرى المؤثرة عليها كالتشتت اللوني، والزرقة، ومستوى استطاعة الإشارة المراقبة، والضجيج.

3- أهمية البحث

من المتوقع في شبكات الليف الضوئية مستقبلاً أن تصبح أجهزة مراقبة الأداء الضوئي (OPM) جزءاً لا يتجزأ منها لما ستوفره من معلومات دقيقة عن حالة الشبكة. لهذا هناك اهتمام كبير من قبل الباحثين لتطوير هذه التقنيات. من بين البارامترات المطلوب مراقبتها في الشبكات الضوئية تشتت نمط الاستقطاب خصوصاً عندما العمل مع معدل بتات عالٍ ومدى إرسال كبير. عموماً تواجه تقنيات مراقبة PMD تحديات عديدة تتمثل بضرورة عزل بارامترات الأداء عن بعضها، وأن تكون ذات بنية بسيطة، وتكلفة منخفضة، وأن تراعي متطلبات نظام الاتصال الضوئي من حيث مجال القياس والحساسية. انطلاقاً من ذلك فقد تم العمل في هذا البحث على تقديم طريقة جديدة لمراقبة PMD بحيث تأخذ بعين الاعتبار القيود والتحديات المذكورة أعلاه.

4- المواد وطرق البحث

تم إجراء البحث وفق المراحل التالية:

- تم في البداية تقديم شرح موجز عن تشتت نمط الاستقطاب للألياف الضوئية.
- بعد ذلك تم عرض أهمية مراقبة تشتت نمط الاستقطاب في شبكات الألياف الضوئية، وضرورة تعويضه بشكل فعال.
- في المرحلة التالية تم توضيح مبدأ عمل تقنية المراقبة المعتمدة على نغمة إشارة الساعة التقليدية.
- بعد ذلك تم توضيح تقنية المراقبة المقترحة في هذا البحث.
- أخيراً تم تصميم نموذج وحدة المراقبة المقترحة باستخدام برنامج المحاكاة الضوئي VPIphotonics، واختبار صحة عملها، وتحليل تأثيرها بالعوامل الأخرى.

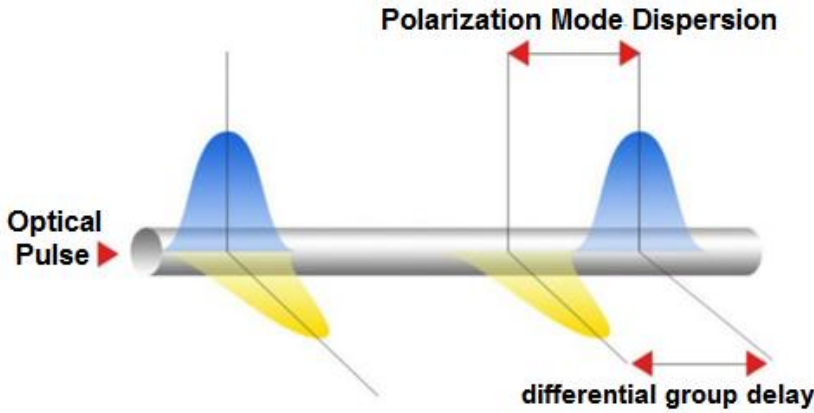
5- تشتت نمط الاستقطاب PMD

تنتقل الإشارة في الليف الضوئي على شكل موجة كهرومغناطيسية، والتي تتكون من حقلين كهربائي ومغناطيسي. ينتشر الحقلان على شكل مركبتي استقطاب متعامدتين

على طول كل من المحورين X و Y. عملياً لا يقدم الليف قرينة انكسار متطابقة لكل منهما وذلك لعوامل عديدة تتعلق بعدم وجود تناسق في الشكل الهندسي لنواة الليف (لا تأخذ النواة شكلاً دائرياً تماماً)، بالإضافة إلى ما يتعرض له الليف بعد تركيبه من ضغط وانحناء. تعرف هذه الخاصية بازدواجية الانكسار birefringence ، والتي تؤدي إلى انتشار المركبتين بسرعات مختلفة قليلاً، مما يؤدي إلى تمدد النبضة كما هو موضح في الشكل (1)، وتسمى هذه الظاهرة تشتت نمط الاستقطاب (PMD) [3,16,17,18]. تسبب ازدواجية الانكسار birefringence إلى فرق طوري ما بين المحورين والذي يعطى وفق العلاقة التالية [3] :

$$\Delta\beta = \frac{2\pi n_s}{\lambda} - \frac{2\pi n_f}{\lambda} \quad (1)$$

n_s : قرينة انكسار المحور الأبطأ ، n_f : قرينة انكسار المحور الأسرع ، λ : طول موجة الإشارة المنشرة.



الشكل (1) : تمدد النبضة الضوئية بسبب تشتت PMD للليف [16] .

التأثير الإجمالي لخاصية الازدواج الانكساري birefringence تتمثل بحدوث تأخير ما بين بين حالتي الاستقطاب في الألياف الضوئية يُعرف باسم تأخير المجموعة التفاضلي (DGD) differential group delay. يأخذ DGD قيمة متغيرة مع الزمن بسبب العوامل البيئية الخارجية المختلفة مثل درجة الحرارة والضغط الميكانيكي، ويرتبط مع طول الموجة الضوئية، ويتناسب مع الجذر التربيعي لطول الليف، وذلك بسبب التغيرات

العشوائية لقرائن الانكسار للمركبتين المستقطبتين والتي تجعل من عملية مراكمة DGD مع المسافة تتم بشكل غير خطي، ويمكن حسابه وفق العلاقة التالية [17]:

$$DGD = D_{PMD} \sqrt{L} \quad (2)$$

D_{PMD} : معامل تشتت نمط الاستقطاب ويقاس بوحدة $ps.km^{-1/2}$. وهو تابع لبنية الليف، وبأخذ عموماً قيمة ضمن المجال $0.1-1 ps.km^{-1/2}$. L : مسافة انتشار النبضة أو طول الليف [3]

في المعايير المتعلقة بخطوط المسافات الطويلة، لا ينبغي أن يكون الحد الأقصى المسموح به لمتوسط تأخير المجموعة التفاضلي أكثر من 10% من فترة بت [3].

6- أهمية مراقبة وتعويض تشتت نمط الاستقطاب

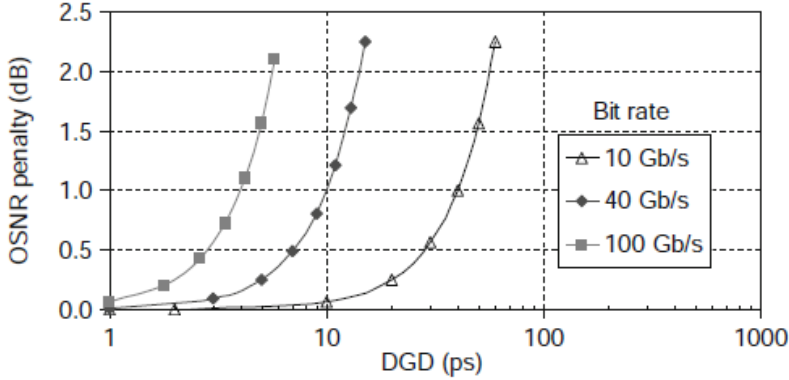
بالنظر إلى PMD الناتج عن الألياف الضوئية فقط يمكننا تحديد القيمة المسموح بها لـ DGD لمعدلات بت مختلفة، والحد الأقصى لطول الألياف ذات معاملات PMD المختلفة كما هو موضح في الجدول (1). لم يتم الأخذ بعين الاعتبار العناصر الأخرى التي تحدث تغييرات كبيرة في PMD، مثل الموصلات، والمضخمات، ومعوّضات التشتت، والعوازل، ومجمعات طول الموجة [3].

الجدول (1): محدودية مسافة الإرسال بسبب تشتت PMD [3].

طول الليف الأعظمي من أجل معاملات تشتت مختلفة (Km).			القيمة المسموحة لـ DGD (ps)	فترة البت (ps)	معدل البت (Gb/s)
$D_{PMD}=0.1$ $ps.km^{-1/2}$	$D_{PMD}=0.2$ $ps.km^{-1/2}$	$D_{PMD}=1$ $ps.km^{-1/2}$			
160000	40000	1600	40	400	2,5
10000	2500	100	10	100	10
625	160	6	2.5	25	40

يوضح الشكل (2) غرامة نسبة استطاعة الإشارة الضوئية إلى الضجيج OSNR penalty الناتجة عن PMD كتابع لـ DGD عند معدلات بيانات متفاوتة. يمكن ملاحظة أنه مع زيادة معدل البيانات، يزداد تأثير PMD بشكل كبير عند قيمة DGD معينة. بالنسبة

لأنظمة الإرسال من الجيل المستقبلي بسرعة 100 Gb/s و 400 Gb/s ، يجب أن يقتصر DGD على 10 ps و 4 ps على التوالي وذلك للحد من الغرامة إلى أقل من 1 dB. حتى بالنسبة للألياف المنشورة حديثاً، سيكون من الصعب تلبية هذه المواصفات. استناداً لذلك فقد تم اعتبار تشتت PMD بمثابة حاجز أساسي لأنظمة الإرسال عالية السرعة، ونحتاج لطرق فعالة للتخلص منه أو تقليل تأثيره [19].

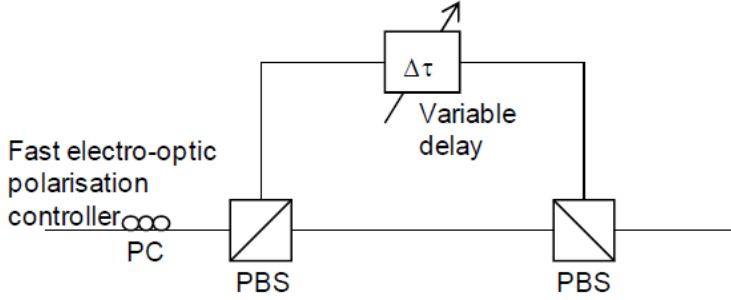


الشكل (2): غرامة نسبة الإشارة الضوئية إلى الضجيج (OSNR) في مقابل DGD لأنظمة NRZ بمعدلات بيانات 100 Gb/s، 40 Gb/s، 10Gb/s [19].

للتخلص من التشوهات التي يسببها تشتت PMD يمكن استخدام عملية التسوية equalization الالكترونية التقليدية، ولكن هذه العملية تصبح أكثر صعوبة عند معدلات بت عالية جداً 40Gb/s وما فوق. عند مثل هذه المعدلات العالية، يجب استخدام معوض PMD الضوئي المتكيف (PMDC) adaptive PMD compensation الموضحة بنيته في الشكل (3). يتكون المعوض من وحدة التحكم بالاستقطاب polarization controller (PC) والتي تربط خرج الألياف بمدخل مقسم الأشعة الاستقطابي - polarization beam splitter (PBS) . يقسم PBS الضوء الخارج إلى مركبتي الاستقطاب المتعامدين ويمرهما ضمن فرعين. في أحد هذين الفرعين يوجد خط تأخير متغير، والذي يعمل على تأخير المركبة الأسرع ب الزمن متغير τ يتوافق مع DGD. أخيراً يجمع PBS الثاني كلتا الإشارتين ضمن ليف خرج واحد. إذا كان التأخير الزمني التفاضلي τ الذي أدخله المعوض

مساوياً تماماً لـ DGD للإشارة المرسلّة، فإن الإشارة الضوئية بعد المعوض تكون خالية تماماً من التشوهات الناتجة عن PMD [20].

يتطلب معوض PMDC المتكيف معلومات دقيقة عن قيمة DGD ذات القيمة المتغيرة في المنظومة الضوئية كما ذكرنا، وهو ما يمكن أن تنتجه وحدة مراقبة PMD.



الشكل (3) : معوض PMD الضوئي المتكيف [20].

7- مراقبة تشتت نمط الاستقطاب بالاعتماد قياس استطاعة نغمة إشارة الساعة

يعتمد مبدأ عمل تقنيات مراقبة تشتت PMD عموماً على قياس إحدى بارامترات الإشارة التي من الممكن أن تتأثر بتشتت PMD، والتي تتمثل بالمركبات الترددية للإشارة، والتشوهات الحاصلة في المجال الزمني، بالإضافة إلى استقطاب الإشارة. يركز هذا البحث على تحليل الطيف الترددي لهذا سيتم توضيحه في هذه الفقرة.

ذكرنا في الفقرة (5) أن تشتت PMD يسبب فرقاً في الطور ما بين مركبتي الاستقطاب، وهذا ما يقلل من استطاعة المركبات الطيفية بعد عملية الكشف الضوئية، وذلك بسبب التداخلات الهدامة بين المركبات المختلفة طورياً. وبالتالي فإن استطاعة المركبات الراديوية ستكون تابعة لتشتت PMD ويمكن استخدامها للمراقبة.

تصنف تقنيات تحليل الطيف الترددي الراديوي إلى: تقنيات معتمدة على إضافة نغمة دليلية pilot tone، وتقنيات معتمدة على نغمة إشارة الساعة clock tone.

تعتمد تقنية إضافة نغمة دليلية على إضافة حامل فرعي (نغمة دليلية) إلى إشارة المعطيات. ترسل جنباً إلى جنب مع إشارة الحزمة الأساسية baseband عبر الليف الضوئي، وهذا ما يجعلها معرضة لنفس العوامل السلبية التي تتعرض لها إشارة الحزمة

الأساسية. يمكن استخلاص النغمة من أي عقدة في الشبكة عبر دائرة الكترونية بسيطة لمراقبة البارامترات الضوئية المختلفة بما فيها تشتت PMD.

في المقابل تعتمد تقنية نغمة إشارة الساعة على وجود مركبة ترددية موجودة أصلاً ضمن الطيف الضوئي، والتي تقع عند تردد يساوي معدل نقل البتات وتعرف بنغمة إشارة الساعة [21]. تستغل هذه التقنية أيضاً ما تحدثه العوامل السلبية المختلفة للليف (كتشتت PMD) من إضعاف لاستطاعة هذه المركبة بشكل مشابه لتقنية النغمة الدليلية. وبالتالي إمكانية قياس PMD [4,5].

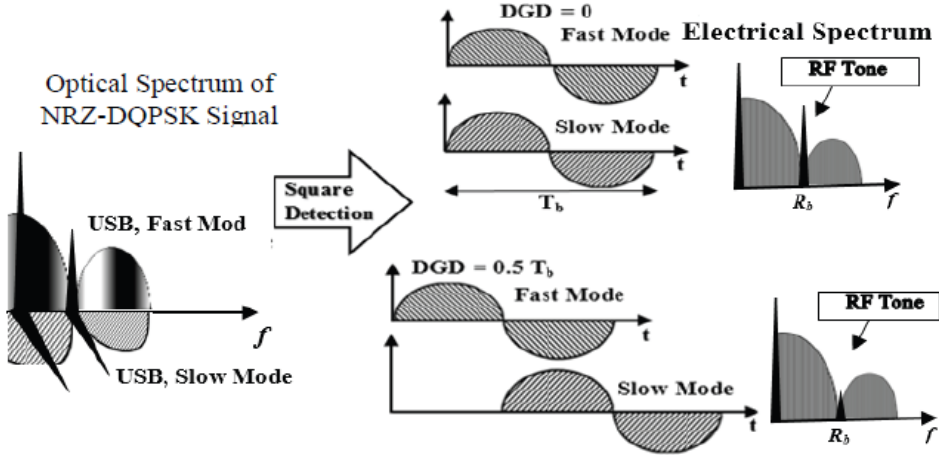
بفرض أنه تم استخدام ترميز RZ للبتات المرسل، وتم تعديل الإشارة الضوئية على شكل حزميتين جانبيتين (DSB)، وأُرسلت الإشارة الناتجة عبر ليف ضوئي، وتم أخذ كل من تأثيرات التشتت اللوني CD، وتشتت نمط الاستقطاب PMD، والزقزقة chirp بعين الاعتبار، يمكن عندئذ حساب الاستطاعة الراديوية للنغمة المستقبلية بعد الكشف الضوئي وفق العلاقة التالية [22]:

$$P_{DSB} = P_0 [1 - 4\gamma(1 - \gamma) \sin^2(\pi f_s DGD)] \cdot (1 + \alpha^2) \cos^2 \left(\frac{\pi D_{total} \lambda^2 f_s^2}{c} + \arctan \alpha \right) \quad (3)$$

P_0 : الاستطاعة الراديوية بدون تأثيرات كل من PMD، CD، وتعتمد على استطاعة الإشارة المستقبلية. γ : نسبة تقسيم الاستطاعة ما بين مركبتي استقطاب الإشارة المتعامدتين. DGD: تأخير المجموعة التفاضلي. α : بارامتر الزقزقة chirp. D_{total} : التشتت اللوني الناتج عن الليف وأية عناصر ضوئية أخرى. f_{sc} : تردد الحامل الفرعي الراديوي (النغمة الدليلية)، λ : طول موجة الحامل الضوئي. تشير هذه المعادلة إلى أن استطاعة النغمة الدليلية تتناسب عكساً مع تأخير المجموعة التفاضلي DGD ضمن مجال محدد له، وهذا ما يمكن الاستفادة منه في مراقبة PMD.

يوضح الشكل (4) مبدأ عمل تقنية مراقبة تشتت PMD من خلال نغمة إشارة الساعة (RF Tone في الشكل). عندما يكون $DGD=0$ لا تتأثر استطاعة النغمة بعد الكشف الضوئي، في المقابل تتلاشى الاستطاعة عندما يساوي DGD نصف زمن البت،

ونسبة تقسيم الاستطاعة ما بين مركبتي الاستقطاب $\gamma=50\%$ (الحالة الأسوأ لتشتت (PMD) [5].



الشكل (4) : تغير استطاعة الطيف الإلكتروني بعد الكشف الضوئي، عندما تتعرض الإشارة الضوئية لتأخير مجموعة تفاضلية DGG في حالتين $DGD=0$ ، $DGD=0.5T_b$ حيث T_b زمن البت [5].

8-وحدة مراقبة تشتت نمط الاستقطاب المقترحة

يبين الشكل (5) مخططاً صندوقياً لوحدة مراقبة تشتت PMD المقترحة. يتم في البداية تمرير الإشارة الضوئية المطلوب مراقبتها إلى فرعين. في الفرع الأول يتم فيه قياس استطاعة نغمة إشارة الساعة P_1 كما هو الحال في التقنية التقليدية والتي تم شرحها مسبقاً في الفقرة (7)، حيث تمرر الإشارة بداية على كاشف ضوئي (PD) Photo detector لتحويلها إلى المجال الكهربائي. ومن ثم يُستخدم مرشح تمرير حزمة Band Pass Filter (BPF) ذو عرض حزمة ضيق لتمرير نغمة إشارة الساعة، وقياس استطاعتها (P_1). يمكن وصف هذه الاستطاعة كما ورد في المعادلة (3).

$$P_1 = P_0 [1 - 4\gamma(1 - \gamma) \sin^2(\pi f_s DGD)] \cdot (1 + \alpha^2) \cos^2 \left(\frac{\pi D_{total} \lambda^2 f_s^2}{c} + \arctan \alpha \right) \quad (4)$$

في الفرع الثاني يتم قياس استطاعة نغمة إشارة الساعة P_2 لكن بعد إضافة تأخير DGD_{offset} على الإشارة الضوئية. كما هو موضح في الفرع الثاني تمرر الإشارة المستقبلية

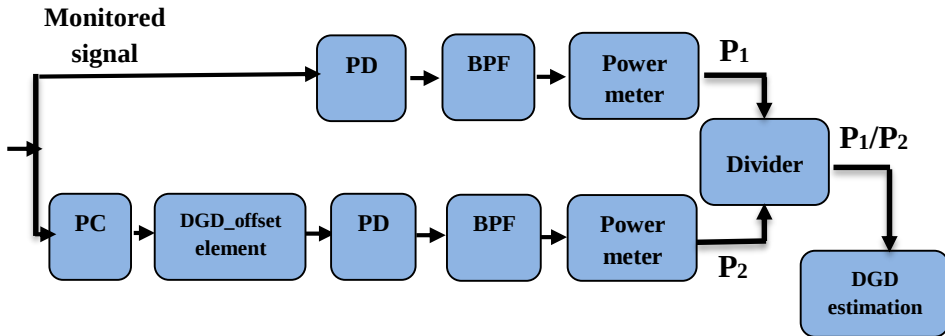
إلى متحكم استقطاب (Polarization Controller (PC)، ومن ثم عنصر ضوئي يضيف تأخير مجموعة تفاضلي (DGD_{offset}). إذا كانت زاوية الربط ما بين وصلة الليف (المراد قياس DGD لها) والعنصر الضوئي المضاف (DGD_{offset}) تساوي 0 فإنه من الممكن جمع DGD و DGD_{offset} بشكل مباشر [23]. تمرر الإشارة بعد ذلك إلى كاشف ضوئي PD، ومرشح BPF ومقياس استطاعة الذي يعطي في خرجه استطاعة النغمة (P_2) والتي يمكن وصفها بالعلاقة التالية بشكل مشابه لـ P_1 ولكن مع إضافة DGD_{offset} :

$$P_2 = P_0 \left[1 - 4\gamma(1 - \gamma) \sin^2 \left(\pi f_s (DGD + DGD_{offset}) \right) \right] \cdot (1 + \alpha^2) \cos^2 \left(\frac{\pi D_{total} \lambda^2 f_s^2}{c} + \arctan \alpha \right) \quad (5)$$

بعد ذلك نقوم بإيجاد نسبة الاستطاعة P_1 إلى الاستطاعة P_2 كما يلي بعد الاختصار:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{[1 - 4\gamma(1 - \gamma) \sin^2(\pi f_s DGD)]}{[1 - 4\gamma(1 - \gamma) \sin^2(\pi f_s (DGD + DGD_{offset}))]} \quad (6)$$

يلاحظ من العلاقة الأخيرة أن نسبة الاستطاعتين P_1/P_2 لا تعتمد على التشتت اللوني والزقزقة chirp واستطاعة الإشارة المستقبلية كما هو الحال في نغمة إشارة الساعة التقليدية. باعتبار أن كلاً من تردد نغمة الساعة f_s ، وقيمة التأخير DGD_{offset} ثابتان في وحدة المراقبة، فإن النسبة P_1/P_2 ستتغير بشكل متناسب مع قيمة DGD المطلوب قياسها. بالتالي فإننا نكون قد عزلنا تأثير هذه البارامترات على قياس DGD وهذا ما يميز تقنية المراقبة المقترحة وسيتم إثبات ذلك في الفقرات التالية باستخدام برنامج المحاكاة الضوئية.



الشكل (5): مخطط صندوق لوحدة مراقبة تشتت نمط الاستقطاب المقترحة.

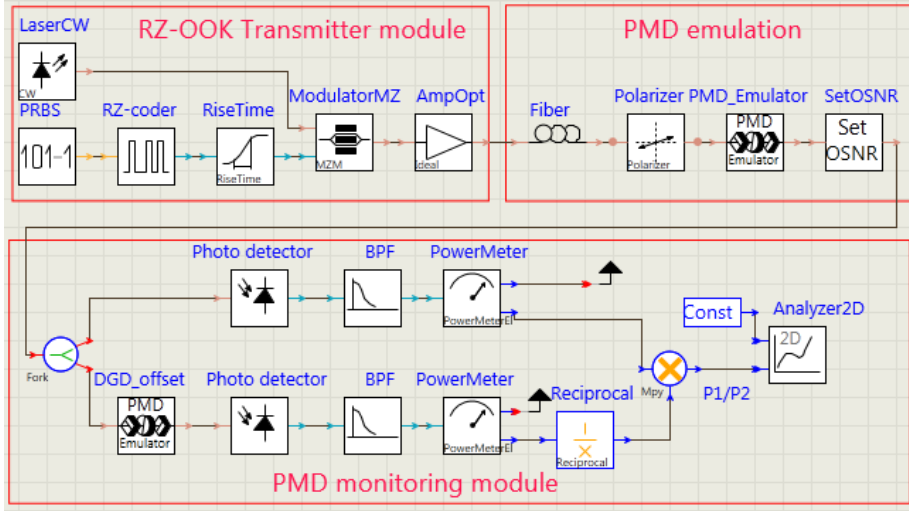
9- تصميم وحدة مراقبة تشتت نمط الاستقطاب المقترحة باستخدام برنامج المحاكاة الضوئي VPI photonics

تم نمذجة وحدة مراقبة تشتت نمط الاستقطاب باستخدام برنامج المحاكاة الضوئي VPI photonics لإثبات صحة عملها، وتحليل أدائها. يوضح الشكل (6) النموذج المصمم والذي يتكون من الأجزاء التالية :

1- وحدة إرسال ضوئية RZ-OOK : يتم توليد إشارة RZ-OOK (On Off Keying) من خلال تعديل إشارة المنبع الليزري ببتات رقمية عشوائية مرمزة على شكل العودة للصفر (Return to Zero (RZ باستخدام المعدل ماك زينر Mach-Zehnder.

2- وحدة محاكاة التشتت اللوني للليف، وتشتت نمط الاستقطاب، والتحكم بنسبة OSNR: تتكون من ليف fiber يقدم تشتتاً لونياً لدراسة تأثيره على عملية القياس، ومن مستقطب خطي polarizer ، ومحاكي تشتت الاستقطاب PMD emulator الذي من خلاله يمكن ضبط DGD والتي تمثل القيمة المجهولة المطلوب قياسها من قبل وحدة المراقبة. بعد ذلك تم إضافة إشارة ضجيج إلى الإشارة الضوئية المستقبلية عند منفذ دخل وحدة المراقبة باستخدام عنصر Set OSNR بهدف مسح قيم مختلفة من نسبة OSNR.

3- وحدة مراقبة تشتت نمط الاستقطاب المقترحة: وتتكون من فرعين كما ذكرنا. في الفرع الأول يوجد كاشف ضوئي photo detector ، ومرشح BPF ، ومقياس استطاعة P_1 . في الفرع الثاني يوجد متحكم استقطابي (PC)، وعنصر إضافة DGD_{offset} ، كاشف ضوئي ، ومرشح BPF، ومقياس استطاعة P_2 . أخيراً يمكن حساب النسبة P_1/P_2 والتي تم تحليل قيمتها وعلاقتها مع تأخير DGD المطلوب قياسه في الفقرة التالية. تم اختيار نسبة تقسيم الاستطاعة ما بين مركبتي استقطاب الإشارة المتعامدتين بشكل متساوي ($\gamma=0.5$) بحيث يتم محاكاة الحالة الأسوأ لتشتت نمط الاستقطاب. يبين الجدول (1) بارامترات المحاكاة الأساسية.

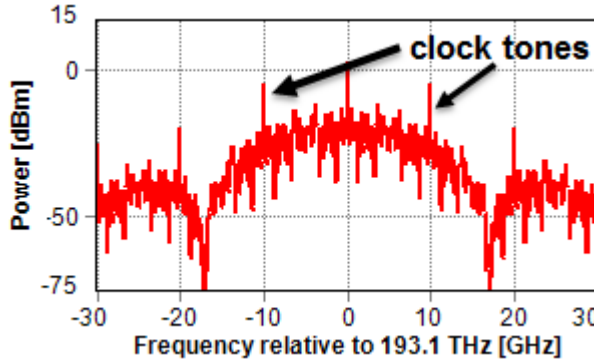


الشكل(6): محاكاة وحدة مراقبة PMD باستخدام برنامج VPI photonics.

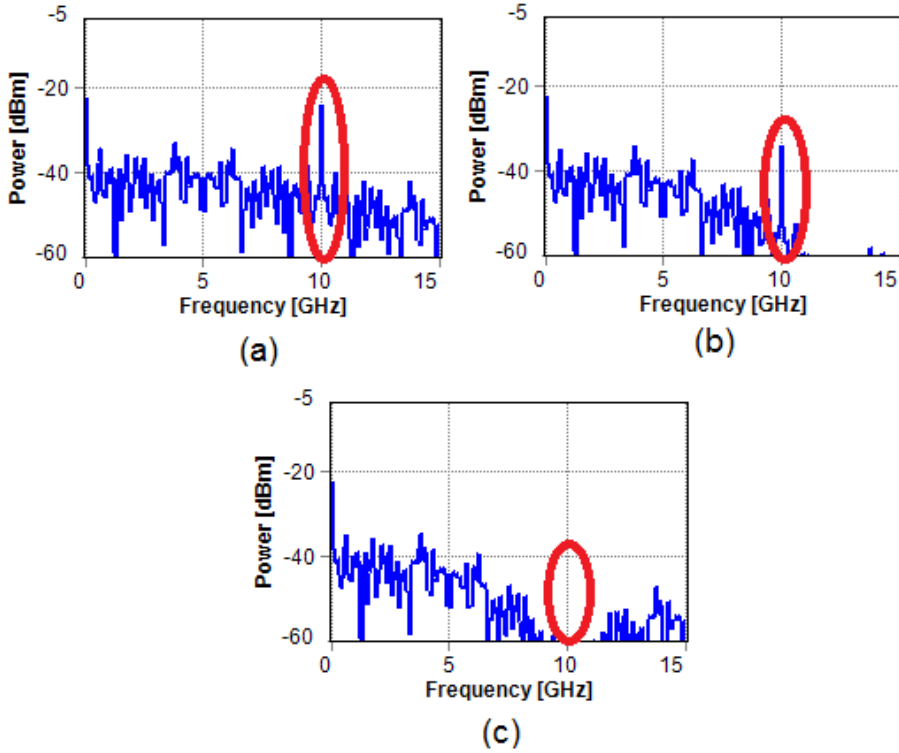
الجدول (1): بارامترات المحاكاة الأساسية.

القيمة	البارامتر
10 Gb/s	معدل بتات البيانات
50% RZ	ترميز البتات
OOK	التعديل الضوئي
193.1 THz	تردد الحامل الضوئي
5 mW	الاستطاعة المتوسطة للإشارة المرسلة
16 ps/(nm.Km)	معامل التشتت اللوني
50%	نسبة تقسيم الاستطاعة ما بين مركبتي استقطاب الإشارة المتعامدتين
PIN	نوع الكاشف الضوئي
10 GHz	التردد المركزي لمرشح تمرير الحزمة BPF
100 MHz	عرض حزمة مرشح تمرير الحزمة BPF

يبين الشكل (7) الطيف الضوئي لإشارة RZ OOK ذات معدل نقل بتات 10Gb/s. يمكن ملاحظة وجود نغمة الحامل الضوئي ذي التردد 193.1THz في منتصف الطيف، بالإضافة لنغمتي إشارة ساعة clock tones ذات استطاعة عالية نسبياً على طرفي الحامل الضوئي. تباعد النغمتان عن الحامل الضوئي 10GHz.



الشكل (7): الطيف الضوئي لإشارة RZ-OOK المرسل ذات معدل نقل 10 Gb/s. تنتشر إشارة RZ-OOK ضمن وسط النقل على شكل مركبتي استقطاب، وتعرض المركبتان لتأخير DGD ، الذي يسبب فرقاً طورياً بينهما. لهذا فإن استطاعة نغمة الساعة ستتغير بعد الكشف الضوئي وبشكل يتناسب مع DGD. يبين الشكل (8) الطيف الإلكتروني بعد الكشف الضوئي الناتج عن الفرع الأول لتقنية المراقبة المقترحة من أجل قيم مختلفة للتأخير DGD : 0ps ، 40ps ، 50ps . يلاحظ أنه من دون DGD تكون استطاعة نغمة الساعة (P_1) مرتفعة نسبياً ، وتقل مع زيادة DGD، حتى نصل عند زمن نصف البت $0.5T_b = \frac{0.5}{10 \times 10^9} = 50ps$ ، لتتلاشى النغمة بشكل نهائي كنتيجة للتداخل الهدام التام كما تم ذكره سابقاً في الفقرة (7).



الشكل (8): الطيف الإلكتروني للإشارة المستقبلية RZ-OOK بعد الكشف الضوئي من أجل : (a) $DGD=0$ ، (b) $DGD=40ps$ ، (c) $DGD=50ps$.

10- النتائج والمناقشة

10-1- علاقة نسبة الاستطاعة P_1 إلى الاستطاعة P_2 مع تأخير المجموعة التفاضلي DGD

تم في هذه الفقرة اختيار ست قيم للتأخير المضاف DGD_{offset} : 0ps ، 10ps ، 30ps ، 50ps ، 60ps . من أجل كل قيمة تم إيجاد العلاقة ما بين نسبة الاستطاعة P_1 إلى الاستطاعة P_2 مع تأخير المجموعة التفاضلي DGD المطلوب قياسه ضمن المجال من 0 ps وحتى 50 ps ، وتم التوصل للشكل (9). لم يتم أخذ التشتت اللوني وعامل الزقزقة chirp ، والضجيج بعين الاعتبار في هذه المرحلة. من الشكل يمكن أن نستنتج ما يلي:

- من أجل $DGD_{offset}=0$ (أي من دون إضافة أي تأخير DGD في الفرع الثاني):
يمثل هذه الحالة المنحني ذو اللون الأزرق (رمز الدائرة). يلاحظ أن النسبة $P_1/P_2=1$ من أجل جميع قيم التأخير DGD المطلوب قياسه. هذه النتيجة صحيحة ومنطقية وذلك لأن $P_1=P_2$ ، ولكن لا فائدة منها حيث لا يمكن من خلالها قياس DGD.
- من أجل $DGD_{offset}=10$ ps : يمثل هذه الحالة المنحني ذو اللون الأسود (رمز المثلث). يلاحظ أن النسبة P_1/P_2 تتزايد مع تزايد DGD المطلوب قياسه حتى $DGD=40$ ps حيث نصل لأعظم قيمة للنسبة P_1/P_2 ، وبعد ذلك تتناقص. لهذا يمكن القول بأنه عند اختيار $DGD_{offset}=10$ ps يكون مجال القياس يمتد من 0 ps وحتى 40 ps ، وتكون الحساسية (تغير النسبة P_1/P_2 مع DGD) ذات قيمة صغيرة عند القيم المنخفضة لـ DGD ، وتكون كبيرة بالقرب من نهاية المجال. القيمة الكبيرة للحساسية تعد أفضل ، لهذا فإن الحساسية تعد سيئة عند بداية المجال.
- من أجل $DGD_{offset}=30$ ps : يمثل هذه الحالة المنحني ذو اللون الأخضر (رمز المعين). يلاحظ أن النسبة P_1/P_2 تتزايد أيضاً مع تزايد DGD المطلوب قياسه حتى $DGD=20$ ps حيث نصل لأعظم قيمة للنسبة P_1/P_2 ، وبعد ذلك تتناقص. لهذا يمكن القول بأنه عند اختيار $DGD_{offset}=30$ ps يكون مجال القياس يمتد من 0 ps وحتى 20 ps ، أي أن المجال هنا أقل من الحالة السابقة. أما الحساسية فهي أيضاً ذات قيمة صغيرة عند القيم المنخفضة لـ DGD ، وكبيرة بالقرب من نهاية المجال كما هو الحال للحالة السابقة، لكن يلاحظ أن الحساسية هنا أفضل. أي أنه يوجد مقايضة ما بين مجال القياس والحساسية.
- من أجل $DGD_{offset}=50$ ps : يمثل هذه الحالة المنحني ذو اللون الأحمر (رمز النجمة). يلاحظ أن النسبة P_1/P_2 تتناقص مع تزايد DGD المطلوب قياسه حتى $DGD=50$ ps. لهذا يمكن القول بأنه عند اختيار $DGD_{offset}=50$ ps يكون مجال القياس يمتد من 0 ps وحتى 50 ps . وهي القيمة الأكبر لمجال القياس

بالمقارنة مع الحالات السابقة. عند زيادة DGD عن 50 ps سيكرر منحنى P_1/P_2 نفسه، وبعد ذلك خارج مجال القياس. الحساسية ذات قيمة كبيرة عند بداية المجال ونهاية المجال. وتأخذ قيمة متوسطة في منتصف المجال. يعد ذلك الحالة الأفضل للحساسية بالمقارنة مع الحالات السابقة.

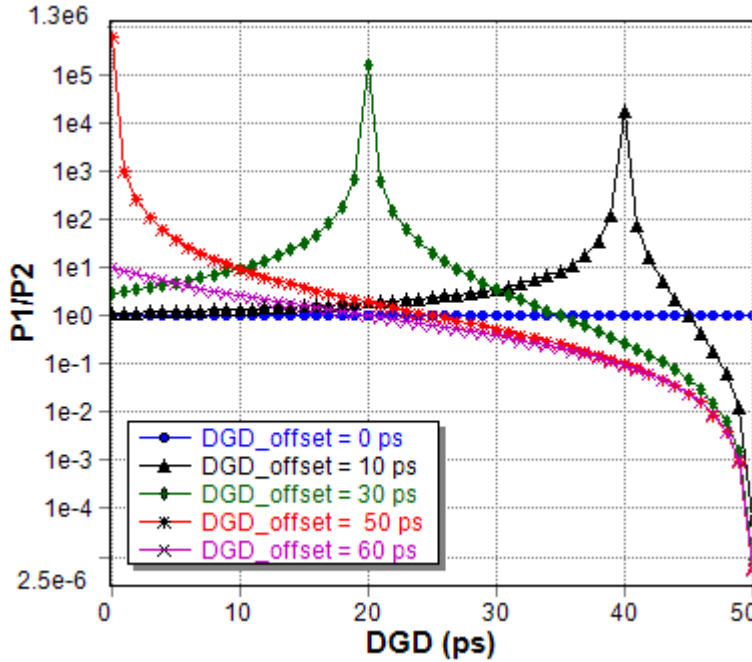
- من أجل $DGD_{offset}=60$ ps : يمثل هذه الحالة المنحني ذو اللون النهدي (رمز الضرب). يلاحظ أيضاً أن النسبة P_1/P_2 تتناقص مع تزايد DGD المطلوب قياسه حتى $DGD=50$ ps. ولكن الحساسية منخفضة تقريباً على كامل المجال. انطلاقاً مما سبق نجد أن اختيار $DGD_{offset}=50$ ps هي القيمة الأفضل حيث نحصل على أكبر مجال قياس و أفضل حساسية. ترتبط هذه القيمة مع معدل البتات ، لهذا يمكن تعميمها بأن القيمة المثلى لـ DGD_{offset} هي :

$$DGD_{offset} \text{ (optimum)} = \frac{1}{2 \times R_b} = 0.5 \times T_b \quad (7)$$

R_b : معدل نقل البتات. T_b : زمن البت.

كذلك نلاحظ أن مجال القياس range هو $[0,50]$ ps ، وهو يرتبط أيضاً مع معدل البتات ويمكن تعميم مجال القياس للتقنية المقترحة كما يلي :

$$DGD \text{ (range)} = \frac{1}{2 \times R_b} = 0.5 \times T_b \quad (8)$$

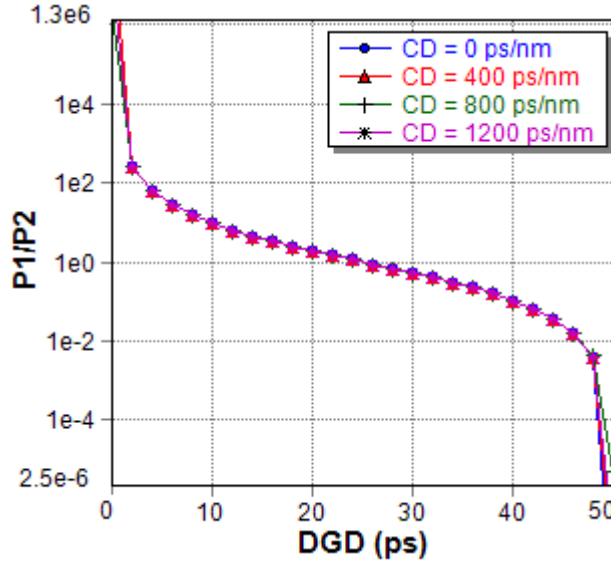


الشكل (9) : العلاقة ما بين نسبة الاستطاعتين P_1/P_2 و تأخير المجموعة التفاضلي DGD لقناة الاتصال ، وذلك من أجل قيم مختلفة لـ DGD_{offset} المضافة في الفرع الثاني لوحدة المراقبة.

10-2- تأثير التشتت اللوني على أداء التقنية المقترحة

تم التوصل من العلاقة (6) إلى أن نسبة الاستطاعتين P_1/P_2 لا ترتبط مع التشتت اللوني. تم في هذه الفقرة دراسة تأثير التشتت اللوني على تقنية المراقبة من خلال برنامج المحاكاة الضوئي. تم التعبير عن التشتت في المحاكاة بمصطلح التشتت التراكمي و الذي يساوي حاصل ضرب معامل تشتت الليف اللوني بطول الليف، و واحدته هي ps/nm. تم تفعيل الليف الضوئي وأخذ خمس قيم للتشتت اللوني التراكمي (0,400,800,1200) ps/nm ، وتم التوصل إلى الشكل (10) الذي يوضح العلاقة ما بين نسبة الاستطاعتين P_1/P_2 مع DGD من أجل قيم مختلفة للتشتت اللوني. يلاحظ عدم تأثير التقنية المقترحة بالتشتت وذلك لأن استطاعة نغمة إشارة الساعة P_1 تتناسب مع

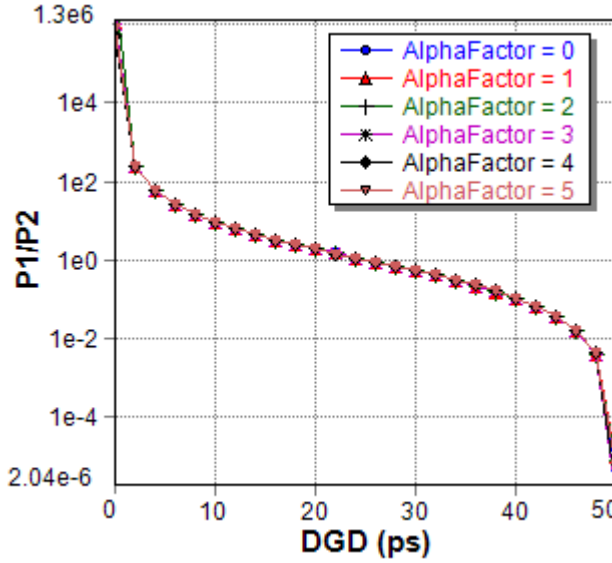
النشئت اللوني بنفس النسبة التي تتأثر بها P_2 ، وباعتبار أننا نستخدم القسمة P_1/P_2 فإنه سيتم التخلص من التشتت اللوني.



الشكل (10): العلاقة ما بين نسبة الاستطاعتين P_1/P_2 و تأخير المجموعة التفاضلي DGD من أجل قيم مختلفة للتشتت اللوني للليف الضوئي.

10-3- تأثير الزقزقة chirp على أداء التقنية المقترحة

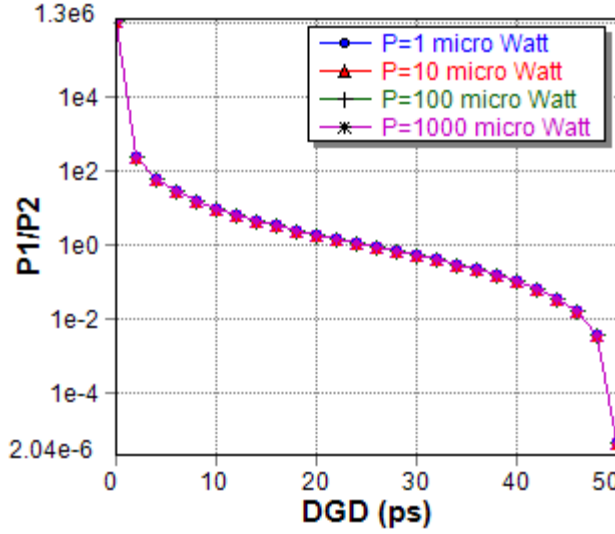
تم أيضاً التوصل من العلاقة (6) إلى أن نسبة الاستطاعتين P_1/P_2 لا ترتبط مع الزقزقة chirp. تم من خلال برنامج المحاكاة دراسة مدى تأثير الزقزقة على التقنية المقترحة، وتم التوصل إلى الشكل (11) الذي يوضح العلاقة ما بين P_1/P_2 مع DGD من أجل خمس قيم لعملية لعامل الزقزقة α . يلاحظ تطابق المنحنيات ، وهذا ما يؤكد صحة ما ذكرناه سابقاً بأن التقنية مستقلة عن الزقزقة chirp .



الشكل (11) : العلاقة ما بين نسبة الاستطاعتين P_1/P_2 و تأخير المجموعة التفاضلي DGD من أجل قيم مختلفة لعامل الرقزة chirp (α factor).

10-4- تأثير استطاعة الإشارة المستقبلية على أداء التقنية المقترحة

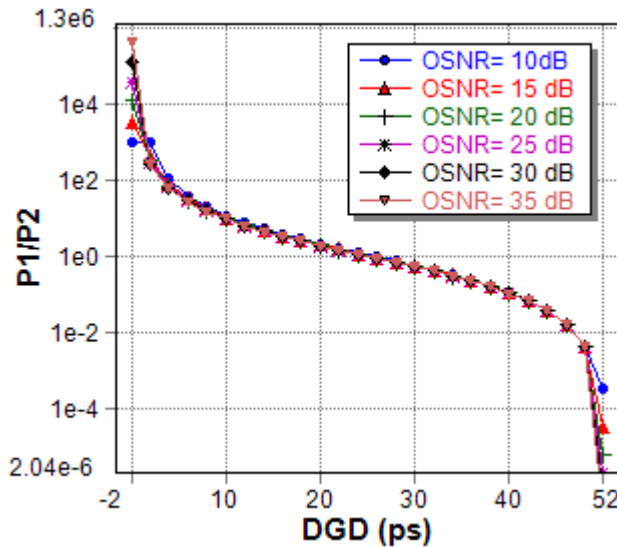
تتغير استطاعة نغمة إشارة الساعة وفق التقنية التقليدية مع استطاعة الإشارة الضوئية المستقبلية، وهذا ما يشكل تحدياً في قياس DGD. التقنية المقترحة تعتمد على استخدام نسبة استطاعتين P_1/P_2 بحيث يتم إلغاء تأثير استطاعة الإشارة المستقبلية، وهو ما تم إثباته سابقاً في العلاقة (6). تم من خلال برنامج المحاكاة تغيير استطاعة الإشارة المستقبلية من أجل أربع قيم مختلفة $(1, 10, 100, 1000) \mu W$ ، وتم رسم العلاقة ما بين P_1/P_2 و DGD في الشكل (12). يلاحظ أيضاً أن المنحنيات متطابقة، وهو ما يؤكد عدم وجود تأثير للاستطاعة المستقبلية.



الشكل (12): العلاقة ما بين نسبة الاستطاعتين P_1/P_2 و تأخير المجموعة التفاضلي DGD من أجل قيم مختلفة لاستطاعة الإشارة الضوئية المستقبلية.

10-5- تأثير نسبة الإشارة الضوئية إلى الضجيج على أداء تقنية المراقبة المقترحة

تتأثر التقنية التقليدية بشكل كبير بالضجيج، حيث يغير من الاستطاعة المقاسة لنغمة إشارة الساعة. تم في هذه الفقرة دراسة تأثير الضجيج الناتج عن المضخمات الضوئية من خلال تغيير نسبة استطاعة الإشارة الضوئية إلى الضجيج OSNR ضمن ست قيم مختلفة (10,15,20,25,30,35) dB ، وتم رسم العلاقة ما بين P_1/P_2 و DGD في كل مرة كما هو موضح في الشكل (13). يلاحظ أيضاً أنه يوجد تطابق في المنحنيات، باستثناء بداية ونهاية المجال، لكن بسبب أن الحساسية كبيرة في بداية ونهاية المجال فإن الأخطاء ستكون صغيرة.



الشكل (13): العلاقة ما بين نسبة الاستطاعتين P_1/P_2 و تأخير المجموعة التفاضلي DGD من أجل قيم مختلفة لنسبة الإشارة إلى الضجيج الضوئية OSNR.

11-سلبيات التقنية المقترحة

على الرغم من المزايا المذكورة سابقاً للتقنية المقترحة إلا أنها تعاني من بعض السلبيات والتي يمكن إجمالها بما يلي:

أ-التعقيدية complexity: من الواضح أن التقنية تتطلب استخدام عناصر ضوئية والإلكترونية أكثر من تقنية إشارة الساعة التقليدية، والتقنيات المعتمدة على الزمن، وهذا ما يزيد من تكلفتها المادية.

ب-تتأثر التقنية بنسبة تقسيم الاستطاعة ما بين مركبتي استقطاب الإشارة المتعامدتين كما هو مذكور في العلاقة (6) . وفي الواقع أيضاً تتأثر ببقية تقنيات المراقبة بهذه النسبة.

ج-لا يمكن من خلالها مراقبة بارامترات ضوئية أخرى كالتشتت اللوني والضجيج بالمقارنة مع التقنيات المعتمدة على الزمن (AAH,DTS) وتقنيات الذكاء الاصطناعي.

12-الخلاصة والتوصيات

تم من خلال هذا البحث اقتراح طريقة جديدة لمراقبة تشتت PMD للألياف الضوئية، وذلك من خلال إجراء تعديل على تقنية نغمة إشارة الساعة التقليدية. بالإضافة لقياس استطاعة هذه النغمة بعد الكشف الضوئي، تم قياس أيضاً استطاعتها بعد إضافة تأخير DGD_{offset} للإشارة المطلوب مراقبتها. تم التوصل إلى أن نسبة هاتين الاستطاعتين تتناسب مع DGD وبالتالي إمكانية تخمين قيمة DGD. يمكن إجمال ما تم التوصل بما يلي:

1. القيمة المثلى لتأخير DGD_{offset} المضاف للإشارة المراقبة يساوي نصف زمن البت، حيث نحصل على أفضل مجال قياس وحساسية. من أجل $R_b=10Gb/s$ القيمة المثلى تساوي 50 ps .
2. يرتبط مجال القياس مع قيمة DGD_{offset} . إذا تم اختيار قيمة DGD_{offset} المثلى والتي تساوي نصف زمن البت، فإن مجال قياس DGD أيضاً نصف زمن البت. من من أجل $R_b=10Gb/s$ ، $DGD_{offset}=50ps$ ، فإن مجال القياس يمتد من 0 وحتى 50 ps . مجال القياس للتقنية المقترحة مشابه للتقنية التقليدية.
3. ترتبط الحساسية مع قيمة DGD_{offset} . إذا تم اختيار قيمة DGD_{offset} المثلى سنحصل على أفضل حساسية خصوصاً عند بداية ونهاية المجال، وهذا يعد من مزايا التقنية المقترحة، حيث تكون الحساسية لوحدة المراقبة مهمة جداً في بداية المجال للتعويض الدقيق عن DGD لوصلة الليف.
4. تم عزل تأثير كل من التشتت اللوني، والزقزقة chirp، واستطاعة الإشارة المراقبة، والضجيج عند قياس نسبة الاستطاعتين. وهذا أهم ما يميز التقنية المقترحة.
5. كما هو الحال في تقنية نغمة إشارة الساعة التقليدية تمتاز التقنية بزمن استجابة منخفض بالمقارنة مع التقنيات المعتمدة على أخذ عينات من الإشارة بما فيها تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم العميق.
6. لا تحتاج التقنية لإضافة أي تعديل على المرسل كما في تقنية النغمة الدليلية، وتعتمد على نغمة موجودة أصلاً في الإشارة المراقبة. بالتالي بساطة تنفيذها.

تم مقارنة أداء التقنية المقترحة مع بقية التقنيات في الجدول (2) .
أخيراً يمكن المتابعة مستقبلاً لدراسة أهمية وفائدة تطبيق تقنية المراقبة المقترحة ضمن شبكة ليف ضوئية. التقنية تعمل أساساً ضمن الطبقة الفيزيائية، لهذا يمكن ربطها مع الطبقات الأعلى والمسؤولة عن إدارة المصادر وتصحيح الأخطاء، وتوجيه الرزم وغير ذلك. يمكن على سبيل المثال تطبيقها ضمن شبكة ديناميكية متكاملة تحتوي على معوضات تشتت متكيفة، وموجهات routers، ومن ثم دراسة مدى تحسن أداء الشبكة، بالإضافة إلى تطبيق خوارزميات تخصيص الموارد استناداً لمعلومات وحدة المراقبة.

الجدول (2) : مقارنة التقنية المقترحة مع بقية التقنيات

تقنيات الذكاء الاصطناعي	تقنية قياس درجة الاستقطاب	نغمة دلالية	نغمة إشارة الساعة التقليدية	التقنية المقترحة	
تعتمد على معدل البت وحقل السمات Features domain	تعتمد على معدل البت. من أجل 10Gb/s المجال [0,50] ps	تعتمد على تردد النغمة. من أجل 10GHz المجال [0,50] ps	تعتمد على معدل البت. من أجل 10Gb/s المجال [0,50] ps	تعتمد على معدل البت. من أجل 10Gb/s المجال [0,50] ps	مجال المراقبة
لا تتأثر	لا تتأثر	تتأثر	تتأثر	لا تتأثر	تأثير التشتت اللوني
لا تتأثر	لا تتأثر	تتأثر	تتأثر	لا تتأثر	تأثير الرقعة chirp
لا تتأثر		تتأثر	تتأثر	لا تتأثر	تأثير استطاعة الإشارة المستقبلية
تتأثر	تتأثر	تتأثر	تتأثر	تتأثر	تأثير نسبة تقسيم الاستطاعة بين محوري الاستقطاب
بطيئة	سريعة	سريعة	سريعة	سريعة	زمن القياس
أعلى تعقيداً	أعلى تعقيداً	أقل تعقيداً. ولكن تتطلب تعديلاً عند المرسل	أقل تعقيداً	أعلى تعقيداً	التعقيد

المراجع

- [1] Subhendu Ghosh and Aneek Adhya. **Soft Failure Detection and Identification in Optical Networks Using Cascaded.** DOI:10.36227/techrxiv.172418543.34816590/v1. 2024
- [2] D. K. Tizikara, J. Serugunda and A. Katumba, **Machine Learning-Aided Optical Performance Monitoring Techniques: A Review** , *Front. Commun. and Netw.*, pp. 63-79. 2022.
- [3] A. Vyukusenge and J. Rabenandrasana, **Polarization Mode Dispersion Effects on Signal Quality and Compensation Methods, Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications**, pp. 1-6. 2020.
- [4] Kazi Abu Taher, Satya P. Majumder, B. M. Azizur Rahman, **PMD Monitoring of Polarization Division Multiplex Transmission System Using RF Tone Harmonics.** Conference: 18th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT). 2015.
- [5] Kazi. A. Tahera, S. P. Majumder, B. M. A. Rahman, Y. Yuc, and Changyuan Yu. **Simultaneous Monitoring of CD and PMD Using RF Tone Power.** 8th International Conference on Materials for Advanced Technologies. 2016.
- [6] Koushik Barman and Mritunjay Kumar Rai. **Pilot Tone based CD and PMD Monitoring Technique for Photonic Networks.** Indian Journal of Science and Technology, Vol 9(47). 2016.

- [7] Linsheng Fan, Yanfu Yang, Qun Zhang, Siyu Gong, Yuchen Jia, Chen Cheng, and Yong Yao. **Transceiver impairment robust and joint monitoring of PDL, DGD, and CD using frequency domain pilot tones for digital subcarrier multiplexing systems.** VOL. 16, NO. 11. 2024.
- [8] Dawei Wang , Hao Jiang, Guowei Liang, Qianxin Zhan, Yao Mo, Qi Sui, and Zhaohui Li. **Optical Performance Monitoring of Multiple Parameters in Future Optical Networks.** JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, VOL. 39, NO. 12. 2021.
- [9] Yue Deng , Xinan Ye, Zhen Guo, Changjian Ke · Haoyu Wang, Chen Xing, Yibo Zhong, Deming Liu. **High wavelength-resolved state of polarization monitoring method based on stimulated Brillouin scattering effect.** Optical and Quantum Electronics. 2020.
- [10] Al-Wafai H. **Polarization Mode Dispersion Monitoring by Sampling the Two-Polarization Components of the Optical Signal and Histogram Analyzing.** Al-Baath Journal. Volume 44, number 493. 2022.
- [11] XIAOJIE FAN , LINA WANG , FANG REN , YULAI XIE, XIANG LU, YIYING ZHANG, TIANWEN ZHANGSUN, WEI CHEN, AND JIANPING WANG. **Feature Fusion-Based Multi-Task ConvNet for Simultaneous Optical Performance Monitoring and Bit-Rate/Modulation Format Identification.** IEEE Access Vol: 7. pp. 126709 – 126719. 2019.
- [12] Dativa K. Tizikara, Jonathan Serugunda and Andrew. Katumba. **Machine Learning-Aided Optical Performance Monitoring Techniques: A Review.** Frontiers in Communications and Networks. Volume 2. 2022.
- [13] Waddah S. Saif , Maged A. Esmail , Amr M. Ragheb , Tariq A. Alshawhi , and Saleh A. Alshebeili. **Machine Learning Techniques for Optical Performance Monitoring and Modulation Format**

Identification: A Survey. IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, VOL. 22, NO. 4. 2020.

[14] T. Jiang, Y. Xiang, L. Wang and M. Tang, **Joint CD, DGD, and PDL Estimation Enabled by FrFT Based Time-Frequency Reconstruction**, in *Journal of Lightwave Technology*, vol. 41, no. 9, pp. 2623-2630, 1 May1, 2023

[15] Bai, Chenglin and Yang, Fan and Xu, Hengying, **Intelligent Joint Multi-Parameter Optical Performance Monitoring Scheme Based on Ht Images and Mt-Resnet for Elastic Optical Network**. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4516641>. 2023

[16] M.Satyanarayana, V.N.Lakshmana Kumar, P. Ujjvala Kanthi Prabha. **-OPTICAL FIBER COMMUNICATION**. GCS PUBLISHERS. 258p. 2022.

[17] Ramaswami R, Sivarajan KN, Sasaki GH. - **Optical networks: A practical perspective**. 3rd edition. Morgan Kaufmann. 2010.

[18] Ayman Elmassarawy. **Light Waves and Data Streams: A Comprehensive Guide to Fiber Optic Communication: Empowering DWDM: Revolutionizing High-Capacity Data Transmission**. 420 pages. 2024.

[19] Shieh W, Djordjevic IB. **Orthogonal Frequency Division Multiplexing for Optical Communications**. San Diego: Elsevier Inc. 2010.

[20] Meflah L. **Multi-impairment and multi-channel optical performance monitoring**. University College London. Ph.D. thesis.

[21] Al-Wafai H. **Dispersion compensation of optical fiber using monitoring technique based on clock signal**. Al-Baath Journal. Volume 36, number 634. 2014.

[22] Liu N, Zhong W-D, Wen, YJ, Lu C, Cheng L, Wang Y. **PMD and chirp effects suppression in RF tone-based chromatic dispersion monitoring.** IEEE Photonics technology letters;18(5),673–675. 2006.

[23] Mateo RV. **Optical performance monitoring in optical packet-switched networks.** Chapter 7 in PhD Thesis, Universidad Politécnica de Valencia. 2010

دراسة تأثير شكل سطح مواد متغيرة الطور (PCM) في أداء مقطر شمسي صندوقي تجريبيًا

أ.د.م هيثم حسن¹ د.عصام المنصور² م. سليمان عطية قاسم³

الملخص:

يهدف هذا البحث إلى إجراء دراسة تجريبية لتأثير استخدام وشكل سطح مواد متغيرة الطور (PCM) في المقطرات الشمسية الصندوقية من أجل تحسين أدائها. أظهرت نتائج البحث التجريبية المنجزة أن استخدام المادة متغيرة الطور (الشمع البارافيني) ضمن عبوات مختلفة الشكل في المقطر الشمسي الصندوقي أدى إلى تحسين في إنتاجيته اليومية حيث تبين أنها تزداد مع زيادة كمية المادة متغيرة الطور المستخدمة وتختلف نسبة الزيادة هذه تبعاً للعبوات الموضوعة ضمنها تلك المادة، حيث بلغت أعلى قيمة لنسبة الزيادة في الإنتاجية اليومية هي 35,4% عند استخدام 4,5 كغ من المادة متغيرة الطور الموضوعة ضمن عبوات معدنية ذات شكل متوازي المستطيلات.

الكلمات المفتاحية: المقطر الشمسي الصندوقي، المواد متغيرة الطور، تخزين الطاقة الحرارية، تحلية المياه، الإشعاع الشمسي.

¹أستاذ في هندسة القوى الميكانيكية-كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة اللاذقية.

²أستاذ مساعد في قسم هندسة القوى الميكانيكية-كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة حمص.

³طالب ماجستير في قسم القوى الميكانيكية-كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة حمص.

Studying the effect of the surface shape of phase change materials (PCM) on the performance of box solar still experimentally

Haitham Hassan¹ Essam ALMANSOUR² Sliman Attia Qasm³

Abstract:

This research aims to conduct an experimental study on the effect of using and surface shape of phase change materials (PCM) in box solar stills to improve their performance. Experimental results indicated that the use of a phase change material (paraffin wax) in different shaped containers within a box solar still led to an improvement in its daily productivity. It has been observed that productivity increases with the amount of PCM used, and the percentage of increase varies depending on the containers in which the PCM is placed. The highest increase in daily productivity, 35.4%, was achieved when using 4.5 kg of PCM contained in rectangular parallelepiped metal containers.

Keywords: box-type solar still, phase change materials, thermal energy storage, water desalination, solar radiation.

¹ Professor of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University.

² Assistant Professor, Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Al-Baath University.

³ Master's student, Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Al-Baath University.

تعتبر إمكانية الوصول إلى شرب مياه عذبة صحية واحدة من التحديات الرئيسية التي تواجه العالم هذه الأيام وهي واحدة من الضروريات الأساسية للحفاظ على جميع أشكال الحياة على الأرض. ومع ذلك حوالي 97% من المياه المتوفرة على سطح الأرض في البحار والمحيطات هي مياه معتدلة الملوحة كما أن النمو السكاني والصناعي السريع في المجتمعات يسبب عدم توازن بين ازدياد الطلب وتوفير المياه العذبة. لذلك تعتبر تحلية المياه هي الحل الأفضل إن لم يكن الإلزامي، وفي ضوء هذا تعتبر المقطرات الشمسية الصندوقية واحدة من أفضل التصاميم وأقلها تكلفة التي تقوم بإنتاج المياه الصالحة للاستخدام من المياه المالحة وذلك عن طريق الطاقة الشمسية.

وقد أجريت الكثير من الأبحاث والدراسات لزيادة إنتاجية هذه المقطرات وتحسين كفاءتها حيث قام مفتاح وروفوس وآخرون بعدة أبحاث لتعزيز إنتاجية المقطرات الشمسية وكان أهمها استخدام عاكسات داخلية وخارجية [1,2].

وقام سينغ مع أشخاص آخرون بدراسة نظرية لكفاءة مقطرات شمسية نتيجة إضافة أنابيب مفرغة [3].

أبو عرابي وآخرون قاموا بمحاكاة مقطر شمسي متصل بمجمع طاقة شمسية ودمج مواد متغيرة الطور فيه [4].

أما السباعي وأشخاص آخرون قاموا بتحليل عدد من المقطرات الشمسية بوجود وغياب PCM [5].

بينما قام دشتبان و تبريزي بدراسة تحسين أداء مقطر شمسي من النوع المدرج تم دمج مع وحدة تخزين PCM تحت الحوض [6].

قام أنس ندور بدراسة تأثير مواد متغيرة الطور على مقطر شمسي صندوقي مستخدماً كميات مختلفة من PCM [7].

وقام محمد يوسف مع حمدي حسن بإجراء دراسة تجريبية تعتمد على دمج المقطر الشمسي مع وحدات تخزين PCM باستخدام تقنيات مختلفة [8].

أهمية البحث وأهدافه:

تكمّن أهمية هذا البحث في الاستفادة من الطاقة الشمسية في عملية تحلية المياه وإمكانية تحسين أداء المقطرات الشمسية وزيادة فعالية وموثوقية هذه الأنظمة بالإضافة إلى تعزيز استخدام المواد متغيرة الطور (PCM) والاستفادة من خواصها التخزينية في أنظمة الطاقة الشمسية.

يهدف هذا البحث إلى إجراء دراسة تجريبية لتأثير استخدام وشكل سطح مواد متغيرة الطور في أداء مقطر شمسي صندوقي في محاولة لتحسين إنتاجية المقطرات الشمسية وزيادة فترة تشغيلها.

طرائق البحث ومواده:

تم في هذا البحث اعتماد المنهج التجريبي للحصول على النتائج. لذلك قمنا بتصنيع مقطرين شمسيين صندوقيين متماثلين مساحة قاعة كل منهما $0.5(m)^2$ ، ومغزولين بطبقة من الفلين سماكتها (4cm)، كما تم تزويد كل من المقطرين بحساسات حرارية لقياس درجات حرارة الماء داخل كل منهما، ودرجة حرارة الوسط الخارجي، ودرجة حرارة الغطاء الشفاف لكل منهما، وجهاز لقياس شدة الإشعاع الشمسي كما هو مبين في الشكل (1). قمنا بتزويد المقطرين بكميات مختلفة بالمادة متغيرة الطور وهي عبارة عن (شمع البارافين) كما في الشكل (2) ضمن عبوات بلاستيكية كبيرة اسطوانية الشكل، ثم تم وضع المادة متغير الطور ضمن عبوات بلاستيكية صغيرة اسطوانية الشكل، ثم تم وضع المادة متغيرة الطور ضمن عبوات زجاجية اسطوانية الشكل، ثم تم وضع تلك المواد في عبوات بلاستيكية ومعدنية ذات شكل متوازي مستطيلات كما هو مبين في الشكل (3). بينما لم يتم تزويد المقطر الآخر

بمادة متغيرة الطور من أجل المقارنة مع الحالات السابقة. ولقد قمنا بإجراء جميع التجارب على المقطرين بنفس الظروف المناخية الخارجية في مدينة اللاذقية.



الشكل 1: المقطرين الشمسيين المصنعين



الشكل 2: المادة متغيرة الطور (الشمع البارافيني) ضمن العبوات



العبوات (معدنية ذات شكل متوازي مستطيلات) العبوات (زجاجية) بلاستيكية كبيرة (بلاستيكية ذات شكل متوازي مستطيلات) وصغيرة (إسطوانية الشكل)

الشكل 3: عبوات المادة متغيرة الطور المستخدمة في المقطر

كما يبين الشكل (4) مقياس درجات الحرارة المستخدم والأنبوب المدرج مع جهاز قياس شدة الإشعاع الشمسي



جهاز قياس شدة الإشعاع الشمسي

أنبوب زجاجي مدرج

مقياس إلكتروني لدرجة الحرارة (عادي و ليزر)

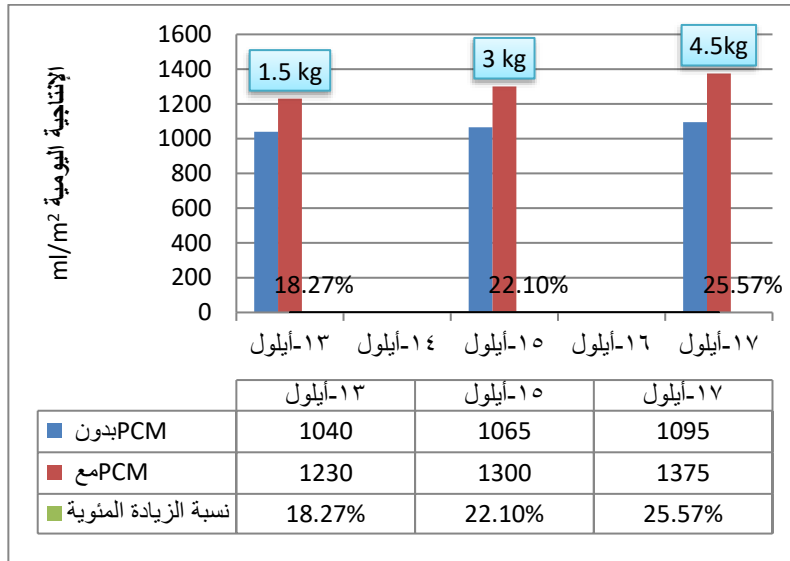
الشكل 4: الأجهزة المستخدمة لقياس درجات الحرارة وحجم الماء الناتج وشدة الإشعاع الشمسي

النتائج ومناقشتها:

تأثير استخدام المادة متغيرة الطور مع تغير كميتها في أداء مقطر شمسي صندوقي:

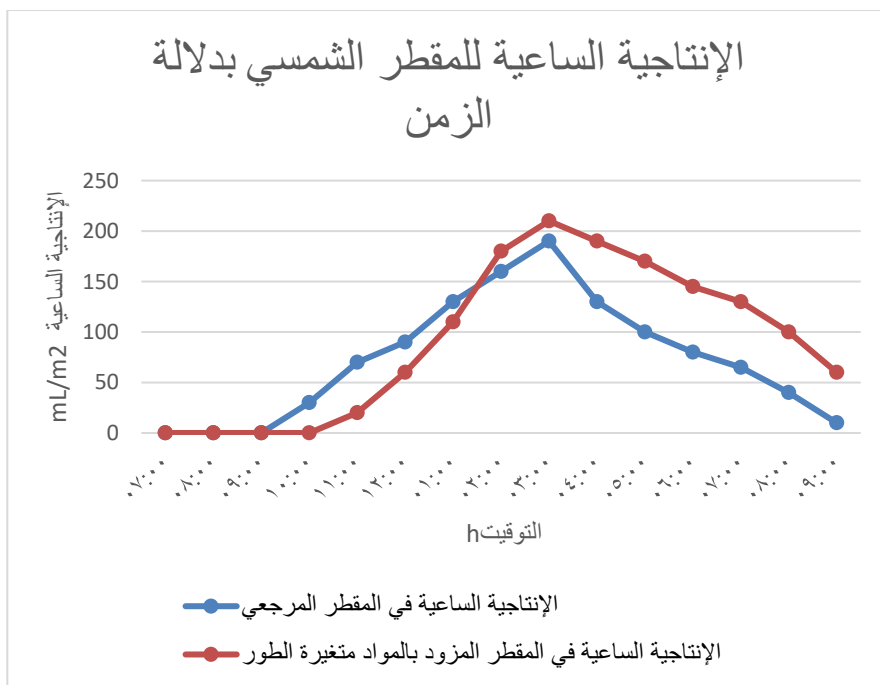
أجريت التجارب في أيام مختلفة من الشهر التاسع لعام 2023 على المقطرين الشمسيين الصندوقيين المزود بمادة متغيرة الطور (شمع البارافين) المحتواة ضمن عبوات بلاستيكية كبيرة اسطوانية الشكل، والمقطر العادي من دون مادة متغيرة الطور، حيث تم قياس كمية الماء المقطر الناتج عن كلا المقطرين (إنتاجية المقطر) خلال اليوم. قمنا بإجراء التجارب من أجل كميات مختلفة من المادة متغيرة الطور ضمن المقطر الشمسي الصندوقي.

يبين الشكل (5) أن الإنتاجية اليومية تزداد عند إضافة المادة متغيرة الطور إلى المقطر، حيث تكون نسبة الزيادة في الإنتاجية أكبر عندما تكون كمية المادة متغيرة الطور أكبر، وذلك نتيجة امتصاصها كمية أكبر من الإشعاع الشمسي وتخزينها كطاقة حرارية كامنة عند تحولها من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة، ومن ثم طرحها وتقديمها للماء نتيجة تحولها من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة مما يزيد عملية التبخر وبالتالي زيادة الإنتاجية من الماء المقطر. فمن الشكل (5) نجد أن نسبة الزيادة في الإنتاجية اليومية هي 22.1 [%] و 25.57 [%] عند استخدام كميات من المادة متغيرة الطور مقدارها 4.5 [kg], 3 [kg] على الترتيب.



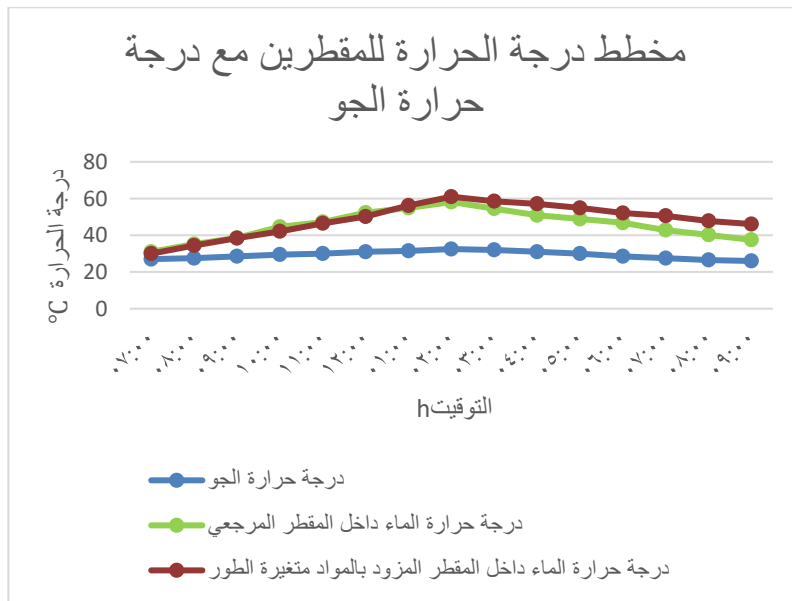
الشكل 5: الإنتاجية اليومية ونسبة الزيادة من أجل كميات مختلفة من ال PCM في عدة أيام من شهر أيلول 2023

يبين الشكل (6) تغير الإنتاجية الساعية للمقطر الشمسي العادي من دون مادة متغيرة الطور وللمقطر المزود بمادة متغيرة الطور مقدارها [4.5 kg] موضوعة في عبوات بلاستيكية اسطوانية كبيرة في يوم 2023/9/17. نلاحظ من الشكل أن الإنتاجية الساعية داخل المقطر المرجعي تكون في الصباح أكبر منها للمقطر مع مادة متغيرة الطور، بينما تزداد الإنتاجية الساعية داخل المقطر المزود بالمواد متغيرة الطور في فترة بعد الظهر يعود السبب في ذلك أن المادة متغيرة الطور تمتص الحرارة وتخزنها في أول النهار وتقوم ببيتها بعد انخفاض ذروة الإشعاع الشمسي مما أدى إلى رفع درجة الحرارة وتكثيف الماء على سطح الزجاج الداخلي في المقطر المزود بالمواد متغيرة الطور.



الشكل 6: تغير الإنتاجية الساعية للمقطر دون مادة متغيرة الطور ومقطر مع [kg] 4.5 من مادة متغيرة الطور

أثناء إجراء التجارب تم قياس درجة حرارة الوسط الخارجي ودرجة حرارة الماء في كل من المقطر العادي والمقطر المزود بـ [kg] 4.5 من المادة متغيرة الطور. يبين الشكل (7) تغير درجات الحرارة هذه في يوم 2023/9/17، حيث نلاحظ أن درجة حرارة الماء ضمن المقطر الشمسي الصندوقي المزود بالمادة متغيرة الطور هي أقل بالمقارنة مع درجة حرارة الماء ضمن المقطر المرجعي وذلك حتى الساعة 1:00 تقريباً، وهذا يعود إلى امتصاص الحرارة وتخزينها ضمن المادة متغيرة الطور أثناء تغير طورها، أما بعد الساعة 1:00، نلاحظ ارتفاع درجة حرارة الماء ضمن المقطر المزود بالمادة متغيرة الطور حيث تصبح أعلى منها ضمن المقطر المرجعي وهذا يعود إلى بث الحرارة بعد انخفاض ذروة الشمس وتقدمها إلى الماء ضمن المقطر.



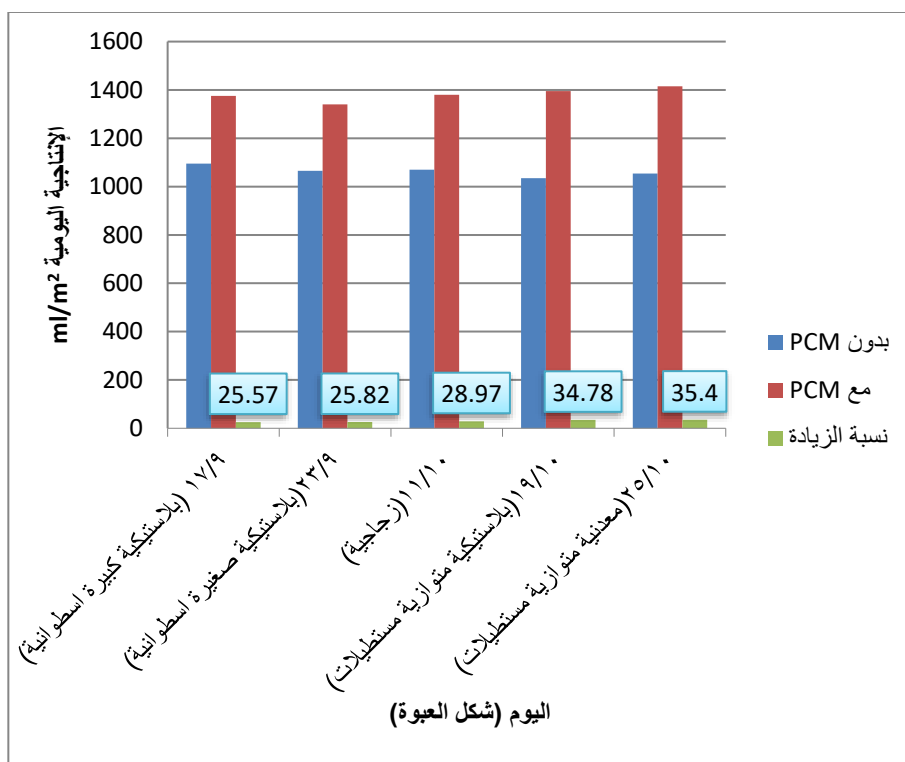
الشكل 7: تغير درجة حرارة الوسط الخارجي، ودرجة حرارة الماء في كل من المقطر المرجعي والمقطر المزود ب [4.5 kg] من المادة متغيرة الطور

تأثير شكل سطح عبوات حاوية مادة متغيرة الطور في أداء مقطر شمسي صندوقي:

أجريت التجارب في عدة أيام من أشهر السنة لعام 2023، حيث تم استخدام [4.5 kg] من مادة الشمع البارافيني كمادة متغيرة الطور. تم إجراء التجارب من أجل عبوات مختلفة شكل السطح حاوية على المادة متغيرة الطور ضمن المقطر الشمسي الصندوقي، تم قياس كمية الماء المقطر الناتج عن كلا المقطرين (إنتاجية المقطر) اليومية في جميع الحالات.

يبين الشكل (8) الإنتاجية اليومية للمقطر الصندوقي المزود بمادة متغيرة الطور من أجل عبوات مختلفة (بلاستيكية كبيرة وصغيرة اسطوانية، زجاجية، بلاستيكية ومعدنية ذات شكل متوازي مستطيلات) مقارنة مع المقطر المرجعي غير المزود بمادة متغيرة الطور، وكذلك نسبة الزيادة في الإنتاجية اليومية.

نلاحظ أن الإنتاجية اليومية تزداد عند إضافة المادة متغيرة الطور إلى المقطر، وتكون نسبة الزيادة مختلفة تبعاً للعبوات المستخدمة. حيث نجد أن أعلى نسبة زيادة في الإنتاجية اليومية تكون عند استخدام عبوات معدنية ذات شكل متوازي مستطيلات وقدرها 35.4% تحصل في 2023/10/25، حيث يعود السبب في ذلك إلى الإيصالية الحرارية للمعدن و شكل العبوات الذي يساعد في امتصاص الحرارة وتخزين أكبر كمية ممكنة من الطاقة الحرارية الواصلة من الإشعاع الشمسي في المادة متغيرة الطور وتقديمها لماء المقطر لاحقاً وبالتالي تبخير كمية أكبر من الماء.



الشكل 8: الإنتاجية اليومية ونسبة الزيادة لعبوات مختلفة الشكل من أجل 4.5kg من PCM لعدة أيام من أشهر عام 2023

الاستنتاجات والتوصيات:

١. تزداد الإنتاجية اليومية للمقطر الصندوقي الشمسي المزود بالمادة متغيرة الطور أكثر من إنتاجية المقطر العادي. وتزداد هذه الإنتاجية مع زيادة كمية المادة متغيرة الطور المستخدمة. ويعود ذلك كون المادة متغيرة الطور تعمل كخزان للطاقة الحرارية الكامنة يقوم بتقديم طاقته عند انخفاض شدة الإشعاع الشمسي. تصل نسبة الزيادة في الإنتاجية اليومية إلى 25.57% عند استخدام [kg] 4.5 من PCM ضمن عبوات بلاستيكية كبيرة اسطوانية الشكل.
٢. تكون في بداية النهار الإنتاجية الساعية للمقطر العادي أعلى منها للمقطر المزود بمادة متغيرة الطور، ولكن عند انخفاض شدة الإشعاع الشمسي تصبح الإنتاجية الساعية للمقطر المزود بالمادة متغيرة الطور أكبر وتستمر حتى كذلك حتى نهاية التجربة.
٣. تكون في بداية النهار درجة حرارة الماء في المقطر العادي أعلى منها للمقطر المزود بالمادة متغيرة الطور ولكن عند انخفاض شدة الإشعاع الشمسي تصبح درجة حرارة الماء في المقطر المزود بالمادة متغيرة الطور أعلى ويستمر ذلك حتى نهاية التجربة. وسبب ذلك هو طرح الحرارة من قبل المادة متغيرة الطور.
٤. تختلف نسبة الزيادة في الإنتاجية اليومية للمقطر المزود بمادة متغيرة الطور مقارنة بالمقطر المرجعي تبعاً لشكل العبوات الحاوية على المادة متغيرة الطور، وتصل أعلى نسبة في الزيادة 35.4% عند استخدام عبوات معدنية ذات شكل متوازي مستطيلات.
٥. متابعة البحث لإيجاد وسائل أخرى لزيادة الاستفادة من الطاقة الشمسية في تحسين أداء المقطرات الشمسية الصندوقية باستخدام مواد أخرى من المواد متغيرة الطور.
٦. البحث عن أشكال وطرق أخرى لوضع المادة متغيرة الطور ضمن المقطر.

المراجع:

- [1]Muftah AF, Alghoul MA, Fudholi A, Abdul-Majeed MM, Sopian K. Factors affectingbasin type solar still productivity: a detailed review. Renew Sustain Energy Rev2014;32:430–47.
- [2] Dsilva Winfred Rufuss D, Iniyan S, Suganthi L, Davies PA. Solarstills: a comprehensivereview of designs, performance and material advances. Renew SustainEnergy Rev 2016;63:464–96.
- [3]Singh RV, Kumar S, Hasan MM, Khan ME, Tiwari GN. Performance of a solar stillintegrated with evacuated tube collector in natural mode. Desalination2013;318:25–33.
- [4] Mousa Abu-Arabia,b, Mohammad Al-harahsheha, Hasan Mousaa,c, Zobaidah Alzghoula. Theoretical investigation of solar desalination with solar still having phase change material and connected to a solar collector, Desalination 448 (2018) 60–68.
- [5]El-Sebaili AA, Al-Ghamdi AA, Al-Hazmi FS, Faidah AS. Thermal performance of a single basin solar still with PCM as a storage medium. Appl Energy2009;86:1187–95.
- [6] Dashtban M, Tabrizi FF. Thermal analysis of a weir-type cascade solar still integrated with PCM storage. Desalination 2011;279:415–22.
- [7]AnasNaddour, Influence of Using Phase Change Material (PCM) on the Productivity of the Solar basin Still, Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (37) No. (3) 2015.
- [8] Mohamed S. Yousefa,b, Hamdy Hassana. Energetic and exergetic performance assessment of the inclusion of phase change

materials (PCM) in a solar distillation system, Energy Conversion and Management 179 (2019) 349–361.

تحسين أداء محطة توليد كهر وشمسية موصولة بالشبكة باستخدام متحكم PI معايير بخوارزمية النحل (دراسة محطة توليد حسياء)

الباحث: سامي محمد الحرح – كلية الهندسة الكهربائية والالكترونية – جامعة حلب

الملخص

رغم ما قدمته مصادر الطاقة الكهروشمسية من إيجابيات، كتقليل التلوث وتقديم طاقة مستدامة، إلا أنها تعاني من سلبية كبيرة، وهي التوافقيات الناتجة عنها عند وصلها مع الشبكة الكهربائية العامة، بسبب وجود المبدلات الاستطاعية، مما يتسبب بزيادة عامل التشوه الكلي وتشوه في شكل موجة الجهد في الشبكة الكهربائية. يقدم هذا المقال حلاً لمشكلة التوافقيات من خلال استخدام متحكم تناسبي تكاملي (PI (Proportional Integral) معايير باستخدام خوارزمية النحل للحصول على أداء أفضل ما يمكن، وتقليل عامل التشوه الكلي THD، مما ينعكس على أداء الشبكة الكهربائية وتقديم جهد كهربائي بأقل تشوه ممكن وأقل توافقيات.

تم في هذا البحث استخدام بيئة ماتلاب لنمذجة محطة توليد حسياء الكهروشمسية باستطاعة 1MW ومعرفة مقدار THD، ثم تطوير المنظومة باستخدام متحكم PI كلاسيكي، ثم استخدام متحكم PI معايير باستخدام خوارزمية النحل، ومقارنة أداء المنظومة ككل بثلاث حالات؛ الأولى: باستخدام مبدل بدون وجود متحكم والثانية استخدام مبدل بوجود متحكم PI والثالثة مبدل بوجود متحكم PI معايير باستخدام خوارزمية النحل، وقد بينت النتائج تفوق أداء الأخير على نظيره من خلال معايير: التشوه الكلي التوافقيات THD وشكل موجة الجهود الكهربائية ثلاثية الطور والاستطاعة المزودة للشبكة الكهربائية.

Improving the performance of an electric and solar power generation station connected to the grid using a PI controller calibrated with the bee algorithm (study of a Hasiya power station)

Abstract

Despite the positives, that solar energy sources offer. such as reducing pollution and providing sustainable energy, they suffer from a major negative, which is the harmonics resulting from them when connected to the public electrical grid, due to the presence of power converters, which causes an increase in the total distortion factor and a distortion in the shape of the voltage wave in Electrical network. This article presents a solution to the problem of harmonics using of a Proportional Integral PI (Proportional Integral) controller calibrated using the bee algorithm to obtain the best possible performance, and reduce the total distortion factor (THD). Which is reflected in the performance of the electrical network and provides electrical voltage with minimal distortion. Possible and less harmonics.

In this research, the MATLAB environment was used to model a 1MW solar energy generating station and find out the amount of THD. After that, the system is develop using a classic PI controller. Then use a calibrated PI controller using the bee algorithm, and compare the performance of the system as a whole in three cases; the first: using a inverter without a controller, the second using a inverter with a PI

controller, and the third using an inverter with a PI controller calibrated using the bee algorithm. The results showed that the performance of the latter was superior to its counterpart through criteria: total harmonic distortion (THD), three-phase electrical voltage waveform, and the power supplied to the electrical network.

Keywords: electric and solar power station, PI controller, bee algorithm.

1 - مقدمة

يزداد الطلب على استخدام الطاقة الكهرو شمسية لتوليد الطاقة الكهربائية، بشكل كبير للعديد من الأسباب التي تتمحور ضمن محورين؛ المحور الأول: استدامة الطاقة الكهرو شمسية ومجانياتها وكونها صديقة البيئة. المحور الثاني: انخفاض مصادر الطاقة الأحفورية وتوقع نفادها رغم سلبياتها المتعلقة بالتلوث نتيجة الانبعاثات الغازية الضارة بالهواء والنبات والانسان[4-1]. تتميز الطاقة الكهروشمسية عن الوقود الأحفوري التقليدي بوفرته واستدامتها وعدم إنتاجها للغازات الدفينة والملوثات الأخرى وخلوها من تأثيرها على البيئة بشكل سلبي، بالإضافة مزايا التكلفة والجدوى الاقتصادية لها، مما جعلها خيار جذاب لتلبية احتياجات الطاقة لتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري المحدود والمضر بالبيئة [5-6]. هذا الأسباب كلها أدت إلى وجود ما يسمى محطات التوليد الكهرو شمسية وأبرزها محطة حسياء في الجمهورية العربية السورية، رغم جميع الإيجابيات التي ذكرناها إلا أنها تعاني من سلبية كبيرة وهي التأثير السلبي على شبكة الكهرباء نتيجة وجود عدد كبير من المبدلات، الأمر الذي دفع العديد من الباحثين إلى البحث عن طرق ربط هذه المحطات مع الشبكة بحيث يكون الأثر السلبي أقل ما يمكن وتكون موجة الجهد الكهربائي بأقل تشوهات، واستخدام العديد من الاستراتيجيات وتطويرها باستخدام خوارزمية النحل[7]. في

هذا البحث تسلط الضوء على ربط محطة التوليد الكهرو شمسية حسياء مع الشبكة الكهربائية بحيث يتم تقليل الضياعات ومعامل التشوه الكلي وتقليل التشوه في شكل موجة الجهد الكهربائي من خلال تطوير المبدلات واخضاعها لعملية تحكم باستخدام متحكم PI ثم تطوير المبدل ومعايرة المتحكم PI باستخدام خوارزمية النحل الصناعية للحصول على أفضل أداء وعملية توليد كهرو شمسية.

2- هدف البحث وأهميته

يهدف البحث إلى وصل محطة التوليد الكهرو شمسية حسياء بالشبكة الكهربائية بأقل تشوه في شكل موجة الجهد، وتقليل الضياعات الناتجة عن عمليات التبديل الناجمة عن المبدلات التي تعتبر جزء أساسي لا يتجزأ من أنظمة الطاقة المتجددة المتنوعة الموصولة مع الشبكة الرئيسية ثلاثية الطور، وتبرز أهمية البحث بزيادة فعالية التوليد بتقليل الفاقد وزيادة الطاقة الفعلية المحقونة للشبكة الكهربائية، حيث تظهر أنظمة التحكم أداءً عاليًا للحصول على الاستطاعة العظمى المولدة بشكل فعال بأقل فقدان ناتج عن التبديل وتقليل التوافقيات الناتجة عن عمليات التبديل غير المتحكم بها. علاوة على ذلك، تحسين جودة الطاقة الكهربائية المولدة من المحطة الكهرو شمسية والمحقونة إلى الشبكة الكهربائية، من خلال تقليل معامل التشوه التوافقي الكلي (THD) Totally harmonic distortion. يركز هذا البحث على تحسين أداء محطة التوليد الكهرو شمسية وكفاءتها بشكل عام من خلال تحسين أداء المبدل باستخدام متحكم PI لتحديد نبضات القدح بدلاً من إعطائها بشكل اعتيادي بالاعتماد على زوايا الطور فقط. ثم تطوير المتحكم PI باستخدام خوارزمية النحل لتعيير بارامترات حلقات التحكم PI بشكل أمثل بالاعتماد على معامل THD بحيث يكون أقل ما يمكن، مما يعني بالنتيجة الحصول على طاقة كهربائية بأقل فقدان تبديل وأقل توافقيات وأقل تشوه في شكل موجة الجهد، مما يؤدي لاستغلال الطاقة الضائعة وتحولها من طاقة ضائعة إلى طاقة فعالة، مما يزيد من فعالية الاستطاعة المولدة من المحطة الكهرو شمسية،

كما تستهدف الدراسة جعل الطاقة المولدة إلى الشبكة الكهربائية عالية الجودة بما يضمن الحد الأدنى من محتوى التشوه التوافقي THD في إشارات الجهد.

3- خطوات البحث

تم انجاز هذا البحث على خمس خطوات رئيسية كما يلي:

الخطوة الأولى: نمذجة محطة التوليد الكهرو شمسية حسياء باستطاعة 1MW

الخطوة الثانية: دراسة نموذج المبدل وآلية عمله

الخطوة الثالثة: دراسة تطوير المبدل باستخدام متحكم PI.

الخطوة الرابعة: دراسة تطوير معايرة حلقات التحكم PI باستخدام خوارزمية النحل.

الخطوة الخامسة: بناء النماذج المدروسة والمطورة باستخدام بيئة ماتلاب وإيجاد النتائج.

4- نمذجة محطة توليد الكهرو شمسية حسياء

تبلغ إجمالي استطاعة التوليد في محطة حسياء 3.2MW تقريباً وتتكون المحطة

من مجموعتين:

1- الأولى: معدل استطاعتها الفعلية 1MW موصولة مع 1972 لوح شمسي، استطاعة

اللوح 545W و 18 مبدل استطاعة كل مبدل 50KW و 3 مبدل استطاعة كل منها 60KW

2- الثانية: معدل استطاعتها الفعلية 2.2MW موصولة مع 1972 لوح شمسي، استطاعة

اللوح 545W و 1816 لوح استطاعة 555W و 18 مبدل استطاعة كل مبدل 100KW و 3

مبدل استطاعة كل منها 60KW

سيقتصر هذا البحث على دراسة المجموعة الأولى كحالة دراسية، يمكن من خلالها التعميم

على المجموعة الثانية، وذلك لأن المجموعتين من ناحية البرمجة متماثلتين مع اختلاف في

قيم البارامترات والاستطاعات.

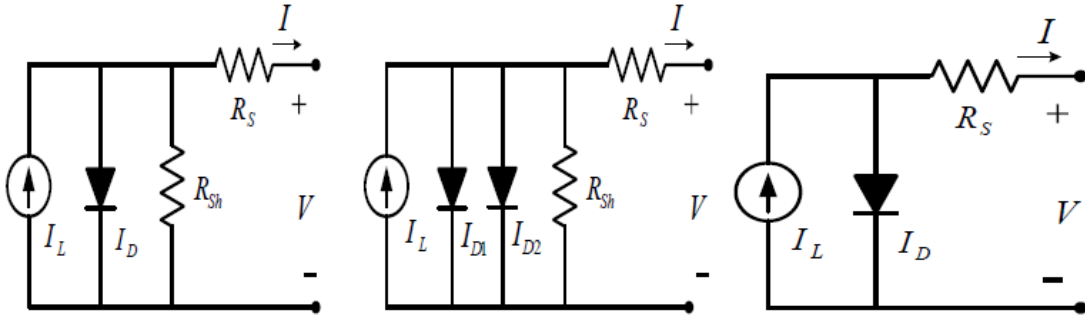
تحسين أداء محطة توليد كهر وشمسية موصولة بالشبكة باستخدام متحكم PI معايير بخوارزمية النحل
(دراسة محطة توليد حسياء)

يتكون كل لوحة من عدد من الخلايا الكهرو شمسية تبعاً لاستطاعة اللوح واستطاعة الخلية الواحدة، يبين الشكل (1) نموذج الدارة المكافئة للخلية الكهرو شمسية الواحدة وذلك ثلاث حالات كالآتي:

الحالة الأولى: نموذج الديود الواحد والذي يتكون من منبع تيار يعطي تيار ضوئي I_L متصل على التفرع مع ديود تياره I_D ومع مقاومة القصر R_{Sh} موصولين مع المقاومة التسلسلية R_s

الحالة الثانية: نموذج الديودين وهو مماثل لنموذج الديود الواحد مع إضافة ديود ثاني على التفرع فيصبح لدينا تيارين؛ تيار الديود الأول I_{D1} وتيار الديود الثاني I_{D2}

الحالة الثالثة: النموذج المبسط ويتكون من ديود واحد مع اعتبار أن مقاومة القصر لا نهائية ومنه تكون وصلتها مفتوحة [8-9].



الشكل (1): نماذج الدارة المكافئة للوح الشمسي لثلاث حالات: 1- نموذج الديود الواحد -2 نموذج ديودين 3- نموذج المبسط.

تعطى مميزة الجهد - تيار الخاصة بنموذج اللوحة بالمعادلة التالية:

$$I = I_L - I_D = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + IR_s}{\alpha}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

حيث:

I_L : تيار الضوء ويقدر بالأمبير A ويعطى هذا التيار بالعلاقة (2)

I_0 : تيار الإشباع ويقدر بالأمبير A

I : تيار الحمل ويقدر بالأمبير A

V : جهد الخرج ويقدر بالفولط

R_s : المقاومة التسلسلية وتقدر بالأوم Ω

α : عامل تزامن الجهد الحراري ويقدر بالفولط

$$I_L = \frac{\Phi}{\Phi_{ref}} [I_{L,ref} - \mu_{I,SC} (T_C - T_{C,ref})] \quad (2)$$

حيث: Φ : الإشعاع الضوئي ويقدر W/m^2

Φ_{ref} : الإشعاع الضوئي المرجعي ويقدر W/m^2 وفي دراستنا تم أخذ قيمته $1000W/m^2$

$I_{L,ref}$: تيار الضوء عند الشروط المرجعية ($1000W/m^2$ و $25^\circ C$)

$\mu_{I,SC}$: المعامل الحراري لتيار دائرة القصر ($A/^\circ C$)

T_C : حرارة الخلية الكهرو شمسية وتقدر ($^\circ C$)

$T_{C,ref}$: حرارة الخلية المرجعية الكهرو شمسية وتقدر ($25^\circ C$)

كلاً من المعامل الحراري لتيار دائرة القصر $\mu_{I,SC}$ وتيار الضوء عند الشروط المرجعية $I_{L,ref}$

موجودة على مواصفات الخلية الكهرو شمسية. وباعتبار أن التغير الحراري ليس موضوع

دراستنا وهذا التغير سيؤثر على الاستطاعة المولدة ونحن بصدد دراسة تأثير عمليات التبديل

عند وصل المبدلة مع الشبكة الكهربائية، مهما كانت الاستطاعة فقد قمنا بتثبيت الاستطاعة

بإلغاء التغيرات الحرارية من خلال أخذ $T_C = T_{C,ref}$ ومنه التيار الضوئي سيعطى بالعلاقة:

$$I_L = \frac{\Phi}{\Phi_{ref}} I_{L,ref} \quad (3)$$

ومنه تمت نمذجة محطة توليد الكهرو شمسية حسياء بمجموعة الأولى من خلال المعادلتين

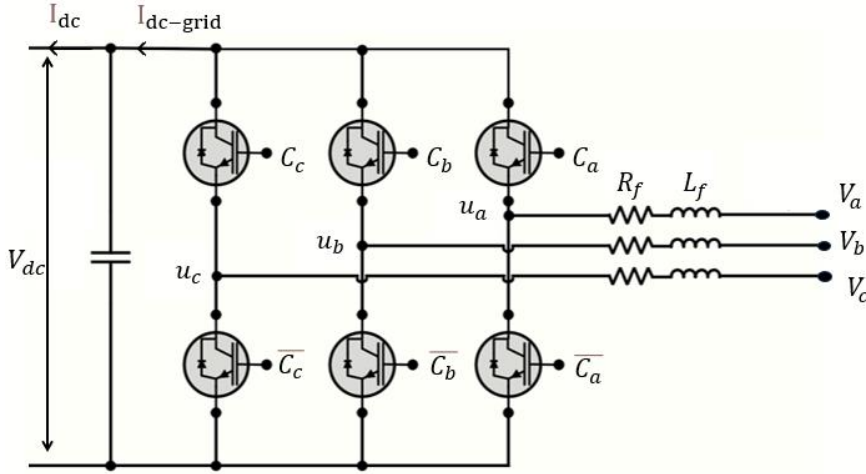
(1) و (3) على اعتبار أن التيار الضوئي المرجعي للخلية الكهرو شمسية $2A$ والإشعاع

الشمسي المرجعي $1000W/m^2$ واعتبار اللوح مكون من 11 مجموعة كل مجموعة تحوي

على خمس خلايا استطاعة الخلية $10W$ تقريباً.

5- نموذج المبدل وآلية عمله

يتم استخدام المبدل لتحويل الجهد المستمر الناتج عن الألواح الكهرو شمسية إلى جهد ثلاثي الطور، ويتيح نقل الطاقة إلى الشبكة. يبين الشكل (2) نموذج المبدل ويمكن كتابة النموذج الرياضي له كما يلي:



الشكل (2) بنية المبدلة المتصلة مع الشبكة

$$V_a - U_a = R_f i_a + L_f \frac{d(i_a)}{dt}$$

$$V_b - U_b = R_f i_b + L_f \frac{d(i_b)}{dt} \quad (4)$$

$$V_c - U_c = R_f i_c + L_f \frac{d(i_c)}{dt}$$

$$\begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} = \frac{V_{dc}}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_a \\ C_b \\ C_c \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\frac{dV_{dc}}{dt} = \frac{1}{C} (I_{dc-grid} - I_{dc}) \quad (6)$$

حيث: V_a, V_b, V_c : جهود الشبكة، C_a, C_b, C_c : نبضات القدرح المطبقة على قواعد المفاتيح العلوية، u_a, u_b, u_c : الجهود على الأعمدة الثلاثة للقالبة، $I_{dc-grid}$: التيار المستمر من جهة الشبكة، I_{dc} : التيار المستمر من جهة وصلة التيار المستمر، V_{dc} : الجهد على طرفي وصلة التيار المستمر.

يعطى النموذج الديناميكي للمبدل في جملة محاور ثنائية d,q كما يلي [10-11]:

$$V_d = u_d + R_f i_d + L_f \frac{di_d}{dt} - \omega_s L_f i_q \quad (7)$$

$$V_q = u_q + R_f i_q + L_f \frac{di_q}{dt} + \omega_s L_f i_d \quad (8)$$

أما علاقات الاستطاعة فتعطى كما يلي:

$$P_{grid} = V_d I_d + V_q I_q \quad (9)$$

$$Q_{grid} = -V_d I_q + V_q I_d \quad (10)$$

6- تطوير المبدل باستخدام متحكم PI:

تم تصميم متحكم تناسبي تكاملي (Proportional Integral) PI من خلال حساب إشارة الخطأ للجهد E_v بين جهد الوصلة المستمرة V_{DC} وجهد المستمر المرجعي V_{ref} وفق العلاقة:

$$E_v = V_{DC} - V_{ref} \quad (11)$$

ثم الاعتماد على إشارة الخطأ لحساب قيمة شعاع التحكم وهو عبارة عن قيمة التيار المستمر المرجعي الخاص بالمبدلة الذي تم توليده بناء على شعاع خطأ الجهد وفق المعادلة:

$$I_{DC_ref} = E_v k_p + k_I \int E_v dt \quad (12)$$

حيث:

k_p : الربح التناسبي و k_I : الربح التكاملي.

يتم حساب زاوية جهد الطور من جهود الشبكة الكهربائية، ويتم تحويل التيارات الثلاثية I_{abc} إلى التيارات الثنائية (I_d و I_q)، واستخدام متحكم PI لكل منهما [12] وفق المعادلتين:

$$d_m = k_{pd} (I_d - I_{d_ref}) + k_{Id} \int (I_d - I_{d_ref}) dt \quad (13)$$

$$q_m = k_{pq} (I_q - I_{q_ref}) + k_{Iq} \int (I_q - I_{q_ref}) dt \quad (14)$$

حيث:

k_{pd} : الربح التناسبي لتيار الوصلة d و k_{Id} : الربح التكاملي لتيار الوصلة d.

k_{pq} : الربح التناسبي لتيار الوصلة q و k_{Iq} : الربح التكاملي لتيار الوصلة q.

d_m و q_m : مركبتي إشارة التعديل m في الاحداثيات الثنائية.

يتم تحويل المركبتان d_m و q_m إلى الاحداثيات الثلاثية لتوليد المركبة m التي تمثل الجهد المرجعي لتوليد نبضات القذح للمبدل.

7- تطوير المبدل باستخدام خوارزمية النحل لمعايرة المتحكم PI

تعتبر خوارزمية النحل من أبرز خوارزميات الأمثلة والمعايرة الأمثلية وقد استخدمت لمعايرة متحكمات PID للتحكم بمحركات الوقود [13]، كما تم استخدامها في العديد من العمليات والأبحاث الهندسية المتعلقة بنظم القدرة الكهربائية [14].

كما هو مبين بالشكل (3) تم استخدام خوارزمية النحل لمعايرة ثوابت التحكم PI وهما ثابت التناسبي وثابت التكاملي لثلاث حلقات تحكم المعطاة بالمعادلات (12) و(13) و(14) وهي الآتي:

1- k_p : الربح التناسبي

2- k_I : الربح التكاملي.

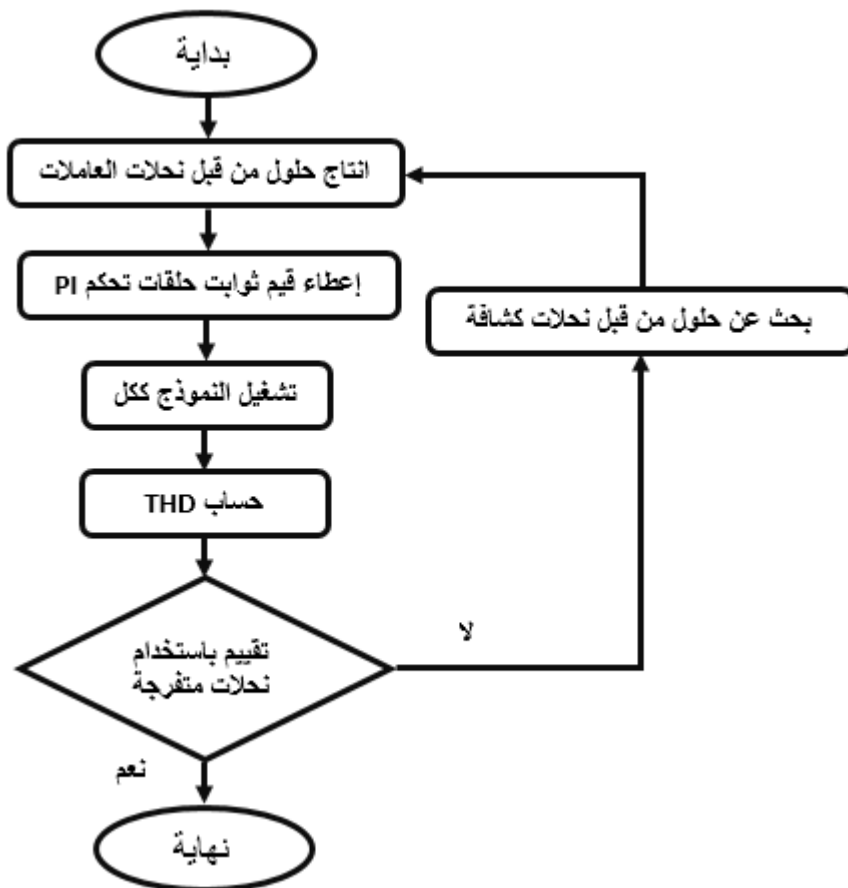
3- k_{pd} : الربح التناسبي لتيار الوصلة d

4- k_{Id} : الربح التكاملي لتيار الوصلة d

5- k_{pq} : الربح التناسبي لتيار الوصلة q

6- k_{Iq} : الربح التكاملي. لتيار الوصلة q .

يتم تقسيم مجتمع النحل إلى ثلاث مجتمعات؛ النحلات العاملة التي تقوم بإنتاج وتوليد الحلول، النحلات الكشافة التي تبحث عن حلول جديدة والنحلات المتفرجة التي تقوم بتقييم الحلول، يتم بالبداية توليد قيم من قبل النحلات العاملة واعطائها للثوابت الستة السابقة، ثم تشغيل نموذج محطة التوليد الكهرو شمسي الموصول مع الشبكة لحساب معامل THD وتقييمه من قبل النحلات المتفرجة فإذا لم يتم التوصل إلى



الشكل (3) خوارزمية النحل لمعايرة ثوابت حلقات تحكم PI في المبدل الكهرو شمسي قيمة جيدة أو أقل ما يمكن يتم الایعاز للنحلّات الكشافة للبحث عن حلول جديدة التي بدورها تعطي النحلّات العاملة البارامترات الجديدة لإنتاج حلول جديدة وهكذا حتى يتم التوصل إلى أقل قيمة THD والذي يعطي بالعلاقة:

$$THD = \frac{I_H}{I_F} \quad [15]$$

$$I_H = \sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2} \quad [16]$$

حيث:

I_H : مطال التوافقيات والمعطى بالعلاقة (16).

I_n : القيمة الفعالة للتيار التوافقي n

I_F : القيمة الفعالة للتيار الأساسي.

8- النتائج والمناقشة

يوضح الشكل (4) نموذج المحاكاة المصمم في بيئة Matlab\Simulink والذي يتضمن سبعة أجزاء تم تصميمها بناء على المعادلات المبينة في الفقرات السابقة وهذه الأجزاء كالآتي:

1- تصميم الألواح الشمسية الخاصة بمحطة توليد حسياء الكهروشمسية

بإستطاعة 1MW وذلك عند خل إشعاع شمسي قدره $1000Wm^2$

2- المبدل التقليدي بدون وجود أي متحكم: دخل الجهد المستمر الناتج من مجموعة الألواح وخرجه جهود طور الثلاثة.

3- المبدل بوجود متحكم PI كلاسيكي.

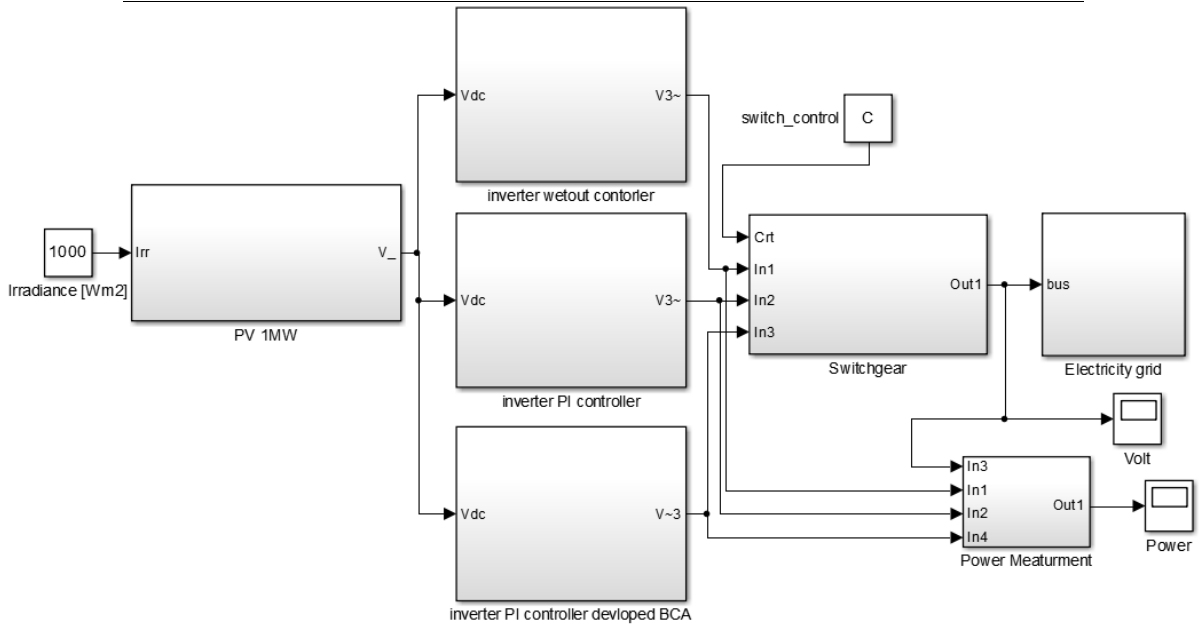
4- المبدل بوجود متحكم PI معايير باستخدام خوارزمية النحل BCA.

5- وحدات التبديل Switchgear من أجل التبديل بين المبدلات الثلاثة.

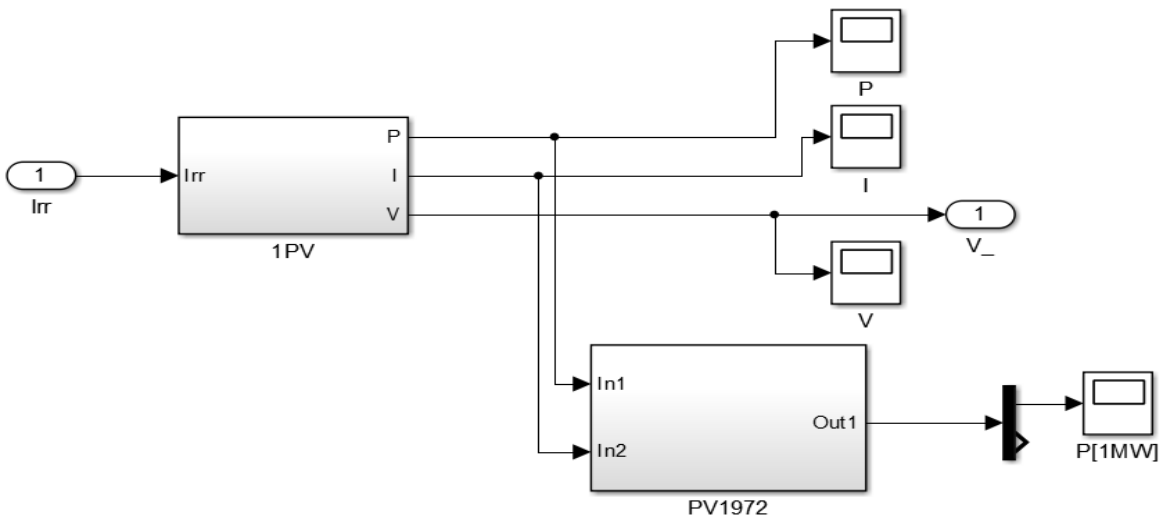
6- الشبكة الكهربائية Electricity Grid

7- وحدات القياس الاستطاعية.

إن عملية تصميم الألواح الكهروشمسية الخاصة بمحطة توليد حسياء تمت كما في الشكل (5) على مرحلتين وهما؛ مرحلة تصميم اللوح الواحد، ثم نمذجة المحطة بشكل كامل، بحيث تشمل عدد الألواح والاستطاعة 1MW، أما نمذجة اللوح فقد تمت من خلال المعادلات (1) و(2) و(3)، يبين الشكل (6) نموذج المحاكاة الخاص بالأخيرة منها. يبين الشكلان (7) و(8) نموذج محاكاة المبدل بدون وجود وبوجود متحكمات PI على الترتيب.

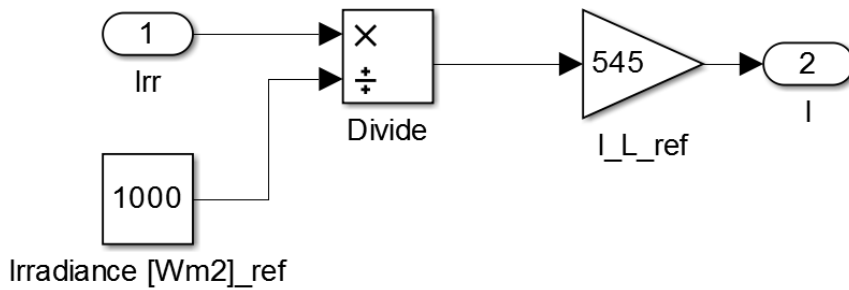


الشكل (4): نموذج المحاكاة لكافة آليات عمل المبدلات الخاصة بمحطة التوليد الكهروضوئية
حسياء لمجموعة استطاعة 1MW (حالة مبدل بدون تحكم، حالة مبدل مع متحكم PI، حالة
مبدل مع متحكم PI مدعم بخوارزمية النحل).

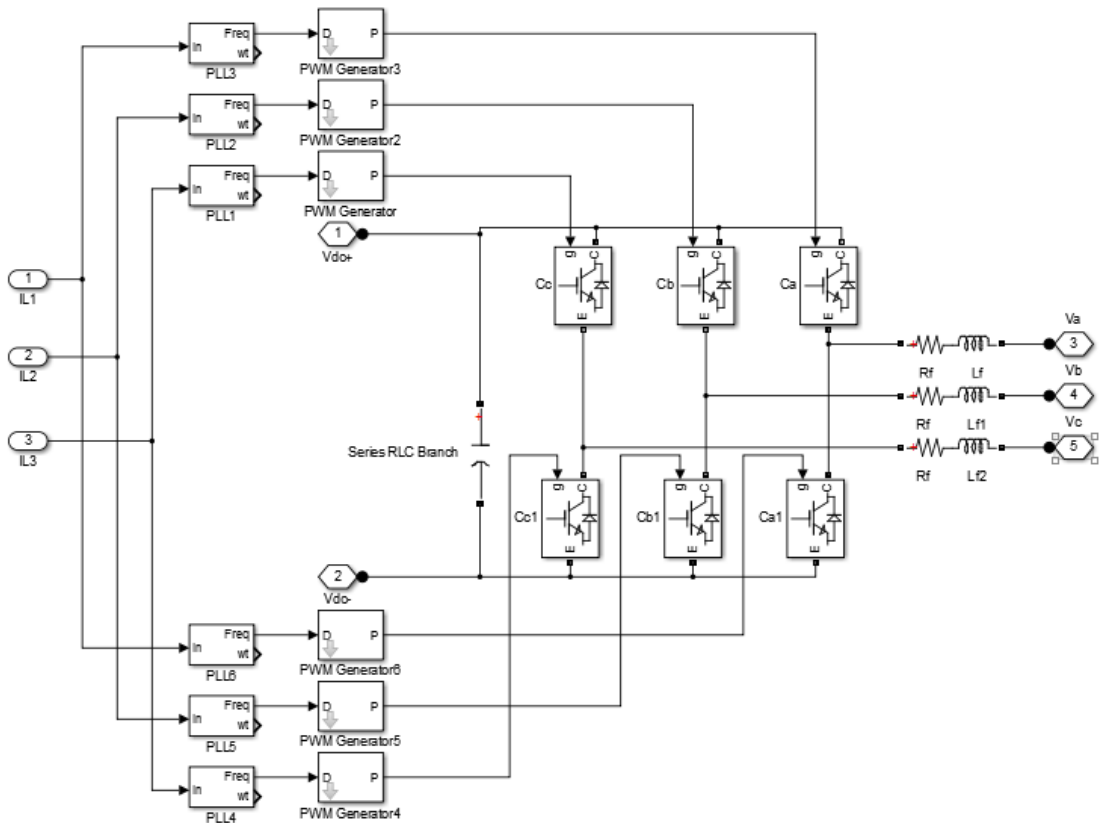


الشكل (5): نموذج المحاكاة محطة التوليد الكهروضوئية حسياء لمجموعة استطاعة 1MW
المكونة من 1972 لوح شمسي.

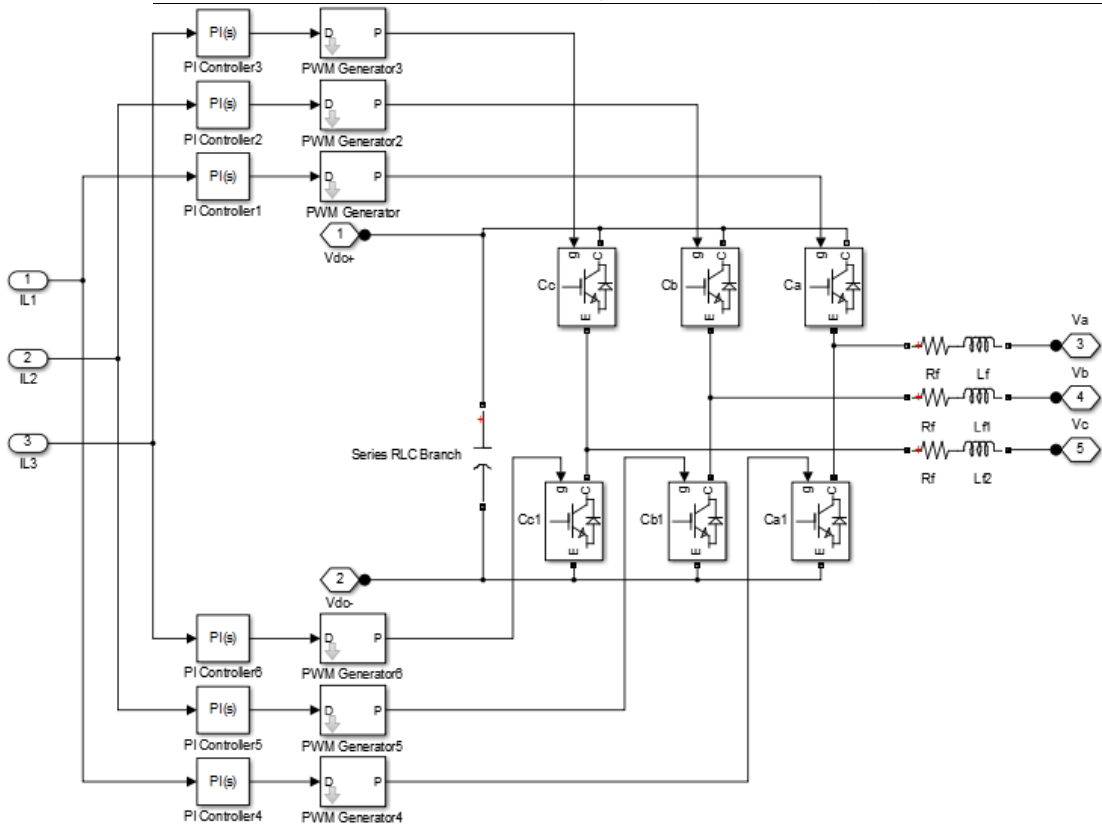
تحسين أداء محطة توليد كهر وشمسية موصولة بالشبكة باستخدام متحكم PI معايير بخوارزمية النحل
(دراسة محطة توليد حسياء)



الشكل (6): نموذج المحاكاة جزء من الخلية الكهروضوئية الخاص بالتيار الضوئي.

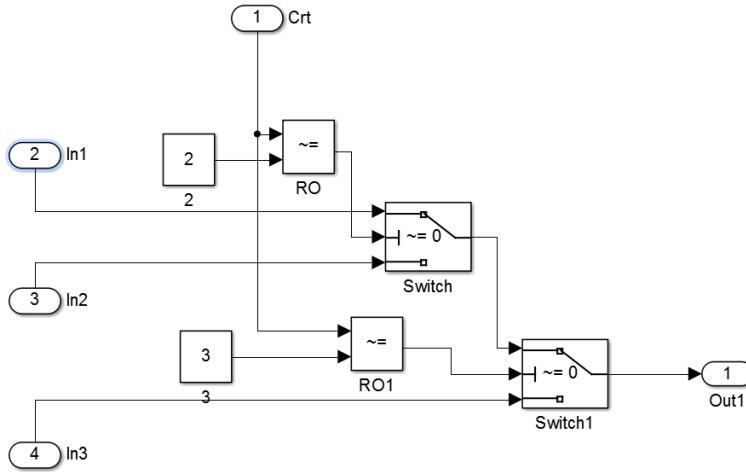


الشكل (7): نموذج المحاكاة الخاص بالمبدل بدون وجود متحكمات PI.



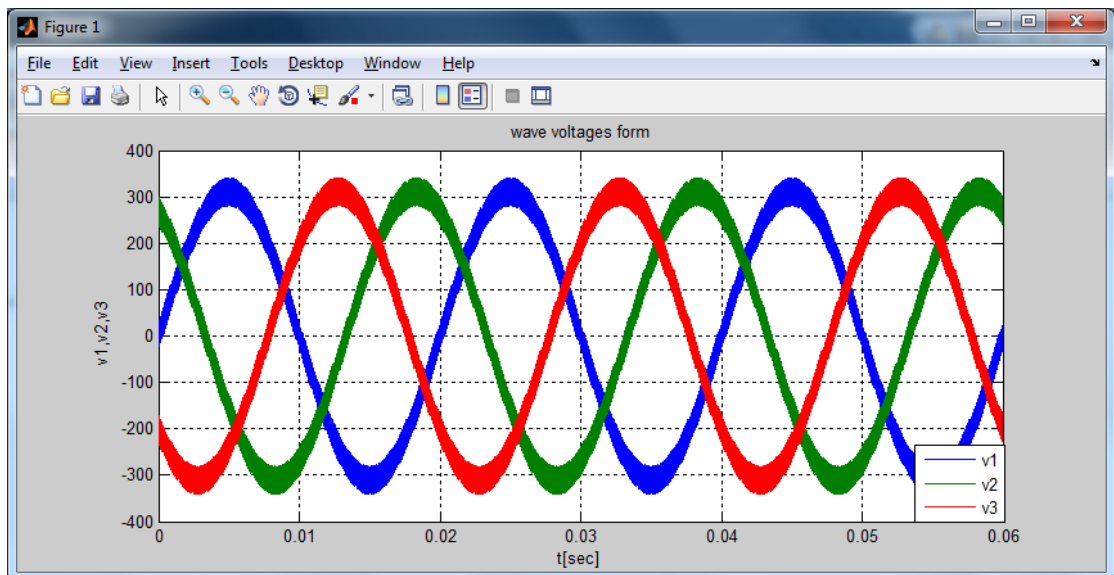
الشكل (8): نموذج المحاكاة الخاص بالمبدل بوجود متحكمات PI.

إن وحدة التبديل switchgear يتم التحكم بها عن طريق المتحول C الذي يأخذ ثلاث قيم $C=1$ لوصل المحطة الكهروشمسية مع الشبكة عن طريق المبدل inverter without controller والقيمة $C=2$ لوصلها عن طريق المبدل المزود بمتحكم PI والقيمة $C=3$ لوصلها عن طريق المبدل المزود بمتحكم PI معايير وفق خوارزمية النحل BCA، ويبين الشكل (9) البنية التصميمية لوحدة التبديل Switchgear.

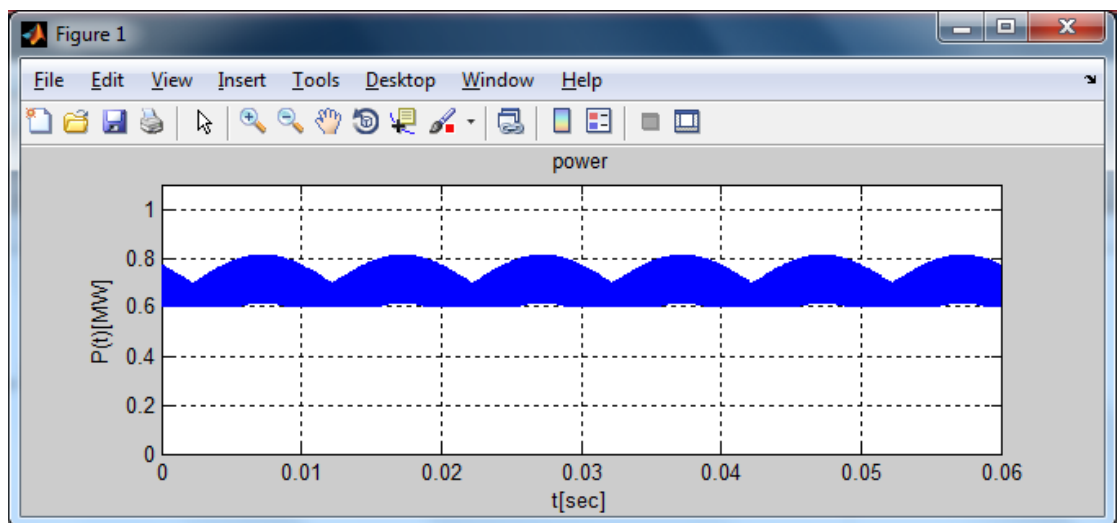


الشكل (9): البنية التصميمية لوحدة التبديل Switchgear.

أن قيمة الاشعاع الضوئي 1000w/m^2 ، أما متحول التحكم C فيأخذ القيم 1 أو 2 أو 3 ليقوم بوصل المحطة الكهروشمسية للشبكة الكهربائية عن طريق مبدل بدون متحكم أو مع متحكم PI كلاسيكي أو متحكم PI مدعم بخوارزمية النحل على الترتيب، يبين الشكل (10) شكل الجهود ثلاثية الطور $V1$ و $V2$ و $V3$ الموصولة إلى الشبكة عن طريق المبدل العادي بدون وجود متحكم والاستطاعة المقدمة من محطة الألواح الكهروشمسية حسياء.



أ- شكل موجة الجهد ثلاثية الطور

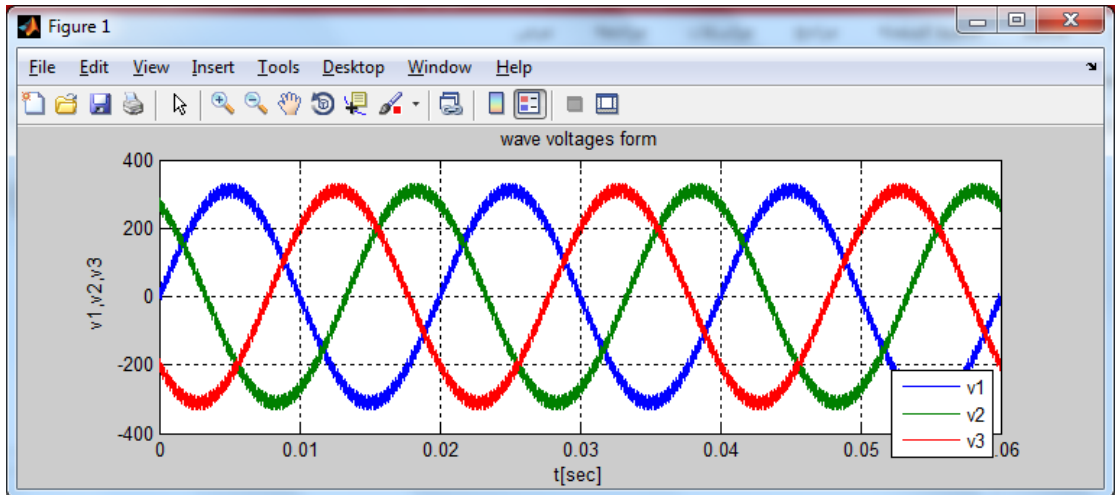


ب - قيمة الاستطاعة الفعلية

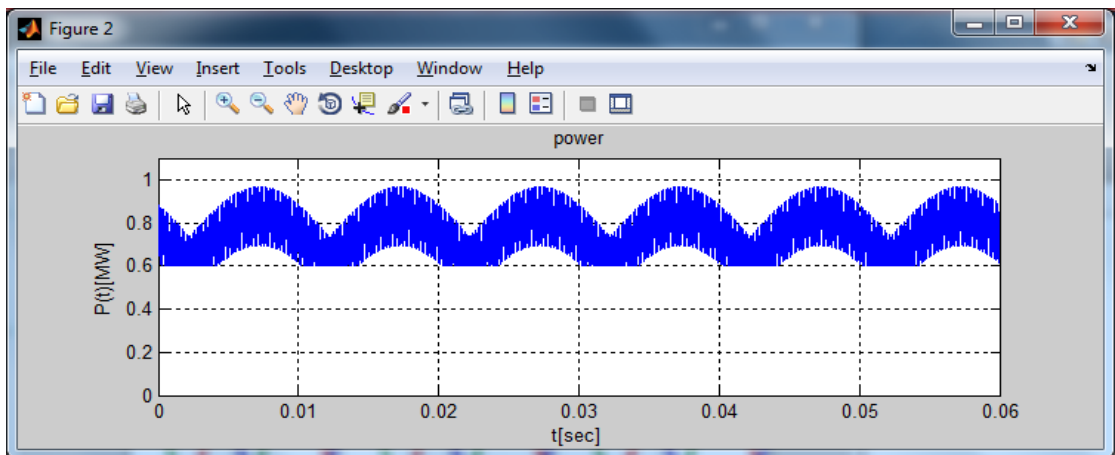
الشكل (10): نتائج عمل نموذج المحاكاة الخاص بمحطة التوليد الكهروضوئية حسياء لمجموعة استطاعة 1MW حالة مبدل بدون تحكم.

تحسين أداء محطة توليد كهر وشمسية موصولة بالشبكة باستخدام متحكم PI معايير بخوارزمية النحل (دراسة محطة توليد حسياء)

كما يبين الشكل (11) الجهود والاستطاعة عند وصل المحطة عن طريق مبدل يحوي متحكم PI وذلك عند $C=2$ ، في حين يبين الشكل (12) ذات الأمر باستخدام متحكم PI معايير بخوارزمية النحل وذلك عند $C=3$.

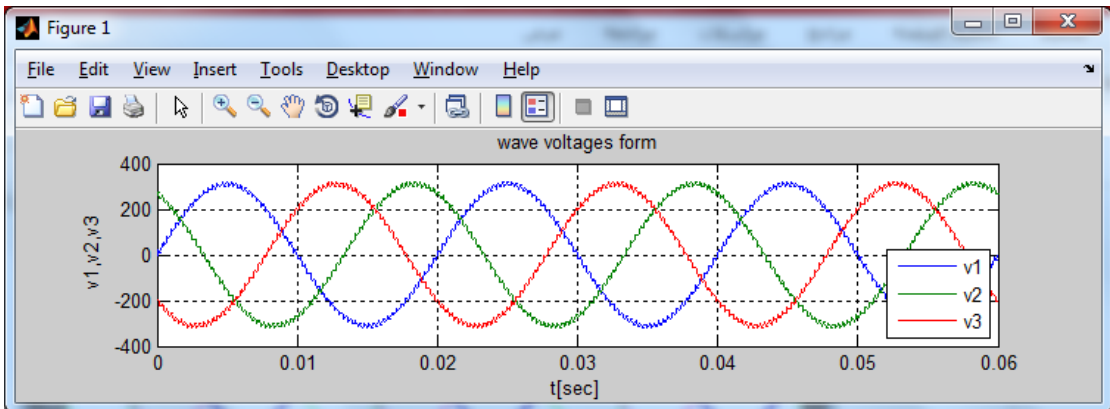


أ- شكل موجة الجهد ثلاثية الطور

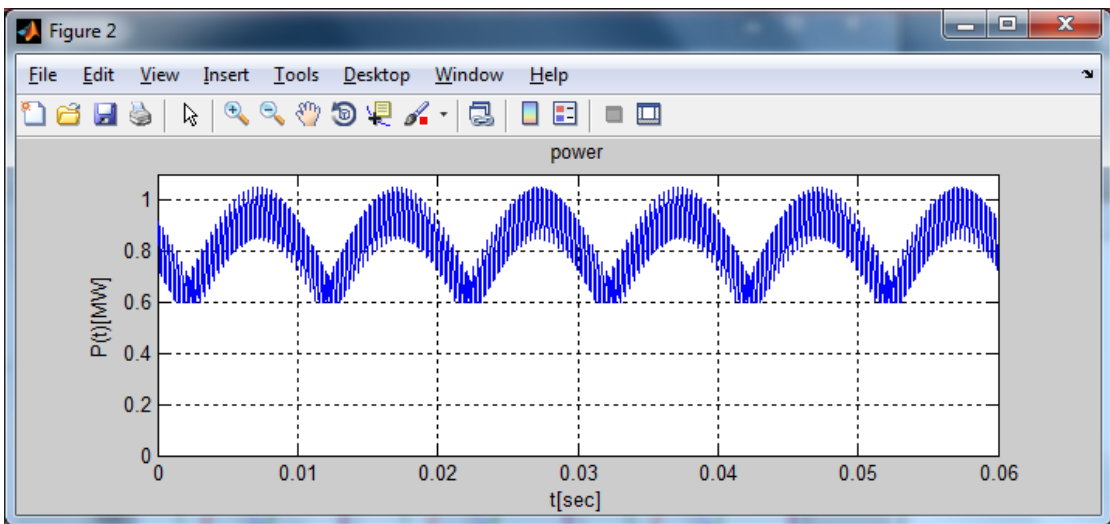


ب - قيمة الاستطاعة الفعلية

الشكل (11): نتائج عمل نموذج المحاكاة الخاص بمحطة التوليد الكهروشمسية حسياء لمجموعة استطاعة 1MW حالة مبدل مع متحكم PI.



أ- شكل موجة الجهد ثلاثية الطور



ب - قيمة الاستطاعة الفعلية

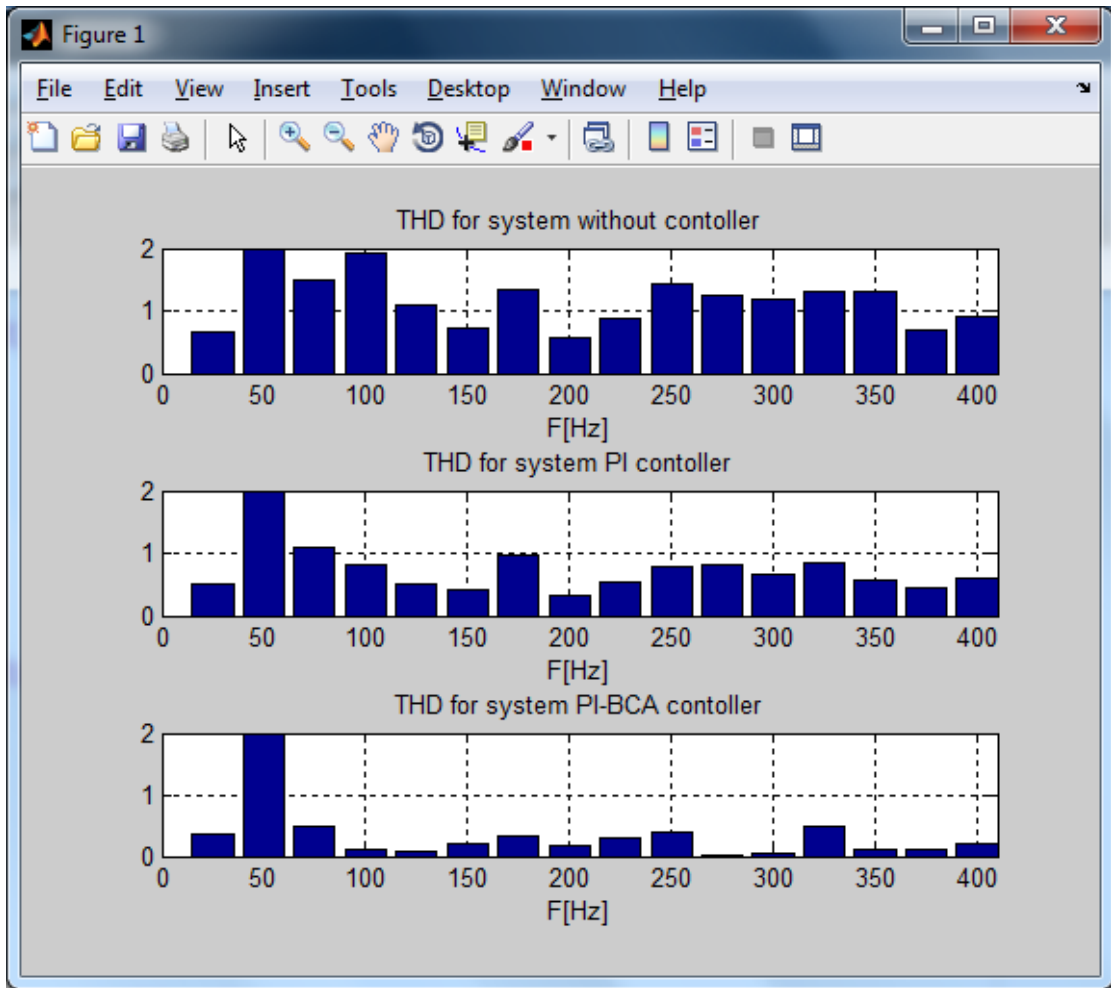
الشكل (12): نتائج عمل نموذج المحاكاة الخاص بمحطة التوليد الكهروشمسية حسياء لمجموعة استطاعة 1MW حالة مبدل مع متحكم PI مدعم بخوارزمية النحل.

عند مقارنة الأشكال الثلاثة (10) و(11) و(12) يتضح تفوق المبدل الذي

يحتوي على متحكم PI معايير بخوارزمية النحل على المبدل الذي يحتوي على متحكم

PI كلاسيكي وعلى المبدل العادي. حيث كانت الجهود الثلاثة V1 و V2 و V3 أقل تشوه في شكل موجتها وكانت الاستطاعة الكلية المقدمة للشبكة أعلى وأقل تشوه وساهم المتحكم المدعم بخوارزمية النحل بزيادة نسبة الاستطاعة بمقدار 23.1% عن المبدل العادي وبنسبة 9.7% عن المبدل المدعم بمتحكم PI كلاسيكي من خلال تقليل الضياعات الناتجة عن عمليات التبديل للمبدلات الاستطاعية لكافة المحطة الكهروشمسية. تبين النتائج المعروضة في الأشكال من (10) إلى (12) فعالية نظام التحكم بالمبدلة المتصلة مع الشبكة المدعم بمتحكم PI معايير بخوارزمية النحل والذي اختصارا نطلق عليه الاختصار PI-BCA، حيث تم تنظيم الجهود ثلاثية الطور، كما يلاحظ أن مقدار الاهتزاز يكون أقل لدى استخدام المتحكم PI-BCA وذلك لأنه يساهم من التقليل من الإشارات الكهربائية التي تمثل دخل المبدلة المتصلة بالشبكة. وذات الأمر يمكن ملاحظته عند مقارنة الشكل (12-أ) مع الشكلين (10-أ) و (11-أ)، كما يتضح أيضا من مقارنة الشكل (12-ب) مع الشكلين (10-ب) و (11-ب) أن المتحكم PI-BCA يساهم بزيادة الاستطاعة المقدمة للشبكة.

كما تم حساب قيمة معامل التشوه التوافقي الكلي THD لكافة الحالات الثلاثة (مبدل عادي، مبدل مع متحكم PI كلاسيكي، مبدل مع متحكم PI-BCA) كما هو موضح في الشكل (13)، الذي يبين تفوق المبدل ذو متحكم PI-BCA عند وصل المحطة الكهرو شمسية مع الشبكة عن طريقه ومنه عند استخدام المتحكم PI-BCA تكون قيمة معامل التشوه التوافقي الكلي أقل منها عند استخدام المبدل بمتحكم PI أو بدون متحكم.



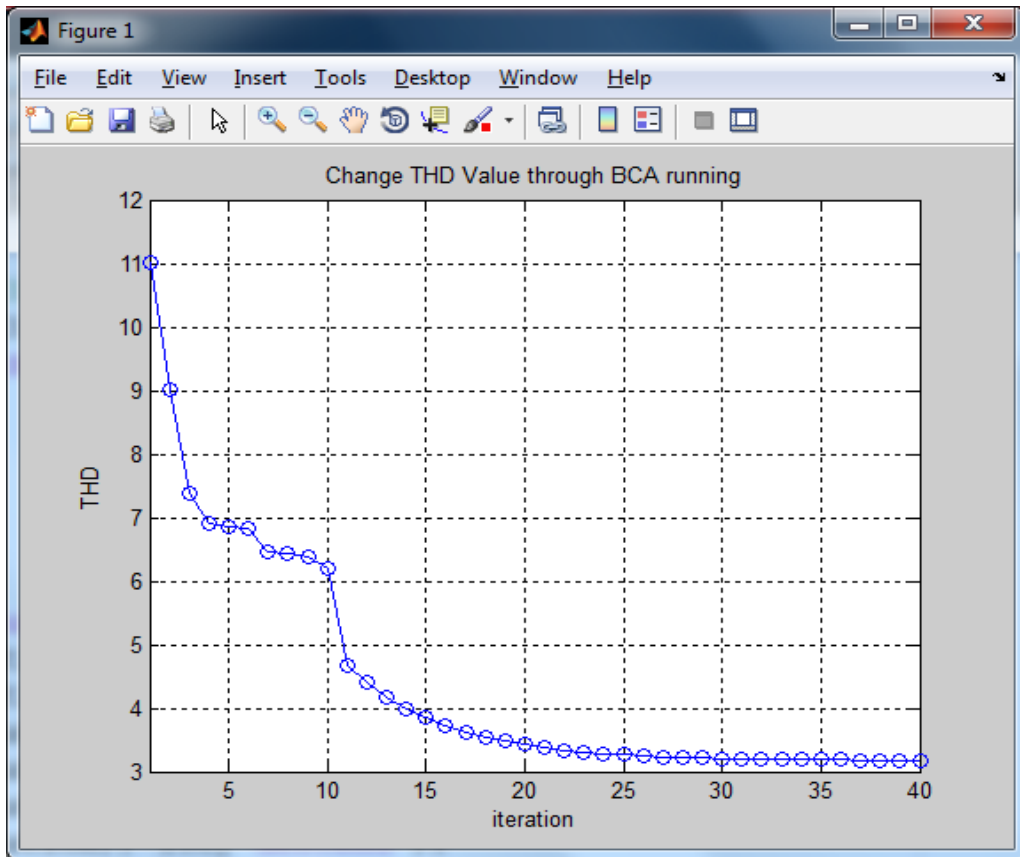
الشكل (13): قيمة THD لمحطة التوليد الكهروشمسية حسياء لمجموعة استطاعة 1MW بالحالات: مبدل بدون متحكم، مبدل مع PI، مبدل مع متحكم PI مدعم بخوارزمية النحل.

من الواضح من خلال النتائج المعروضة في الأشكال من (10) إلى (13) تفوق المبدل ذو متحكم PI-BCA المقترح بتقليل التشوه في شكل موجة الجهد وتقليل قيمة معامل التشوه التوافقي الكلي، مما يساهم بتعزيز جودة الطاقة المنقولة للشبكة، حيث

تحسين أداء محطة توليد كهر وشمسية موصولة بالشبكة باستخدام متحكم PI معايير بخوارزمية النحل
(دراسة محطة توليد حسياء)

بلغت قيمة معامل التشوه الكلي، $THD = 11.0072\%$ و $THD = 6.9859\%$ و $THD = 3.1754\%$ لكل من المبدل العادي والمبدل ذو متحكم PI كلاسيكي ومبدل ذو متحكم PI-BCA على الترتيب. ويبين الشكل (14) آلية كيفية تأثير خوارزمية النحل على قيمة التشوه الكلي THD من خلال تغير قيم ثوابت المتحكمات PI الخاصة بالمبدل المستخدم لربط محطة الطاقة الكهرو شمسية مع الشبكة العامة، حيث كانت أقل قيمة للتشوه $THD = 3.1754\%$ وذلك عند قيم الثوابت:

$$\begin{array}{lll} k_p = 5.0776 & k_i = 44.1123 & k_{pd} = 4.6623 \\ k_{id} = 55.8329 & k_{pq} = 5.1562 & k_{iq} = 51.5008 \end{array}$$



الشكل (14): منحنى التقارب لخوارزمية النحل يبين تغير قيمة THD وفق تغير قيم ثوابت المتحكمات PI المدعومة بخوارزمية النحل.

كما يبين الجدول (1) مقارنة نتائج الطريقة المستخدمة في هذا البحث مع أبحاث أخرى ذات صلة استخدمت طرق ومنهجيات أخرى لربط محطة التوليد الكهرو شمسية مع الشبكة الكهربائية، حيث يتبين من الجدول تفوق الطريقة المستخدمة في هذا البحث على مثيلاتها من الطرق الأخرى وأعطت أقل قيمة THD.

الجدول (1): مقارنة نتائج البحث مع أبحاث ذات صلة.

البحث	الطريقة المستخدمة لربط المنظومة الكهرو شمسية بالشبكة	قيمة THD
[12]	منهجية الخطوة الخلفية	5 %
[15]	أمثلة الحكم والتأسيس	6 %
[16]	متحكمات PIC	8 %
الدراسة الحالية	متحكمات PI معايرة بخوارزمية النحل	3.1754 %

7- الخلاصة والاستنتاجات

تم في هذا البحث دراسة ومحاكاة محطة توليد كهروشمسية حسياء متصلة بالشبكة الكهربائية ثلاثية الطور باستطاعة توليد 1MW، حيث تم استخدام ثلاث مبدلات هما: المبدل العادي المتصل مع الألواح الكهروشمسية والمبدل ذو متحكم PI والمبدل ذو متحكم PI-BCA لوصل محطة التوليد مع الشبكة للتحكم بسرمان الاستطاعة الفعلية وآلية القدر والتبديل لتوليد جهود ثلاثية الطور بأقل تشوه في شكل موجة الجهود المزودة للشبكة الكهربائية وفق منهجية التحكم PI المعايرة بخوارزمية النحل. كما تم تحسين أداء البديل على مرحلتين؛ الأول بتزويدها بمتحكم PI والثانية بتطوير أداء هذا المتحكم من خلال معايرته بخوارزمية النحل، مما زاد فعالية عملية التبديل عند وصل المحطة الكهروشمسية مع الشبكة الكهربائية بالحصول على شكل موجة جهود كهربائية أقل تشوه لشكل الموجة وبمعامل تشوه THD أقل ما يمكن مما

ساهم في زيادة الاستطاعة الفعلية المحقونة للشبكة الكهربائية من خلال تقليل الضياعات وتحويلها الطاقة بأعلى قدر إلى الشبكة بدلاً من هدرها نتيجة عمليات التبديل غير الأمثلية.

أوضحت نتائج المحاكاة تفوق المبدل ذو المتحكم PI-BCA في قدرته على تحقيق كفاءة أكبر، حيث كانت الاستطاعة المستخلصة من ألواح محطة التوليد الكهروشمسية أكبر مقارنة مع استخدام المبدل بحالتين؛ الأولى بدون متحكم والثانية بوجود متحكم PI، وكذلك كانت قدرة المبدل المزود بمتحكم PI-BCA على تقليل الاهتزازات في الإشارات الكهربائية أعلى، مما ساهم بتقليل قيمة معامل التشوه التوافقي الكلي في تيارات الشبكة ثلاثية الطور الأمر الذي انعكس إيجاباً على الاستطاعة المزودة للشبكة عن طريق محطة التوليد الكهروشمسية.

المراجع

- [1] Sahri, Y., Tamalouzt, S., Belaid, S. L., Bajaj, M., Ghoneim, S. S., Zawbaa, H. M., & Kamel, S. (2023). Performance improvement of hybrid system based DFIG-wind/PV/batteries connected to DC and AC grid by applying intelligent control. *Energy Reports*, 9, 2027-2043.
- [2] Ghosh, S. K., Roy, T. K., Pramanik, M. A. H., & Mahmud, M. A. (2021, February). LMI-based optimal linear quadratic controller design for multiple solar pv units connected to distribution networks. In *2021 IEEE Texas Power and Energy Conference (TPEC)* (pp. 1-6). IEEE.
- [3] Shah, A. A., Han, X., Armghan, H., & Almani, A. A. (2021). A nonlinear integral backstepping controller to regulate the voltage and frequency of an islanded microgrid inverter. *Electronics*, 10(6), 660.
- [4] Metry, M., & Balog, R. S. (2020). An adaptive model predictive controller for current sensorless MPPT in PV systems. *IEEE Open Journal of Power Electronics*, 1, 445-455.
- [5] Akarne, Y., Essadki, A., Nasser, T., & Laghridat, H. (2023). Modelling and control of a grid-connected AC microgrid with the integration of an electric vehicle. *Clean Energy*, 7(4), 707-720.
- [6] Aboudrar, I., El Hani, S., Heyine, M. S., & Naseri, N. (2019). Dynamic modeling and robust control by ADRC of grid-connected hybrid PV-wind energy conversion system. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019, 1-19.
- [7] Karthikeyan Sathasivam, Ilhan Garip, Saeed Hassan Saeed, Yaser Yais, Ali Ihsan Alanssari, Ali Adhab Hussein, **A Novel MPPT Method Based on PSO and ABC Algorithms for Solar Cell**, Electric Power Components and Systems: Vol 52, 2024.
- [8] Carlos Cárdenas-Bravo, Rodrigo Barraza, Antonio Sánchez-Squella, Patricio Valdivia-Lefort, Federico Castillo-Burns, Estimation of Single-Diode Photovoltaic Model Using the Differential Evolution Algorithm with Adaptive Boundaries, *Energies* 2021, 14(13), 3925; <https://doi.org/10.3390/en14133925>

- [9] Chandrakant D. Bhos, Javed Sayyad, and Paresh Nasikkar, Power enhancement using improved maximum power point tracking for solar photovoltaic systems under partial shading, *Clean Energy*, 2022, Vol. 6, No. 6, 810–816
- [10] Aboudrar, I., El Hani, S., Heyine, M. S., & Naseri, N. (2019). Dynamic modeling and robust control by ADRC of grid-connected hybrid PV-wind energy conversion system. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019, 1-19.
- [11] Tahiri, F. E., Chikh, K., El Afia, A., Lamterkati, J., & Khafallah, M. (2017, November). Simulation and experimental validation of VOC and hysteresis control strategies of unit power factor three-phase PWM rectifier. In *2017 International Conference on Electrical and Information Technologies (ICEIT)* (pp. 1-6). IEEE.
- [12] Fatim-Zahra Zaghar, Zineb Hekss, Rafi Mohamed, A. Ridah, Backstepping approach-based control for three phase grid connected photovoltaic system, IFAC-PapersOnLine · January 2022.
- [13] Zhuo Hu, Weihao Guo, Kege Zhou, Lei Wang, Fu Wang & Jinliang Yuan, **Optimization of PID control parameters for marine dual-fuel engine using improved particle swarm algorithm**, nature, (2024) 14:12681 | <https://doi.org/10.1038/s41598-024-63253-y>
- [14] Simeon Ebahe Okachi¹, Eko James Akpama, LOAD FLOW ANALYSIS OF 132KV CALABAR TRANSMISSION SYSTEM FOR IMPROVED PERFORMANCE USING GLOBAL BEST ARTIFICIAL BEE COLONY (GABC) ALGORITHM, April 2024
- [15] T. E. K. Zidane et al.: Grid-Connected Solar PV Power Plants Optimization: A Review, IEEE, 2023, *Digital Object Identifier* 10.1109/ACCESS.2023.3299815
- [16] Harsh J. Patel, Mehul Rana, Abhishek Nikam, Kaival Patel, Parth Patel, **On-Grid Solar Traction System**, University of the Cumberland, Project Management, Williamsburg, Kentucky, USA, 2024, **DOI:** 10.36348/sjce.2024.v08i01.001