

مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 46 . العدد 8

1445 هـ . 2024 م

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

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

مدير مكتب مجلة جامعة البعث
د. إبراهيم عبد الرحمن

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

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

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

. هاتف / فاكس : 963 31 2138071 ++

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

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

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

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

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (الآداب - الاقتصاد - التربية - الحقوق - السياحة - التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):
- عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).

1. مقدمة.
2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
3. أهداف البحث و أسئلته.
4. فرضيات البحث و حدوده.
5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
7. منهج البحث و إجراءاته.
8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
9. نتائج البحث.
10. مقترحات البحث إن وجدت.
11. قائمة المصادر والمراجع.

7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:

- أ- قياس الورق 25×17.5 B5.
 - ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 - يمين 2.5 - يسار 2.5 سم
 - ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8
 - ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20
- . كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي . العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.

- ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.
- 8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- 9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.
- 10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

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

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

آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

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

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

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

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

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

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

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

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

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

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
44-11	د. جهاد بدور د. هيثم حسن م. علاء أديب الغدا	دراسة لتحسين مردود نظام تدفئة أرضية بإضافة مواد متغيرة الطور
80-45	م. ربيع الكردي د. كمال السلوم د. وسيم رمضان	استخدام تفسير النماذج في تحسين اكتشاف خطاب الكراهية في شبكات التواصل الاجتماعي
116-81	م. زينب العلي د. سامر ربيع د. روزبة مندو	نمذجة ومحاكاة اضطرابات جودة التغذية الكهربائية في شبكة التوزيع الكهربائية التي تغذي أحمالاً اضطرابية عالية
140-117	عبد اللطيف الحسن د. ماهر الابراهيم د. تغريد محلا	تأثير البلزمة الضوئية على القساوة السطحية لبوليمر البولي استر غير المشبع
164-141	م. مجد طنوس د. مهند رجب د. وسيم رمضان	استخدام خوارزمية TSHD والتعلم العميق لاستخراج المعلومات النصية (حالة دراسية : السير الذاتية)

دراسة لتحسين مردود نظام تدفئة أرضية بإضافة

مواد متغيرة الطور

* د. جهاد بدور

** د. هيثم حسن

*** م. علاء أديب الغدا

الملخص

يهدف البحث على تحسين عمل نظام تدفئة ارضي باستخدام مواد متغيرة الطور وذلك بإضافة المواد المتغيرة الطور تحت أنابيب التدفئة حيث تعمل على زيادة العطالة الحرارية للمبنى عن طريق حفظ الطاقة بشكل كامنة ضمن المواد المتغيرة الطور وإعادة طرحها ضمن الحيز عند توقف النظام عن العمل ونتج لدينا وجود تحسين حقيقي للراحة الحرارية معبرا عنه بعدد الساعات التي لا يصل عندها النظام لدرجة الحرارة المعيارية بنسب أعظمها 41.36% وتقليل لاستهلاك الطاقة اللازمة لتشغيل النظام وصل إلى 18.45%

الكلمات المفتاحية: المواد المتغيرة الطور، التدفئة الأرضية، الراحة الحرارية، توفير الطاقة

*أستاذ في قسم هندسة القوى الميكانيكية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين. اللاذقية، سورية.

** أستاذ في قسم هندسة القوى الميكانيكية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين. اللاذقية، سورية.

***طالب ماجستير في قسم هندسة القوى الميكانيكية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين. اللاذقية، سورية.

A Study to Improve the Performance of a Floor Heating System Using Phase Change Materials

Jihad Baddour*

Haitham Hasan**

Alaa Adeeb Alghada***

Abstract

This paper aims to improve the performance of a floor heating system by using phase change material placed under the heating pipes, which can improve the thermal mass of the building by storing energy as latent energy in these phase change materials which would be again sent into the space when the heating system stops working, the research resulted in real improvement to thermal comfort presented as number of hours where the set temperature is not reached by the system with the maximum improvement being 41.36%, and also resulting in lowering the fuel consumption by a maximum of 18.45%.

Keywords: Phase change material (PCM), Floor heating, Thermal comfort, Energy Savings

*Professor, Department of Mechanical Power - Faculty of Mechanical Engineering - Tishreen University. Lattakia, Syria.

**Professor, Department of Mechanical Power - Faculty of Mechanical Engineering - Tishreen University. Lattakia, Syria.

***Master's student, Department of Mechanical Power - Faculty of Mechanical Engineering - Tishreen University. Lattakia, Syria

مقدمة:

يعتبر استهلاك الطاقة من أهم المشاكل التي يواجهها العالم في عصرنا هذا ولا شك أن التدفئة والتكييف تحتل قسماً لا بأس به من استهلاك الطاقة الكلي في المباني، ومن هذا المنطلق قمنا بهذا البحث لتقييم إحدى الطرق الحيادية (Passive) لتقليل استهلاك الطاقة وفي ذات الوقت تحسين الراحة الحرارية للسكان، وقد اعتمدنا في هذا البحث على بعض الدراسات المرجعية

قامت *Lindsay Fialkov* بنمذجة طابق سكني كندي تقليدي ضمن برنامج *DesignBuilder* مؤلف من شقتين في كل من جهتي الشرق والغرب حيث تم وضع *PCM* تحت أرضية شقة واحدة من كل جهة ودراسة تأثير إضافة هذه المواد تحت الظروف الخارجية الموافقة لمطقة تورونتو، تم استخدام ثلاثة أنواع من مواد *PCM* التجارية (*M91/Q21, M51/Q21, M27/Q21*)

كما وجد كل من *JinChul Park & TaeWon Kim* أن ولكل 70mm من سماكة الأرضية نحتاج لـ 10mm من *PCM* تقريبا وتكون درجة الانصهار المثالية له بين $35 - 45^\circ\text{C}$ على اعتبار أن درجة حرارة الماء الخارج من المرجل 5°C حيث قام بوضع مادة الـ *PCM* تحت الأنابيب وبالتالي قلل من ضياعات الحرارة باتجاه الأرض.

بينما قام الدكتور رامي جورج وآخرون بدراسة تأثير المواد المتغيرة الطور *RT27 & C16* بسماكات مختلفة وقام باعتماد 3cm وتشمل الدراسة استخدام المواد بالجدران فقط أو بالجدران والأسقف معا وتأخذ بعين الاعتبار كون السقف داخلياً أو خارجياً.

حيث أثبتت الدراسات المرجعية السابقة إمكانية تقليل الحمل الحراري للتدفئة في الأبنية عند استخدام المواد المتغيرة الطور، وبالتالي تقليل استهلاك الطاقة اللازمة للتدفئة كما حقق استخدام المواد المتغيرة الطور فعالية كبيرة في تحسين ظروف الراحة الحرارية الداخلية وإمكانية استخدامها للتحكم بها.

أهمية البحث وأهدافه:

يعتبر نظام التدفئة الأرضية من أفضل أنظمة التدفئة من حيث جودة التدفئة فهو يوزع التدفئة بشكل متساوي في كل الغرفة، ويقوم بالتدفئة بشكل متدرج، وبدون ان يسبب تيارات هوائية قوية مزعجة أو ضجيج، ولكن عيبه يتمثل في كلفته التشغيلية العالية، ومنه تكمن أهمية البحث في الوصول إلى نظام تدفئة حديث قادر على العمل وتأمين الراحة الحرارية وبأقل كلفة تشغيل ممكنة وذلك ليكون بديلاً حقيقياً عن التدفئة التقليدية المستخدمة حالياً، لتحقيق هذا الهدف ناقش في هذا البحث تأثير عدة أنواع من الـ *PCM* على عمل هذا النظام من ناحيتي الراحة الحرارية والكلفة التشغيلية.

طرائق البحث ومواده:

أثبتت الدراسات المرجعية السابقة امكانية تقليل الحمل الحراري للتدفئة في الأبنية عند استخدام المواد المتغيرة الطور وبالتالي تقليل استهلاك الطاقة اللازمة للتدفئة، كما بينت أيضاً أن استخدام المواد المتغيرة الطور حقق فعالية كبيرة في تحسين ظروف الراحة الحرارية.

ناقشت الدراسات أيضاً توفر مجموعة من المواد المتغيرة الطور المختلفة المؤهلة للاستخدام في مجال تدفئة الأبنية والملائمة لخصوصية البناء بسماكات مختلفة وذات درجات حرارة انصهار مناسبة حيث تم استخدام ثلاثة أنواع من مواد *PCM* التجارية (*M91/Q21, M51/Q21, M27/Q21*)، ومواد طبيعية كالبرافين (*C16 - C18 ...*)

كما أخذت بعين الاعتبار مكان توضع هذه المواد وطريقة إدخالها في بنية الأرضية حيث تبين ان أفضل مكان لتوضعها هو بين الأنابيب والعاكس الحراري.

بناءً على ما سبق اعتمدنا في بحثنا دراسة تأثير عمل بعض هذه المواد على نظام تدفئة أرضي من حيث تحقيق شروط الراحة الحرارية وتوفير استهلاك الطاقة.

سيتم العمل باستخدام برنامج *Designbuilder* لإنشاء نموذج متكامل للبناء وإجراء المحاكاة وهو برنامج يحتوي على عدة أدوات لمحاكاة وتقييم أداء الأبنية وأنظمتها

المختلفة ويشمل أنظمة التدفئة والتكييف، انبعاثات الكربون، الإشعاع الشمسي، وكلفة التشغيل.

سندرس حالة العمل لنظام التدفئة مع وبدون PCM بإجراء النمذجة للأشهر (كانون الثاني، كانون الأول، شباط) وستستخدم المواد التالي في الدراسة:

- M27/Q21
- M51/Q21 وهي تملك خواص مطابقة للمادة الأولى ولكنها تختلف بالسماكة والاسم التجاري.
- Paraffin C16 بسماكة 100 mm & 200 mm

الجدول (1): مواصفات المواد المتغيرة الطور المستخدمة في البحث

Paraffin C16 200 mm	Paraffin C16 100 mm	M51/Q21 208 mm	M27/Q21 112 mm	PCM
17-19	17-19	21	21	درجة الانصهار(°C)
236	236	210	210	الحرارة الكامنة (kJ/kg)
780	780	2300	2300	كثافة الطور الصلب (kg/m ³)
780	780	2200	2200	كثافة الطور السائل (kg/m ³)
0.17	0.17	1.8	1.8	معامل التوصيل الحراري للطور الصلب (W/m. K)
0.17	0.17	1.5	1.5	معامل التوصيل الحراري للطور السائل (W/m. K)
1.65	1.65	2	2	السعة الحرارية للطور الصلب (kJ/kg. K)
2.1	2.1	2	2	السعة الحرارية للطور السائل (kJ/kg. K)

سنقوم بحساب التوفير في استهلاك الطاقة لكل من المواد في أشهر الدراسة الثلاثة، كما سنقيم أثر المواد المتغيرة الطور على تحقيق شروط الراحة الحرارية. نظام التدفئة المستخدم:

يقسم النظام إلى: دائرة تغذية ودائرة حمل

1. دائرة التغذية تشمل المرجل المضخة والترموستات

2. دائرة الحمل تشمل: الغرف المدفأة والعناصر الطرفية (في حالتنا هي شبكة

الأنابيب)

وفصل بين الدائرتين المجمع الذي تتوزع منه الأنابيب إلى الغرف

بينما حساب الأحمال فيقوم به البرنامج تلقائياً فور تحديد الحمل وبارامترات العمل.

نحدد درجة حرارة الماء عند $45C^{\circ}$

توصيف البناء المدروس:

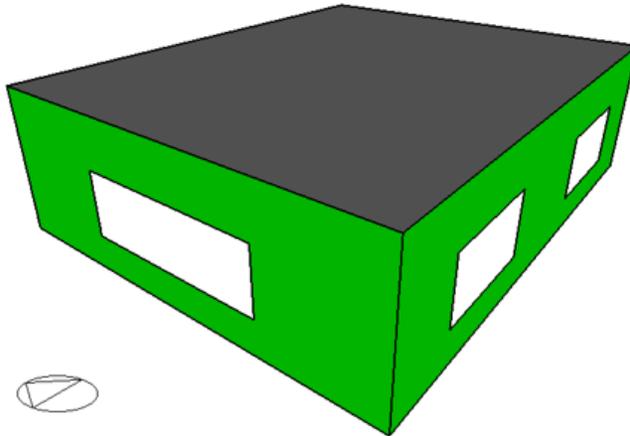
البناء عبارة عن غرفة واحدة مساحتها $100 m^2$ كما هو موضح بالشكل.

تم ادخال بيانات الموقع (اللادقية) إلى البرنامج.

حيث اخترنا درجة حرارة معيارية للتدفئة $20C^{\circ}$ وتم اعتبار جميع السطوح الخارجية

معزولة بفراغ هوائي وتم وضع مادة الـ *PCM* تحت الأنابيب.

GROUND FLOOR (PARAFFIN C 16) 200mm
Project flat roof
Medium weight WITH AIR GAP
Project external glazing

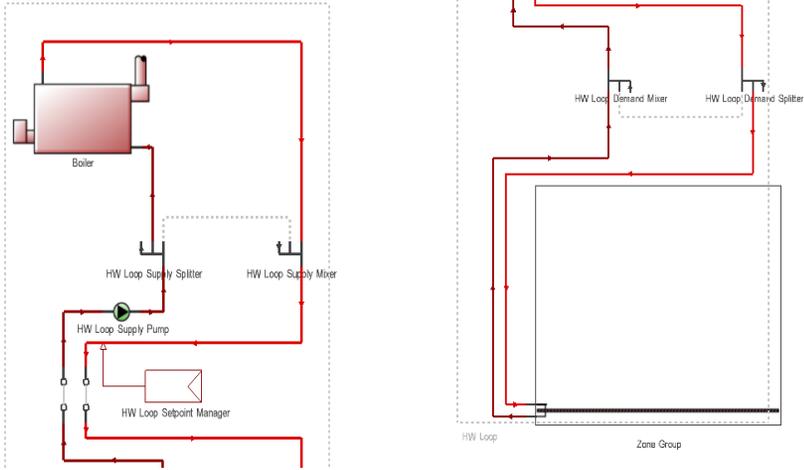


الشكل (1): تفصيل الغرفة كما يظهر ضمن البرنامج

قيم معامل انتقال الحرارة كما هو مبين في الجدول (2):

الجدول (2): معاملات انتقال الحرارة لعناصر البناء المختلفة

الأبواب	النوافذ	السقف	الأرضيات	الجدران الخارجية	معامل انتقال الحرارة ($W/m^2 \cdot K$)
2.823	5.894	0.25	No PCM	1.509	
			M27-Q21	0.529	
			M51-Q21	0.514	
			C 16 100 mm	0.501	
			C 16 200 mm	0.513	
			C 16 200 mm	0.498	



الشكل (2): دارتي التغذية والحمل كما تم تعريفهما في البرنامج

المعادلات المستخدمة ونمذجة تخزين الطاقة الكامنة في المواد المتغيرة الطور:

يستخدم البرنامج محرك (ENERGYPLUS) المطور من وزارة الطاقة الأمريكية لمحاكاة الأعمال الميكانيكية وانتقال الحرارة.

وضمن هذا المحرك يوجد عدة خيارات للطرق التي من الممكن استخدامها لمحاكاة انتقال الحرارة.

لنمذجة انتقال الحرارة ضمن الأرضية للنظام المدروس فإننا نحتاج لمعادلة يمكنها أن تعبر عن الخواص المميزة للمواد المتغيرة الطور ولذلك نقوم باختيار طريقة الفروق المنتهية أو

(Finite Difference method) حيث تعمل هذه الطريقة على تقسيم المجال المستمر إلى عقد نقطية وبالتالي تحوّل المعادلة التفاضلية لانتقال الحرارة إلى مجموعة معادلات خطية كما وردت في المرجع الهندسي للبرنامج [9]:

$$C_p \rho \Delta x \frac{T_i^{j+1} - T_i^j}{\Delta t} = \left(k_W \frac{T_{i+1}^{j+1} - T_i^{j+1}}{\Delta x} + k_E \frac{T_{i-1}^{j+1} - T_i^{j+1}}{\Delta x} \right)$$

i : رقم العقدة الحالية Δt : زمن الخطوة ρ : كثافة المادة للطبقة بين العقتين

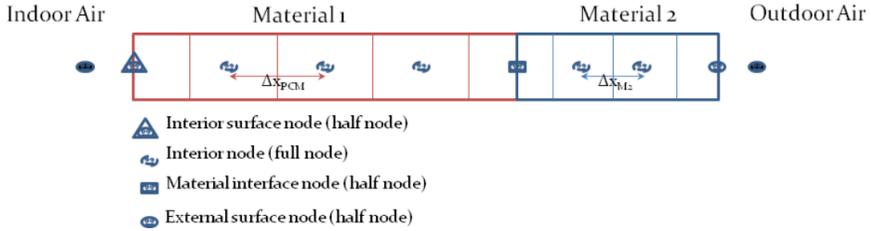
j : الخطوة الزمنية السابقة T : درجة حرارة العقدة k_W : الناقلية الحرارية للمادة بين العقدة الحالية والعقدة التالية

Δx : سماكة الطبقة بين العقتين C_p : السعة الحرارية للمادة k_E : الناقلية الحرارية للمادة بين العقدة الحالية والعقدة السابقة

والذي يسمح لهذه الطريقة محاكاة تغير الطور هو ارفاق تابع بين درجة الحرارة والإنتالبي يستخدم قيم ثابتة يدخلها المستخدم تم الحصول عليها تجريبياً وذلك حسب نوع المادة المتغيرة الطور (تم أخذ هذه القيم من الشركة المصنعة للمواد المدروسة) [9]:

$$h_i = HTF(T_i)$$

مما يسمح بمعرفة إنتالبي العقد المختلفة وبالتالي حساب قيمة السعة الحرارية C_p لكل خطوة وإعادة تعويضها في العلاقة الأساسية.



الشكل (3): أنواع العقد المختلفة ضمن مقطع في سطح يحوي عدة مواد

يتم تحديد عدد العقد في كل مقطع حسب المعطيات التالية وذلك حسب الناقلية الحرارية α والخطوة الزمنية Δt والثابت C : [9]

$$\Delta x = \sqrt{C\alpha\Delta t}$$

حيث تعتبر قيمة الثابت $C = 3$ افتراضياً ويمكن بواسطته التحكم بعدد النقاط.

ينتج عدد العقد من قسمة سماكة الطبقة على السماكة الناتجة في العلاقة السابقة والتقريب لأقرب عدد طبيعي (التقريب للأعلى).

بعد تحويل المعادلة التفاضلية لانتقال الحرارة إلى مجموعة معادلات جبرية، ولأن الحل ضمنى نقوم بحل هذه المعادلات باستخدام طريقة غاوس - سايدل وذلك بحيث يتم

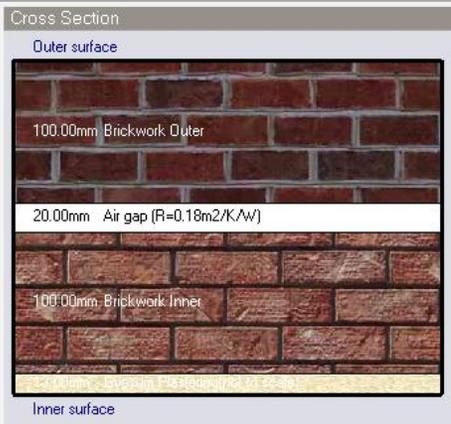
تحديث درجات الحرارة بشكل متتابع وتنتهي الحلقة بعد 30 دورة أو عندما يكون الفرق بين القيمة الأخيرة والقيمة التالية أقل من 0.000001°C

ويظهر الجدول (3) جميع البارامترات المستخدمة في النمذجة والتي تؤثر على عمل النظام.

الجدول (3): بارامترات العمل المدخلة إلى البرنامج

بارامترات العمل (المعلومات المدخلة في كل قائمة من قوائم البرنامج)

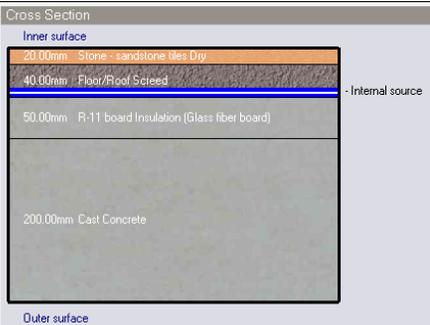
نافذة Construction		نافذة Activity	
Construction	ندخل هنا بنية الجدران الخارجية والأسقف	Template	إدخال اعدادات محفوظة سابقاً لجميع البيانات في النافذة ويوجد مثلها لجميع النوافذ
Floors	ندخل هنا بنية الأرضيات	Occupancy	عدد الأشخاص في المتر المربع $0.215/\text{m}^2$ ومواعيد وجودهم ضمن الغرفة حيث يتراوح بين 100% الى 50% أثناء النهار
Sub-Surfaces	ندخل هنا نوع الأبواب الخارجية والداخلية	Heating Setpoint	قمنا باختيار 20°C كدرجة حرارة تصميمية للغرفة وسماحية عمل بمقدار 2°C
نافذة HVAC		نافذة Openings	
Mechanical Ventilation	لم نعتبر وجود أي تهوية قسرية للمبنى	Glazing Type	نوع الشبابيك المستخدمة من طبقة واحدة سماكتها 3mm وتسمح بمرور 84% من الأشعاع الشمسي
Heating	اعتبرنا المبنى مدفئاً وأدخلنا جدول عمل نظام التدفئة من هنا حيث يعمل النظام بكامل استطاعته من الـ 6 صباحاً حتى 6 مساءً وفي بقية النهار يعمل بنصف استطاعته فقط لدراسة أثر الـ PCM	Layout	ارتفاع الشبابيك 1.5 m ومساحتها كنسبة من السطح الخارجي للجدران 20%
Natural Ventilation	نعتبر التهوية طبيعية وتعمل كامل النهار وتتناسب التهوية مع الإشغال حيث نعطيها نفس جدول العمل		
* جميع القيم التي لم يتم ذكرها تركت بقيمتها الافتراضية			



مقطع في جدار خارجي كما يظهر في البرنامج



مقطع في السقف كما يظهر في البرنامج



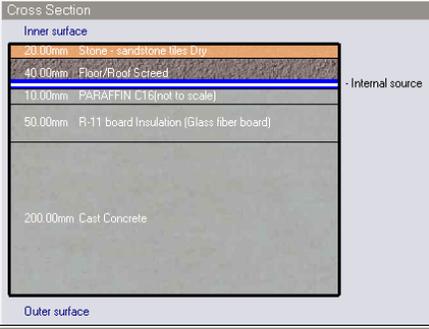
مقطع في الأرضية كما يظهر في البرنامج
No PCM



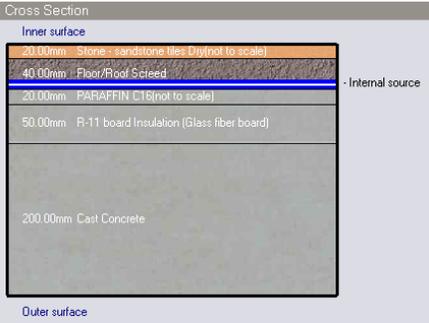
مقطع في الأرضية كما يظهر في البرنامج
M27/Q21



مقطع في الأرضية كما يظهر في البرنامج
M51/Q21



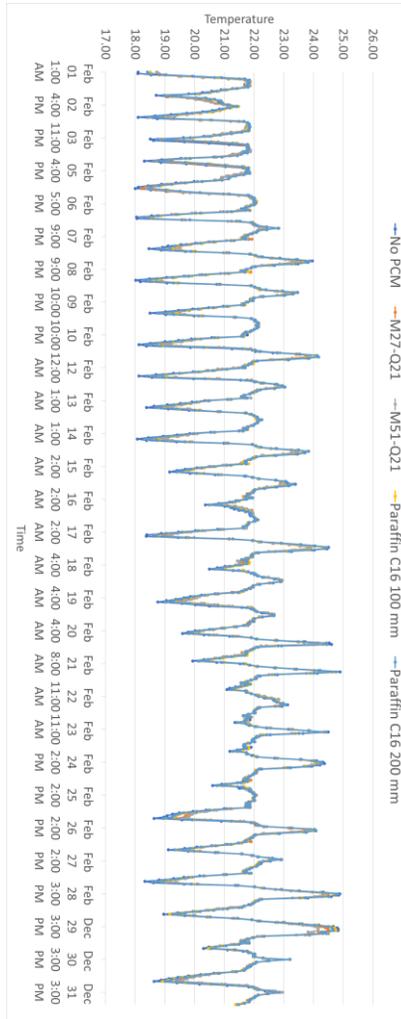
مقطع في الأرضية كما يظهر في البرنامج
Paraffin C16 100 mm



مقطع في الأرضية كما يظهر في البرنامج
Paraffin C16 200 mm

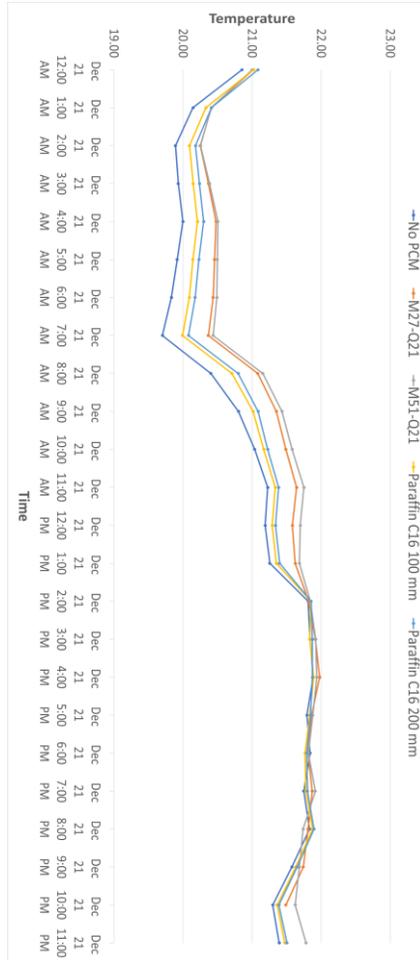
مناقشة النتائج:

يوضح الشكل (4) مقارنة درجة حرارة الهواء الداخلية في حالة بدون PCM وأربع حالات باستخدام PCM لكامل شهر كانون الأول ويلاحظ من المخطط أن وجود المواد المتغيرة الطور أسهم بشكل كبير في تقليل التفاوت الحراري أثناء اليوم وبالتالي تحسين الراحة الحرارية كون قيم درجات الحرارة باتت تقع ضمن مجال الراحة الحرارية:



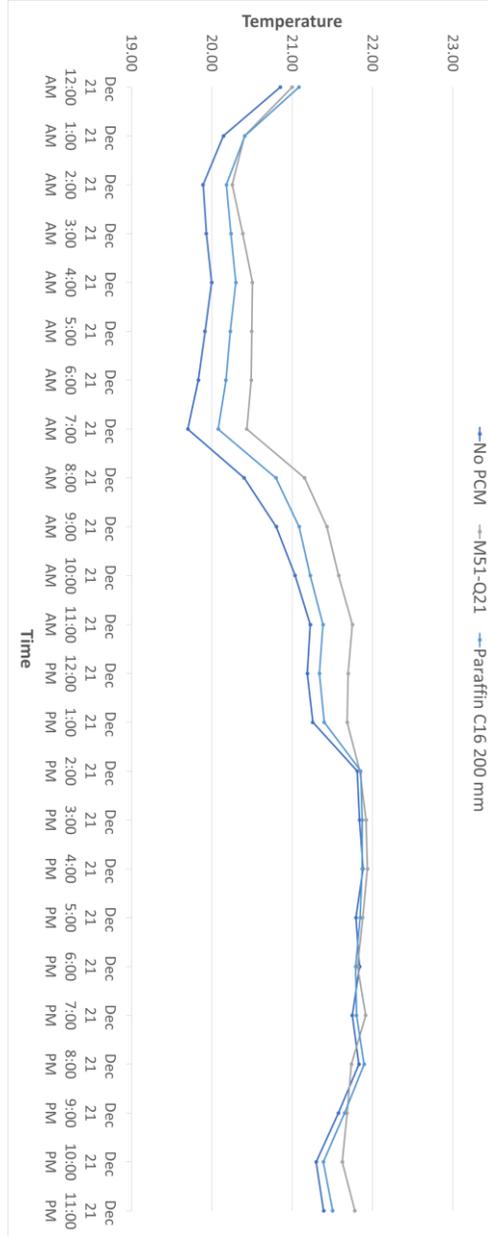
الشكل (4) مخطط درجات حرارة الهواء لكل ساعة من شهر كانون الأول

يوضح الشكل (5) مقارنة درجة حرارة الهواء الداخلية في حالة بدون PCM وأربع حالات باستخدام PCM لأسوأ يوم من شهر كانون الأول ويلاحظ من المخطط أن مواد PCM أسهمت في رفع درجات الحرارة أثناء اليوم حيث تقوم بالشحن أثناء النصف الثاني من وقت عمل النظام من الساعة 2:00 لـ 6:00 مساءً وذلك بسبب بطيء إقلاع النظام (من مساويئ التدفئة الأرضية) ليقوم بالتفريغ بعدها حتى الساعة 2:00 ظهراً لليوم التالي ويلاحظ اسهامها أيضاً في التخفيف من أثر الإقلاع البطيء. وكان أداء الـ PCM من نوع **M51/Q21** الأفضل حيث رفعت بقيمة تبلغ 1 درجة مئوية وذلك عند الساعة السابعة صباحاً.



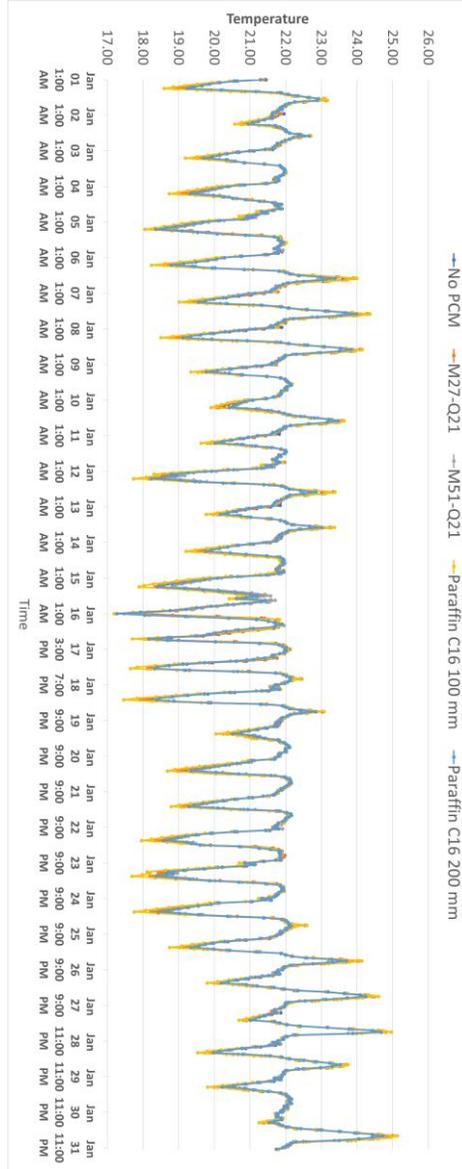
الشكل (5) مخطط درجات حرارة الهواء لكل ساعة من اليوم الأسوأ في كانون الأول

يوضح الشكل (6) مقارنة درجة حرارة الهواء الداخلية في حالة بدون PCM وحالات *No PCM* و *M51/Q21* و *Paraffin C16 200 mm* لأسوأ يوم في شهر كانون الأول:



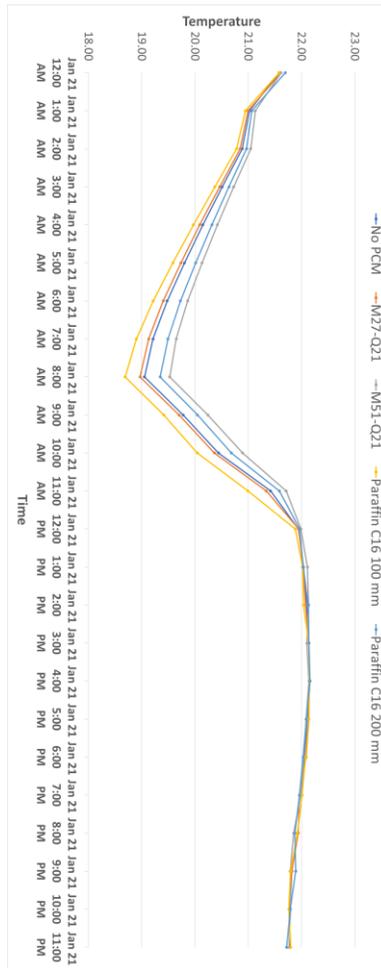
الشكل (6) مخطط درجات حرارة الهواء لكل ساعة من اليوم الأسوأ في كانون الأول لأفضل حالتين

يوضح الشكل (7) مقارنة درجة حرارة الهواء الداخلية في حالة بدون PCM وأربع حالات باستخدام PCM لكامل شهر كانون الثاني ويلاحظ من المخطط أن وجود المواد المتغيرة الطور أسهم بشكل كبير في تقليل التفاوت الحراري أثناء اليوم وبالتالي تحسين الراحة الحرارية كون قيم درجات الحرارة باتت تقع ضمن مجال الراحة الحرارية:



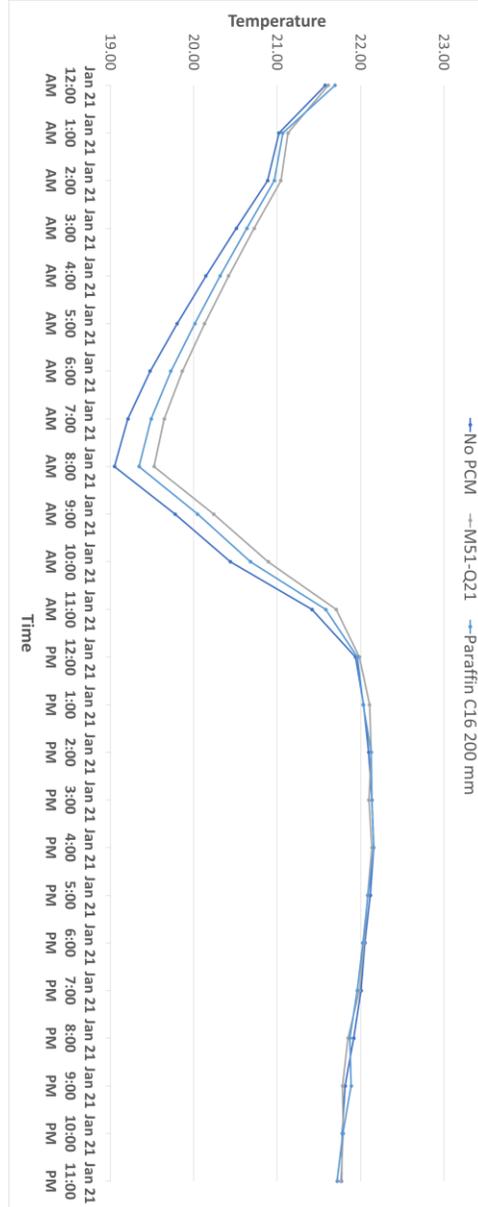
الشكل (7) مخطط درجات حرارة الهواء لكل ساعة من شهر كانون الثاني

يوضح الشكل (8) مقارنة درجة حرارة الهواء الداخلية في حالة بدون PCM وأربع حالات باستخدام PCM لأسوأ يوم من شهر كانون الثاني ويلاحظ من المخطط أن مواد PCM أسهمت في رفع درجات الحرارة أثناء اليوم حيث تقوم بالشحن أثناء النصف الثاني من وقت عمل النظام من الساعة 12:00 لـ 6:00 مساءً وذلك بسبب بطء إقلاع النظام (من مساوي التدفئة الأرضية) ليقوم بالتفريغ بعدها حتى الساعة 12:00 ظهرا لليوم التالي. وكان أداء الـ PCM من نوع $M51/Q21$ الأفضل حيث رفعت بقيمة تبلغ 1 درجة مئوية وذلك عند الساعة الثامنة صباحاً.



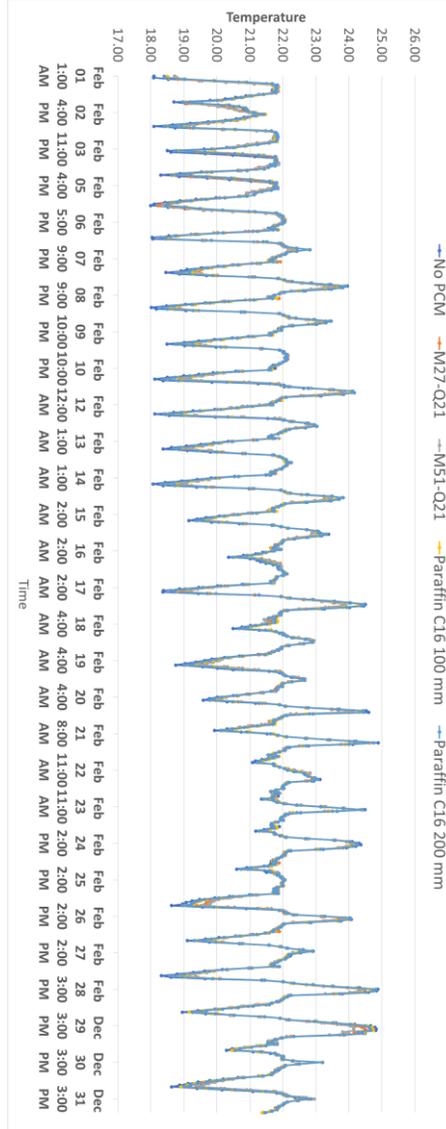
الشكل (8) مخطط درجات حرارة الهواء لكل ساعة من اليوم الأسوأ في كانون الثاني

يوضح الشكل (9) مقارنة درجة حرارة الهواء الداخلية في حالة بدون PCM وحالات *No PCM* و *M51/Q21* و *Paraffin C16 200 mm* لأسوأ يوم في شهر كانون الثاني:



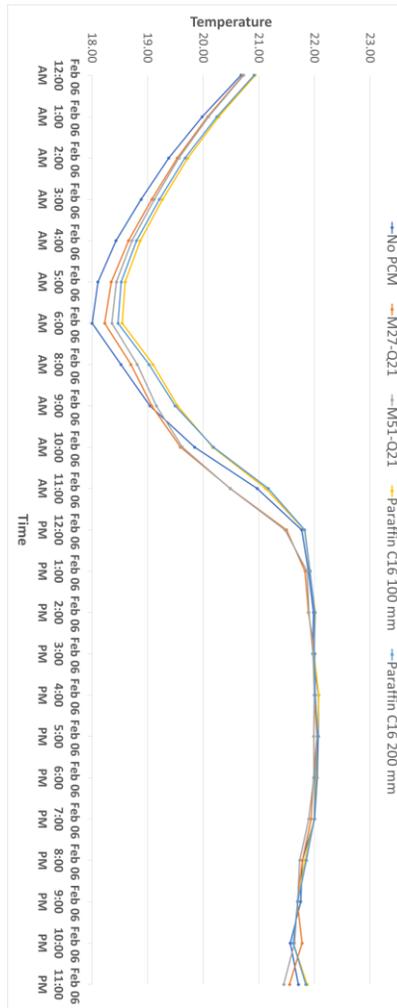
الشكل (9) مخطط درجات حرارة الهواء لكل ساعة من اليوم الأسوأ في كانون الثاني لأفضل حالتين

يوضح الشكل (10) مقارنة درجة حرارة الهواء الداخلية في حالة بدون PCM وأربع حالات باستخدام PCM لكامل شهر شباط ويلاحظ من المخطط أن وجود المواد المتغيرة الطور أسهم بشكل كبير في تقليل التفاوت الحراري أثناء اليوم وبالتالي تحسين الراحة الحرارية كون قيم درجات الحرارة باتت تقع ضمن مجال الراحة الحرارية:



الشكل (10) مخطط درجات حرارة الهواء لكل ساعة من شهر شباط

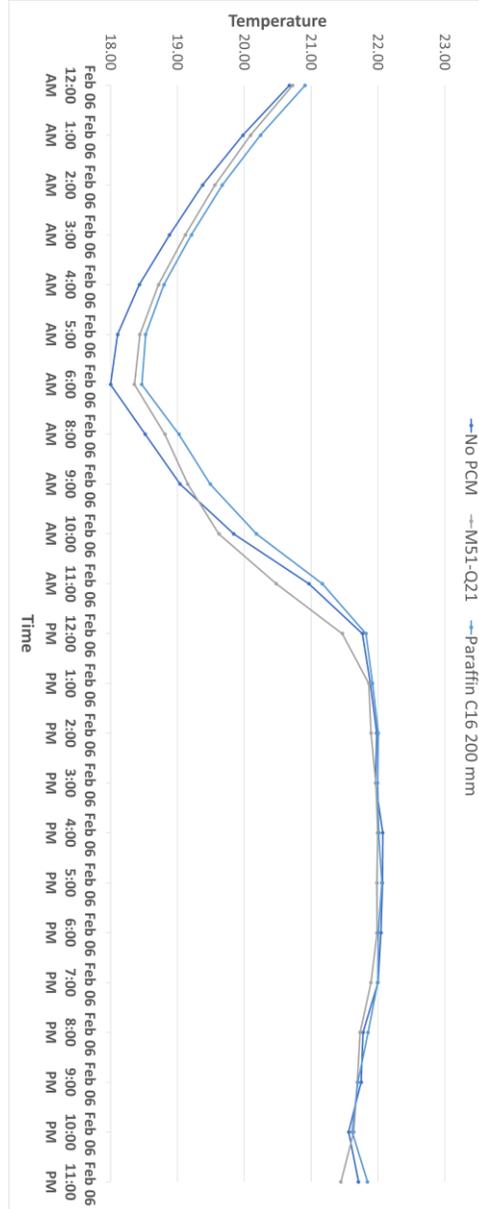
يوضح الشكل (11) مقارنة درجة حرارة الهواء الداخلية في حالة بدون PCM وأربع حالات باستخدام PCM لأسوأ يوم من شهر شباط ويلاحظ من المخطط أن مواد PCM أسهمت في رفع درجات الحرارة أثناء اليوم حيث تقوم بالشحن أثناء النصف الثاني من وقت عمل النظام من الساعة 1:00 لـ 6:00 مساءً وذلك بسبب بطيء إقلاع النظام (من مساوي التدفئة الأرضية) ليقوم بالتفريغ بعدها حتى الساعة 1:00 ظهراً لليوم التالي. وكان أداء الـ PCM من نوع **M51/Q21** الأفضل حيث رفعت بقيمة تبلغ 0.75 درجة مئوية وذلك عند الساعة الثامنة صباحاً.



الشكل (11) مخطط درجات حرارة الهواء لكل ساعة من اليوم الأسوأ في شباط

يوضح الشكل (12) مقارنة درجة حرارة الهواء الداخلية في حالة بدون PCM وحالات *No PCM* و *M51/Q21* و *Paraffin C16 200 mm* لأسوأ يوم في شهر

شباط:



الشكل (12) مخطط درجات حرارة الهواء لكل ساعة من اليوم الأسوأ في شباط لأفضل حالتين

يوضح الجدول (4) مقارنة عدد الساعات التي لا يصل فيها النظام لحالة الراحة الحرارية يبين الجدول في الأشهر الثلاثة (كانون الأول، كانون الثاني، شباط) في حالة عدم وجود المواد المتغيرة الطور وحالة وجود كل من المواد المدروسة التجارية (M27/Q21) (M51/Q21) والبارافينات (Paraffin C16) بسماكتين (100&200 mm). حيث كان عدد الساعات الأقل من أجل المادة **M51/Q21** نلاحظ علاقة مباشرة بين سعة المادة الحرارية (والتي تتعلق بدورها بكمية المادة) وتحسين الراحة الحرارية كون السعة العالية تعطي عطالة حرارية أكبر وبالتالي تقليلاً للفرق الحراري أثناء اليوم.

الجدول (4): عدد الساعات التي لا يصل فيها النظام لحالة الراحة الحرارية

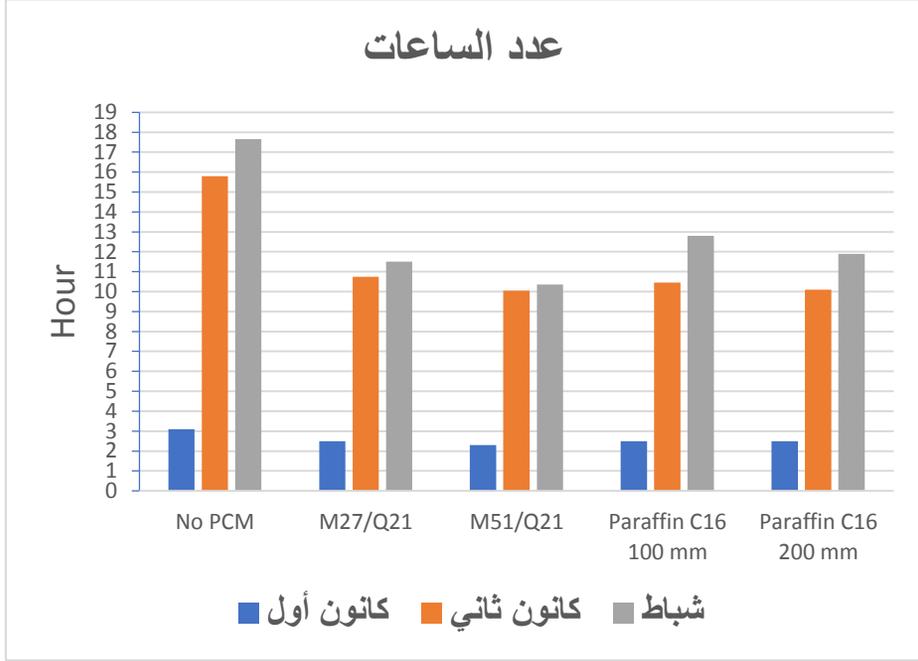
Paraffin C16 200 mm	Paraffin C16 100 mm	M51/Q21	M27/Q21	No PCM	عدد الساعات
2.50	2.50	2.30	2.50	3.1	كانون أول
10.10	10.45	10.05	10.75	15.8	كانون ثاني
11.90	12.80	10.35	11.50	17.65	شباط

ويظهر الجدول (5) أن استعمال المواد المتغيرة الطور أسهم في تحسين ظروف الراحة الحرارية وتقليل عدد الساعات التي لا يصل فيها النظام للراحة الحرارية، بنسب تتراوح بين (19.35% – 41.36%) في الحالات المدروسة جميعاً.

الجدول (5): نسب الساعات التي لا يصل فيها النظام لحالة الراحة الحرارية

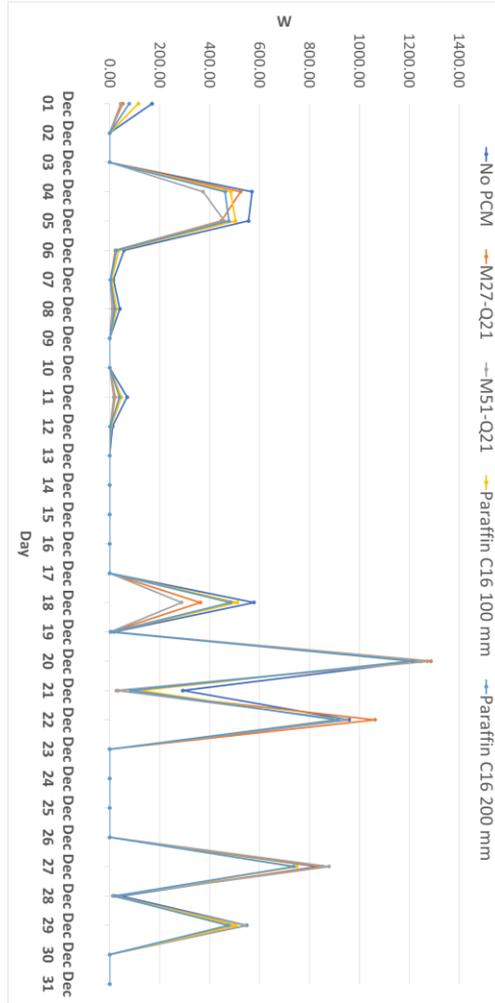
Paraffin C16 200 mm	Paraffin C16 100 mm	M51/Q21	M27/Q21	No PCM	نسبة تحسين الراحة الحرارية %
19.35%	19.35%	25.81%	19.35%	-	كانون أول
36.08%	33.86%	36.39%	31.96%	-	كانون ثاني
32.58%	27.48%	41.36%	34.84%	-	شباط

ويخلص الشكل (13) نتائج تأثير المواد المتغيرة الطور على الراحة الحرارية لأشهر الدراسة الثلاثة (كانون الأول، كانون الثاني، شباط) للمواد التجارية ($M51/Q21$ ، $M27/Q21$)، والبرافين ($Paraffin C16$) عند السماكات 100 & 200 mm:



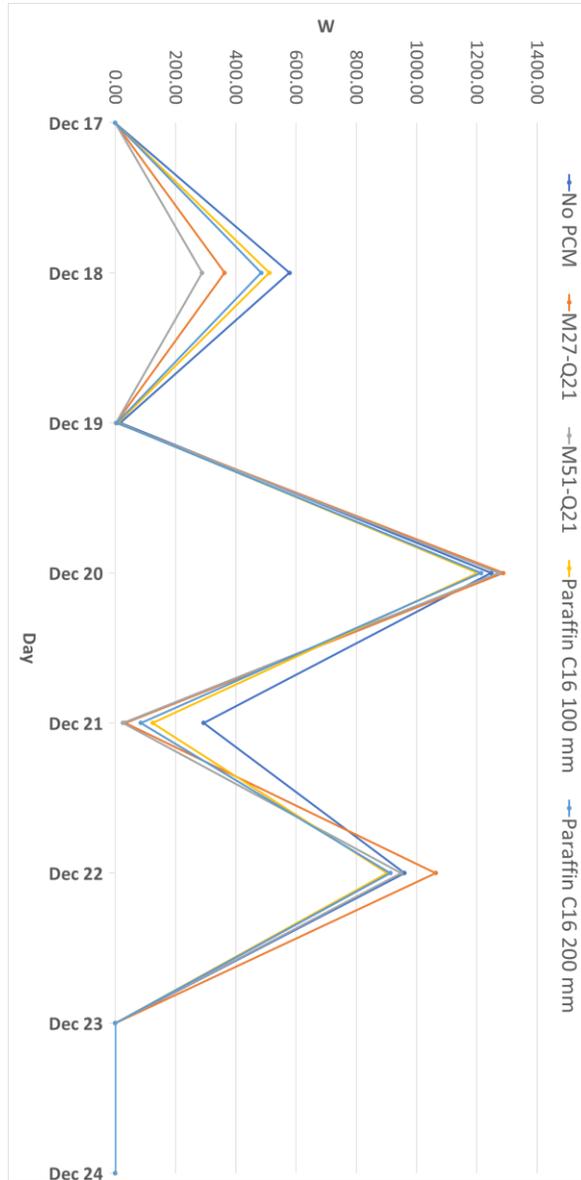
الشكل (13) ملخص نتائج تأثير المواد المتغيرة الطور على الراحة الحرارية

يظهر الشكل (14) مقارنة استهلاك الطاقة في الحالات الخمسة لكامل شهر كانون الأول مع وبدون استخدام المواد المتغيرة الطور حيث نلاحظ انخفاض استهلاك الطاقة مع استعمال ال-PCM حيث تقوم هذه المواد بخزن الحرارة الداخلة مع الاشعاع الشمسي عبر النوافذ وتعيد طرحها أثناء التفريغ مما يقلل الحمل الحراري كما نلاحظ أن المواد $M51/Q2$ و $M27/Q2$ كانت الأفضل في الأيام ذات الحمل المنخفض بينما كانت المواد البارافينية ($Paraffin C16$) عند السماكات 100 & 200 mm أفضل للأيام ذات الحمل المرتفع:



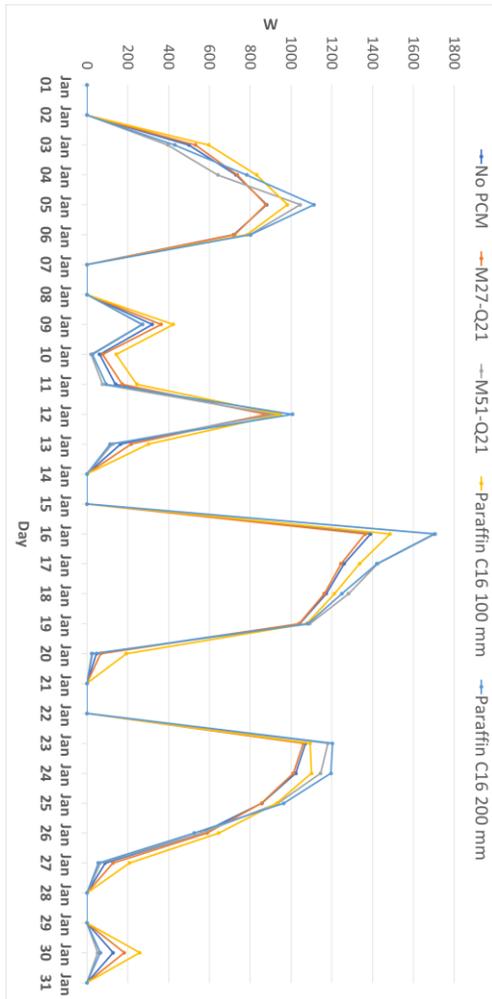
الشكل (14) استهلاك الطاقة من قبل نظام التدفئة لأيام شهر كانون الأول

يوضح الشكل (15) مقارنة استهلاك الطاقة في الحالات الخمسة للأسبوع الأسوأ من شهر كانون الأول مع وبدون استخدام المواد المتغيرة الطور حيث نلاحظ انخفاض استهلاك الطاقة مع استعمال الPCM. ونلاحظ أن $M51/Q2$ هي الأفضل وتؤمن لأكبر توفير في الطاقة يصل حتى $350 W/h$ يوم 18 كانون أول:



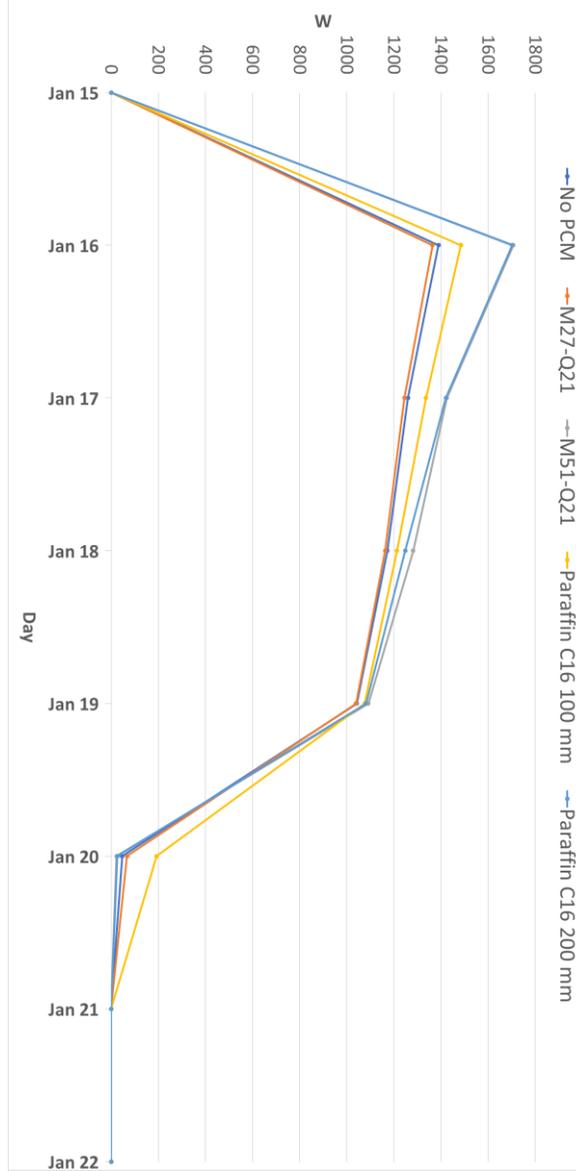
الشكل (15) استهلاك الطاقة من قبل نظام التدفئة لأول أسبوع شهر كانون الأول

يظهر الشكل (16) مقارنة استهلاك الطاقة في الحالات الخمسة لكامل شهر كانون الثاني مع وبدون استخدام المواد المتغيرة الطور حيث نلاحظ انخفاض استهلاك الطاقة مع استعمال ال-PCM حيث تقوم هذه المواد بخزن الحرارة الداخلة مع الاشعاع الشمسي عبر النوافذ وتعيد طرحها أثناء التفريغ مما يقلل الحمل الحراري كما نلاحظ أن المواد $M51/Q2$ و $M27/Q2$ تكون الأفضل في الأيام ذات الحمل المنخفض بينما كانت المواد البارافينية (*Paraffin C16*) عند السماكات 100 & 200 mm أفضل للأيام ذات الحمل المرتفع:



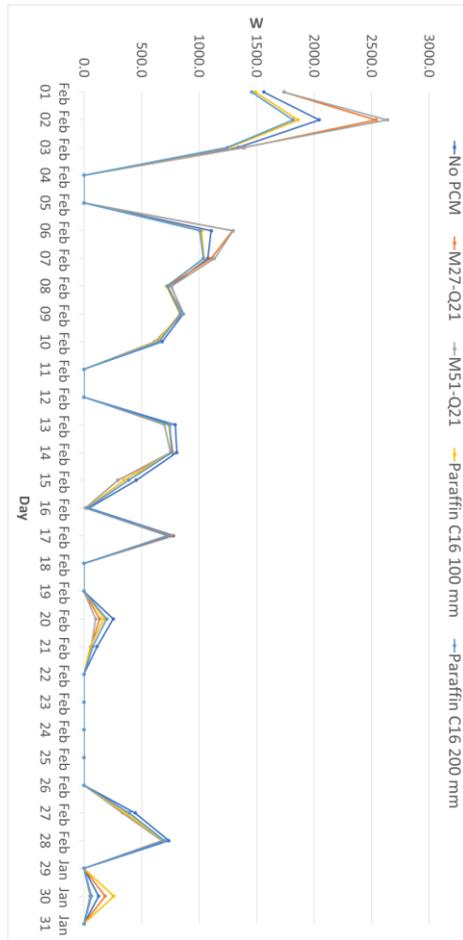
الشكل (16) استهلاك الطاقة من قبل نظام التدفئة لأيام شهر كانون الثاني

يوضح الشكل (17) مقارنة استهلاك الطاقة في الحالات الخمسة للأسبوع للأسوأ من شهر كانون الثاني مع وبدون المواد المتغيرة الطور حيث نلاحظ انخفاض استهلاك الطاقة مع استعمال الPCM ونلاحظ أن *Paraffin C16 200 mm* هي الأفضل وتؤمن لأكبر توفير في الطاقة يصل حتى 450 W/h يوم 16 كانون الثاني:



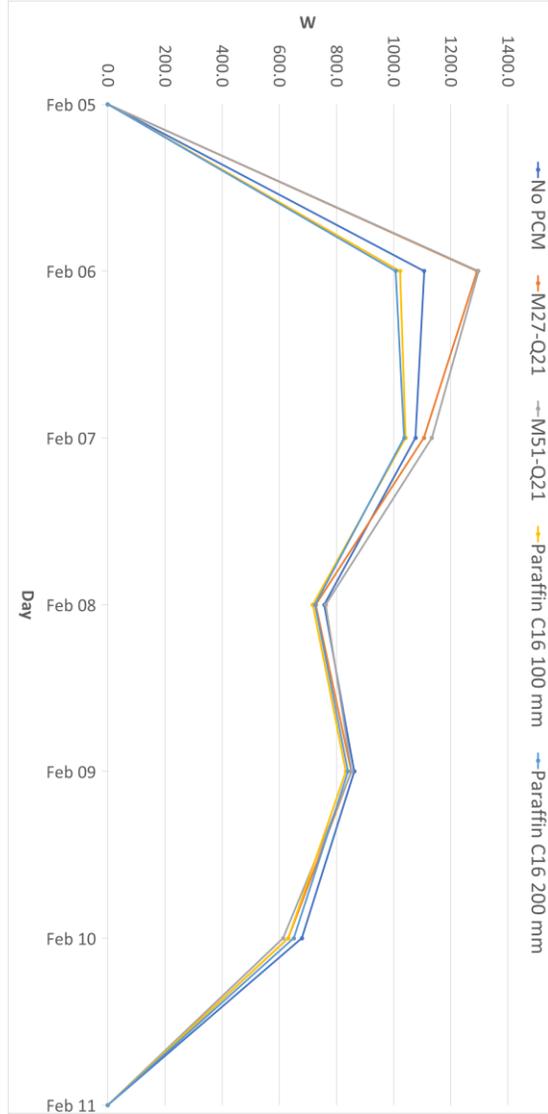
الشكل (17) استهلاك الطاقة من قبل نظام التدفئة لأسوأ أسبوع في شهر كانون الثاني

كذلك يظهر الشكل (18) مقارنة استهلاك الطاقة في الحالات الخمسة لكامل شهر شباط مع وبدون استخدام المواد المتغيرة الطور حيث تقوم هذه المواد بخزن الحرارة الداخلة مع الاشعاع الشمسي عبر النوافذ وتعيد طرحها أثناء التفريغ مما يقلل الحمل الحراري كما نلاحظ أن المواد $M27/Q2$ و $M51/Q2$ تكون الأفضل بتوفير الطاقة في الأيام ذات الحمل المنخفض ولكنها تقوم باستهلاك طاقة إضافية خلال الأيام الأسوأ بينما كانت المواد البارافينية ($Paraffin C16$) عند السماكات 100 & 200 mm أفضل للأيام ذات الحمل المرتفع:



الشكل (18) استهلاك الطاقة من قبل نظام التدفئة لأيام شهر شباط

يوضح الشكل (19) مقارنة استهلاك الطاقة في الحالات الخمسة للأسبوع الأسوأ من شهر شباط مع وبدون استخدام المواد المتغيرة الطور حيث نلاحظ انخفاض استهلاك الطاقة مع استعمال الPCM ونلاحظ أن *Paraffin C16 200 mm* هي الأفضل وتؤمن لأكبر توفير في الطاقة يصل حتى 300 W/h يوم 6 شباط ، إذ يعود سبب ذلك إلى درجة حرارة الانصهار المنخفضة:



الشكل (19) استهلاك الطاقة من قبل نظام التدفئة لأسوأ أسبوع في شهر شباط

يبين الجدول (6) مقارنة كميات استهلاك الطاقة في الأشهر (كانون الأول، كانون الثاني، شباط) في حالة عدم وجود المواد المتغيرة الطور وحالة وجود كل من المواد المدروسة التجارية (M27/Q21 M51/Q21) والبارافينات (Paraffin C16) بسماكتين (100&200 mm).

حيث كان استهلاك الطاقة الأقل من أجل المادة **Paraffin C16 200 mm** كونها تجمع بين السماكة الجيدة والتي تعني سعة حرارية عالية من جهة ودرجة الانصهار المنخفضة من جهة مما يسمح لها بالشحن أثناء عمل النظام دون كلف إضافية ومن ثم إعادة إرسال الحرارة الضائعة والمخزنة إلى الحيز.

الجدول (6): كميات استهلاك الطاقة في الأشهر الثلاثة في حالة عدم وجود المواد المتغيرة الطور وحالة

وجود كل من المواد المدروسة

Paraffin C16 200 mm	Paraffin C16 100 mm	M51/Q21	M27/Q21	No PCM	استهلاك الطاقة (kW/h)
121.1	126.19	117.81	124.94	144.47	كانون أول
313.08	318.82	330.27	339.17	355.07	كانون ثاني
306.23	307.71	337.7	338.31	332.62	شباط

يظهر الجدول (7) أن المواد المتغيرة الطور أسهمت بتقليل الاستهلاك وينسب تتراوح بين (4.48 – 18.45%) إلا في حالتين هما للمواد التجارية وجدنا عندها زيادة في استهلاك الطاقة **M27/Q21 & M51/Q21** في شهر شباط بنسبة لا تتجاوز 1.71%.

الجدول (7): نسب كميات استهلاك الطاقة في الأشهر الثلاثة وفي حالة عدم وجود المواد المتغيرة الطور

وحالة وجود كل من المواد المدروسة

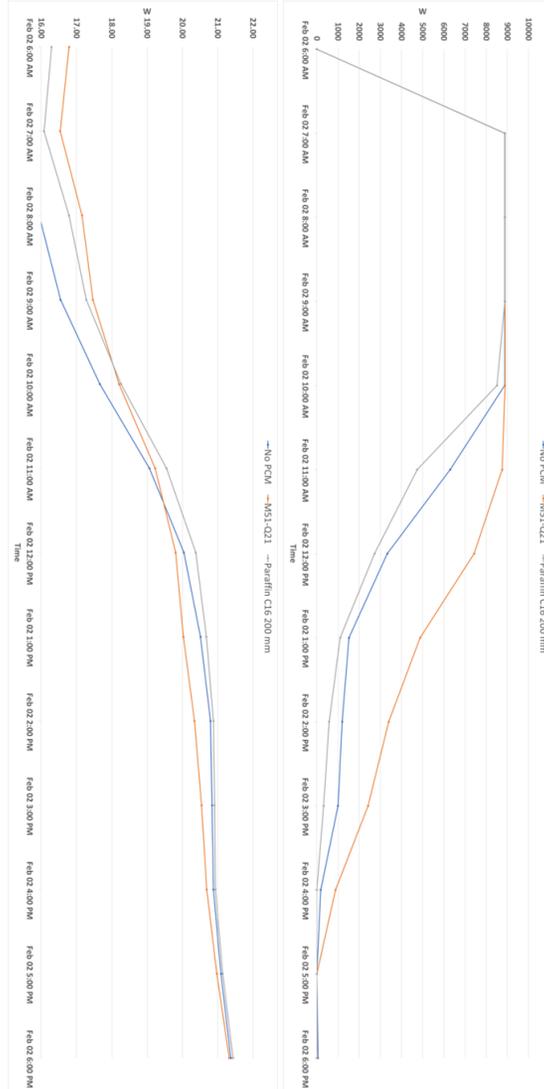
Paraffin C16 200 mm	Paraffin C16 100 mm	M51/Q21	M27/Q21	No PCM	نسبة توفير الطاقة %
16.18%	12.65%	18.45%	13.52%	-	كانون أول
11.83%	10.21%	6.98%	4.48%	-	كانون ثاني
7.93%	7.49%	-1.53%	-1.71%	-	شباط

يوضح الشكل (17-4) مقارنة درجات الحرارة واستهلاك الطاقة لمادة تجارية والبرافين

خلال أسوأ يوم بشهر شباط لتفسير زيادة الحمل:

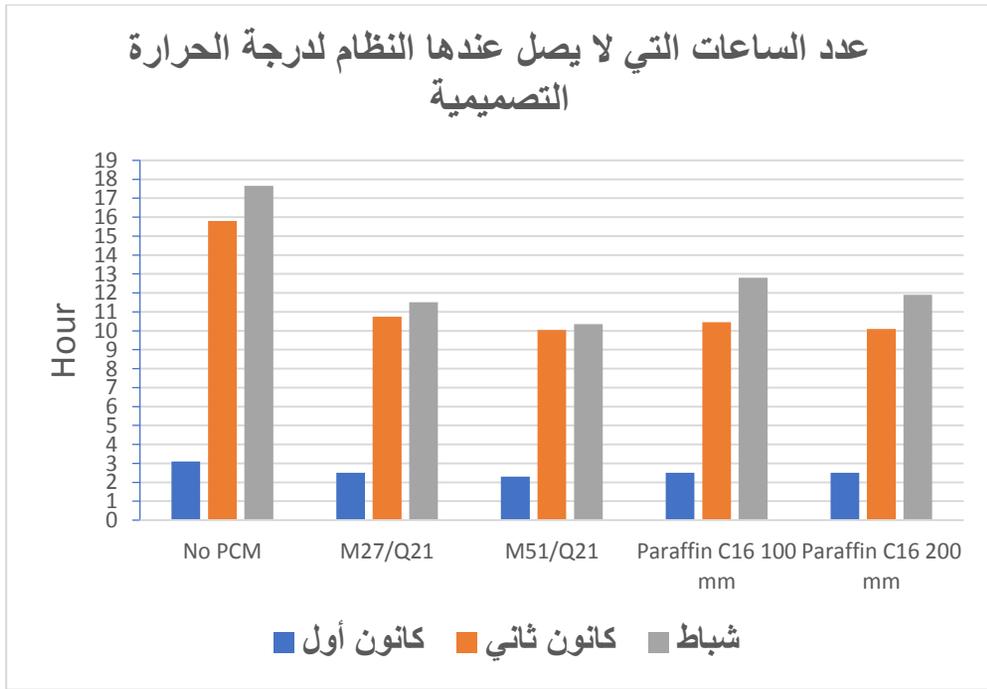
حيث وبسبب زيادة الحمل فإن كمية الحرارة هذه لم تعد كافية لشحن المادة ويضطر النظام للعمل لفترة إضافية لصهر المادة المتغيرة الطور بالكامل كون درجة حرارة انصهار

M51/Q21 أعلى بدرجتين على الأقل من Paraffin C16:



الشكل (17-4) مقارنة درجات الحرارة واستهلاك الطاقة لمادة تجارية والبرافين خلال أسوأ يوم بشهر شباط

ويخلص الشكل (4-18) نتائج تأثير المواد المتغيرة الطور على استهلاك الطاقة لأشهر الدراسة الثلاثة (كانون الأول، كانون الثاني، شباط) للمواد التجارية ($M27/Q21$ ، $M51/Q21$)، والبرافين ($Paraffin C16$) عند السماكات 100 & 200 mm:



الشكل (4-18) ملخص نتائج تأثير المواد المتغيرة الطور على استهلاك الطاقة

الاستنتاجات:

تبين من خلال دراستنا أنه بالإمكان تحسين مردود نظام التدفئة الأرضية بإضافة مواد متغيرة الطور، حيث وجدنا:

إن استعمال المواد المتغيرة الطور أدى إلى تقليل استهلاك الطاقة بنسب تتراوح بين (4.48 – 18.45%) ونلاحظ أن *Paraffin C16 200 mm* قدمت أعلى نسبة توفير في غالب الأشهر.

أدى استعمال المواد المتغيرة إلى تحسين قدرة النظام على تأمين ظروف الراحة الحرارية وتقليل عدد الساعات التي لا يصل فيها النظام لشروط الراحة الحرارية، بنسب تتراوح بين (19.35 – 41.36%) وكانت النسبة الأفضل للمادة *M51/Q21* تليها بشكل مباشر المادة *Paraffin C16 200 mm*.

نلاحظ أن *Paraffin C16 200 mm* أفضل مادة بشكل عام كونها تجمع ما بين تحسين الراحة الحرارية وتوفير الطاقة وذلك على مدى شهور الدراسة الثلاثة.

تم الحصول على نتائج مشابهة للمواد التجارية باستخدام مواد متوفرة محلياً ك *Paraffin C16*، مما يؤكد واقعية البحث وإمكانية تطبيقه عملياً في سورية.

التوصيات:

نوصي باستخدام مواد متغيرة الطور عند تنفيذ منظومات التدفئة الأرضية كونها قادرة على تحسين أداء نظام التدفئة من ناحيتي استهلاك الطاقة وتحقيق شروط الراحة الحرارية.

المراجع:

- [1]. JinChul Park and TaeWon Kim, Analysis of the Thermal Storage Performance of a Radiant Floor Heating System with a PCM, Graduate School of Chung-Ang University, Seoul (5 April 2019)
- [2]. Lindsay Fialkov, Reducing the energy consumption by using floor heating with phase change materials In the Toronto climate, Ryerson University, Toronto, Ontario, Canada (2017)
- [3]. Javier Mazo et al, Modeling a radiant floor system with Phase Change Material (PCM) integrated into a building simulation tool: Analysis of a case study of a floor heating system coupled to a heat pump, University of Zaragoza, Zaragoza, Spain (14 December 2011)
- [4]. Jisoo Jeon et al, PCM Application Methods for Residential Building Using Radiant Floor Heating Systems, Soongsil University, Seoul 156-743, Republic of Korea (2019)
- [5]. د. رمي جورج ومحمد ياسين، تأثير استخدام المواد متغيرة الطور (PCM) في الجدران والسقف في الأحمال الحرارية ودرجة الحرارة الداخلية في الأبنية، مجلة جامعة تشرين لمبحوث والدراسات العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (3) 2011
- [6]. د. رمي جورج ومحمد ياسين، مقارنة استخدام كل من مادة متغيرة الطور (PCM) ومادة عازلة لتحسين الأداء الحراري للأبنية، مجلة جامعة تشرين لمبحوث والدراسات العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (34) العدد (4) 2012
- [7]. د. مها أحمد، تأثير استخدام المواد متغيرة الطور PCM على درجات الحرارة الداخلية لخلايا تجريبية. دراسة تجريبية ومحاكاة رقمية، مجلة جامعة تشرين لمبحوث والدراسات العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (2) 2011
- [8]. د. مها أحمد، تعيين الأبعاد المثالية لجدار يحتوي على مواد متغيرة الطور (PCM) ويخضع لدرجات حرارة متغيرة، محاكاة رقمية، مجلة جامعة تشرين لمبحوث والدراسات العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (6) 2017
- [9]. EnergyPlus™ Version 23.1.0 Documentation, Engineering, Reference, U.S. Department of Energy, March 28, 2023

استخدام تفسير النماذج في تحسين اكتشاف خطاب

الكراهية في شبكات التواصل الاجتماعي

المهندس ربيع محي الدين الكردي¹

إشراف: الأستاذ الدكتور كمال السلوم² - الدكتور وسيم رمضان³

الملخص

يؤثر انتشار خطاب الكراهية في شبكات التواصل الاجتماعي العربية بشكلٍ سلبي على رواد هذه الشبكات ويتطلب جهوداً كبيرةً في محاربته. إلا أن التحديات التي تفرضها اللغة العربية من تعقيدات لغويةٍ ولهجاتٍ متعددة جعلت من بناء نماذج فعالةٍ لاكتشافه أمراً صعباً مما يتطلب استخدام طرائق مختلفةٍ لتحسين جودة النماذج.

يتحرى هذا البحث استخدام خوارزمية المشتقات المتكاملة Integrated Gradients لتفسير مُخرجات نموذج ماربيرت MARBERT ضبط لاكتشاف خطاب الكراهية في التغريدات العربية، ثم استخدام الميزات الناتجة عن التفسير في تحسين أداء النموذج من خلال اقتراح ثلاث طرائق تتمثل بإخفاء هذه الميزات أو إزالتها أو استبدالها بأخرى مشابهة.

تمكنت بعض الطرائق المُقترحة من تحسين جودة النموذج في اكتشاف خطاب الكراهية إذ أدى استبدال الميزات إلى زيادة مقياس إف1 F1-Score من 88.57% (قيمة أساس لنموذج دون استخدام الطرائق) إلى 89.83% والاستدعاء Recall من 89.19% إلى 89.28% على مجموعة بيانات الاختبار. كما حققت طريقة الإزالة تحسناً في مقياس إف1 من 88.57% إلى 89.21% وفي الاستدعاء من 89.19% إلى 89.25%.

تؤكد نتائج البحث إمكانية الاستفادة من خوارزميات تفسير النماذج في تحسين عملية اكتشاف خطاب الكراهية وليس فقط في توضيح قرارات النماذج.

الكلمات المفتاحية: تعلم آلة، خطاب كراهية، نماذج مبنية على المحولات، ذكاء اصطناعي قابل للتفسير، ماربيرت، مشتقات متكاملة، تغريدة.

¹ طالب دكتوراه - قسم هندسة البرمجيات - كلية الهندسة المعلوماتية - جامعة البعث - حمص - سورية

² أستاذ دكتور - قسم هندسة البرمجيات - كلية الهندسة المعلوماتية - جامعة البعث - حمص - سورية

³ دكتور مشارك - قسم الاقتصاد الزراعي - كلية الزراعة - جامعة البعث - حمص - سورية

Using Model Explaining to Improve Hate Speech Detection in Social Networks

Eng. Rabee Mehi Addin AlKourdi

Dr. Kamal Al-Salloum – Dr. Wassim Ramadan

ABSTRACT

The spread of hate speech on Arabic social networks negatively impacts users and necessitates significant efforts to combat it. However, the challenges Arabic imposes with its complexities and various dialects make it difficult to build effective detection models, requiring the use of various methods to improve model quality.

This research investigates the use of the Integrated Gradients to explain the outputs of a fine-tuned MARBERT model for detecting hate speech in Arabic tweets. The features extracted from the explanation are then used to improve the model's performance by proposing three methods: masking, removing, or replacing these features with similar ones.

Some of the proposed methods improved the model's quality in detecting hate speech. Replacing features increased the F1-Score from 88.57% (baseline value for a model without using the proposed methods) to 89.83% and Recall from 89.19% to 89.28% on the test dataset. The removal method also achieved an improvement in F1-Score from 88.57% to 89.21% and Recall from 89.19% to 89.25%.

The results of this research confirm the potential of using model explanation algorithms to improve hate speech detection, not only to explain model decisions.

Keywords: Machine Learning, Hate Speech, Transformers-based Models, Explainable Artificial Intelligence, MARBERT, Integrated Gradients, Tweet.

1. مقدمة

إخلاءً للمسؤولية: تحتوي بعض الأمثلة المعروضة في متن البحث عبارات مسيئة أو نابية قد تُزعج القارئ والتي لا يمكن تفاديها نظراً لطبيعة العمل. لا تعكس هذه العبارات آراء مؤلفي البحث بأي شكلٍ من الأشكال. إن جُل اهتمامنا كان وما يزال يصب في اكتشاف مثل هذا المحتوى الضار وإيقاف انتشاره حمايةً لمستخدمي شبكات التواصل الاجتماعي من تأثيراته الخطيرة.

أصبحت شبكات التواصل الاجتماعي ساحةً مهمةً للتعبير عن الأفكار والآراء وتبادلها على نطاق واسع بين المستخدمين. على الرغم من المزايا التي تقدمها هذه الشبكات في التواصل والتفاعل، فإنها تواجه تحدياً متزايداً يتجلى بانتشار ظاهرة خطاب الكراهية.

ليس هناك اتفاقٍ عالميٍّ رسميٍّ وموحدٍ حول تعريف خطاب الكراهية. إذ تختلف التعاريف والقوانين والتشريعات التي تخصه من بلدٍ إلى آخر ومن مجتمعٍ إلى آخر [1]، إلا أنها تشترك عادةً بوصفه على أنه أي نوع من التواصل الذي يوجه العدائية أو السخرية أو الاستخفاف نحو أشخاصٍ أو مجموعاتٍ بسبب خصائص معينةٍ تميزهم مثل العرق أو اللون أو الأصل القومي أو الجنس أو الإعاقة أو الدين أو التوجه الجنسي.

نظراً لأن اكتشاف خطاب الكراهية يُعد أمراً ضرورياً ومُلحاً للحد من انتشاره وآثاره الضارة على المجتمع، ونظراً لأهمية اكتشافه بسرعةٍ وفعاليةٍ، فضلاً عن صعوبة الفحص اليدوي للكلم الهائل من المحتوى المنشور على الإنترنت، ازدادت الجهود الرامية إلى دراسته ومحايرته بشتى الوسائل وإيجاد الطرق الأمثل لاكتشافه [2]. تجلت أهم الوسائل لاكتشافه آلياً باستخدام طرائق تعلم الآلة Machine Learning لقدرتها الكبيرة على التعامل مع حجومٍ ضخمةٍ من البيانات واكتشاف الأنماط المعقدة ضمنها بدقةٍ وسرعةٍ [3]. وعليه، بُدلت جهودٌ عدةٌ في بناء نماذج قادرةٍ على اكتشاف خطاب الكراهية

بسرعةٍ وفعاليةٍ، خاصةً مع التطور الكبير الذي لحق مجال معالجة اللغات الطبيعية Natural Language Processing كالتعلم المنقول Transfer Learning والمحولات Transformers [4] التي تتميز بقدرتها العالية على اكتشاف الأنماط المعقدة في البيانات وفهم السياق في النصوص.

بُنيت هذه النماذج من أجل العديد من اللغات. إلا أن الأبحاث التي تتناول خطاب الكراهية في نصوص اللغة الإنكليزية تتفوق كماً ونوعاً على تلك باللغات الأخرى وخاصةً العربية [5]. ليس هذا الأمر مفاجئاً نظراً لهيمنة المحتوى المنشور باللغة الإنكليزية مقارنةً باللغات الأخرى، إذ يبلغ نحو 52.1% من إجمالي المحتوى على الإنترنت في حين أن المحتوى العربي يبلغ 0.6% وذلك وفقاً لموقع Statistica [6]. هذا، بالإضافة إلى صعوبة التعامل مع اللغة العربية الناتجة عن التعدد الكبير للهجاتها المحلية وتعقيدها اللغوي والنحوي جعل من الأبحاث التي تتناول معالجة اللغة العربية عموماً، والتي تتناول اكتشاف خطاب الكراهية خصوصاً، أقل بكثيرٍ من نظيرتها الإنكليزية.

لا ينفي ما سبق وجود عدة محاولات لتحسين اكتشاف خطاب الكراهية المنشور باللغة العربية في شبكات التواصل الاجتماعي، سواء ببناء مجموعات بياناتٍ خاصةٍ بها [7] [8] أو بتطبيق طرائق معالجةٍ مسبقةٍ Preprocessing مختلفةٍ [9] أو تعديل فضاء التضمينات Embeddings Space ليصبح متجانس الخواص Isotropic [10] أو استخدام دوال خسارةٍ Loss Functions مختلفةٍ [11] أو تطبيق التعلم متعدد المهام Multi-Task Learning [12] وغيرها من الطرائق التي حققت درجاتٍ متفاوتةٍ من النجاح. مع ذلك، هناك نقصٌ ملحوظٌ بالاهتمام بالطرائق التي تتبع الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير eXplainable Artificial Intelligence (أو XAI اختصاراً) والذي يهدف إلى تقديم آلياتٍ لتفسير نماذج تعلم الآلة وفهم قراراتها النهائية وارتباط ميزات المُدخلات Input Features مع هذه القرارات [13].

تُعد تقنيات تفسير النماذج أداةً قويةً وهامةً لفهم كيفية عمل نماذج التعلم الآلي، وتحديد العوامل التي تؤثر على تنبؤاتها. يمكن استخدام هذه المعرفة في تحسين أداء نماذج اكتشاف خطاب الكراهية. يُحسن أداء النماذج من خلال تحديد العوامل التي تؤثر على تنبؤات النماذج: يمكن استخدام تقنيات التفسير في تحديد العوامل المؤثرة على تنبؤات نماذج اكتشاف خطاب الكراهية. يمكن استخدام هذه المعلومات لتحسين أداء النماذج عن طريق: إزالة العوامل غير ذات الصلة من البيانات التدريبية أو ترجيح العوامل ذات الصلة بشكل أكبر أو غير ها من الطرائق المحتملة. ما يؤدي بدوره إلى تطوير خوارزميات أكثر مقاومةً للضجيج الموجود ببيانات التدريب.

ليس هناك الكثير من الأبحاث التي تتناول تفسير النماذج من أجل اكتشاف خطاب الكراهية في اللغة العربية وإمكانية الاستفادة منها في تحسين عملية الاكتشاف. ولكن على الرغم من قلتها، بُذلت جهودٌ عدةٌ في تفسير نماذج تعلم الآلة، إذ استخدم بعضها تأثير المُدخلات باستخدام طرائق التفسير لتبرير قرارات النموذج فيما يخص تحليل المشاعر باللغة العربية [14] واستُخدم تفسير النماذج في دراسة قرارات نموذجٍ مُدرَّبٍ على اكتشاف خطاب الكراهية في اللغة العربية بهدف فهم ميزاته على نحوٍ أفضل [15].

وعليه، يسعى هذا البحث إلى استخدام نتائج تفسير النماذج في تطوير نماذج أعلى كفاءة من أجل تحسين اكتشاف خطاب الكراهية في النصوص المكتوبة باللغة العربية في شبكات التواصل الاجتماعي وجعل هذه الشبكات مكاناً أكثر أمناً لروادها العرب.

أهداف وأهمية البحث

يهدف البحث إلى تحقيق ما يلي:

- 1- إيجاد قيم المساهمات الخاصة بميزات مجموعة بياناتٍ مؤلفةٍ من تغريداتٍ باللغة العربية عن طريق تطبيق إحدى خوارزميات التفسير.

2- تحديد مجموعة جزئية من الميزات اعتماداً على قيم المساهمات الناتجة عن عملية التفسير.

3- دراسة تأثير مجموعة الميزات الجزئية على اكتشاف خطاب الكراهية من خلال تعديل ميزات مجموعة البيانات وفقاً لها وباستخدام عدة طرائق مختلفة.

4- تحليل التغيرات الحاصلة على أداء النموذج المُدرَّب على الميزات المُعدَّلة.

تتبع أهمية هذا البحث من الحاجة إلى تحسين قدرة نماذج تعلم الآلة على اكتشاف خطاب الكراهية في اللغة العربية واستكشاف جودة نتائج خوارزميات التفسير في عملية التحسين هذه ما يفتح الباب أمام المجتمع العلمي لتطوير واختبار أنواعاً جديدةً من طرائق تحسين النماذج والتي تعتمد على آليات التفسير المختلفة.

تُلخَّص مساهمات البحث بالنقاط التالية:

1- تدريب نموذج لاكتشاف خطاب الكراهية في اللغة العربية وتفسير مُخرجاته باستخدام المُشتقات المتكاملة.

2- استخراج عددٍ من الميزات التي تُساعد على تحسين أداء النموذج في اكتشاف خطاب الكراهية.

3- اقتراح ثلاث طرائق جديدةٍ لاستخدام الميزات الناتجة عن خوارزمية التفسير لتعديل ميزات مجموعة البيانات الأصلية.

4- تدريب نموذج مُحسَّن لاكتشاف خطاب الكراهية يثبت فائدة استخدام الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير في تحسين النماذج وليس فقط في توضيح قراراتها.

رُتبت أقسام البحث على الشكل التالي: يتضمن القسم الأول مقدمةً عن خطاب الكراهية وتفسير نماذج تعلم الآلة. يُقدم القسم الثاني أهم الأبحاث فيما يتعلق بنماذج اكتشاف خطاب الكراهية. يُوضح القسم الثالث تفاصيل مجموعة البيانات ولمحة عن نموذج ماريبرت وخوارزمية المشتقات المتكاملة المُستخدمين ومقاييس التقييم المُعتمدة في

البحث بالإضافة إلى تفاصيل بيئة التجربة. يتناول القسم الرابع تفاصيل التجارب بدءاً من تهيئة مجموعة البيانات وتقسيمها ثم الضبط الدقيق الأولي للنموذج ثم استخدام المُشتقات المتكاملة لاستخراج الميزات المؤثرة على اكتشاف خطاب الكراهية ثم استخدام هذه الميزات في تحسين أداء النموذج. أخيراً، يُلخص القسم الخامس البحث ويعرض بعض التوجهات المستقبلية.

2. دراسة مرجعية

تناول عددٌ من الباحثين مسألة اكتشاف خطاب الكراهية في شبكات التواصل الاجتماعي في محاولةٍ لدراسة صفاته وإيجاد الطرق الأفضل لمكافحته ودرء أخطاره عن مستخدمي هذه الشبكات. إلا أنه وعلى الرغم من خطورة الموضوع، هناك نقصٌ واضحٌ في الدراسات التي تتناول اكتشافه في المحتوى العربي، إذ تُركز معظمها على اللغة الإنكليزية.

تستعرض الدراسة المرجعية هذه بعض أهم النماذج المُستخدمة حالياً في الاكتشاف الآلي لخطاب الكراهية في اللغة العربية.

تتقسم نماذج تعلم الآلة المستخدمة في الدراسات المختلفة من أجل تصنيف النصوص العربية إلى ثلاث فئاتٍ رئيسة: نماذج تقليدية Traditional Models ونماذج شبكاتٍ عصبيةٍ عميقةٍ Deep Neural Networks Models ونماذجٍ مبنيةٍ على المحولات Transformer-based Models.

1.2. النماذج التقليدية

يُقصد عادةً بالنماذج التقليدية تلك التي أنت قبل ظهور الشبكات العصبية، والتي ما زالت مستخدمةً حتى الآن وتُعطي نتائج جيدة في بعض المسائل.

من أشهر تلك النماذج آلة المُتَّجَّهات الداعمة Support Vector Machine التي حققت عند استخدامها لاكتشاف الخطاب المسيء Offensive Speech في اللغة

العربية باستخدام قائمة مُسبقةٍ من الكلمات المسيئة قيمة 64% لمقياس F1-Score 1 وقيمة استدعاء Recall بلغت 48% [16]، في حين وصلت قيم مقياسي إف1 والاستدعاء إلى 76% و72% على التوالي عند استخدامها لاكتشاف خطاب الكراهية والخطاب المسيء في مجموعة بياناتٍ مؤلفةٍ من تغريداتٍ بلهجاتٍ دول بلاد الشام [5]. بلغت قيمة المقياسين أيضاً 81% و76% على التوالي عند تدريبها لاكتشاف خطاب الكراهية في اللغة العربية الفصحى وأربع لهجاتٍ محلية [17].

يندرج نموذجاً الغابة العشوائية Random Forest وبايز البسيط Naïve Bayes تحت صنف النماذج التقليدية أيضاً. إذ تمكن الأول من الوصول إلى قيمة 68% لمقياس إف1 و67% لمقياس الاستدعاء [5]، في حين حقق الثاني قيمةً بلغت 89.6% و89% للمقياسين على التوالي في مسألة اكتشاف خطاب الكراهية بلهجات بلاد الشام [7]. لكن، نظراً لمحدودية قدرات هذه النماذج وعدم قدرتها على مجازاة مشكلة خطاب الكراهية في ظل تزايد حجم البيانات وعدد المستخدمين، انتقل الباحثون إلى نوعٍ آخر من النماذج القادرة على اكتشاف الأنماط الأكثر تعقيداً في البيانات، ألا وهي الشبكات العصبية.

2.2. نماذج الشبكات العصبية العميقة

على الرغم من وجود عددٍ كبيرٍ من أنواع الشبكات العصبية العميقة، فإن دراسات اكتشاف خطاب الكراهية تركز بشكلٍ ملحوظٍ على الشبكات العصبية الترشيحية Convolutional Neural Networks و شبكات الذاكرة قصيرة المدى المطولة Long Short-Term Memory التي حققت نتائج مهمةً في مسألتَي اكتشاف الخطاب المسيء وخطاب الكراهية.

تتميز الشبكات العصبية الترشيحية بقدرتها على اكتشاف الميزات المعقدة في الإدخال واستخراجها منه [18]. تمكن نموذجٌ مبنيٌّ باستخدامها من تحقيق أفضل النتائج عند

مقارنته مع عدد من النماذج الأخرى في اكتشاف خطاب الكراهية ضمن مجموعة من التغريدات العربية لتصل قيمة كلا مقياسي إف1 والاستدعاء إلى 81% [19]، وتمكن نموذج مشابه من اكتشاف الخطاب المسيء في اللغة العربية بنسبة إف1 بلغت 84.05% واستدعاء 82.24% [20]، وصلت قيم المقياسين أيضاً إلى 79% و 78% على التوالي عند استخدام شبكات عصبية ترشيحية في اكتشاف خطاب الكراهية ضمن تغريدات سعودية [21].

ليست الشبكات العصبية الترشيحية اللاعب الوحيد في فريق الشبكات العصبية العميقة، إذ برزت شبكات الذاكرة قصيرة المدى المطولة في معالجة اللغات الطبيعية لقدرتها الكبيرة على النقاط المعلومات المهمة المترابطة زمانياً ضمن السلاسل النصية (تعتبر السلاسل النصية سلاسل زمنية بسبب ارتباط الكلمات مع بعضها البعض حتى عندما ترد في مواقع مختلفة في بداية الجملة أو نهايتها) [18]. حقق نموذج من هذه الشبكات نتائج أفضل من نموذج SVM إذ بلغت قيمة مقياس إف1 عند اكتشاف خطاب الكراهية ضمن تغريدات عربية 82% وبلغت قيمة الاستدعاء 74% [17]. حقق نموذج لشبكة ذاكرة قصيرة المدى مطولة ثنائية الاتجاه Bi-LSTM أفضل النتائج أيضاً عند تدريبه باستخدام مجموعة بيانات متوازنة لاكتشاف خطاب الكراهية ضد النساء، إذ وصلت قيمة مقياس إف1 إلى 85% وقيمة مقياس الاستدعاء إلى 86% [22].

كان للشبكات العصبية العميقة نجاحات عديدة في مهمات معالجة اللغات الطبيعية عموماً واكتشاف خطاب الكراهية خصوصاً. إلا أن تعاملها مع بيانات السلاسل الزمنية لم يخل من المشكلات من ناحية استهلاك الموارد الحاسوبية وحاجتها إلى معالجة البيانات بشكل تسلسلي. أدى كل ذلك إلى ظهور نوع جديد من الشبكات العصبية العميقة يتمثل بالمحولات.

3.2. النماذج المبنية على المحولات

حقق التعلم المنقول نقلةً نوعيةً في مجال معالجة اللغات الطبيعية خاصةً بعد تقديم مفهوم الانتباه Attention إلى العالم [4] وظهر نماذج مبنيةً على المحولات مثل نموذج بيرت BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) [23]. تظهر أهمية هذه النماذج من عدم الحاجة إلى تدريبها من الصفر (وهو أمر مكلفٌ حسابياً وزمنياً، إذ تحتاج نماذج المحولات إلى كمياتٍ كبيرةٍ جداً من البيانات لتدريبها من الصفر وإمكاناتٍ حاسوبيةٍ ضخمةٍ وزمناً طويلاً)، بل يُكتفى عادةً بالضبط الدقيق Fine-Tuning للنموذج المُدرَّب مسبقاً من أجل الحصول على نتائجٍ جيدةٍ فيما يخص مسألة ما.

من هذا المنطلق، أخذ الباحثون بالاعتماد على الضبط الدقيق لنماذج مبنيةً على بيرت واستخدامها في اكتشاف خطاب الكراهية. من أشهر هذه النماذج في اللغة العربية نموذج أرابيرت AraBERT [24] الذي حقق قيمة مقياس إف1 وقيمة استدعاء تعادلان 86% عند ضبطه لاكتشاف خطاب الكراهية في تغريداتٍ بلهجاتٍ دول بلاد الشام، في حين حقق قيمة 78% و77% لكل منهما على التوالي عند توليفه على مجموعة بياناتٍ مؤلفةٍ من تغريداتٍ باللهجة التونسية، وحقق 66% لكلا المقياسين من أجل بياناتٍ باللهجة المصرية [25]. يجب التنويه إلى عدم قيام جميع الدراسات بذكر أسلوب التنقل المُتبع عند حساب قيم مقياسي الاستدعاء وإف1 (أي هل استُخدمت تنقل ماكرو macro أو مايكرو micro أو لم يُستخدم أي تنقل)، مما قد يكون سبب تفاوت النتائج بشكل كبير.

تمكن نموذج آخرٌ مبنيٌّ على بيرت باسم ماربيرت MARBERT [26] من تحقيق أفضل النتائج في مهمة اكتشاف خطاب الكراهية في مجموعة بياناتٍ عربيةٍ متعددة اللهجات من بين عدة نماذج شاركت في ورشة عملٍ تهدف إلى اكتشاف خطاب الكراهية

والخطاب المسيء في اللغة العربية [27]. إذ بلغت قيمة مقياس إف1 له 82% وقيمة الاستدعاء 82.3% وذلك بعد ضبطه الدقيق على البيانات لاستخراج تضمينات الكلمات تحتوي طبقاتٍ ترشيحيةٍ وشبكة عصبيةٍ شبه تكرارية Quasi-Recurrent Neural Network [12]. على نحوٍ مشابهٍ، تمكن هذا النموذج عند تدريبه على نفس البيانات، لكن بعد جعل فضاء تمثيل الكلمات لنموذج ماريبرت متجانساً Isotropic، من رفع قيمة مقياس إف1 التي كانت 77.2% قبل التحسين لتصبح 79.1% بعده، ورفع أيضاً قيمة الاستدعاء من 61.5% إلى 71.5% [10].

3. مواد وطرائق البحث

يستعرض هذا القسم توصيف مجموعة البيانات والنموذج وخوارزمية التفسير المستخدمين ومقاييس التقييم المعتمدة وتفاصيل بيئة التجربة.

1.3. توصيف مجموعة بيانات البحث Dataset

يستخدم هذا البحث مجموعة بياناتٍ مؤلفةٍ من تغريداتٍ تختص بخطاب الكراهية والخطاب المسيء بلهجات بلاد الشام (سوريا ولبنان وفلسطين والأردن) أطلق عليها الباحثون الذين أنشأوها اسم Levantine Hate Speech and Abusive (اختصاراً L-HSAB) [7] وهي ذات طبيعةٍ سياسية.

تتألف مجموعة البيانات من 5846 تغريدةٍ مُصنفةٍ إلى ثلاث أصناف:

- **تغريدات طبيعية:** لا تتضمن أي محتوى مسيئاً أو عدوانياً أو مهيناً أو بذيء.
- **تغريدات مسيئة:** تتضمن محتوى مسيئاً أو عدوانياً أو مهيناً أو بذيئ.
- **تغريدات كراهية:** تتضمن نبرةً مسيئةً وتكرس الإساءة أو العدوانية تجاه شخصٍ معينٍ أو مجموعة أشخاصٍ وتقوم بتحقيق ذلك الشخص أو المجموعة على أساس هويتهم الوصفية (العرق، الجنس، الدين، الإعاقة، لون البشرة، المُعتقد).

يوضح الجدول 1 توزيع التغريدات على الأصناف الثلاث مع أمثلة على كل صنف:

الصنف	عدد التغريدات	مثال
طبيعية (Normal)	3650	أنا كمان وتونس عظيمة
مسيئة (Abusive)	1728	إستحي يا صعلوك يا قليل شرف أنصحك تتعلم اللغة العربية وتترك العبريه لتحسن فهمك يا غبي
كراهية (Hate)	468	أنت أردني اوسخ من خائن
المجموع	5846	

الجدول 1 - توزيع التغريدات على الأصناف في مجموعة بيانات L-HSAB

2.3. النماذج والخوارزميات المستخدمة

يستخدم البحث نموذج ماربيرت (نموذج مبني على المحولات) لما حققه هذا النموذج من نتائج جيدة في مسألة اكتشاف خطاب الكراهية في اللغة العربية العامية. كما يستخدم البحث خوارزمية المشتقات المتكاملة لتفسير نموذج ماربيرت المُدرّب والحصول على أهم ميزات خطاب الكراهية لاستخدامها لاحقاً في تدريب نموذج مُحسنٍ لاكتشاف.

1.2.3 نموذج ماربيرت

نموذج لغويّ ضخّم مبنيّ على المحولات ويُرَكِّز بشكلٍ خاصٍ على النصوص العربية واللهجات المحلية المختلفة. دُرِب باستخدام بياناتٍ مُستخرِجة من منصة تويتر (المُسماة حالياً X) وهو أداة مفيدة من أجل العديد من مهام معالجة اللغات الطبيعية باللغة العربية [26]. يتميز هذا النموذج بالخصائص التالية:

- التركيز على اللغة العربية: دُرِب النموذج على مجموعة بياناتٍ ضخمةٍ من النصوص العربية مؤلفةٍ من مليار تغريدةٍ باللغة العربية (تحتوي على 15.6

مليار وحدة لغوية Token و يبلغ حجمها نحو 128 غيغابايت)، مما يجعله مناسباً لفهم التفاصيل الدقيقة للغة العربية.

- **نموذج اللغة المُقنع:** بُني هذا النموذج بمعماريةٍ مشابهةٍ لنموذج بيرت الأساسي BERT_{base} [23]، ودُرب باستخدام أسلوب النموذج اللغوي المُقنع Masked Language Model إذ تُخفي أجزاءً من النص المُدخل، ويتنبأ النموذج بالكلمات الأصلية.

- **تعدد اللهجات:** دُرب النموذج على عددٍ من اللهجات العربية المتنوعة، ما يجعله مناسباً لسد الفجوة الموجودة في النماذج متعددة اللغات مثل mBERT [23] المدربة على بياناتٍ باللغة العربية الفصحى فقط وتكون غير مناسبةٍ للمهام التي تتطلب التعامل مع اللهجات المختلفة.

- **ثنائية الاتجاه والانتباه:** يستخدم النموذج بنية المحول التي تسمح له بمعالجة السلسلة المُدخلة دفعةً واحدةً (من اليسار إلى اليمين وبالعكس). كما أنه يستخدم مفهوم الانتباه باحتوائه على رؤوس انتباهٍ ذاتي Self-Attention Heads (طبقاتٍ خاصةٍ) مثل نموذج بيرت والتي تعطيه القدرة على تركيز «انتباهه» على أجزاءٍ مختلفةٍ من سلسلة المُدخل وتحديد الأجزاء الأكثر أهمية فيها.

2.2.3 خوارزمية المشتقات المتكاملة

هي إحدى التقنيات التي تُستخدم في تفسير تنبؤات نماذج تعلم الآلة [28]. تقوم هذه الخوارزمية بـ «نَسَب» Attribute مُخرجات الشبكة العصبية Neural Network (المتمثلة بالتنبؤ أو التصنيف) إلى ميزات مُدخلاتها على شكلٍ رقميٍ قابلٍ للفهم البشري [29]، أي أنها تهدف لتفسير سبب قيام النموذج بتنبؤٍ معينٍ من أجل مُدخلٍ معينٍ.

مفهوم النسب Attribution:

من أجل سلسلة نصية مُدخلة ما، تعمل خوارزمية المشتقات المتكاملة على زيادة قيمة كل ميزة من ميزات هذه السلسلة (المُدخل الحقيقي) بشكلٍ تدريجيّ انطلاقاً من مُدخل مرجعيّ Baseline Input (أصفارٍ مثلاً في حالة الصور، وسلسلة وحدات التبطين [PAD] في حالة النصوص) وصولاً إلى قيمتها الفعلية في المُدخل الحقيقي. تقوم الخوارزمية عند كل خطوة بحساب مُخرجات النموذج والمشتق Gradient المتعلق بتلك الميزة. يمكن اعتبار هذا المشتق على أنه المعلومة التي تُخبر الشبكة العصبية مقدار زيادة (أو إنقاص) الوزن المتعلق بهذه الميزة أثناء الانتشار العكسي Backpropagation. يعتمد ذلك بشكلٍ كبيرٍ على ميزات المُدخلات، لذا يُساعد المشتق الخاص بكل ميزة والمرتبط مع المُخرَج في إعطاء صورةٍ عن مدى أهمية هذه الميزة في الحصول على ذلك المُخرَج.

قيم الأهمية Importance Values:

تأخذ مُخرجات عملية التفسير باستخدام خوارزمية المشتقات المتكاملة شكل قيمٍ عديدةٍ حقيقيةٍ تمثل أهمية كل ميزةٍ منسوبةٍ إلى مُخرَجٍ محددٍ وتُسمى قيم الأهمية. من أجل ميزةٍ ما x ومُخرَجٍ ما c (صنف) c ، لتكن قيمة الأهمية للميزة x المنسوبة إلى الصنف c والناجمة عن المشتقات المتكاملة هي $I(x_c)$. يمكن أن تكون $I(x_c)$ عدداً حقيقياً:

- موجباً: تُساهم الميزة x بدفع النموذج إلى اختيار الصنف c بقراره النهائي، وكلما ازدادت $I(x_c)$ كلما كانت x أكثر تأثيراً على قرار النموذج في اختيار c .
- سالباً: تكون x ذات تأثيرٍ معاكسٍ على المُصنّف وتدفعه لاختيار مُخرَجٍ آخر (الصنف الآخر على سبيل المثال في حال التصنيف الثنائي).

- صفرياً: ليس للميزة x أي تأثيرٍ على قرار النموذج في اختيار الصنف c أو غيره.

تطبيقات خوارزمية المشتقات المتكاملة:

- تصحيح أخطاء النماذج: من خلال فهم كيفية مساهمة الميزات في المُخرجات، يمكن أن تساعد المشتقات المتكاملة في تحديد المشكلات المحتملة داخل النموذج، مثل التحيز أو الميزات غير ذات الصلة.
- تصنيف أهمية الميزات: يمكن استخدام قيم الأهمية الناتجة عن المشتقات المتكاملة لترتيب الميزات بناءً على أهميتها في التأثير على مُخرجات النموذج. يمكن أن يكون ذلك مفيداً في تحديد أكثر الميزات ذات الصلة لمزيدٍ من التحليل أو تحسين النموذج.
- شرح القرارات: يمكن استخدام المشتقات المتكاملة لشرح مُخرجات النموذج للبشر، مما يزيد من الثقة والشفافية في قرارات النموذج.

3.3. مقاييس التقييم

يستخدم البحث عدداً من المقاييس وهي: الدقة Accuracy والإحكام Precision والاستدعاء Recall ومقياس إف1 F1-Score. تُحسب هذه المقاييس وفق المعادلات التالية، مع التنويه إلى أن TP تعني تصنيفاً إيجابياً صحيحاً وFP تعني تصنيفاً إيجابياً خاطئاً وTN تعني تصنيفاً سلبياً صحيحاً وFN تعني تصنيفاً سلبياً خاطئاً:

$$(1) \quad \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} = \text{الدقة}$$

$$(2) \quad \frac{TP}{TP + FP} = \text{الإحكام}$$

$$(3) \quad \frac{TP}{TP + FN} = \text{الاستدعاء}$$

$$(4) \quad 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} = 1 \text{ مقياس إف}$$

استخدم تنقيح ماكرو Macro عند حساب الإحكام والاستدعاء ومقياس إف 1 كون البيانات غير متوازنة.

4.3. بيئة التجربة

استخدم عددًا من مكتبات لغة بايثون Python في تجارب البحث، أهمها:

- **transformers**: مكتبة بايثون تقدمها منصة huggingface¹ وتتضمن آلاف النماذج المبنية على المحولات المدربة مسبقاً على مهامٍ متنوعةٍ في عدة مجالات منها معالجة النصوص (تصنيف النصوص Text Classification وغيرها).
- **captum**: مكتبة بايثون مُطورةٌ من قبل شركة فيسبوك وتقدم مجموعةً كبيرةً من طرائق تفسير نماذج تعلم الآلة المبنية باستخدام مكتبة PyTorch [28]. تهدف captum إلى توفير طرائق التفسير بشكلٍ بسيطٍ ومرنٍ وسهل الاستخدام. من أهم الطرائق التي تُحققها المكتبة: Integrated Gradients و SHAP المذكورة سابقاً.

¹ <https://huggingface.co>

أُجريت جميع التجارب ضمن بيئة Google Colaboratory [30] باستخدام Python 3 وعلى وحدة معالجة رسومية (GPU) من نوع Nvidia Tesla T4 15GB ووحدة معالجة مركزية (CPU) من نوع Intel Xeon 2.30GHz 2-Cores وذاكرة وصولٍ عشوائي (RAM) بحجم 12.70GB.

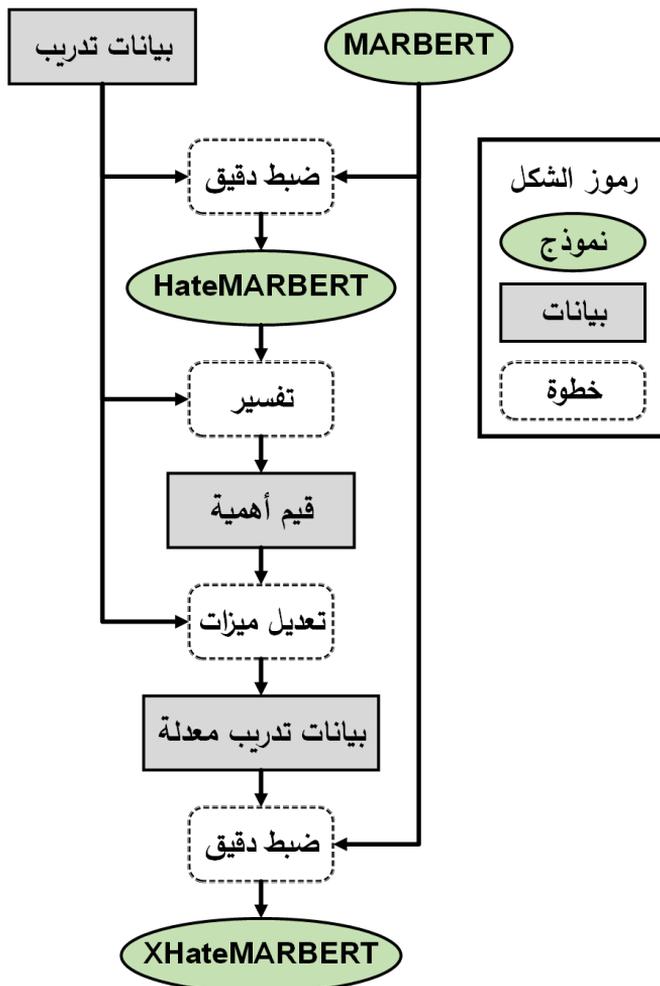
4. التجارب والنتائج ومناقشتها

مرت عملية الحصول على نموذج مُحسن لاكتشاف خطاب الكراهية (أطلقنا عليه اسم XHateMARBERT) بخطواتٍ عدة يمكن تلخيصها وفق الآتي:

- 1- تهيئة مجموعة البيانات وتقسيمها.
- 2- استخدام التعلم المنقول [31] لضبط معاملات ماريبرت (سوف يُشار إلى هذا النموذج باسم «MARBERT») على مجموعة البيانات لبناء نموذج اكتشاف (سوف يُشار إلى هذا النموذج باسم «HateMARBERT»).
- 3- استخدام خوارزمية المُشتقات المتكاملة لتفسير مُخرجات HateMARBERT والحصول على قيم أهمية تبين مساهمة الميزات في اكتشاف خطاب الكراهية.
- 4- تطبيق عدة طرائق لتعديل ميزات مجموعة البيانات وفقاً للميزات المُستخرجة من الخطوة 3.
- 5- إجراء ضبطٍ دقيقٍ لمعاملات MARBERT على مجموعة البيانات المُعدلة والحصول على نموذجٍ جديدٍ (سوف يُشار إلى هذا النموذج باسم «XHateMARBERT»).

يوضح الشكل 1 خطوات الحصول على نموذج XHateMARBERT انطلاقاً من

النموذج MARBERT:



الشكل 1 - خطوات الحصول على نموذج XHateMARBERT

1.4. تهيئة وتقسيم مجموعة البيانات

قُسمت مجموعة البيانات إلى ثلاث مجموعاتٍ وهي مجموعة التدريب Training (70% من مجموعة البيانات الكلية) ومجموعة التحقق Validation (10%) ومجموعة الاختبار Testing (20%). نظراً لطبيعة البحث التي تركز على خطاب الكراهية، استُخدمت التغريدات الطبيعية وتغريدات الكراهية فقط وأزيلت التغريدات المسيئة من

مجموعة البيانات. إضافة إلى ما سبق، أُزيلت التغريدات التي لا تحتوي سوى على كلمة واحدة. يمثل الجدول 2 التوزيع النهائي للتغريدات على المجموعات الثلاث:

المجموع	الاختبار	التحقق	التدريب	
463	93	46	324	خطاب كراهية (HS)
3548	718	352	2478	طبيعية (NOT_HS)
4011	811	398	2802	المجموع

الجدول 2 - توزيع التغريدات على الأصناف في المجموعات الثلاث

لم تُجرى أي معالجة مسبقة Preprocessing إضافية على البيانات عن تلك التي أُجريت عليها من قبل الباحثين الذين بنوا مجموعة البيانات الأصلية، والتي تتمثل بإزالة الإشارات للمستخدمين (@) والهاشتاغ (#) وإعادة التغريد (Rt) والرموز التعبيرية (الإيموجي Emojis) والأرقام والحروف غير العربية [7].

2.4. الضبط الدقيق للنموذج

أُجري الضبط الدقيق لمعاملات نموذج MARBERT - المُدرّب مسبقاً على بياناتٍ عربيةٍ بلهجاتٍ عاميةٍ متنوعةٍ - من أجل الحصول على نموذج اكتشاف خطاب الكراهية (HateMARBERT) الذي سيستخدم من أجل حساب قيم الأهمية للميزات في خطوة تفسير النموذج وتحديد مجموعة ميزاتٍ ستستخدم لاحقاً لإجراء عدة تعديلاتٍ على مجموعة البيانات. قبل البدء بالضبط الدقيق، لا بد من تهيئة مُدخلات النموذج.

تهيئة المُدخلات:

هُيئت التغريدات لتأخذ الصيغة المناسبة لمُدخلات نموذج MARBERT وذلك بتقسيمها باستخدام المُقسّم Tokenizer الخاص بالنموذج وتحويلها إلى وحدات لغوية (ميزات Features) ثم تشكيل تمثيلاتٍ مختلفة لكل تغريدةٍ وفق الصيغة التي يطلبها النموذج MARBERT عند التدريب. يحتوي كل سطرٍ من مجموعة البيانات المُهيئة على عددٍ من الحقول، فيما يلي أهم هذه الحقول:

- **text**: نص التغريدة على شكل سلسلة محارف.
- **label**: صنف التغريدة، إما 0 (تغريدة طبيعية) أو 1 (تغريدة كراهية).
- **input_ids**: تمثيل رقمي للميزات المشكلة لنص التغريدة. تُشكل في البداية سلسلة وحداتٍ تنتج عن تقسيم النص الأصلي للتغريدة (وفق خوارزمية WordPiece [23]) ويُضاف لها وحدات خاصة مثل [CLS] التي تمثل بداية سلسلة المُدخَل و[SEP] التي تمثل نهاية المُدخَل وعدة وحدات [PAD] التي تمثل التبطين Padding لتوحيد أطوال السلاسل. تُستبدل بعدها كل وحدة برقم الفهرس Index الخاص بها في معجم وحدات المُقسَّم Vocabulary.
- **attention_mask**: سلسلة أصفارٍ ووحداتٍ تدل MARBERT إلى الميزات التي يجب أن ينتبه لها (1) والميزات التي يجب ألا ينتبه لها (0).
يوضح الجدول 3 نتيجة التهيئة على أحد التغريدات الحاوية على خطاب كراهية:

label	attention_mask	input_ids	tokens	text
	1	2	[CLS]	
	1	11448	كلاب	كلاب
	1	3231	هالبلد	هالبلد
	1	41137	بدهم	بدهم
1	1	10600	حرق	حرق
	1	1944	الله	الله
	1	73349	يلغهم	يلغهم
	1	3	[SEP]	
	0	0	[PAD]	
	0	0	[PAD]	

الجدول 3 - تهيئة أحد تغريدات الكراهية

الضبط الدقيق:

بعد تهيئة جميع تغريدات مجموعات التدريب والتحقق والاختبار، ضُبِطت مُعَامِلَات MARBERT بتمرير عناصر مجموعة التدريب إليه وفق مُعَامِلَات الضبط Hyperparameters التي يوضحها الجدول 4. أُخْتِيرت هذه القيم من خلال التجريب واعتماداً على الدراسات السابقة:

اسم المُعَامِل	القيمة	التوصيف
Batch Size	64	حجم الحزمة. يُحدّد عدد وحدات التبطين [PAD] المُضافة إلى مُدخلات كل حزمة وفقاً لطول أطول سلسلة فيها
Learning Rate	5×10^{-5}	معدل التعلم
Weight Decay	0.01	معدل اضمحلال الأوزان
Epoch	15	عدد دورات التدريب

الجدول 4 - قيم مُعَامِلَات الضبط لنموذج MARBERT

أُجريت تجربة الضبط الدقيق ثلاث مرات وثلاث قيم تهيئة عشوائية مختلفة Random Seed وحُسبت المقاييس الأربعة لكل تجربة واعتمد النموذج الذي يحقق أعلى قيمة لمقياس إف1 من أجل مجموعة التحقق. حُسب بعدها متوسط المقاييس للتجارب الثلاث بهدف تقليص العشوائية في النتائج الناجمة عن مُعَامِلَات داخلية في بعض المكتبات البرمجية المُستخدمة التي لا يمكن تثبيت عشوائيتها. يبين الجدول 5 نتائج مقاييس التقييم لنموذج HateMARBERT على مجموعتي التحقق والاختبار:

مقياس إف1	الاستدعاء	الإحكام	الدقة	
89.76%	88.86%	90.92%	95.90%	مجموعة التحقق
88.57%	89.19%	88.43%	95.23%	مجموعة الاختبار

الجدول 5 - مقاييس التقييم لنموذج HateMARBERT المدرب على اكتشاف الكراهية

3.4. تفسير النموذج

استُخدمت خوارزمية المُشتقات المتكاملة لتفسير نموذج HateMARBERT المُدرَّب على اكتشاف خطاب الكراهية في التغريدات العربية وذلك لحساب قيم الأهمية الخاصة بميزات النموذج والتي توضح علاقتها بقراراته. أُجري التفسير على تغريدات صنف الكراهية من مجموعة التدريب لاكتشاف الميزات الخاصة بخطاب الكراهية. فيما يلي الخطوات التي تم المرور بها للوصول إلى هذه الميزات:

(1) تهيئة مُدخلات التفسير: تحتاج خوارزمية المُشتقات المتكاملة إلى مُدخلاتٍ

مرجعيةٍ مقابلةٍ للمُدخلات الحقيقية المُستخدمة في تدريب HateMARBERT. تقوم الخوارزمية بإيجاد تأثير كل ميزةٍ (أي كل وحدة لغوية) وذلك بالانطلاق من المُدخل المرجعي وصولاً إلى المُدخل الحقيقي. يكون طول سلسلة المُدخل المرجعي مطابقاً لطول سلسلة المُدخل الحقيقي المقابل له، لكنه يكون مكوناً بشكل كامل من وحدات التبطين [PAD] بالإضافة إلى وحدتي البداية [CLS] والنهاية [SEP].

(2) ربط خوارزمية التفسير مع HateMARBERT: رُبطت خوارزمية

التفسير مع طبقة التضمينات Embeddings في النموذج. استُخدمت هذه الطبقة عوضاً عن طبقة المُدخلات كونها تحتوي المعلومات السياقية المفيدة، في حين أن طبقة المُدخلات تحتوي على قيم فهارس الميزات والتي لا تحمل أي معنىٍ سياقي. عليه، تُحسب الأهمية من أجل مُتجهات تضمينات المُدخلات.

(3) حساب قيم الأهمية: مُررت قيم مُتجهات المُدخلات الحقيقية والمرجعية إلى

الخوارزمية على شكل حزمٍ من 64 تغريدة، لتقوم طبقة التضمينات في النموذج بتحويلها إلى مُتجهات التضمين Embedding Vectors الموافقة

ذات 768 بُعد. تقوم بعدها المشتقات المتكاملة بحساب قيم الأهمية من أجل كل ميزة في كل تغريدة وذلك على جميع أبعاد التضمين. تكون قيمة الأهمية موجبة إذا كانت الميزة تؤثر على النموذج لاختيار صنف الكراهية، وتكون سالبة إذا كانت تؤثر عليه لاختيار الصنف الطبيعي. إذا كان طول سلسلة المُدخل هو m ، تكون أبعاد ناتج هذه الخطوة للمدخل $m \times 768$.

(4) اختزال الأبعاد: تُختزل أبعاد مُتجهات الأهمية لكل ميزة في التغريدة من 768 إلى بُعد واحدٍ تسهياً لحساب قيم الأهمية النهائية. يجري الاختزال بجمع قيم الأهمية للميزة على كافة الأبعاد.

يوضح الجدول 6 نتائج خطوات عملية التفسير على تغريدة الكراهية المذكورة في الفقرة 1.4. كلما زادت قيمة الأهمية كلما زاد تأثير الميزة على قرار المُصنف باختيار صنف الكراهية.

النص	الميزات الحقيقية	المُدخل الحقيقي	الميزات المرجعية	المُدخل المرجعي	قيم الأهمية
	[CLS]	2	[CLS]	2	0.0
كلاب	كلاب	11448	[PAD]	0	0.3485
كلاب	هالبند	3231	[PAD]	0	0.0769
هالبند	بدهم	41137	[PAD]	0	0.0398
بدهم	حرق	10600	[PAD]	0	0.1726
حرق	الله	1944	[PAD]	0	0.0584
الله	يلعنهم	73349	[PAD]	0	0.2641
يلعنهم	[SEP]	3	[SEP]	1	0.0
	[PAD]	0	[PAD]	0	0.0
	[PAD]	0	[PAD]	0	0.0

الجدول 6 - مثال على تفسير تغريدة كراهية

يُلاحظ من المثال السابق أن الميزات «كلاب» و«حرق» و«يلعنهم» هي الأكثر تأثيراً بقرار المصنف باختيار صنف الكراهية لهذه التفرقة.

(5) استخراج الميزات وفقاً لأهميتها: بعد حساب قيم الأهمية لكل الميزات، سُكِل معجمٌ من الميزات الفريدة وقيمة أهمية كل منها مع تكرار ورودها ضمن مجموعة البيانات. احتُظت بقيمة الأهمية الأكبر في حالة الميزات المكررة. ثم رُتبت هذه الميزات وفقاً لقيم الأهمية من الأكبر إلى الأصغر. يبين الجدول 7 أعلى وأدنى 5 ميزات وقيم الأهمية لكل منها:

أدنى		أعلى	
قيمة الأهمية	الميزة	قيمة الأهمية	الميزة
-0.0643	رييس	0.8086	خراس
-0.0657	الضوء	0.7063	حقودين
-0.0906	السمعة	0.6954	وصخ
-0.0912	يتقنون	0.6762	الإرهاب
-0.1096	والعقل	0.6762	خواريف

الجدول 7 - أعلى وأدنى 5 ميزات مع قيم أهميتها

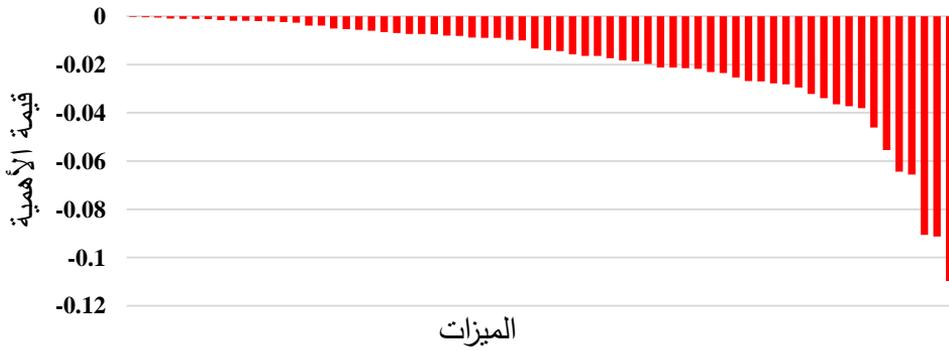
يُلاحظ حصول ميزاتٍ على قيم أهمية سالبة، يعني ذلك أن هذه الميزات تشد المصنف نحو اختيار الصنف الطبيعي (NOT_HS) في حين أن القيم الموجبة تعني أن الميزات تشد المصنف نحو اختيار صنف الكراهية (HS).

4.4. تدريب نموذج اكتشاف مُحسن (XHateMARBERT)

يُمر تدريب نموذجٍ جديدٍ مُحسن لاكتشاف خطاب الكراهية بثلاث خطواتٍ أساسيةٍ تتمثل باختيار مجموعة من الميزات ثم تطبيق عدة تعديلات على مجموعة البيانات باستخدام هذه الميزات ثم الضبط الدقيق لنموذج MARBERT على البيانات المعدلة.

1.4.4 اختيار الميزات المراد تعديلها

استُخدمت قيم الأهمية الناتجة عن عملية التفسير السابقة لاختيار الميزات ذات القيم السالبة. سُميت هذه المجموعة بمجموعة ميزات الكراهية الزائفة (Fake HS Tokens) كونها تحاول شد المصنف نحو اختيار الصنف الطبيعي في تغريدات الكراهية. بلغ عدد عناصر هذه المجموعة 66 ميزة. يبين الشكل 2 توزيع الميزات ذات قيم الأهمية السالبة:



الشكل 2 - توزيع ميزات الكراهية الزائفة وفقاً لقيم الأهمية

كما يوضح الجدول 8 بعض الأمثلة على ميزاتٍ من هذه المجموعة مع قيم الأهمية المرتبطة بها (مرتبة وفق قيم الأهمية من الأكبر إلى الأصغر):

الترتيب	الميزة	قيمة الأهمية
1	رايك	-0.0003
2	الطريق	-0.0004
3	الشو	-0.0006
...
64	السمعة	-0.0906
65	يتقنون	-0.0912
66	والعقل	-0.1096

الجدول 8 - أمثلة على بعض ميزات الكراهية الزائفة

2.4.4 تعديل ميزات مجموعة البيانات

اقترحت عدة طرائق لتعديل مجموعة البيانات المُقسمة (مجموعة التدريب والتحقق والاختبار) من أجل الميزات الجديدة على شكل خطوة معالجة إضافية قبل التدريب وذلك بهدف الحصول على XHateMARBERT. فيما يلي تفاصيل هذه الطرائق:

الطريقة الأولى - الإخفاء Masking: أُخفيت الميزات المُختارة من آلية الانتباه بتعديل قيم عناصر شعاع قناع الانتباه Attention Mask الموافقة لهذه الميزات لتصبح 0 (عوضاً عن القيمة الافتراضية 1). تعني هذه العملية أن الميزة تبقى جزءاً من مُدخلات النموذج، لكن النموذج يُسند لها قيمةً منخفضةً جداً (قيمةً سلبية) عند حساب الانتباه. فيما يلي مثالٌ على تغريدة أُخفيت بعض ميزاتها:

الميزات	[CLS]	لقاء	الاقزام	المعتوهين	[SEP]
قيم الأهمية	0	-0.0081	0.2199	0.6549	0
القناع قبل التعديل	1	1	1	1	1
القناع بعد التعديل	1	0	1	1	1

الجدول 9 - مثال على إخفاء الميزات

أُخفيت الميزة «لقاء» من آلية الانتباه كون قيمة الأهمية الموافقة لها سالبة (أي أنها أحد عناصر مجموعة ميزات الكراهية الزائفة).

الطريقة الثانية - الإزالة Removing: أُزيلت الميزات المُختارة بالكامل من مُدخلات النموذج لمعرفة مدى تأثيرها على الميزات المجاورة لها في السياق نفسه. يوضح الجدول 10 تطبيق طريقة الإزالة على المثال السابق:

الميزات قبل التعديل	[CLS]	لقاء	الاقزام	المعتوهين	[SEP]
قيم الأهمية	0	-0.0081	0.2199	0.6549	0
الميزات بعد التعديل	[CLS]	الاقزام	المعتوهين	[SEP]	

الجدول 10 - مثال على إزالة الميزات

الطريقة الثالثة - الاستبدال السياقي Contextual Replacing: استُبدلت

الميزات المُختارة بميزاتٍ أخرى مشابهة لها بقيم تضمينات الكلمات Word Embeddings. من أجل ميزةٍ ما x ، تم الاستبدال وفق الخوارزمية التالية:

- إيجاد شعاع $WE[x]$ تضمينات x . علماً أن WE هي أشعة تضمينات الكلمات لكامل معجم نموذج ماريبرت.

- تقسيم فضاء تضمينات جميع ميزات النموذج إلى t قسم بهدف تسريع عمليات حساب التشابه.

- إيجاد جوار $WE[x]$ ، وليكن A .

- حساب التشابه بين $WE[x]$ وجميع أشعة التضمينات في A باستخدام خوارزمية التشابه الزاوي Cosine Similarity. يُحسب التشابه الزاوي sim بين شعاعين v_1 و v_2 وفق المعادلة (5):

$$(5) \quad sim(v_1, v_2) = \frac{v_1 \cdot v_2}{\|v_1\| \|v_2\|}$$

علماً أن $v_1 \cdot v_2$ هي الجداء النقطي للشعاعين و $\|v_1\| \|v_2\|$ هي جداء طويلتي الشعاعين.

- ترتيب أشعة A وفقاً لقيم التشابه من الأكبر إلى الأصغر.

- إزالة الأشعة الموافقة للميزات ذات الجذر اللغوي المشترك مع x . مثلاً، إذا كانت x هي «كلب»، وكانت A تحتوي على «كلاب» «الكلاب» «وكلب»...، عندها تُزال هذه الميزات من A لضمان استخدام ميزةٍ مختلفةٍ عن الميزة الأصل.

- تحديد أكثر n شعاع من A مشابه ل $WE[x]$.

- اختيار شعاعٍ بشكل عشوائي، ليكن $WE[y]$.

- استبدال الميزة x بالميزة y في التريفة المُدخلة إلى النموذج.

طبقت الخوارزمية السابقة من أجل $t = 50$ و $n = 5$.

يبين الجدول 11 استبدال الميزة «لقاء» بميزة أخرى مشابهة لها ضمن السياق. علماً أن الميزات الخمس التي تم اختيار الميزة الجديدة منها كانت: «مباراة» «مقابلة» «لقاء» «لقى» «المباراة».

الميزات قبل التعديل	[CLS]	لقاء	الاقزام	المعتوهين	[SEP]
قيم الأهمية	0	-0.0081	0.2199	0.6549	0
الميزات بعد التعديل	[CLS]	مقابلة	الاقزام	المعتوهين	[SEP]
قيم الأهمية	0	???	0.2199	0.6549	0

الجدول 11 - مثال على الاستبدال السياقي للميزات

ليس للميزة «مقابلة» قيمة أهمية مرافقة كونها لم تكن موجودة ضمن مجموعة بيانات التدريب وبالتالي لم تعالجها خوارزمية التفسير.

3.4.4 الضبط الدقيق للنموذج بالبيانات المُعدلة

أُجري الضبط الدقيق لنموذج MARBERT على مجموعات البيانات الثلاث (التدريب والتحقق والاختبار) المُعدلة وفقاً للطرائق السابقة من أجل الحصول على نموذج XHateMARBERT المُحسن. استُخدمت قيم مُعاملات الضبط نفسها في الجدول 4. أُجريت تجربة الضبط الدقيق على نحوٍ مشابهٍ لتجربة ضبط نموذج HateMARBERT وحُسبت المقاييس الأربعة لكل تجربةٍ واعتمد النموذج الذي يحقق أعلى قيمة لمقياس إف1 من أجل مجموعة التحقق. يبين الجدول 12 نتائج تطبيق طرائق التعديل الثلاث على أداء النموذج وذلك من أجل مجموعة التحقق:

مقياس إف 1	الاستدعاء	الإحكام	الدقة		
%89.76	%88.86	%90.92	%95.90	HateMARBERT	
%89.61	%86.75	%93.19	%96.06	الإخفاء	طرائق التعديل
%91.10	%90.72	%91.60	%96.40	الإزالة	
%90.56	%89.68	%91.79	%96.23	الاستبدال	

الجدول 12 - نتائج XHateMARBERT من أجل مجموعة التحقق

يبين الجدول السابق أن إزالة الميزات المزيفة من مجموعة البيانات تُعطي أفضل نموذج لاكتشاف خطاب الكراهية ضمن التغريدات العربية. إذ تحسن مقياس إف 1 بمقدار 1.34% (من %89.76 إلى %91.10) في حين تحسن الاستدعاء بنسبة 1.86% (من %88.86 إلى %90.72)، أي أن هذا النموذج قادرٌ على اكتشاف 1.86% تغريدة كراهية إضافية عن تلك التي يكتشفها نموذج HateMARBERT. يُمكن إرجاع هذا التحسن إلى أن إزالة تلك الميزات سمح للنموذج بالتركيز على الميزات الأخرى الأكثر ارتباطاً بخطاب الكراهية، أي أن الميزات ذات قيم الأهمية السالبة كانت تسبب ضجيجاً إضافياً يعيق النموذج من التركيز على ميزات خطاب الكراهية وإزالتها سمحت له بالاككتشاف على نحو أفضل.

وكان للاستبدال السياقي للميزات أثراً إيجابياً أيضاً. إذ تحسن مقياس إف 1 بمقدار 0.80% (من %89.76 إلى %90.56) والاستدعاء بمقدار 0.81% (من %88.86 إلى %89.68). ساهمت هذه الطريقة بالتحسن أيضاً كون استبدال الميزات بأخرى مشابهة قد يكون سمح بإدخال ميزاتٍ جديدةٍ ذات تأثير أقل سلبيةً على اكتشاف خطاب الكراهية من الميزات الأصلية المُستبدلة.

في حين أن إخفاء الميزات من آلية الانتباه أدى إلى انخفاض الاستدعاء بمقدار 2.11% (من 88.86% إلى 86.75%) ما أدى بدوره إلى انخفاض مقياس إف1 بمقدار 0.15% (من 89.76% إلى 89.61%). يُمكن تبرير ذلك بأن إجبار النموذج على عدم التركيز على هذه الميزات دون إزالتها فعلياً قد أدى إلى تغيير قيم الانتباه التي يشكلها النموذج للميزات المجاورة لتلك المخفية، الأمر الذي كان له أثر سلبي في حسابات قيم الانتباه الخاصة بسياق الكراهية الذي تسبب بتراجع قدرة النموذج على فهم هذه السياق نتيجة الثغرات التي سببها إخفاء ميزات محددة. وهذا ما يؤكده ارتفاع قيمة الإحكام بمقدار 2.27% (من 90.92% إلى 93.19%)، والتي نتجت عن انخفاض عدد التغريدات الطبيعية التي صنفها النموذج على أنها كراهية (تصنيفات إيجابية خاطئة) ما أدى إلى زيادة نسبة الإحكام. على نحوٍ مشابهٍ لما سبق، يبين الجدول 13 نتائج طرائق التعديل الثلاث من أجل مجموعة الاختبار:

مقياس إف1	الاستدعاء	الإحكام	الدقة		
88.57%	89.19%	88.43%	95.23%	HateMARBERT	
88.68%	87.64%	89.85%	95.52%	الإخفاء	طرائق التعديل
89.21%	89.25%	89.23%	95.60%	الإزالة	
89.83%	89.28%	90.42%	95.93%	الاستبدال	

الجدول 13 - نتائج XHateMARBERT من أجل مجموعة الاختبار

تُبين قيم المقاييس على مجموعة الاختبار نتائجاً مشابهةً لنتائج مجموعة التحقق. إلا أن النموذج الأفضل كان عند استخدام طريقة الاستبدال السياقي، ليحقق تحسناً بمقياس إف1 بلغ 1.26% (من 88.57% إلى 89.83%) وتحسناً بالاستدعاء بمقدار 0.09% (من 89.19% إلى 89.28%). كما أن طريقة الإزالة حققت تحسناً في مقياس إف1 بمقدار 0.64% (من 88.57% إلى 89.21%) وتحسناً طفيفاً في الاستدعاء بمقدار

0.05% (من 89.19% إلى 89.25%). ما يؤكد أهمية إزالة الميزات ذات قيم الأهمية

السالبة أو استبدالها بأخرى مشابهة في تحسين اكتشاف خطاب الكراهية.

وعلى شاكلة مجموعة التحقق، تسببت طريقة الإخفاء بانخفاض الاستدعاء بمقدار

1.55% (من 89.19% إلى 87.64%) مع ارتفاع الإحكام بنسبة 1.42% (من

88.43% إلى 89.85%) ما يؤكد التبرير السابق بتراجع قدرة النموذج على فهم سياق

خطاب الكراهية الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض حساسية النموذج لاكتشاف خطاب

الكراهية وارتفاع عدد التصنيفات السلبية الخاطئة. مع العلم أن زيادة الإحكام الكبيرة كانت

سبباً بارتفاع مقياس إف1 بمقدار 0.11% (من 88.57% إلى 88.68%).

5. الاستنتاجات والتوصيات

ركز هذا البحث على استخراج أهم الميزات وأكثرها تأثيراً في اكتشاف خطاب الكراهية

ضمن التغريدات العربية في اللهجات العامية الشامية ثم اقترح عدة طرائق لاستخدام هذه

الميزات في بناء نموذج مُحسن لاكتشاف خطاب الكراهية.

أُسندت قيم أهمية إلى ميزات مُدخلات مجموعة البيانات باستخدام خوارزمية

المُشتقات المتكاملة، تدل قيم الأهمية على مقدار مساهمة هذه الميزات في قرار نموذج

HateMARBERT باختيار صنف الكراهية ما يجعلها مفيدةً في فهم النموذج وفرز

الميزات الأكثر (والأقل) نفعاً في اكتشاف خطاب الكراهية. أُختيرت بعدها الميزات ذات

قيم الأهمية السالبة والتي تؤثر سلباً على اختيار صنف الكراهية في التغريدات وُدرس

تأثير تعديل هذه الميزات في مجموعة البيانات الأصلية وفق ثلاث طرائق تعديلٍ مقترحة

تتمثل بإخفاء الميزات وإزالتها واستبدالها بأخرى مشابهة سياقياً.

أدت جميع الطرائق المُقترحة إلى تحسين الأداء. ففي حين ساهمت كل من الإزالة

والاستبدال بتحسين جميع المقاييس مع تفوق الإزالة، فإن طريقة الإخفاء في تحسن أغلب

المقاييس ماعد الاستدعاء ولكنها بالمقابل حصلت على أفضل احكام بين الطرائق الثلاثة

أدت جميع الطرائق المقترحة إلى الحصول على نموذجٍ مُحسنٍ للاكتشاف. إذ ساهمت إزالة الميزات بتحسين جميع المقاييس. ما أكد على أن إزالتها يؤدي إلى تقليل الضجيج ما يُساعد النموذج على اكتشاف تغريدات الكراهية على نحوٍ أفضل. كما كان لاستبدال الميزات بشكلٍ سياقيٍّ أثرٍ إيجابيٍّ أيضاً على كل مقاييس الأداء. ما يبين أهمية الاستبدال الممنهج للميزات -عوضاً عن إزالتها بالكامل- بميزاتٍ أخرى ذات تأثيرٍ سلبيٍّ أقل على اكتشاف خطاب الكراهية. أما بالنسبة لطريقة الإخفاء، فعلى الرغم من أنها أدت إلى انخفاض مقياس الاستدعاء، إلا أنها حققت أفضل قيم إحكام بين الطرائق الثلاث في مجموعة التحقق.

يمكن تقديم بعض المقترحات من أجل الخطوات القادمة في هذا المجال:

(1) دراسة تأثير التطبيع Normalization على جودة الميزات المُستخدمة في

طرائق التعديل.

(2) إجراء التفسير على التغريدات الطبيعية (ليس على تغريدات الكراهية

فحسب) واستخدام قيم الأهمية الناتجة في بناء النموذج المُحسن.

6. المراجع

- [1] HIETANEN M. *et al.*, 2023 - Towards a Definition of Hate Speech—With a Focus on Online Contexts, Journal of Communication Inquiry, vol. 47, no. 4, pp. 440–458
- [2] TONTODIMAMMA A. *et al.*, 2021 - Thirty years of research into hate speech: topics of interest and their evolution, Scientometrics, vol. 126, no. 1, pp. 157–179
- [3] JAHAN M. S. *et al.*, 2021 - A systematic review of Hate Speech automatic detection using Natural Language Processing, arXiv:2106.00742 [cs]
- [4] VASWANI A. *et al.*, 2017 - Attention is All you Need, in *Advances in Neural Information Processing Systems*,
- [5] ABDELHAMID M. *et al.*, 2022 - Levantine hate speech detection in twitter, Social Network Analysis and Mining, vol. 12, no. 1, p. 121
- [6] Most used languages online by share of websites 2024, Statista. <https://www.statista.com/statistics/262946/most-common-languages-on-the-internet/> (accessed Mar. 29, 2024).
- [7] MULKI H. *et al.*, 2019 - L-HSAB: A Levantine Twitter Dataset for Hate Speech and Abusive Language, in *Proceedings of the Third Workshop on Abusive Language Online*, pp.111–118
- [8] MUBARAK H. *et al.*, 2022 - Emojis as Anchors to Detect Arabic Offensive Language and Hate Speech, arXiv, 10.48550/arXiv.2201.06723.
- [9] HUSAIN F. *et al.*, 2022 - Investigating the Effect of Preprocessing Arabic Text on Offensive Language and Hate Speech Detection, ACM Transactions on Asian and Low-Resource Language Information Processing, vol. 21, no. 4, p. 73:1-73:20
- [10] ELKAREF N. *et al.*, 2022 - GUCT at Arabic Hate Speech 2022: Towards a Better Isotropy for Hatespeech Detection, in

- Proceedings of the 5th Workshop on Open-Source Arabic Corpora and Processing Tools with Shared Tasks on Qur'an QA and Fine-Grained Hate Speech Detection*, pp.209–213
- [11] MOSTAFA A. *et al.*, 2022 - GOF at Arabic Hate Speech 2022: Breaking The Loss Function Convention For Data-Imbalanced Arabic Offensive Text Detection, in *Proceedings of the 5th Workshop on Open-Source Arabic Corpora and Processing Tools with Shared Tasks on Qur'an QA and Fine-Grained Hate Speech Detection*, pp.167–175
- [12] BENNESSIR M. A. *et al.*, 2022 - iCompass at Arabic Hate Speech 2022: Detect Hate Speech Using QRNN and Transformers, in *Proceedings of the 5th Workshop on Open-Source Arabic Corpora and Processing Tools with Shared Tasks on Qur'an QA and Fine-Grained Hate Speech Detection*, pp.176–180
- [13] MINH D. *et al.*, 2022 - Explainable artificial intelligence: a comprehensive review, Artificial Intelligence Review, vol. 55, no. 5, pp. 3503–3568
- [14] ABDELWAHAB Y. *et al.*, 2022 - Justifying Arabic Text Sentiment Analysis Using Explainable AI (XAI): LASIK Surgeries Case Study, Information, vol. 13, no. 11, p. 536
- [15] ALKOURDI R. *et al.*, 2023 - Interpreting a Model Trained for Detecting Hate Speech in Arabic Tweets, Al-Baath University Journal, vol. 46, no. 1, pp. 133–168
- [16] MUBARAK H. *et al.*, 2019 - Arabic Offensive Language Classification on Twitter, in *Social Informatics*, pp.269–276
- [17] BOULOUARD Z. *et al.*, 2022 - Detecting Hateful and Offensive Speech in Arabic Social Media Using Transfer Learning, Applied Sciences, vol. 12, no. 24, p. 12823
- [18] BUDUMA N. *et al.*, 2022 - Fundamentals of Deep Learning: Designing Next-Generation Machine Intelligence Algorithms.

- O'Reilly Media, 2nd edition, Beijing Boston Farnham
Sebastopol Tokyo, 387 pp.
- [19] DUWAIRI R. *et al.*, 2021 - A Deep Learning Framework for Automatic Detection of Hate Speech Embedded in Arabic Tweets, *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 46, no. 4, pp. 4001–4014
- [20] MOHAOUCHANE H. *et al.*, 2019 - Detecting Offensive Language on Arabic Social Media Using Deep Learning, in *2019 Sixth International Conference on Social Networks Analysis, Management and Security (SNAMS)*, pp.466–471
- [21] ALSHAALAN R. *et al.*, 2020 - Hate Speech Detection in Saudi Twittersphere: A Deep Learning Approach, in *Proceedings of the Fifth Arabic Natural Language Processing Workshop*, pp.12–23
- [22] GUELLIL I. *et al.*, 2022 - Ara-Women-Hate: An Annotated Corpus Dedicated to Hate Speech Detection against Women in the Arabic Community, in *Proceedings of the Workshop on Dataset Creation for Lower-Resourced Languages within the 13th Language Resources and Evaluation Conference*, pp.68–75
- [23] DEVLIN J. *et al.*, 2019 - BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding, [arXiv:1810.04805 \[cs\]](https://arxiv.org/abs/1810.04805)
- [24] ANTOUN W. *et al.*, 2021 - AraBERT: Transformer-based Model for Arabic Language Understanding, arXiv, 10.48550/arXiv.2003.00104.
- [25] HUSAIN F. *et al.*, 2022 - Transfer Learning Across Arabic Dialects for Offensive Language Detection, in *2022 International Conference on Asian Language Processing (IALP)*, pp.196–205
- [26] ABDUL-MAGEED M. *et al.*, 2021 - ARBERT & MARBERT: Deep Bidirectional Transformers for Arabic, in *Proceedings of*

the 59th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and the 11th International Joint Conference on Natural Language Processing (Volume 1: Long Papers), pp.7088–7105

- [27] MUBARAK H. *et al.*, 2022 - Overview of OSACT5 Shared Task on Arabic Offensive Language and Hate Speech Detection, in *Proceedings of the 5th Workshop on Open-Source Arabic Corpora and Processing Tools with Shared Tasks on Qur'an QA and Fine-Grained Hate Speech Detection*, pp.162–166
- [28] KOKHLIKYAN N. *et al.*, 2020 - Captum: A unified and generic model interpretability library for PyTorch, arXiv, 10.48550/arXiv.2009.07896.
- [29] SUNDARARAJAN M. *et al.*, 2017 - Axiomatic Attribution for Deep Networks, in *Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning*, pp.3319–3328
- [30] BISONG E., 2019 - Google Colaboratory, *Building Machine Learning and Deep Learning Models on Google Cloud Platform: A Comprehensive Guide for Beginners*, pp. 59–64. Apress, Berkeley, CA, 2019 - .
- [31] ALPAYDIN E., 2021 - Machine Learning, revised and updated edition. The MIT Press, Revised, Updated edition, Cambridge, Massachusetts, 280 pp.

نمذجة ومحاكاة اضطرابات جودة التغذية الكهربائية في شبكة التوزيع الكهربائية التي تغذي أحمالاً اضطرابية عالية

م. زينب العلي¹ د.م. سامر ربيع² د.م. روزبة مندو³

الملخص

تعتبر أفران الصهر بالقوس الكهربائي من الأحمال الكهربائية الاضطرابية العالية المعقدة، ذات خصائص غير الخطية تسبب اضطرابات في جودة التغذية الكهربائية، مما يؤثر سلباً على أداء الشبكة الكهربائية. يهدف البحث إلى دراسة، وتحليل اضطرابات جودة التغذية الكهربائية الناتجة عن فرن قوس كهربائي 21MVA بسعة 30ton موجود في الشركة العامة للمنتجات الحديدية والفولاذية في مدينة حماة.

تم استخدام جهاز محلل الطاقة المبرمج Chauvin Arnoux C.A 8334B وفقاً للمواصفة القياسية العالمية /EN/IEC 61000-3-3-2013/ لإجراء القياسات العملية في نقطة الربط المشتركة، ثم بناء نموذج لشبكة التوزيع الكهربائية المغذية لهذا الفرن في بيئة برمجية Matlab/Simulink environment. حيث تمت عملية محاكاة النموذج من أجل عدة حالات تشغيل مختلفة للفرن. أظهرت الاختبارات على النموذج كفاءة النموذج وقدرته على محاكاة الاضطرابات الناتجة وبالتالي إمكانية تحديد طريقة العلاج المناسبة لكل اضطراب، كما أظهرت القياسات العملية قيماً مرتفعة للتوافقيات، تجاوزت القيم الحدية المسموحة عالمياً. وهذا يؤكد أن مكثفات التعويض المستخدمة غير كافية ولا تقوم بمعالجة الاضطرابات الحاصلة بالشكل المطلوب، لذلك تم اقتراح حلول مجدية لمعالجة تلك الاضطرابات بغية تحسين جودة التغذية الكهربائية وأداء المعدات.

الكلمات المفتاحية: فرن القوس الكهربائي، اضطرابات جودة التغذية، النمذجة والمحاكاة، بيئة الماتلاب.

¹ طالبة دراسات عليا (دكتوراه) في قسم الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث - حمص - سوريا

² أستاذ في قسم الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث - حمص - سوريا

³ مدرس في قسم التحكم والحاسوب - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث - حمص - سوريا

Modeling and Simulation of Power Quality Disturbances in The Distribution Network That Feeds a Highly non-Linear Loads

Eng Zainab AL Ali , Dr. Eng Samer Rabih , Dr.Eng Rawzbh Mndow

Abstract

Electric arc smelting furnaces are considered to have complex, highly turbulent electrical loads with non-linear characteristics, which cause disturbances in the quality of the electrical supply, which negatively affects the performance of the electrical network. The research aims to study and analyze the disturbances in the quality of the electrical supply resulting from a 21MVA electric arc furnace with a capacity of 30ton located in the General Company for Iron and Steel Products in the city of Hama. A programmed energy analyzer, Chauvin Arnoux 8334B-C.A., was used. according to international standard /EN/IEC 61000 -3-3-2013/.

In this research, a model of the electrical distribution network feeding this furnace was built using the Matlab/Simulink environment after conducting practical measurements. The simulation process was also carried out for several different operating cases of the furnace, where tests on the model demonstrated the efficiency of the model and its ability to simulate the resulting disturbances so as to determine the appropriate treatment method for each disturbance. Practical measurements also showed high values of harmonics, exceeding the internationally permissible limit values.

This confirms that the compensation capacitors used are insufficient and do not treat the disturbances as required. Therefore, feasible solutions have been proposed to treat disturbances in the quality of the electrical supply.

Keywords: electric arc furnace, feed quality disturbances, modeling and simulation, MATLAB environment.

¹Phd Candidate , Department of Electrical Power- Faculty of mechanical and electrical Engineering, Al-Baath University,Homs,Syria

² Professor , Department of Electrical Power- Faculty of mechanical and electrical Engineering, Al-Baath University,Homs,Syria, Homs,Syria

³ Lecturer, Department of Control and Computing- Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Al-Baath University, Homs- Syria.

1-المقدمة:

لقد أحدثت أفران القوس الكهربائي ثورة حقيقية في مجال صناعة الحديد، والفولاذ. إذ تعتمد هذه الأفران على الحرارة المتولدة نتيجة مرور تيارات كهربائية كبيرة متغيرة باستمرار عبر الأقطاب والخردة المعدنية والتي تصل حتى 3500C^0 [2]، [1]. على الرغم من المميزات العديدة لهذه الأفران إلا أن السلوك العشوائي للقوس الكهربائي المتشكل يسبب اضطرابات مهمة ومؤثرة في خصائص جودة التغذية الكهربائية (انحراف التردد، تغيرات في الجهد والتيار، التوافقيات الفردية، والزوجية، وكذلك الارتعاش، وانخفاض عامل الاستطاعة). لذلك كان من الضرورة بمكان البحث والدراسة في طرق تشخيص ومعالجة هذه الاضطرابات لتحسين جودة التغذية الكهربائية وبالتالي تطوير الإنتاج كما ونوعاً [21]، [19]، [15].

قامت الدراسات التجريبية بوضع المعايير الدولية المسموحة التي تحدد معايير جودة التغذية الكهربائية العالمية [6]، (IEC 61000-4-30 defines power quality). في نقاط الربط المشتركة PCC مع الأحمال الاضطرابية العالية كفرن القوس الكهربائي [18]. كما بحثت إحدى الدراسات المرجعية في تأثير معوض الاستطاعة الردية الستاتيكي SVC على التوافقيات الناتجة عن فرن القوس الكهربائي وأظهرت نتائجها أن هذا المعوض لا يخفف من قيم التوافقية الثانية بل يزيد من قيمتها. تم اقتراح ربط مرشح خاص بالتوافقية الثانية [9]. كما توصلت دراسة أخرى إلى ضرورة الدقة في القياسات العملية وأهمية ذلك في تحليل تشوه الجهد الناتج عن فرن القوس الكهربائي، مما يعد أساساً في وضع الخطط للتطوير المستقبلي المتعلق بأفران القوس الكهربائي، وتصميم النماذج الحاسوبية لمحاكاة حالات التشغيل [8].

في هذا البحث تمت دراسة حالة أحد أفران الصهر بالقوس الكهربائي 21MVA موجود في الشركة العامة للمنتجات الحديدية والفولاذية في مدينة حماة من أجل تحليل، ودراسة

اضطرابات جودة التغذية الكهربائية الناتجة عنه، والتحقق من طريقة العلاج المستخدمة وهل هي كافية. ومجدية. واقتراح استخدام طرقاً أخرى في العلاج مثل استخدام STATCOM أو ربط ملفات تحريضية على التفرع مع مكثفات التعويض الموجودة [1]. لهذا الغرض تم ربط جهاز محلل الطاقة المبرمج في نقطة الربط المشتركة وهي خرج المحولة الرئيسية 230/33kV المغذية لهذا الفرن، ومن ثم إجراء القياسات العملية لمعظم الاضطرابات الكهربائية الناتجة، ورسم المخططات التي تبين تغيرات قيم كل اضطراب ناتج ومدى تجاوزها للقيم الحدية المسموحة عالمياً. بما أن سلوك فرن القوس الكهربائي هو سلوك فوضوي عشوائي لذلك تم استخدام طرق المجال الزمني التي تعتمد على المعادلات التفاضلية في تصميم وتطوير نموذج لدارة كهربائية مكافئة في بيئة برمجية MATLAB / Simulink من أجل محاكاة حالات التشغيل المختلفة للفرن. مع الأخذ بعين الاعتبار التغير العشوائي في قيمة الاستطاعة الفعلية التي يسحبها فرن القوس الكهربائي [3]، [20].

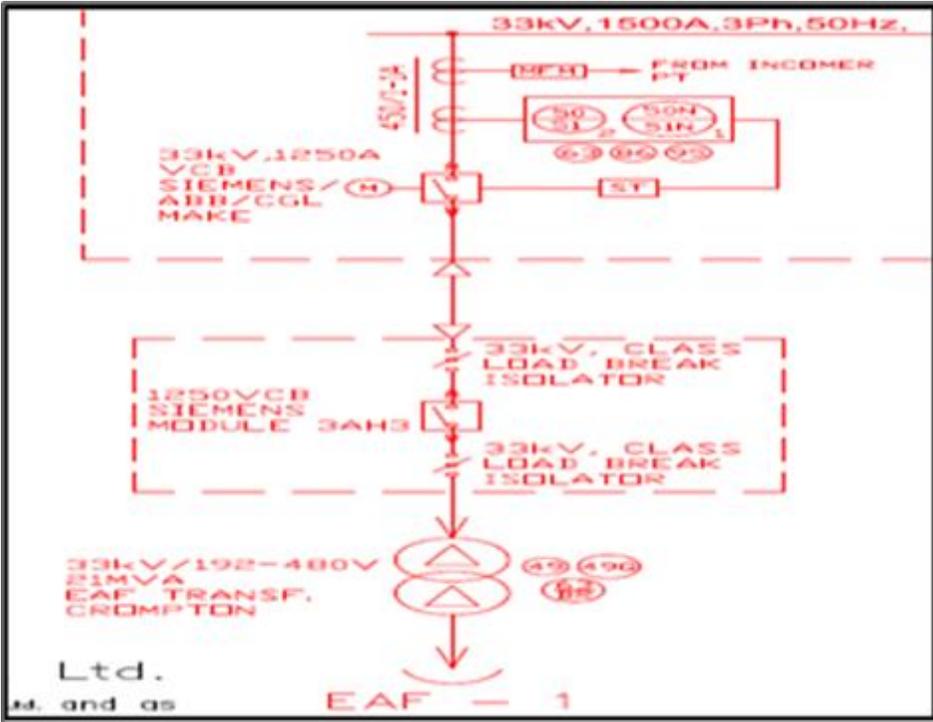
كما تم إجراء مقارنة القياسات العملية مع القياسات في النموذج، وحساب الخطأ النسبي المئوي [14]. حيث أظهرت النتائج كفاءة النموذج المستخدم، وقدرته على محاكاة حالات تشغيل مختلفة للفرن وبالتالي استخدامه كأساس في التخطيط لتطوير أفران القوس الكهربائي مستقبلاً .

2- طرق البحث ومواده:

تمت دراسة، وتحليل اضطرابات جودة التغذية الكهربائية الناتجة عن فرن قوس كهربائي 30Ton-21MVA، طاقته الانتاجية 150ton يومياً يتغذى من شبكة التوزيع الكهربائية، والذي تم توصيله كما هو مبين في الشكل (1):

حيث تتألف المنظومة من خط تغذية 230kV يغذي محولة رئيسية ثلاثية الطور خافضة للجهد 230/33KV. تم توصيل ملفات الدارة الأولية بشكل نجمي مؤرض

مباشرة ، أما ملفات الدارة الثانوية، فقد تم توصيلها بطريقة نجمي مؤرّض عبر مقاومة تأريض $17.3\ \Omega$ استطاعتها 63MVA ربطت مع محولة ثانية عبر كابل أرضي طوله 150m معزول بالزيت، تسمى المحولة الثانية بمحول الفرن خافضة للجهد (33kV/192-480V)، استطاعتها 21MVA وصلت ملفات دارتها الابتدائية والثانوية بشكل مثلثي، زودت الدارة الثانوية بـ TAP-CHANGER ذو 13 نقطة تفريع للتحكم بالجهد الذي يعمل عليه الفرن. يقوم الفرن بصهر شحنات من الخردة المعدنية المختلفة من حيث نوع المعدن على شكل تسلسلي مستمر .



الشكل (1): مخطط كهربائي يوضح طريقة توصيل فرن القوس الكهربائي إلى شبكة التوزيع الكهربائية السورية في مدينة حماة.

تم إجراء القياسات العملية لاضطرابات جودة التغذية الناتجة عن هذا الفرن بواسطة استخدام جهاز محلل الطاقة ثلاثي الطور من النوع (C.A 8334B)، والذي تم ربطه في خلية القياس من تاريخ 2023/8/27 وحتى 2023/8/31 وهي خرج المحولة

نمذجة ومحاكاة اضطرابات جودة التغذية الكهربائية في شبكة التوزيع الكهربائية التي تغذي أحمالاً اضطرابية عالية

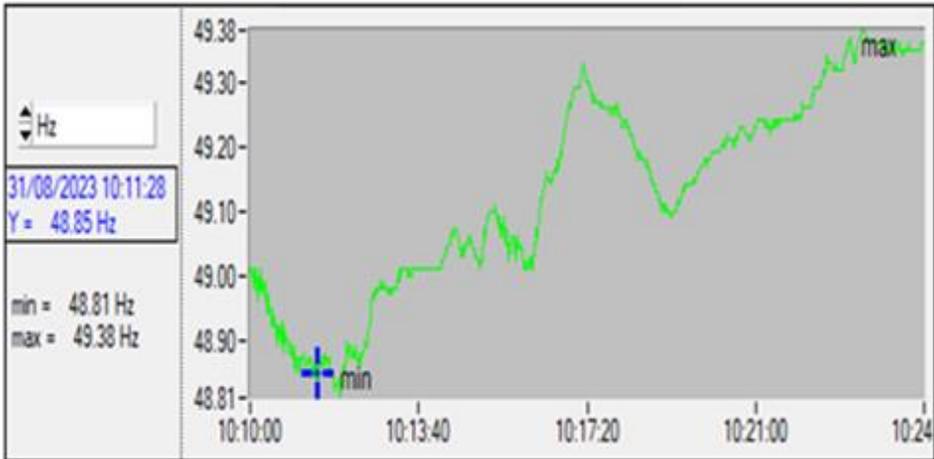
الرئيسية 230/33kV). حيث بينت قيم الاضطرابات المقاسة تجاوزها القيم المعيارية العالمية المسموحة وهذا ما يؤكد عدم كفاية مكثفات التعويض في تعويض الاستطاعة الردية، مما يتطلب استخدام طرق علاج أخرى مثل STATCOM أو ربط ملفات تحريضية على التفرع مع المكثفات الموجودة.

3 - قياس وتشخيص اضطرابات جودة التغذية الكهربائية:

يعرف الاضطراب الكهربائي بأنه مفهوم يصف المشاكل والملوثات التي تتعرض لها موجة التغذية في أي نظام كهربائي، وبالتالي فإن مستوى التغذية الكهربائية فيما إذا كان جيداً أو سيئاً يحدده أداء التجهيزات وعملها بالشكل الأمثل. وأهم هذه الاضطرابات (انحراف التردد، تغيرات التيار والجهد، التوافقيات الفردية والزوجية، تقلبات الذروة للجهد والتيار، وانخفاض عامل الاستطاعة).

3-1 قياس تغيرات التردد Frequency Changes:

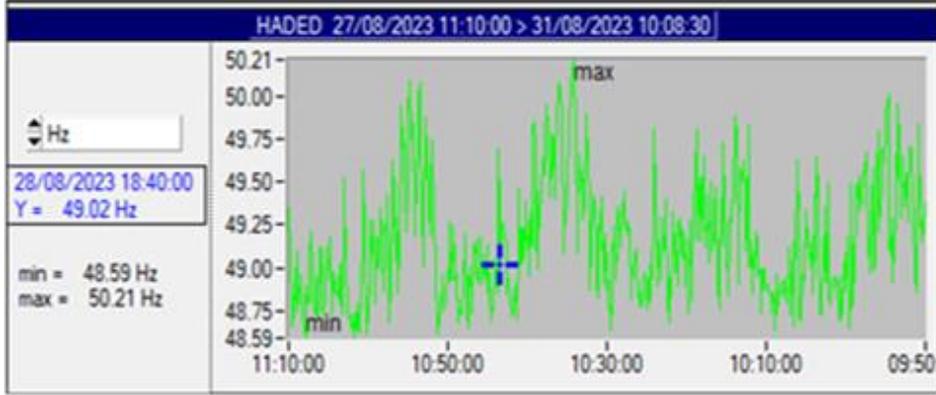
تم تسجيل تغيرات التردد بواسطة جهاز محلل الطاقة في نقطة الربط المشتركة PCC 33kV أثناء تشغيل الفرن مع مكثفات التعويض، حيث تم اختيار زمن القياس 15min وهي المدة اللازمة لصهر شحنة واحدة تبدأ من الحالة الصلبة وحتى السائلة كما هو مبين في الشكل (2).



الشكل (2): تغيرات التردد في نقطة الربط المشتركة PCC 33kV عند تشغيل الفرن مع

مكثفات التعويض في مرحلتي القياس .

ولمعرفة تغيرات التردد بشكل أوضح، تم ربط جهاز محلل الطاقة لمدة 4 أيام من أجل عدة شحنات متكررة مع المحافظة على شروط التشغيل نفسها، وكانت النتائج كما هي مبينة في الشكل (3).



الشكل (3): تغيرات التردد في نقطة الربط المشتركة (PCC 33kV) عند تشغيل الفرن مع

مكثفات التعويض مدة 4 أيام

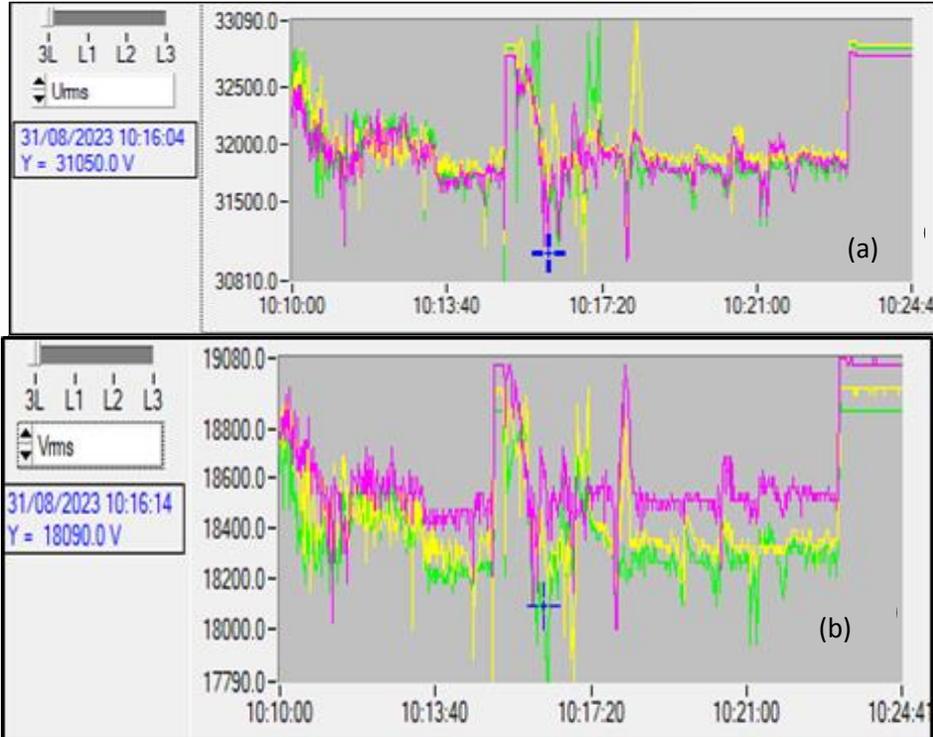
الجدول (1): القيمة العظمى والصغرى للتردد المقاس في نقطة الربط المشتركة

التغير المسموح به	قيمة تغير التردد كنسبة مئوية من التردد الأساسي	القيمة الصغرى للتردد Hz	القيمة العظمى للتردد Hz	حالة التشغيل
± 0.5 % OF 50HZ	1,44 %	48.59	49.31	الحالة الصلبة
	1.94 %	49,24	50.21	الحالة السائلة

نلاحظ من المخطط أن قيم التردد تتغير باستمرار بشكل عشوائي غير ثابت أو مستقر وذلك بسبب السلوك العشوائي للفرس الكهربائي، وأيضاً بسبب عدم استقرار الحمل وتغيره بصورة مستمرة، إذ سجلت أدنى قيمة للتردد 48,59Hz، وأعلى قيمة 50.21Hz. هذا التغير غير المستقر قد تجاوز المجال المسموح به ($\pm 0.5\%F_n$) بالتالي سيؤثر على أداء التجهيزات الإلكترونية.

2-3 قياس تغيرات الجهد Voltage Changes

تم قياس القيمة الفعلية للجهود بين كل طورين (Phase-Phase)- Urms (V) وكذلك جهد كل طور (Phase to ground) - Vrms (V) كما هو موضح في الشكل (4) a,b: عند تشغيل الفرن مدة زمنية من الساعة: 10:10 وحتى الساعة 10:24 في نقطة الربط المشتركة (PCC 33K.V).



الشكل (4): تغيرات جهد الخط وجهد الطور في نقطة الربط المشتركة (PCC 33kV) عند تشغيل الفرن مع مكثفات التعويض في مرحلتي الصهر.

تبين من الشكل (4) a : أن أكبر تغير لجهد الخط المقاس في نقطة الربط المشتركة يحدث في المرحلة الصلبة بسبب عدم استقرار القوس الكهربائي المتشكل بين الأقطاب والخردة الصلبة في هذه المرحلة، حيث يلاحظ هبوطاً مهماً في جهد الخط. فقد وصل جهد الخط إلى القيمة 30.8kV عند اللحظة (10:14:20) وذلك بسبب التغير الكبير والعشوائي للتيار في هذه المرحلة إذ أن كل تغير في التيار يقابله تغيراً في الجهد. حددت

المواصفة القياسية العالمي (IEC/ 61000-3-2) أعظم قيمة للتغير بالقيمة $(3\%U_N)$ بين قيمتين للجهد U_A, U_B كما في العلاقة (1) :

$$\Delta U = \frac{U_A - U_B}{U_N} 100 \% \quad (1)$$

لوحظ أن تغير جهد الطور الأول قد وصل إلى القيمة $6.24\%U_N$ متجاوزاً القيمة الحدية المسموح بها عالمياً وهي $(3\%U_N)$ في المرحلة الصلبة من الصهر، بينما كان أدنى منها في المرحلة السائلة وذلك بسبب التغير السريع في الطلب على الاستطاعة في المرحلة الصلبة التي يحدث فيها تغير عشوائي، وسريع للقوس المتشكل بين الأقطاب والخردة المعدنية.

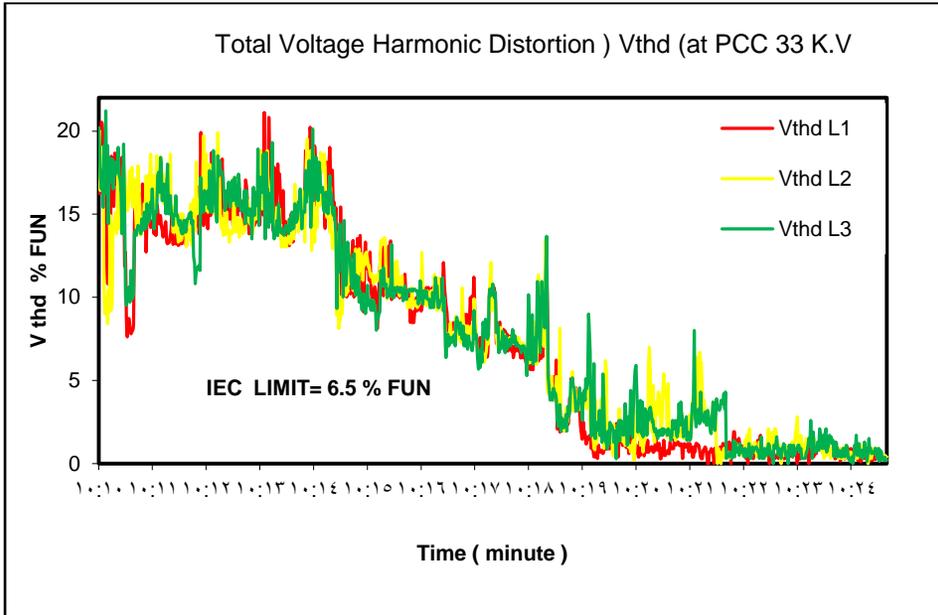
3-3 قياس معامل التشوه التوافقي الكلي للجهد (Vthd) :

يعتبر معامل التشوه التوافقي الكلي (Total Harmonic Distortion) (thd) من المؤشرات الأساسية التي تحدد مقدار جودة التغذية الكهربائية ومدى انحرافها عن المقاييس العالمية المحددة في النظم الدولية ويعطى كما في العلاقة (2) [9]، [8] .

$$thd\% = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} h_n^2}}{h_1} \times 100 \quad (2)$$

h_1 : مطال المركبة الأساسية h_n : مطال التوافقية ذات الرتبة n

وقد حددت المواصفة القياسية العالمية IEC 61000-3-2 القيمة الحدية المسموح بها على توتر 33K.V بالقيمة 6.5% كنسبة مئوية من قيمة المركبة الأساسية للجهد. وعند قياس معامل التشوه التوافقي الكلي للجهد في نقطة الربط المشتركة كانت النتائج كما هو مبين في الشكل (5) وذلك عند تشغيل الفرن في مرحلتي الصهر (الصلبة ، السائلة) من أجل إحدى الشحنات وزمن قدره 15 دقيقة للشحنة الواحدة. لقد أظهرت النتائج قيمة عالية ومتغيرة لمعامل التشوه التوافقي الكلي للجهد Vthd و أعلى من الحد المسموح به في المرحلة الصلبة من الصهر، أما في المرحلة السائلة فقد انخفضت قيمة Vthd وكانت أدنى من الحد المسموح به، وهذا يؤكد عدم كفاية مكثفات التعويض الموجودة على تخفيف أو إلغاء التوافقيات في المرحلة الصلبة من الصهر.



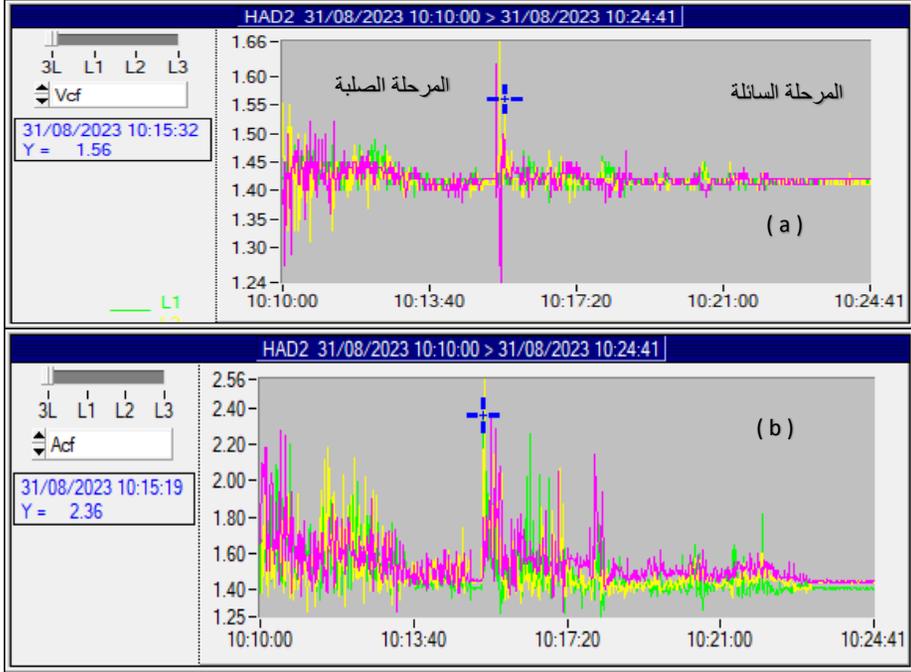
الشكل (5): تغيرات معامل التشوه التوافقي الكلي للجهد في نقطة الربط المشتركة عند تشغيل الفرن مع مكثفات التعويض.

3-4 اضطراب الذروة:

يتم تحديده بواسطة معامل الذروة (crest factor) لكل من جهد الطور وتيار الطور، ويعتبر من اضطرابات جودة التغذية الكهربائية المهمة والتي تشير إلى الشكل الغير جيبى لموجة الجهد والتيار. وقد حُدد معامل الذروة في الموجة الجيبية بالقيمة 1.414 وبالتالي أي قيمة انحراف عن هذه القيمة تدل على وجود الاضطراب. إن قيمة V_{cf} تعطى كما في العلاقة (3) :

$$\text{Voltage crest factor } (V_{cf}) = \text{peak voltage}/V_{rms} = 1.414 \quad (3)$$

يبين الشكل (6) نتائج القياس لكل من عامل الذروة للجهد والتيار (V_{cf} , A_{cf}) في نقطة الربط المشتركة:



الشكل (6): تغير معامل الذروة للجهد **a** وللتيار **b** في نقطة الربط المشتركة عند تشغيل الفرن مع مكثفات التعويض في مرحلتي الصهر .

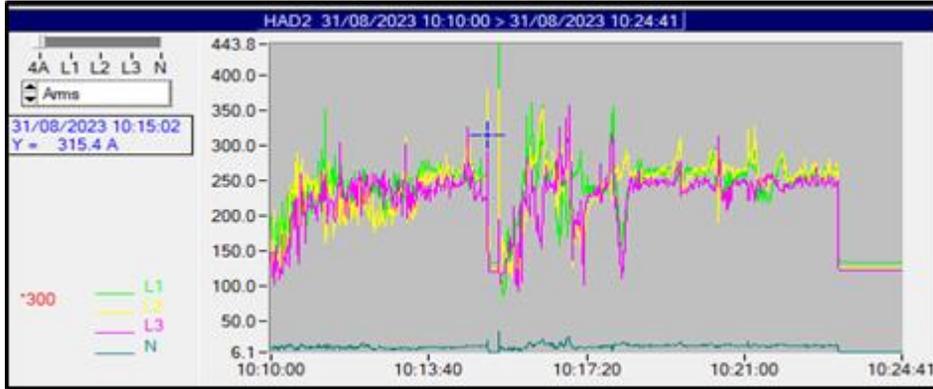
يظهر الشكل قيمة معامل الذروة للتيار أكبر من قيمة معامل الذروة للجهد وهذا يدل على أن التشوه الحاصل في التيار متغير بشكل عشوائي وأكبر منه في الجهد في المرحلة الصلبة من الصهر وقد تجاوز القيمة المعيارية (1.414)، بينما تنخفض قيمة معامل الذروة ومقدار التغير يقل أيضاً في المرحلة السائلة حيث يكون القوس مستقرًا.

3-5 قياس تغيرات التيار Current Changes :

تتغير قيمة التيار بشكل سريع في نقطة الربط المشتركة نتيجة للسحب العشوائي للاستطاعة من قبل فرن القوس الكهربائي ذي الطبيعة العشوائية وغير المستقرة [9], [4] , وتحدد قيمة التغير المسموح به حسب المواصفة القياسية العالمية (IEC61000-3-3) :
(3) ضمن المجال $120\% I_n$ بين قيمتين متتاليتين كما هو مبين في الشكل (7):

يتم حساب تغير التيار بين قيمتين متغيرتين للتيار من العلاقة :

$$\Delta I = \frac{IA - IB}{In} 100 \% \quad (4)$$

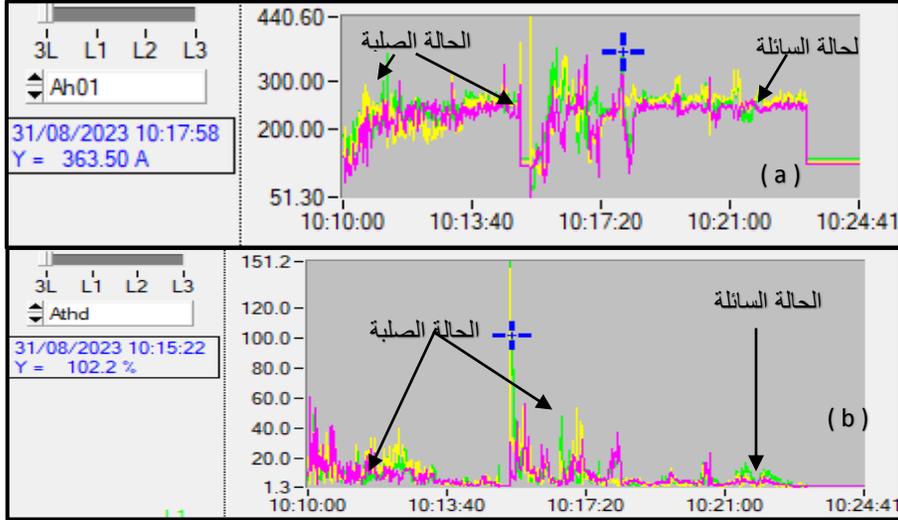


الشكل (7) : تغير القيمة الفعلية لتيار الأطوار الثلاثة في نقطة الربط المشتركة يبين الشكل تغير القيمة الفعالة للتيار بشكل كبير، حيث سجلت قيمة التغير بين قيمتين على الطور الثالث $14.29\%In$ خلال مجال الزمن (10:15:02 to 10:15:05) متجاوزة القيمة الحدية المسموح بها $1.2\%In = 1500A$ في المرحلة الصلبة. أما في المرحلة السائلة فقد انخفضت قيمة التغير في القيمة الفعالة للتيار إلى $0.33\%In$ وهي ضمن المجال المسموح به ، حيث في هذه المرحلة يكون القوس الكهربائي مستقرًا.

3-6 قياس عامل التشوه التوافقي الكلي للتيار (A_{thd}) :

تتألف الإشارة المشوهة من المركبة الأساسية للتيار ذات التردد 50HZ ومجموعة من التوافقيات ذات تردد من مضاعفات التردد الأساسي، تحسب قيم التوافقيات وعامل التشوه التوافقي الكلي كنسبة مئوية من المركبة الأساسية كما هو مبين في الشكل (8) a,b, ولتحديد القيم المسموحة حسب المواصفة القياسية العالمية (IEC 61000 -3-15) يجب أن نحسب نسبة القصر ($\frac{I_{SC}}{IL}$) ، في الحالة المدروسة كانت قيمة تيار الدارة القصيرة الأعظمي في نقطة الربط المشتركة $ISC = 18539.81 A$ أما تيار الحمل الأعظمي $IL = 1102.2A$ وبالتالي تكون $\frac{I_{SC}}{IL} = 16.8$. وأعلى قيمة مسموحة لمعامل التشوه التوافقي الكلي للتيار هي $A_{thd} = 5\%$ من قيمة المركبة الأساسية للتيار الطور الواحد. حيث يتبين أن معامل التشوه التوافقي الكلي قد وصل في الدقيقة : 10

15:17 إلى 151 % على الطورين الأول والثاني على الرغم من تشغيل مكثفات التعويض وهذه القيمة أعلى بكثير من الحد المعياري المسموح به عالمياً مما يؤكد على وجود التوافقيات بقيم كبيرة في المرحلة الصلبة وأنّ مكثفات التعويض قد ساهمت بزيادة قيم بعض التوافقيات كالتوافقية الثالثة .



الشكل (8): عامل التشوه التوافقي الكلي للتيار

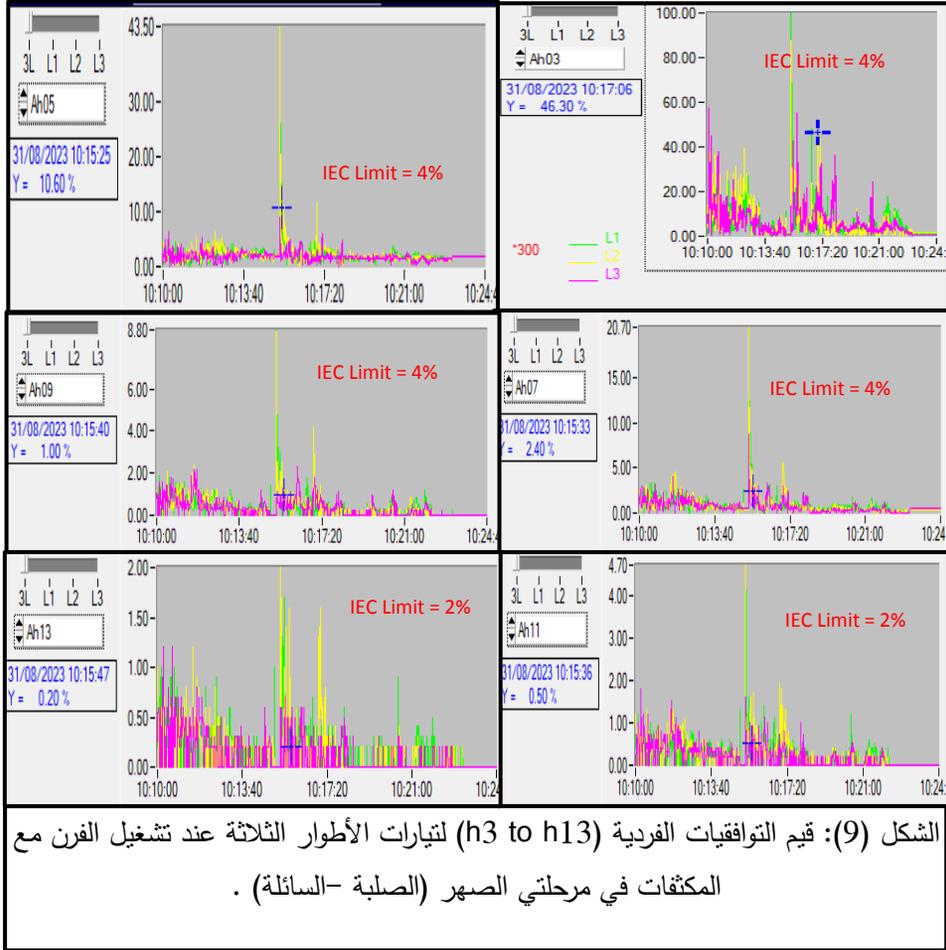
3-7 قياس توافقيات التيار (Current harmonics):

بسبب طبيعة السلوك العشوائي، وغير المستقر للأفران القوسية فإن ذلك يؤدي إلى نشوء تيارات توافقية، تكون عالية في المرحلة الصلبة والتي يكون فيها طول القوس الكهربائي متغير بشكل سريع وغير مستقر. وعند قياس التوافقيات الفردية للتيار من التوافقية (Ah₃ to Ah₁₃) كنسبة مئوية من المركبة الأساسية على الأطوار الثلاثة (L₁، L₂، L₃) عند تشغيل الفرن مع مكثفات التعويض في المرحلتين (الصلبة والسائلة) كانت النتائج كما هو مبين في الشكل (9).

إنّ القيمة المعيارية المحددة حسب المواصفة القياسية IEC 61000-3-12 للتوافقيات (Ah₃ to Ah₉) هي 4%، أما التوافقيات من (Ah₁₁ to Ah₁₃) تكون القيمة المعيارية هي 2%، من الشكل يتبين أن التوافقية الثالثة للتيار قد ظهرت بقيم كبيرة في المرحلة

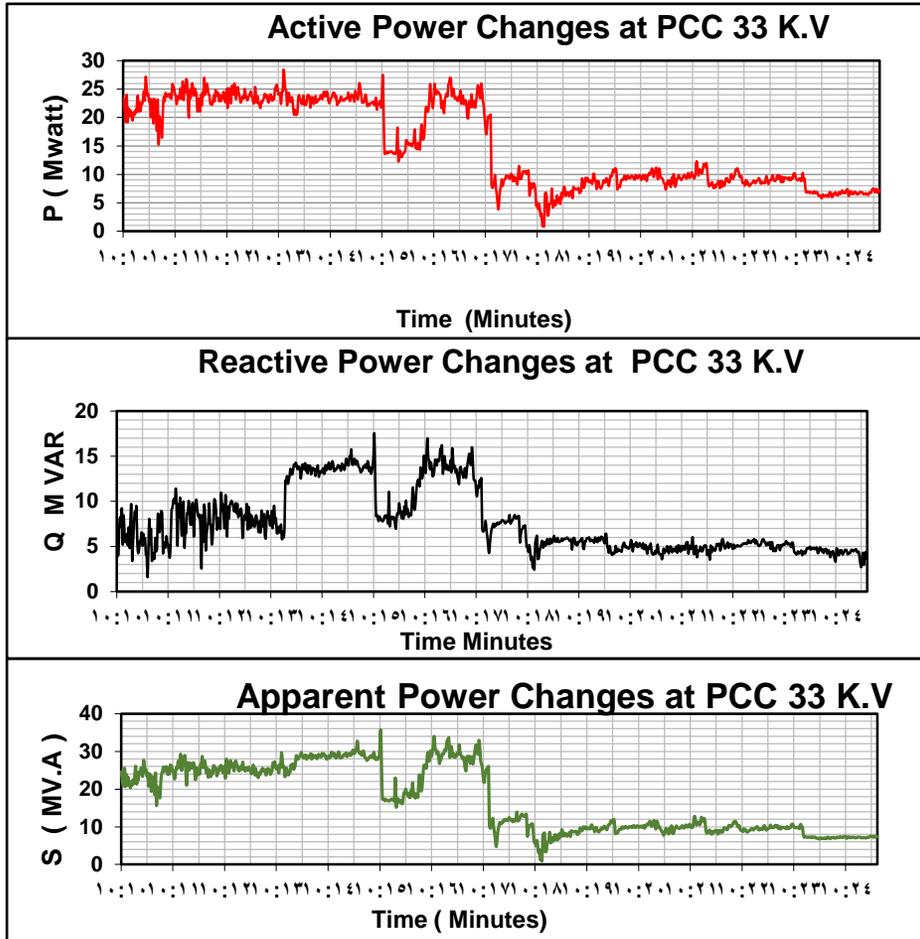
نمذجة ومحاكاة اضطرابات جودة التغذية الكهربائية في شبكة التوزيع الكهربائية التي تغذي أحلاماً
اضطرابية عالية

الصلبة وانخفضت قيمتها في المرحلة السائلة لكنها بقيت متجاوزة للحد المسموح به عالمياً وكذلك التوافقية الخامسة والسابعة قد ظهرت بقيم كبيرة ومتجاوزة للحد المسموح به مما يؤكد أن مكثفات التعويض لا تساعد في تخفيف قيم التوافقيات أو إزالتها كما أنها تزيد من قيمة التوافقية الثالثة.



3-8 قياس تغيرات الاستطاعة : Power Changes

يبين الشكل (10) نتائج قياس الاستطاعة في نقطة الربط المشتركة أثناء دورة تشغيل فرن القوس الكهربائي لصهر شحنة واحدة أن الاستطاعات (P,Q,S) تتغير بشكل كبير في المرحلة الصلبة وذلك بسبب السحب العشوائي للتيار المترافق مع هبوط ملحوظ في الجهد. يبدأ هذا التغير بالتناقص مع تزايد تشكل السائل المعدني.



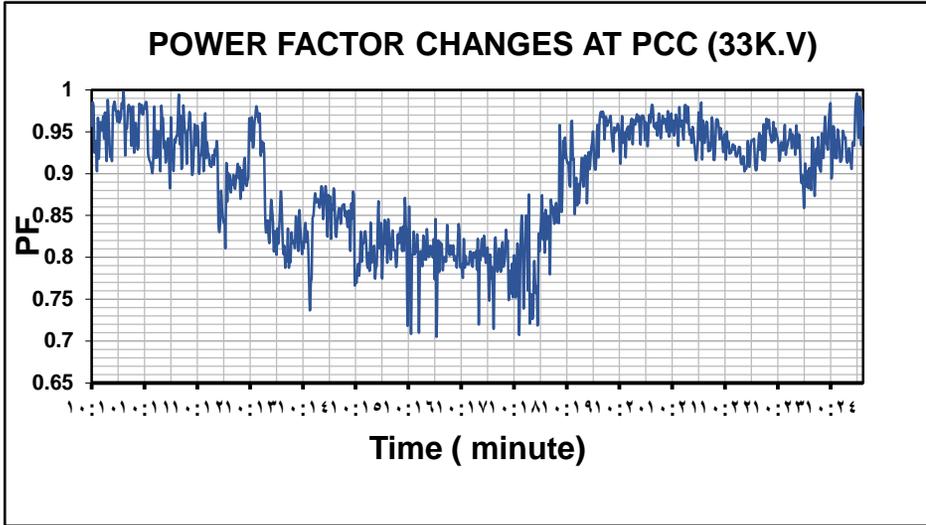
الشكل (10): تغيرات الاستطاعة الفعلية P والرديية Q والظاهرية S في نقطة الربط المشتركة عند تشغيل فرن الصهر في مرحلتي الصهر .

3-9 قياس تغيرات عامل الاستطاعة Power Factor Changes :

أظهر المخطط تغيرات معامل استطاعة فرن القوس الكهربائي في المرحلة الصلبة من الصهر، وعلى الرغم من وجود مجموعتين لتعويض الاستطاعة (مكثفات 2.1, 5.4 MVAR) إلا أنه حصل انخفاض في عامل الاستطاعة وصل إلى $PF = 0.721$ وذلك بسبب الطلب على الاستطاعة الفعالة المتزايدة والمتغيرة بشكل عشوائي من قبل

نمذجة ومحاكاة اضطرابات جودة التغذية الكهربائية في شبكة التوزيع الكهربائية التي تغذي أحمالاً اضطرابية عالية

الحمل في هذه المرحلة بسبب دارات القصر المتشكلة بين الأقطاب والخردة والتي تتبع نوع الخردة المعدنية المعدة للصهر.



الشكل (11) : تغيرات عامل الاستطاعة في نقطة الربط المشتركة عند تشغيل الفرن مع مكثفات
مكثفات التعويض في مرحلتي الصهر (الصلبة - السائلة)

4- النمذجة والمحاكاة:

إن أفضل الطرق المستخدمة في نمذجة أفران القوس الكهربائي هي المعادلات التفاضلية ضمن المجال الزمني والتي تعطى كمايلي :

$\frac{dR}{dT} = \frac{R}{\tau} \cdot \left(1 - \frac{v \cdot i}{P_0 \cdot R^{-\alpha}}\right), \quad g = \frac{1}{R}$	(1)
$g + t \cdot \frac{dg}{dt} = g_{min} + \left[1 - \exp\left(-\frac{i^2}{i_0}\right)\right] \cdot \frac{v \cdot i}{E_0^2} + \exp\left(-\frac{i^2}{i_0}\right) \cdot \left(\frac{i^2}{P_0}\right)$	(2)
$\tau = \tau_0 + \tau_1 \cdot \exp(-\alpha \cdot |i|)$	(3)
$v = \frac{i}{g}$	(4)

$\frac{dR}{dT}$: التغير العشوائي في مقاومة القوس الكهربائي .
g : ناقلية القوس الكهربائي ، i : تيار القوس الكهربائي ، v : توتر القوس الكهربائي .

الجدول (2) : قيم الثوابت والبارامترات المستخدمة في المعادلات .

الشكل (12) : يوضح النموذج الرياضي للمعادلات المنفذ في

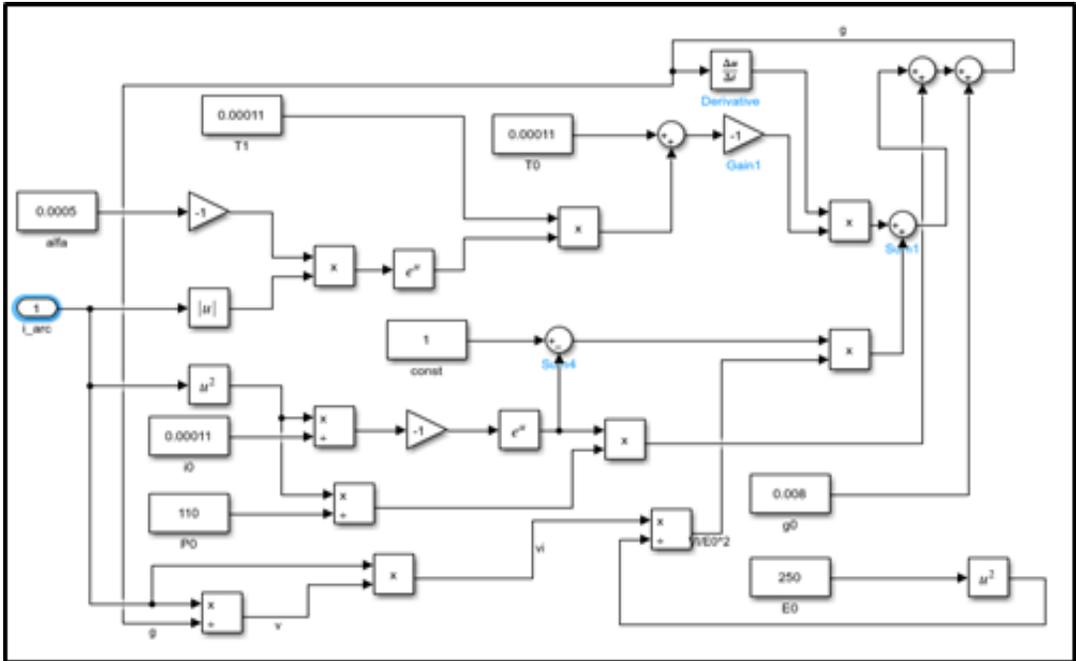
MATLAB/SIMULINK

الشكل (13) : يوضح النموذج الفيزيائي الكهربائي للمعادلات المستخدمة .

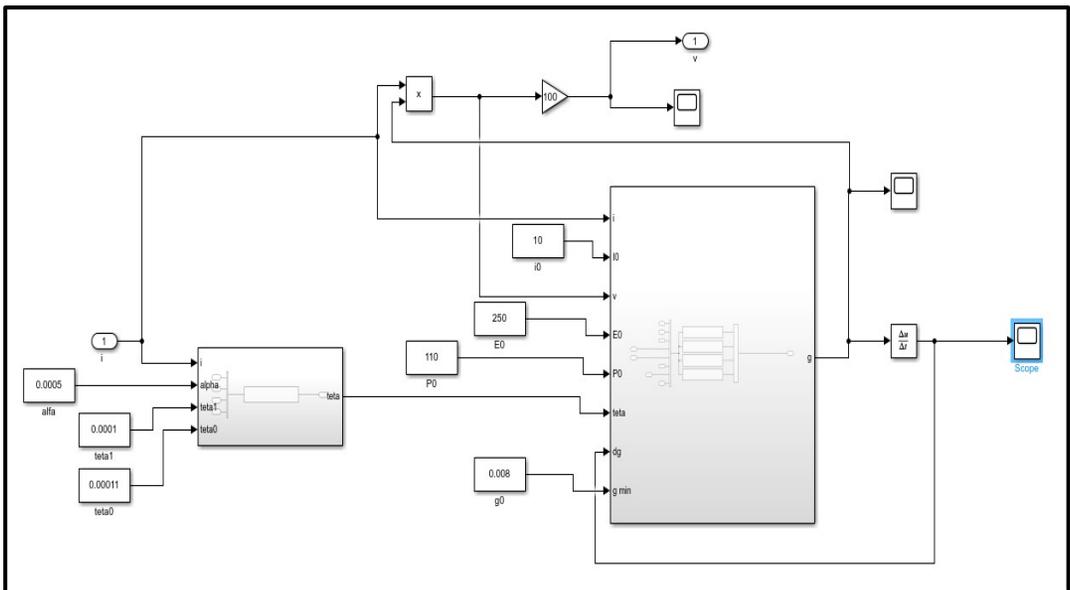
الجدول (2) : قيم الثوابت والبارامترات المستخدمة في معادلات القوس الكهربائي

التعريف	القيمة	البارامترات
أصغر تيار عابر للقوس الكهربائي	10 A	i_0
توتر اشتعال القوس	250V	E_0
أصغر قيمة لضياعات الاستطاعة	110 wat	P_0
ثابت زمني	110 μ s	τ_0
ثابت زمني	100 μ s	τ_1
قيمة ثابتة	0.0005	α
الناقلية الصغرى للقوس	0.008	g_{min}
تابع أسّي	تابع	τ

نمذجة ومحاكاة اضطرابات جودة التغذية الكهربائية في شبكة التوزيع الكهربائية التي تغذي أحمالاً
اضطرابية عالية



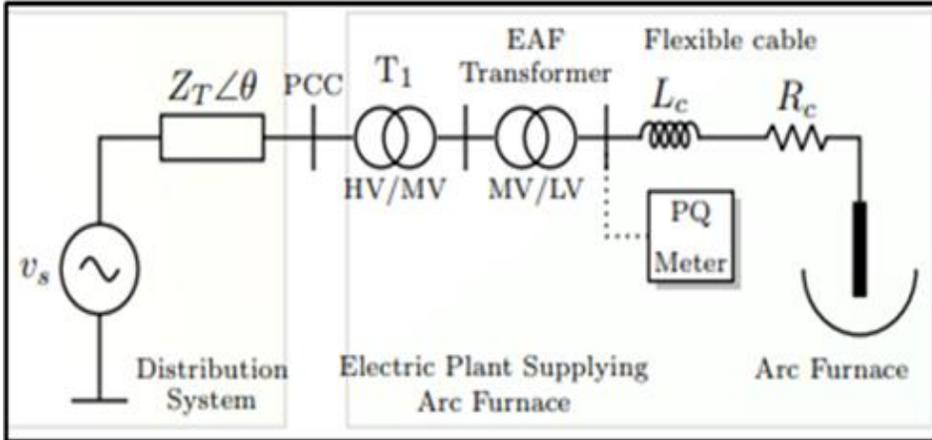
الشكل (12) : النموذج الرياضي / الماتلاب / المستخدم في نمذجة القوس الكهربائي المدرس



الشكل (13) : النموذج الفيزيائي الكهربائي المستخدم في نمذجة القوس الكهربائي المدرس

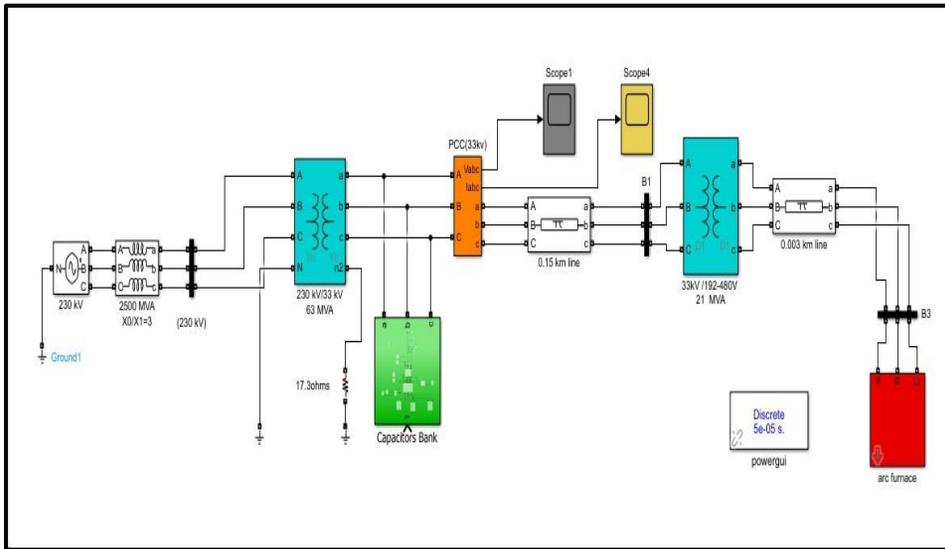
4-1: نمذجة الشبكة الكهربائية المغذية لفرن القوس الكهربائي:

تم بناء نموذج لجزء من الشبكة الكهربائية المغذية لفرن القوس الكهربائي المدروس. حيث تتألف هذه الشبكة من خط نقل بتوتر (230kV) الذي يغذي المحولة الكهربائية الرئيسية (Y/Y) خافضة للجهد (230/33kV) باستطاعة (63MVA). ترتبط هذه المحولة مباشرة مع المحول الكهربائي الثاني (Δ/Δ) والذي يدعى محول الفرن عبر كبل أرضي معزول بالزيت بطول 150m. الملفات الأولية والثانوية موصولة بشكل مثلثي، خافضة للجهد أيضاً (33KV/192-480V)، باستطاعة (21MVA). ثانوي المحول يحوي على 13 فرع للتحكم بجهد الخرج للمحولة بواسطة TAP CHANGER وتستخدم في المعمل محطتين لتعويض الاستطاعة الردية وتتألف من مكثفتين ($2.1MVAR, 5.4MVAR$) توصل على التفرع إلى قضيب التجميع 33kV. يبين الشكل (14)، والشكل (15) طريقة توصيل نموذج فرن القوس الكهربائي إلى شبكة التوزيع الكهربائية في بيئة الماتلاب.



الشكل (14): مخطط بسيط لطريقة توصيل فرن القوس الكهربائي في بيئة الماتلاب

نمذجة ومحاكاة اضطرابات جودة التغذية الكهربائية في شبكة التوزيع الكهربائية التي تغذي أحمالاً اضطرابية عالية



الشكل (15): نموذج لشبكة التوزيع الكهربائية التي تغذي فرن القوس الكهربائي

2-4 قياس تغيرات التردد:

تم قياس التردد في نقطة الربط المشتركة بواسطة دائرة لقياس التردد مصممة في ماتلاب ومن ثم حساب الخطأ النسبي المئوي بالاعتماد على العلاقة الرياضية :

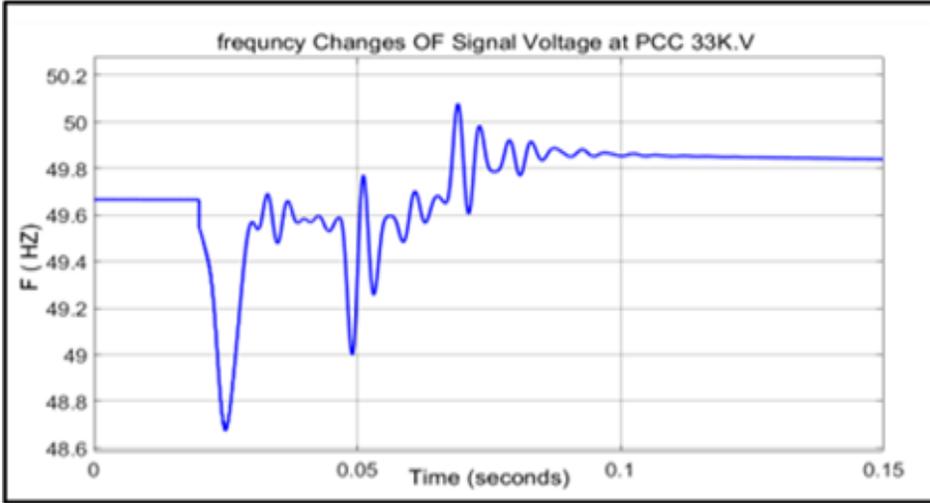
$$X_E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|X_{i,model} - X_{i,real}|}{X_{i,real}} \cdot 100 \% \quad (5)$$

X_i : قيمة الاضطراب ، N : هو عدد دورات مجال القياس الزمني.

الجدول (3): مقارنة قياس التردد في النموذج مع قياس التردد الحقيقي وحساب الخطأ

النسبي المئوي

المرحلة السائلة			المرحلة الصلبة				البارامترات
مقدار الانحراف عن القيمة المعيارية %0.5±	الخطأ النسبي المئوي % 10 ≥	القياس في النموذج	مقدار الانحراف عن القيمة الاسمية %0.5±	الخطأ النسبي المئوي % 10 ≥	القياس في النموذج	القياس الحقيقي	
≥0.1 %0.5±	1.03%	49.87	%2.82 ≥%0.5	2.064%	50.134	49.12	القيمة العظمى للتردد
	1.3%	49.82		49.18 %	0.178%	48.723	48.81	القيمة الصغرى للتردد



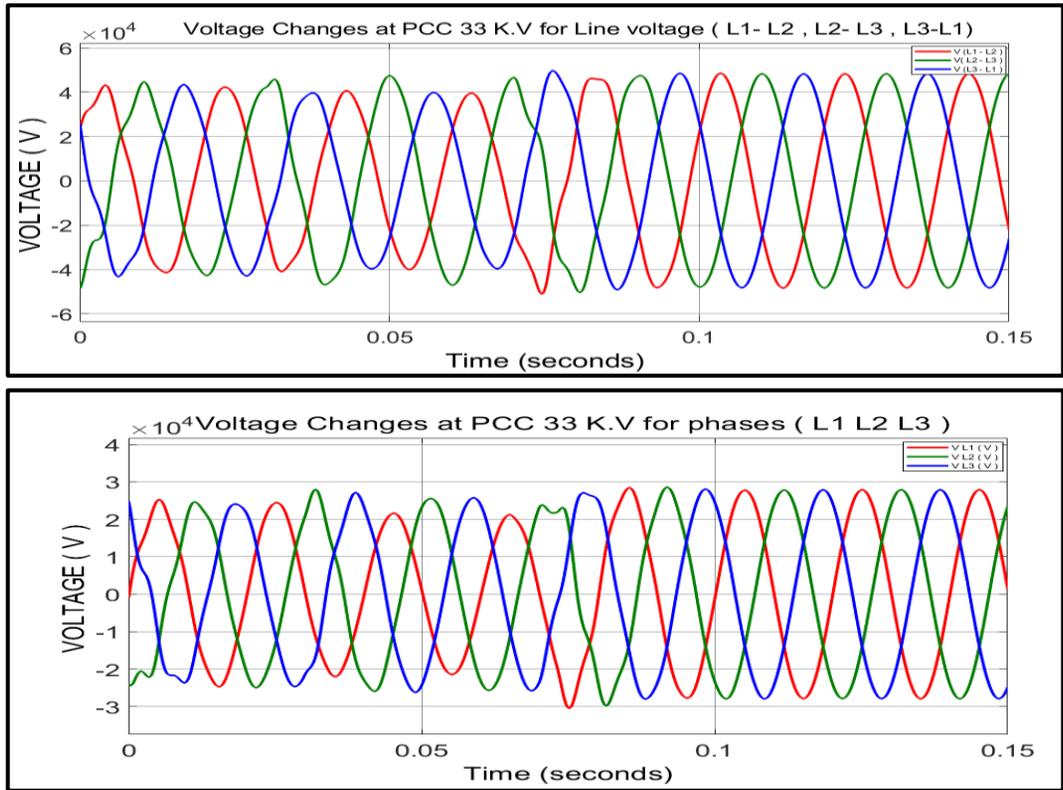
الشكل (16): تغيرات التردد في نقطة الربط المشتركة عند تشغيل الفرن مع مكثفات التعويض في مرحلتي الصهر (الصلبة، السائلة)

نلاحظ أن الخطأ النسبي المئوي أقل من 10% مما يؤكد قدرة النموذج على قياس التردد ومقدار تغيره في نقطة الربط المشتركة نتيجة توصيل أحمال غير خطية.

4-3: قياس تغيرات الجهد:

من أجل قياس تغيرات جهد الخط وجهد كل طور في نقطة الربط المشتركة، تم أخذ زمن تشغيل النمذجة 0.15sec والتي تقابل على الواقع 15min.

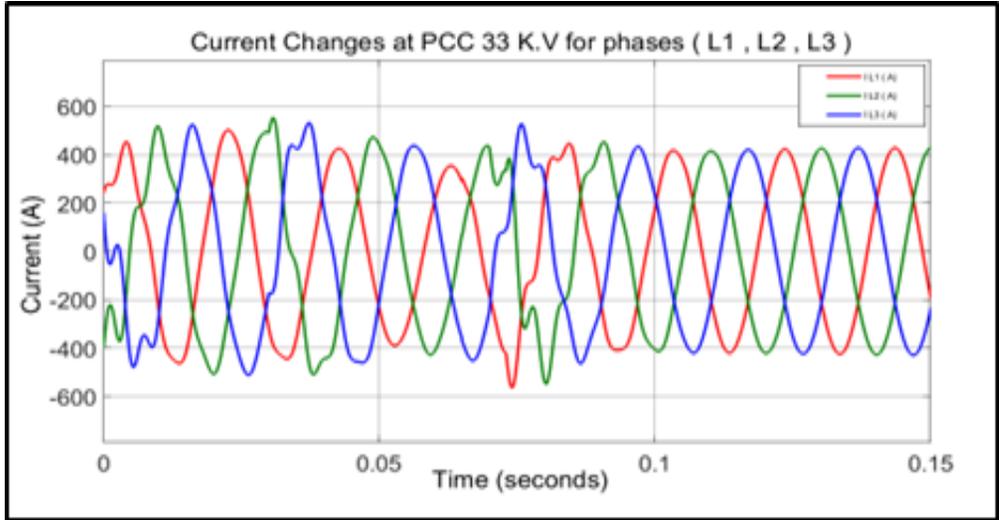
يظهر الشكل (17): تغيرات القيمة الفعلية لجهد الخط وجهد الطور المقاس في نقطة الربط المشتركة، حيث تظهر قيم التغير الكبيرة في المرحلة الصلبة من الصهر. أما في المرحلة السائلة فإن الشكل الموجي لكل من جهد الخط وجهد الطور يصبح جيبياً ومستقراً.



الشكل (17): تغيرات جهد الخط وجهد الطور في نقطة الربط المشتركة عند تشغيل الفرن مع مكثفات التعويض في مرحلتي الصهر

4-4 قياس تغيرات التيار:

يبين الشكل (18) التغير في قيم التيارات المقاسة في نقطة الربط المشتركة في المرحلة الصلبة من الصهر. أما في المرحلة السائلة تظهر موجة التيار جيبية مستقرة ولا تحوي تشوهات بسبب ثبات قيم التيار المسحوب من قبل فرن القوس الكهربائي إذ أن أي تغير في التيار يقابله تغيراً في الجهد.

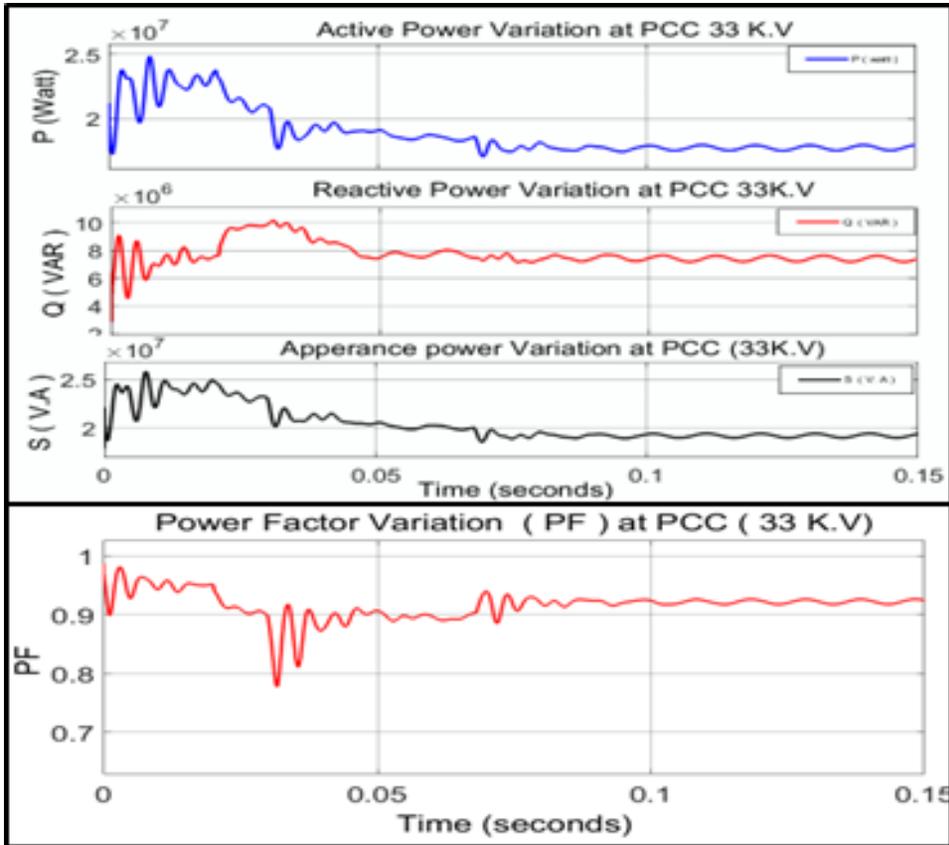


الشكل (18): تغيرات القيمة الفعلية لتيار الأطوار الثلاثة في نقطة الربط المشتركة عند تشغيل الفرن في مرحلتي الصهر

4-5 قياس تغيرات الاستطاعة:

يبين الشكل (19)، وباستخدام دارة قياس الاستطاعة المصممة في بيئة ماتلاب نتائج قياس كل من الاستطاعة الفعلية، والرديية، والظاهرية، وعامل الاستطاعة في نقطة الربط المشتركة عند تشغيل الفرن مع مكثفات التعويض .

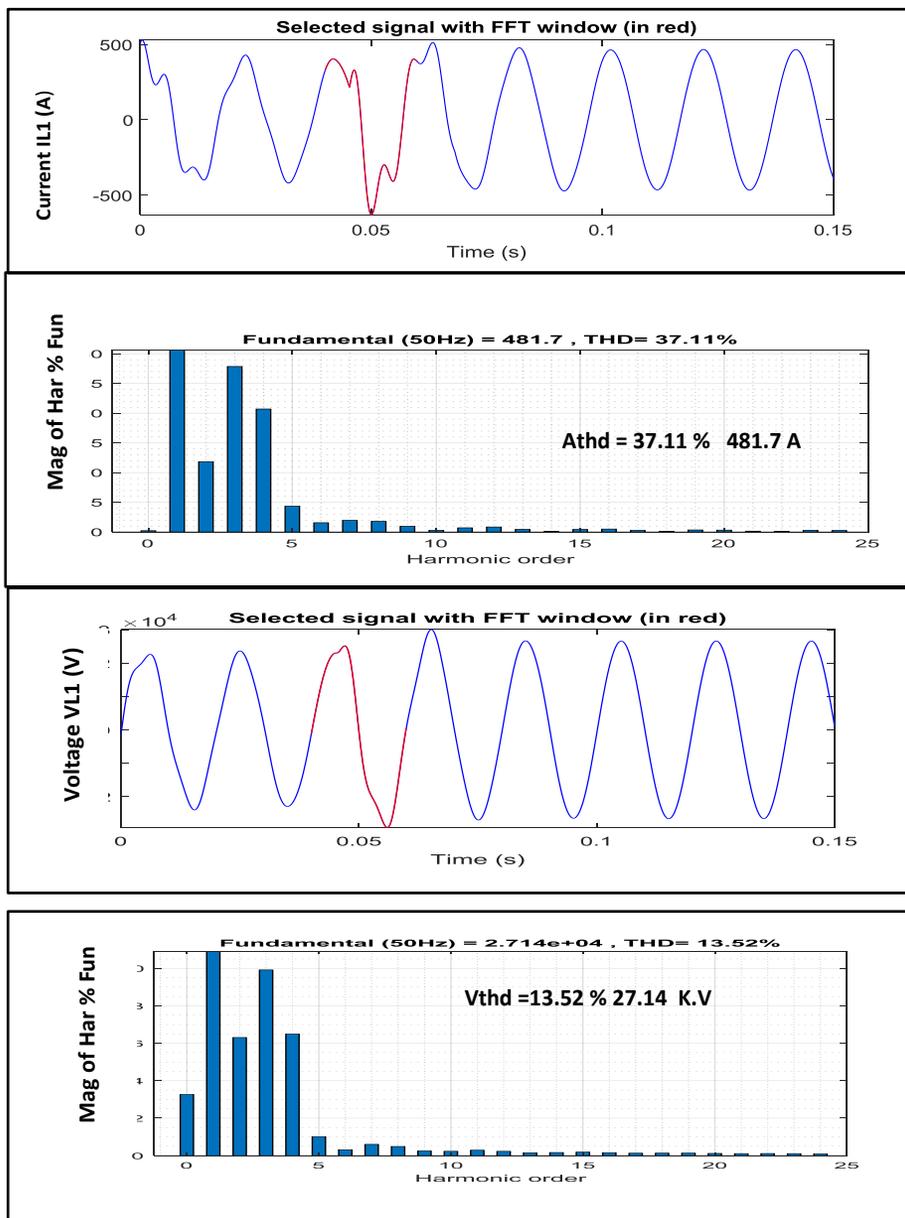
حيث لوحظ تغيراً كبيراً وعشوائياً في قيم الاستطاعات وفي قيم عامل الاستطاعة في المرحلة الصلبة وذلك بسبب التغير العشوائي في طلب الاستطاعة الرديية. وكانت أدنى قيمة لمعامل الاستطاعة في هذه المرحلة 0.78. أما في المرحلة السائلة، فقد ظهر عامل الاستطاعة مستقراً وثابتاً عند القيمة 0.94. مما يؤكد عدم كفاية مكثفات التعويض المستخدمة لتلبية التغير في الاستطاعة الرديية في المرحلة الصلبة من الصهر.



الشكل(19): تغيرات الاستطاعات (S, Q ,P) وعامل الاستطاعة في نقطة الربط المشتركة

4-6 قياس معامل التشوه التوافقي الكلي للجهد والتيار (Athd Vthd):

يُلاحظ من الشكل (20) وجود قيم مرتفعة لتوافقية التيار الثالثة حيث وصلت قيمتها في المرحلة الصلبة إلى 28.14% من المركبة الأساسية متجاوزة الحد المسموح به 4% على الرغم من تشغيل مكثفات التعويض وهذا يؤكد عدم قيام مكثفات التعويض بتخفيف قيم التوافقيات وخاصة التوافقية الثالثة. كما أنّ معامل التشوه التوافقي للجهد والتيار ظهر بقيم مرتفعة ومتجاوزة للحد المسموح به في المرحلة الصلبة.



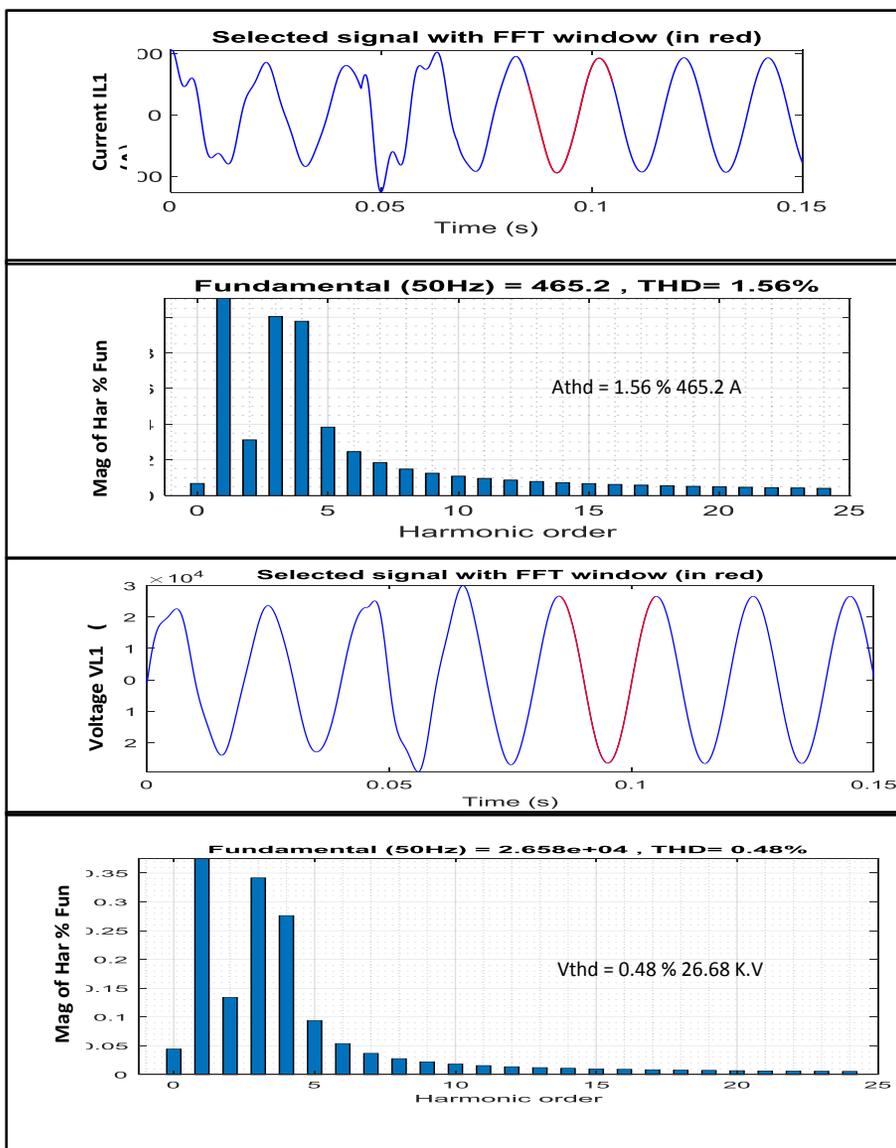
الشكل (20): تحليل فورييه لعامل التشوه التوافقي الكلي ومطال التوافقيات لتيار وجهد الطور الأول في نقطة الربط المشتركة في المرحلة الصلبة.

(b): القياس عند تشغيل الفرن في المرحلة السائلة:

عند قياس معامل التشوه التوافقي الكلي لكل من الجهد والتيار في نقطة الربط المشتركة عند تشغيل الفرن في المرحلة السائلة تبين ظهور قيم منخفضة لكل من A_{thd} , V_{thd} وذلك بسبب استقرار القوس في هذه المرحلة، وثبات قيمة الاستطاعة الفعلية، والردية المستجرة من قبل فرن القوس الكهربائي كما هو مبين في الشكل (21). عند مقارنة القياس الحقيقي لمعامل التشوه التوافقي الكلي لكل من الجهد، والتيار مع القياس في النموذج في مرحلتي الصهر كانت قيمة الخطأ النسبي المئوي المحسوب أقل من 10% كما يبين الجدول (4).

الجدول (4): مقارنة قيم عامل التشوه التوافقي الكلي للتيار وللجهد المقاس

المرحلة السائلة			المرحلة الصلبة			البارامترات
في اللحظة 10:21:32			في اللحظة 10:15:12			
الخطأ النسبي المئوي	القياس في النموذج	القياس الحقيقي	الخطأ النسبي المئوي	القياس في النموذج	القياس الحقيقي	
$\geq 10\%$	% fun	% fun	$\geq 10\%$	% fun	% fun	
0.2%	1.56 %	1.3%	3.7%	37.11%	35.78	A_{thd}
5.88%	0.48%	0.51%	2.3%	13.52%	13.84	V_{thd}



الشكل (21): تحليل فورييه لعامل التشوه التوافقي الكلي ومطال التوافقيات لتيار وجهد
الطور الأول نقطة الربط المشتركة في المرحلة السائلة.

4-4: النتائج والمناقشة:

✓ أظهرت نتائج القياسات الحقيقية المنقّدة في نقطة الربط المشتركة أثناء تشغيل فرن قوس كهربائي (21MVA) أنّ اضطرابات جودة التغذية الكهربائية تظهر بقيم كبيرة في المرحلة الصلبة من الصهر على الرغم من تشغيل مكثفات التعويض.

✓ كما أظهرت النتائج قيمةً مرتفعةً لمعامل الذروة لكل من الجهد والتيار وهي قيم كبيرة تدل على التشوه في شكل الموجة متجاوزة القيمة الحدية المسموحة $(1.414) (Vcf = 1.66, Acf = 2.56)$.

✓ لقد ظهر انخفاض في عامل الاستطاعة، إذ سجل قيمة تساوي $PF = 0.721$ في نقطة الربط المشتركة، كما ظهرت قيمةً مرتفعةً لمعامل التشوه التوافقي للتيار، وكذلك قيمةً مرتفعةً للتوافقية الثالثة متجاوزة للحد المسموح به. مما يؤكد أن تعويض الاستطاعة الردية باستخدام المكثفات غير كافي في حالة شبكات التوزيع المغذية لأفران القوس الكهربائي.

✓ أظهرت نتائج المحاكاة ومقارنة القياسات في النموذج المطور في بيئة MATLAB/SIMULINK مع القياسات الحقيقية أنّ الخطأ النسبي المئوي كان أقل من 10% مما يؤكد كفاءة النموذج في محاكاة حالات تشغيل مختلفة، وبالتالي إمكانية استخدامه لوضع الخطط من أجل تطوير فرن القوس الكهربائي مستقبلاً.

4-5 المقترحات والتوصيات:

- للتخفيف من تيارات الفرن العالية يمكن ربط ملفات تحريضية على التسلسل مع المكثفات الموجودة بحيث يحدث طنين تفرعي مما يؤدي إلى تخفيف قيم التوافقية الثانية، والرابعة، أما للتخفيف من قيم التوافقية الثالثة يقترح استخدام مرشح خاص بالتوافقية أو استبدال نظام التعويض المستخدم (المكثفات الستاتيكية) بالمعوض الستاتيكي (STATCOM).
- عند وضع الخطط من أجل تطوير أفران القوس الكهربائي (زيادة سعة الفرن وتطوير نظام التعويض). يمكن استخدام النموذج المطور كأساس للتخطيط المستقبلي.

المراجع العلمية

[1]	TAVAKKOLI, M. EHSAN, E., M.,2008 - “A SIMULINK Study of Electric Arc Furnace Power Quality Improvement by Using STATCOM”, IEEE International Conference on Industrial Technology 2008, ICIT 2008, 21-24 April 2008, pp. 1-6.
[2]	Golkar, M., Meschi, S.2008 - “MATLAB modeling of arc furnace for flicker study”, IEEE International Conference on Industrial Technology, 2008. ICIT 2008, 21-24 April 2008, pp. 1-6
[3]	MUNI, A., ANURADHA, B,2009 - “Modeling of Electric Arc Furnace & Control Algorithms for voltage flicker mitigation using DSTATCOM”, IPEMC, 1123-1129, 2009.
[4]	BANEJAD, M. HOOSHM, R.,2009 - “Exponential-Hyperbolic Model for Actual Operating conditions of Three Phase Arc Furnaces”, American Journal of Applied Sciences 6, pp.1539-1547.
[5]	BANEJAD, M. HOOSHM, R.,2009 - “Exponential-Hyperbolic Model for Actual Operating conditions of Three Phase Arc Furnaces”, American Journal of Applied Sciences 6, pp.1539-1547.
[6]	MOKHTARI, H., HEIRI, M.,2002 - “A New Three Phase Time-Domain Model for Electric Arc Furnace Using MATLAB”, Transmission and Distribution Conference and Exhibition 6-10 October 2002: Asia Pacific, IEEE/PES, Vol. 3, pp. 20787-283
[7]	BANEJAD, M., HOOSHM, R.,2008- HOOSHAM, BANEGAD, R. H. 2008 “A New Time Domain Model for Electric Arc Furnace”, Journal of Electrical Engineering, Vol. 59, No. 4, 195-202, 2008.

]8[	ZHENG, MAKRAM, GIRGIS, T., E., B. 1998 - "Effect of different arc furnace models on voltage distortion". IEEE Transactions, International Conference on Harmonics and Quality of Power, 14-18 October 1998, Volume 2, pp. 1079-1085
]9[	HARUNI, MUTTAQI, NEGNEVITSKY, A., M., O.2007 -" Analysis of harmonics and voltage fluctuation using different models of Arc furnace", IEEE Transactions, Power Engineering Conference, 9-12 December 2007, AUPEC 2007, Australasian Universities, pp. 1-6.
]10[	CANO PLATA, TACCA, E. A. 2005 -, "Arc Furnace Modeling in ATPEMPT", International Conference on Power Systems Transients (IPST'05), Montreal, Canada, 19-23 June 2005, Paper No. IPST05-067.
]11[	MENDIS, BISHOP, WITTE, R.M.T. 1996 - "Investigations of Voltage Flicker in Electric Arc Furnace Power Systems", IEEE Industry Applications Magazine, January/February 1996, pp. 28-34.
]12[	ZHANG, FAHMI, NORRIS, Z., N., T. 2001 -, "Flicker Analysis Methods for Electric Arc Furnace Flicker (EAF) Mitigation (A Survey)", IEEE Porto Power Tech Conference (PPT 2001), 10 th -13 th September 2001, Porto, Portugal
]13[	WALKER, M. 1997 - "Electric Utility Flicker Limitations", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 1A-15, No. 6, November/December 1997. DOI:10.3390/en12010174. /6/January.
]14[	DURUNGO, ECOLLA, M.J.,2021"A support Vector Machine-Based Method for Parameter Estimation of an Electric Arc Furnace Model ". Escolar – Mejia Electric Power Systems Research, 6.107228.2021

نمذجة ومحاكاة اضطرابات جودة التغذية الكهربائية في شبكة التوزيع الكهربائية التي تغذي أحمالاً
اضطرابية عالية

]15[	VIGAN,K.2019-“Modeling and Simulation Power quality of Disturbances”Using MATLAB/SIMULINK / UCSI University, Kuala Lumpur, Malaysia /2019/ http://dx.doi.org/10.5772/61209
]16[	REDDY, C.,2020- “Power Quality Improvement of Radial Distribution System by Optimal Location and Size of Distributed Generator Using Fuzzy Genetic Algorithm. / JOURNAL OF ARCHITECTURE / T.S.-506167/ Issue No:1006-7930.
]17[	RAWAT, VADHERA, M., S. 2018 – “Impact of Photovoltaic Penetration on Static Voltage Stability of Distribution Network / A Probabilistic Approach/” National Institute of Technology/ Kurukshetra-India.
]18[	CAMPUS, S. 2018” Impact of Renewable Energy Generation on Voltage Flicker with Dynamic Load Connected to Distribution Network” / Department of Electrical and power Engineering. Durban University of Technology/P O Box 1334, Block S7 Level 3 Durban, South Africa.
]19[	BATHINDA, G. 2021-," Electric Power Quality- Issues, Effects and Mitigation" /International Journal of Engineering Research& Technology (IJERT) ISSN: 2278-0181/2021.
]20[	CHANG, W., 2016 – “An Advanced EAF Model for Voltage Fluctuation Propagation Study “. in IEEE Transaction on power Delivery, vol. pp, no.99, pp.1-1, doi : 10.1109/TPWRD.
]21[	BHONSLE, D., KELKA, R.,2011 – “Simulation of Electric Arc Furnace Characteristics for Voltage Flicker Study using MATLAB “. International conference on Recent Advancements in Electrical, Electronics and Control Engineering, Sivakasi, India.
]22[	CANO – PLATA, FARFAN, SOTO – MARIN, E. J. O.J. 2015 “Electric arc furnace model in Distribution systems. IEEE Trans. On Industry Applications, vol. 51, no.5, pp. 4313 – 4320, Se. /Oct. 2015.

[23]	TOMASOVIC, BOZIDAR, A.F. 2017 – “Modeling of three – phase electric arc furnace for Estimation of voltage flicker in power transmission network “Electric power Systems Research, Volume 146, Pages /218 – 227, ISSN 0378 – 7796
[24]	ESFAHANI, M., VAHIDI, B.,2012 - “A New Stochastic Model of Electric Arc Furnace Based on Hidden Markov Model: A Study of Its Effects on the Power System”, IEEE Transations on Power Delivery, Vol. 27, Issue-4, pp. 1893-1901, October .2012.
[25]	RAMESH, B., DEEPAK, C.,2014 – “New Time Domain Electric Arc Furnace Model for Power Quality Study” Electrical Engineering Department Maharaja Sayajirao University of Baroda Vadodara, INDIA / DOI: 10.1109/ IICP ;2014.
[26]	Nazir M, Wu Q, Li M. Symmetrical short-circuit parameters comparison of DFIG–WT. International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems. 2017; 8: 77-83.
[27]	Subramanian Ch, Casadei D, Tani A, Rossi C. Modeling and Simulation of Grid Connected Wind Energy Conversion System Based on a Doubly Fed Induction Generator (DFIG). International Journal of Electrical Energy. 2014; 2: 161-166.
[28]	Jerin R, Prabakaran N, Palanistry K, Umashankar S. FRT Capability in DFIG based wind turbines using DVR with Combined Feed-Forward and Feed-Back Control. Energy Procedia. 2017; 138: 1184-1189.
[29]	Mohod S, Aware M. A STATCOM Control Scheme for Grid Connected Wind Energy System for Power Quality Improvement. IEEE Systems Journal. 2010; 4: 346-352.
[30]	Valentine S. Understanding the variability of wind power costs. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2011; 15: 3632– 3639.

نمذجة ومحاكاة اضطرابات جودة التغذية الكهربائية في شبكة التوزيع الكهربائية التي تغذي أحمالاً
اضطرابية عالية

[31]	Shazly A. Mohamed, N. Luo, J.R. González, T. Pujol and L. Pacheco, "FACTS Family for Voltage Sag Alleviation: Performance Study and Analysis", Renewable Energies and Power Quality Journal (RE&PQJ), Vol. (1), No. (17), pp. 561-566, July 2019.
[32]	Ceyhun Y, et al. Power Quality Measurement and Evaluation of a Wind Farm Connected to Distribution Grid. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2015; 195: 2370 – 2375.
[33]	Gaona D, Goytia E, Lara O." Fault Ride-Through Improvement of DFIG-WT by Integrating a Two-Degrees-of-Freedom Internal Model Control". IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2013; 60 (3): 1133-1145.
[34]	Khajeh A, Ghazi R, Abardeh M. "Implementation of the Maximum Power Point Tracking Algorithm on Indirect Matrix Converter Controlled DFIG wind Turbine". The 4th International Conference on Renewable Energy and Distributed Generation, Iran, Mashhad; 2016: 11-15.
[35]	Safaei, A., Hosseinian, S., Abyaneh, H.: "Investigation and enhancement of SFCL impacts on DFIG- based wind turbine during fault and post- fault", Int. Trans. Electr. Energ. Syst., Wiley. 2016: 1-13.
[36]	Pfister P, Perriard Y. Torque Measurement Methods for Very High Speed Synchronous Motors. Proceedings of the 2008 International Conference on Electrical Machines; 2008: 1-5.
[37]	Whitby B, Ugalde-Loo C. Performance of Pitch and Stall Regulated Tidal Stream Turbines. IEEE Transactions on Sustainable Energy. 2014; 5 (1): 64-72.
[38]	Kadandani N, Maiwada Y. Impact of Voltage Sag and Swell on the Power Quality of Grid Connected Wind Power Plant. the International Journal of Engineering and Science (IJES). 2015; 4 (7): 56-64.

[39]	Zhong Q, Ma Z, Ming W, George C. Grid-friendly wind power systems based on the synchronverter technology. Energy Conversion and Management journal. 2015; 89: 719–726.
[40]	Mohammed S, Abdel-Moamen M., Hasanin B. Analysis, Modeling and Simulation of Dynamic Voltage Restorer for Compensation of Voltage Quality Disturbances. International Journal of Control, Automation and System. 2013; 1 (2): 23-29.
[41]	Mohammed S, Abdel-Moamen M., Hasanin B. Analysis, Modeling and Simulation of Dynamic Voltage Restorer for Compensation of Voltage Quality Disturbances. International Journal of Control, Automation and System. 2013; 1 (2): 23-29.
[42]	Thirupathaiah M, Prasad P. “ Analysis of Various Compensation Devices for Power Quality Improvement in Wind Energy System”. International Journal of Electrical Engineering & Technology (IJEET). 2016; 7 (3): 25–39.

نمذجة ومحاكاة اضطرابات جودة التغذية الكهربائية في شبكة التوزيع الكهربائية التي تغذي أحمالاً
اضطرابية عالية

- | | |
|--|---|
| | <p>[1] Nazir M, Wu Q, Li M. Symmetrical short-circuit parameters comparison of DFIG–WT. <i>International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems</i>. 2017; 8: 77-83.</p> <p>[2] Subramanian Ch, Casadei D, Tani A, Rossi C. Modeling and Simulation of Grid Connected Wind Energy Conversion System Based on a Doubly Fed Induction Generator (DFIG). <i>International Journal of Electrical Energy</i>. 2014; 2: 161-166.</p> <p>[3] Jerin R, Prabakaran N, Palanisamy K, Umashankar S. FRT Capability in DFIG based wind turbines using DVR with Combined Feed-Forward and Feed-Back Control. <i>Energy Procedia</i>. 2017; 138: 1184-1189.</p> <p>[4] Mohod S, Aware M. A STATCOM Control Scheme for Grid Connected Wind Energy System for Power Quality Improvement. <i>IEEE Systems Journal</i>. 2010; 4: 346-352.</p> <p>[5] Valentine S. Understanding the variability of wind power costs. <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>. 2011; 15: 3632–3639.</p> <p>[6] Shazly A, Mohamed, N, Luo, J.R, González, T, Pujol and L. Pacheco, “FACTS Family for Voltage Sag Alleviation: Performance Study and Analysis”, <i>Renewable Energies and Power Quality Journal (RE&PQJ)</i>, Vol. (1), No. (17), pp. 561- 566, July 2019.</p> <p>[7] Ceyhun Y, <i>et al.</i> Power Quality Measurement and Evaluation of a Wind Farm Connected to Distribution Grid. <i>Procedia - Social and Behavioral Sciences</i>, 2015; 195: 2370 – 2375.</p> <p>[8] Gaona D, Goytia E, Lara O. Fault Ride-Through Improvement of DFIG-WT by Integrating a Two-Degrees-of-Freedom Internal Model Control. <i>IEEE Transactions on Industrial Electronics</i>, 2013; 60 (3): 1133-1145.</p> <p>[9] Khajeh A, Ghazi R, Abardeh M. Implementation of the Maximum Power Point Tracking Algorithm on Indirect Matrix Converter Controlled DFIG wind Turbine. <i>The 4th International Conference on Renewable Energy and Distributed Generation</i>, Iran, Mashhad; 2016: 11-15.</p> <p>[10] Safaei, A., Hosseinian, S., Abyaneh, H.: “Investigation and enhancement of SFCL impacts on DFIG-based wind turbine during fault and post-fault”, <i>Int. Trans. Electr. Energ. Syst.</i>, Wiley. 2016: 1-13.</p> <p>[11] Pfister P, Perriard Y. Torque Measurement Methods for Very High Speed Synchronous Motors. <i>Proceedings of the 2008 International Conference on Electrical Machines</i>; 2008: 1-5.</p> <p>[12] Whitby B, Ugalde-Loo C. Performance of Pitch and Stall Regulated Tidal Stream Turbines. <i>IEEE Transactions on Sustainable Energy</i>. 2014; 5 (1): 64-72.</p> <p>[13] Kadandani N, Maiwada Y. Impact of Voltage Sag and Swell on the Power Quality of Grid Connected Wind Power Plant. <i>the International Journal of Engineering and Science (IJES)</i>. 2015; 4 (7): 56-64.</p> <p>[14] Zhong Q, Ma Z, Ming W, George C. Grid-friendly wind power systems based on the synchronverter technology. <i>Energy Conversion and Management journal</i>. 2015; 89: 719–726.</p> <p>[15] Mohammed S, Abdel-Moamen M., Hasanin B. Analysis, Modeling and Simulation of Dynamic Voltage Restorer for Compensation of Voltage Quality Disturbances. <i>International Journal of Control, Automation and System</i>. 2013; 1 (2): 23-29.</p> <p>[16] Thirupathiah M, Prasad P. Analysis of Various Compensation Devices for Power Quality Improvement in Wind Energy System. <i>International Journal of Electrical Engineering & Technology (IJEET)</i>. 2016; 7 (3): 25–39.</p> |
|--|---|

تأثير البلمرة الضوئية على القساوة السطحية

لبوليمر البولي استر غير المشبع

إعداد الطالب : عبد اللطيف الحسن¹

إشراف : الدكتور ماهر الابراهيم² – الدكتورة تغريد محلا³

الخلاصة :

تم في البحث الحالي دراسة تأثير البلمرة الضوئية على القساوة السطحية لبوليمر البولي استر غير مشبع (UP)، تم استخدام احدى مصادر أشعة غاما (Co^{60}) لبدء بلمرة البولي استر غير المشبع، حيث يُعد نظام بدء البلمرة عاملاً هاماً في تحديد خصائص المنتج النهائي. لذلك يمكن تحسين خصائص المنتج النهائي عن طريق استخدام نظام بدء بلمرة متقدم مثل نظام البلمرة الضوئية الإشعاعية. حيث يوفر استخدام مصادر أشعة الضوء ميزات عديدة تساهم في تحسين ظروف البلمرة. بالإضافة إلى ذلك، التغلب على بعض سلبيات نظام البلمرة الحراري التقليدي.

تم تحديد جرعة الإشعاع كمتغير رئيسي، ودراسة تأثير تغير الجرعات على القساوة السطحية للعينات المدروسة، وتحديد القيم المثلى، بالإضافة إلى مقارنة النتائج بين العينات المعالجة بالبلمرة الضوئية و نتائج العينات المعالجة بالبلمرة التقليدية. لملاحظة التغيرات في البنية المجهرية، تمت دراسة مورفولوجية السطوح للعينات باستخدام المجهر الالكتروني، أظهرت النتائج تبايناً واضحاً بالنسبة لتغير قيم جرعات التشعيع، وأعطت بعض النتائج تحسناً كبيراً، مما يشير إلى أهمية استخدام تقنيات متقدمة لتحسين ظروف البلمرة وتحسين الخصائص النهائية.

الكلمات المفتاحية : البلمرة الضوئية، أشعة غاما، بولي استر غير مشبع، القساوة السطحية.

¹ طالب دكتوراه، قسم هندسة التصميم والإنتاج، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة البعث

² أستاذ مساعد، قسم هندسة التصميم والإنتاج، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة البعث

³ مدرس، قسم هندسة التصميم والإنتاج، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة البعث

Effect of photopolymerization on the surface hardness of unsaturated polyester polymer

By: student. Abdullatef Alhasan⁴

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

Abstract:

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

The radiation dose rate was determined as the main variable, and study the effect of changing doses on hardness was studied. Surface level of the studied samples, and determining the optimal values.

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

In addition to comparing the results between samples treated with photopolymerization and the results of samples treated with traditional polymerization.

To observe changes in the microstructure, the surface morphology of the samples was studied using an electron microscope. The results showed a clear variation in relation to changing values of irradiation doses. Some of them gave good improvement. Which indicates the importance of using advanced technologies to improve polymerization conditions and improve the final properties.

Keywords: photopolymerization, gamma rays, Unsaturated polyester, surface hardness.

1 المقدمة :

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

يمكن تقسيم مسار البلمرة مشتركة للجذور الحرة بغض النظر عن نظام البدء المتبع إلى الفترات التالية: فترة الحث (تكوين الجذور الحرة)، وفترة الانتشار (انتشار الجذور الحرة) بما في ذلك فترة تأثير الهلام (التفاعل بين الجذور الحرة والمواد المتفاعلة التي تعطي منتجاً يمثل جذراً حراً آخر) والانتهاه أو التزجيج (إعادة اتحاد الجذور الحرة مما يؤدي إلى الأنواع المستقرة).

يتم في فترة الانتشار التحكم حركياً بتفاعل التشابك عن طريق خطوات تفاعلات الجذور الحرة وذلك وفقاً للبادئ المستخدم ونظام البدء، ويتم سلا هذه المرحلة تكوين البنية المجهرية، لذلك يلعب نظام البدء دوراً هاماً في تشكيل البنية المجهرية.

بما أن البولي استر يملك روابط غير مشبعة، وبعض جزيئات الستارين الموجودة داخل جزيئات البولي استر، فإن التفاعلات الجزيئية بينهما تشكل جسور ستارين على سلاسل بولي استر الأولية، والتي تشكل تكوينات كروية بمقياس دون مايكرومتر تدعى **ميكروجيلات (microgel)**، تظهر في وقت مبكر من التفاعل، ولها قابلية للذوبان.

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

تتداخل الميكروجيلات مع استمرار التفاعل تدريجياً، وتزداد كثافة الارتباط المتبادل داخل وخارج الميكروجيلات، وبالتالي تصبح قيود الانتشار هي التأثير المهيمن. لذلك، ينقص معدل التفاعل تدريجياً وينخفض في النهاية إلى الصفر، ويتحول نظام البوليمر فجأة من سائل لزج إلى مادة صلبة حرارية، تتأثر كثافة الارتباط بكثير من العوامل، أهمها معدل البلمرة و درجة حرارة التفاعل و نظام البدء [2].

تعد أنظمة البدء الضوئي أو البلمرة المحرصة عن طريق الأشعة مجالاً علمياً يوفر ثروة من التحديات الأساسية المثيرة للباحثين التي تشمل العديد من التخصصات والتطبيقات العملية بسبب تأثيرها الإيجابي نحو تحسين ظروف تفاعلات البلمرة وبالتالي تحسين تشابك المادة.

النمو في تطبيقات البلمرة الضوئية مدفوع بالمزايا التي يوفرها استخدام الضوء، وبدلاً من النظام الحراري التقليدي وتجنب بعض سلبياته، تشمل هذه المزايا تركيبات نهائية خالية من المذيبات، ومعدلات تفاعل عالية جداً في درجة حرارة الغرفة، والتحكم المكاني في

البلمرة، ومدخلات طاقة منخفضة، وتجانس في البنية، وعدم الحاجة لبادئ ومحفز تفاعل البلمرة في بعض تطبيقات البلمرة التي تستخدم أشعة عالي الطاقة، وتعدد استخداماتها.

تشمل تقنية (photopolymerization) تلك التفاعلات الكيميائية والفيزيائية للمواد العضوية الحساسة للضوء (تتغير خصائصها عند تعرضها لإشعاع الضوء) والتي تبدأ عن طريق تطبيق الإشعاع الكهرومغناطيسي، عادةً ما يتم استخدام الأشعة فوق البنفسجية (UV) أو المرئية أو الأشعة تحت الحمراء (IR) لبدء تفاعلات ويمكن استخدام مصادر طاقة أعلى بطول موجي أقصر مثل أشعة غاما كما في موضوع بحثنا [3].

2 الدراسات المرجعية:

نستعرض موجز لأهم الدراسات المرجعية المتعلقة بموضوع البحث وفق الآتي:

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

- في عام 2009 درس M.A. Hussein وزملائه مزايا وقيود الموصلية الكهربائية كطريقة لرصد التفاعل التشابك لبوليمر البولي استر غير المشبع (UP) المعالج بالإشعاع المؤين، و مقارنة النتائج بالطرق غير الكهربائية مثل تحليل الاستخلاص والمسعر التفاضلي الحراري (DSC)، ولم يتطرق البحث إلى دراسة الخصائص الميكانيكية [4].

- في عام 2008 درس Irina Puc, Tanja Jurkin التشابك الإشعاعي (أشعة غاما) والتشابك ما بعد الإشعاع لاثنتين من أنواع بوليمرات البولي استر غير المشبع (UP) isophthalic و orthophthalates. باستخدام أطياف NMR و DSC و تحليل الاستخراج بالمذيب. أظهرت الدراسة زيادة كبيرة بعد التشبع في مدى الترابط UP [5].
- كانت لنفس الباحثين Irina Puci, Tanja Jurkin في عام 2006 دراسة لتشابك بعد التشبع لعينات من بوليمرات البولي استر غير المشبع (UP) المشبعة لجرعات مختلفة. تم تقييم حساسية ثلاثة تقنيات تجريبية، تم الكشف عن التغييرات الأكثر جوهرية عن طريق المسح الحراري التفاضلي (DSC)، كانت حساسية الاختبار الطيفي FTIR هي الأقل حساسية [6].
- في عام 2004 درس Dae Su Kim, Woo Hyun Seo تأثير العلاج بالأشعة فوق البنفسجية على الخصائص الميكانيكية لبوليمر أكريلات البوليستر، وأظهرت النتائج تحسن في الخصائص الميكانيكية للمادة المدروسة عند قيم معينة [7].
- في عام 2018 درس Karine Gautier وزملائه خصائص المعالجة للبولي استر غير المشبع المقوى بالألياف الزجاجية المعالج بالأشعة فوق البنفسجية على الخصائص الميكانيكية ومن ضمنها القساوة السطحية ومقارنتها بالمعالجة التقليدية، تبين أن المعالجة الكيميائية الضوئية يمكن أن تؤدي إلى مركب عالي الأداء شريطة أن يتم التحكم في خطوات التحضير بشكل جيد [8].

3 أهمية البحث:

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

4 هدف البحث:

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

5 المواد المستخدمة وطرق البحث:

إن المادة الأساسية في هذا البحث هي بوليمر البولي استر غير المشبع (unsaturated polyester resins (UPS) وهو بوليمر أولي (prepolymer) من النوع (isophthalic) والمصنع من قبل شركة (SIR)، لونه أصفر شفاف ويكون على شكل سائل شديد اللزوجة، مخفف بمونومير البولي ستارين بنسبة 35%.

5.1 تحضير المادة:

يتم تحضير المادة للمعالجة بأشعة غاما وذلك بخلط البوليمر الأولي البولي استر غير المشبع مع المونومير الستارين بنسبة 35% و بدون إضافة مواد المساعدة (البادئة والمسرعة للتفاعل) وذلك بخلاف المعالجة التقليدية، تتبع المعالجة الضوئية الإشعاعية

نفس مراحل وخطوات التفاعل في المعالجة التقليدية، مع الاختلاف في نظام البدء وطريقة إضافة المادة، حيث تضاف المادة على مرحلة واحدة في طريقة المعالجة الضوئية، يتم اخراج العينات من قالب بعد ساعة من انتهاء التشعيع للتأكد من إتمام تصلب المادة، ووضعهم في صندوق مظلم للحفاظ على خصائص المادة بعد التشعيع وذلك لاستكمال إجراء الاختبارات عليهم، وتم ترميز العينات بحسب قيم الجرعة.

يتم تحضير البولي استر غير المشبع للمعالجة التقليدية بتخفيفه بمونومير الستارين (ST) بنسبة 35%، وذلك بخلطه لمدة 30 دقيقة، أثناء الخلط يتم إضافة مسرع (accelerator) التفاعل (الكوبالت Cobalt) بنسبة 1.5%. وأثناء عملية تشكيل العينات يتم إضافة مادة بادئة للتفاعل (initiator) وهو عبارة عن بيروكسيد عضوي يتفكك ليعطي الجذور الحرة وذلك بنسبة 1.5%. والخلط جيداً باستخدام خلاط كهربائي لمدة دقيقتين لتجانس المادة قدر الإمكان، حيث يتم الحذر من إضافة المسرع مع البادئ معاً لتجنب حدوث الاشتعال أو الانفجار.

5.2 تحضير القالب:

يتم تحضير العينات للمعالجة الضوئية الإشعاعية في قالب بلاستيكي بأبعاد طبقاً للمواصفة (ASTM (D25839). أما ما يخص المعالجة التقليدية فتم تجهيزها في قالب من الفولاذ المطلي بالتوتياء بالأبعاد القياسية نفسها ومجهز بلواظ.



الشكل 5-1: قالب تحضير العينات للمعالجة الإشعاعية

5.3 الأشعة المستخدمة وآلية التشعيع:

تم اجراء التشعيع على جهاز التشعيع بأشعة غاما في قسم تكنولوجيا الإشعاع في هيئة الطاقة الذرية السورية و ذلك وفق المواصفات في الجدول التالي:

الجدول 5-1: مواصفات جهاز أشعة غاما المستخدم

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

يتم وضع القالب الذي يحتوي على العينات في مكان المخصص للتشعيع، وفي درجة حرارة الغرفة، وفقاً للتجارب الاولية التي تم اجراءها وكذلك وفقاً للدراسات المرجعية تم تحديد الجرعات التالية (6, 9,12,15,18,24 kGy)، حيث جرعة الإشعاع هو المتغير الوحيد في هذا البحث، مع العلم انه تم اجراء جميع الاختبارات بعد الانتهاء من التشعيع بثلاثة أيام.

(الغراي (Gy) هي وحدة النظام الدولي للجرعة الممتصة، وهي كمية الطاقة الإشعاعية المترسبة في المادة المشعة، ويساوي 1 غراي (Gy) $= 1 \text{ j/kg}$ ، حيث تتلقى جميع أجزاء القالب نفس الجرعة.

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

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



الشكل 5-3: شكل مجسم لغرفة التشعيع

5.4 منهجية العمل :

لدراسة تأثير المعالجة الضوئية الإشعاعية على خصائص البولي استر غير المشبع بشكل مفصل، تم في بداية الأمر اجراء العديد من التجارب الاولية لتحديد مجال الجرعة المناسبة التي سيتم دراستها لاحقاً، حيث تؤثر قيمة الجرعة بشكل كبير على خصائص المادة كما تم دراساته في العديد من الأبحاث المتعلقة بتأثير الأشعة على البوليمرات بشكل عام [10]، [9]، حيث تطبيق جرعات مرتفعة يؤثر بشكل سلبي على خصائص المادة ويؤدي إلى تدهور بنية البوليمر، وكذلك الجرعات المنخفضة قد لا تكون كافية لبدء البلمرة.

بعد تشيع العينات تمت دراسة خصائص المادة من خلال اختبار القساوة السطحية و دراسة البنية المجهرية باستخدام المجهر الالكتروني (SEM).

6 الاختبارات :

6.1 اختبار القساوة (hardness):

تم قياس صلابة العينات بواسطة جهاز قساوة Barcol. تم تحضير عينات صلابة بأبعاد طبقاً للمواصفة ASTM (D25839) ، وسماكة العينات 10 مم وكانت نقاط القياس في منتصف كل سطح، حيث تم إجراء اختبار القساوة السطحية للسطح الامامي المعرض للإشعاع والسطح الخلفي وفي المنتصف لملاحظة تأثير المعالجة بالإشعاع على القساوة السطحية من جميع جهات العينة، واخذ أكثر من قراءة لكل سطح للتأكد من صحة النتائج. وكذلك تم إجراء الاختبار ذاته للعينة المعالجة بالطريقة التقليدية.



الشكل 6-1: جهاز قياس قساوة ونقاط قياس القساوة على العينات

6.2 اختبار المجهر الإلكتروني (SEM).

تمت دراسة سطوح العينات (Morphological study) على المجهر الإلكتروني (Tuscan) ضمن مخابر قسم الفيزياء في هيئة الطاقة الذرية السورية. وكانت نسبة التكبير (5000) مرة.

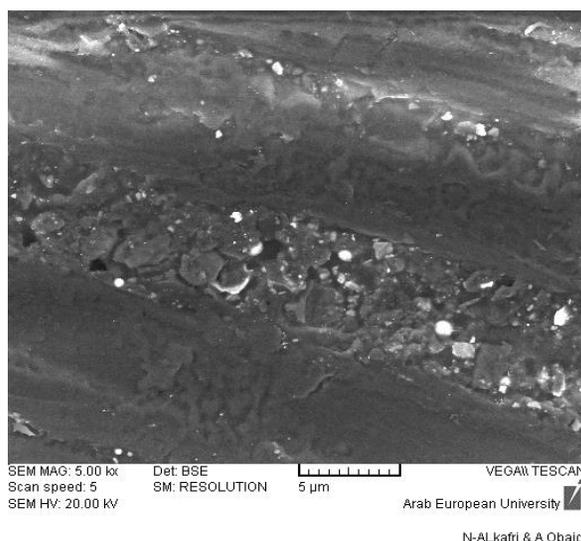


الشكل 6-2: المجهر الإلكتروني (SEM)

7 النتائج والمناقشة:

7.1 نتائج اختبار التصوير المجهر الإلكتروني (SEM):

يظهر في الشكل (1-7) صور مجهرية لعينات من البولي استر غير المشبع معالجة بالطريقة التقليدية. تبين سطحاً غير متجانس، ويظهر بعض الشقوق الميكروية و انتشارها على طول محور نمو الشقوق، مما يشير إلى الطبيعة الهشة ل UP، وهذا ما جاء في الكثير من الأبحاث [11] ، وهذا يتفق أيضاً مع الكثير من الدراسات، التي أشارت إلى صعوبة تجانس البنية في المعالجة التقليدية بسبب تعدد المكونات وصعوبة الخلط المتجانس مما يؤثر على تجانس عملية البلمرة على كامل المادة[5].

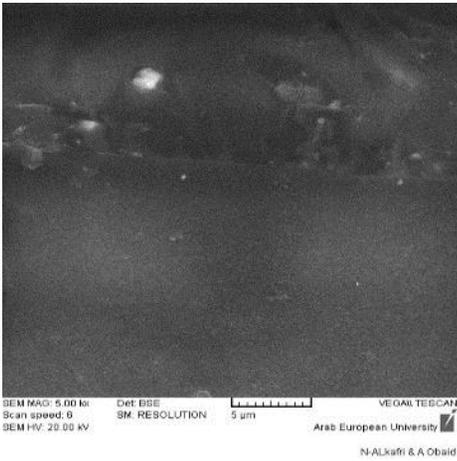


الشكل 1-7: صور مجهرية لعينات من البولي استر معالج بالطريقة التقليدية

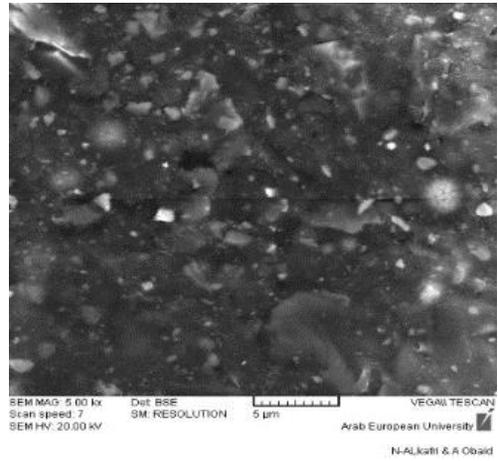
يوضح الشكل (2-77) سطوح العينات المعالجة بالطريقة الضوئية الإشعاعية. عند العينة 6 نلاحظ وجود قطرات سائل تشبه الزيت يشير إلى أن السطح لا يزال يحتوي

على القليل من قطرات سائلة داخل مصفوفة البوليمر. يمكن أن تُعزى هذه القطرات إلى وجود مادة ستارين ومصفوفة بوليمر غير معالجة والتي تعتبر مؤشراً على أن قيمة الجرعة عند هذه العينة لم تكن كافية وأن البوليمر لم تتم معالجته بالكامل وانه في مرحلة بعيدة قليلاً من انتهاء تفاعلات البلمرة. وهذا ما فسرتة بعض الدراسات [14]. ونفس الأمر يظهر بشكل مشابه في صورة العينة 9 ولكن بدرجة أقل، حيث نلاحظ أن البنية بدأت تتجانس وهذا يدل على تحسن البلمرة و تصلب أكثر للمادة.

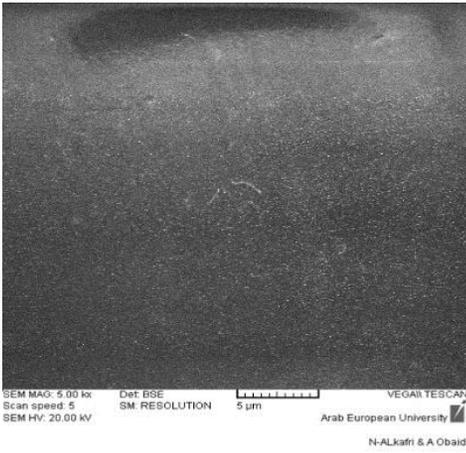
يلاحظ في العينات 12 حتى العينة 21 نلاحظ تجانس سطوح العينات بدرجة كبيرة، حيث أن زيادة جرعة التشعيع، تتلقى المادة طاقة أكبر وتزداد درجة حرارتها وتتفكك الجذور الحرة أكثر وتتحفض قيود الانتشار، وتصبح البلمرة على كامل المادة بشكل متجانس أكثر [8], [7].



(b) صورة مجهرية لسطح عينة 9



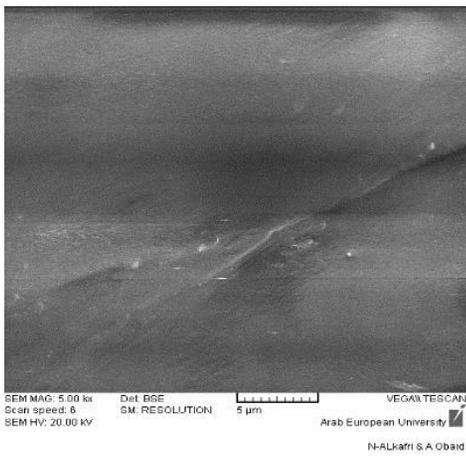
(a) صورة مجهرية لسطح العينة 6



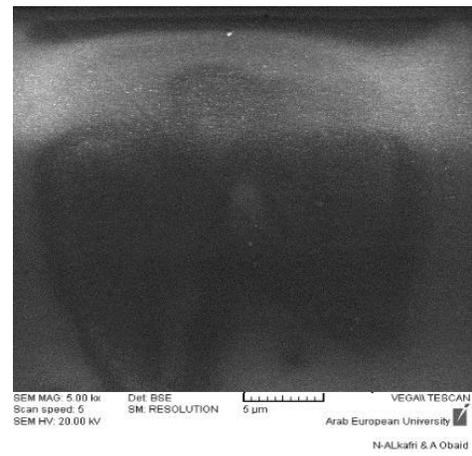
(d) صورة مجهرية لسطح العينة 15



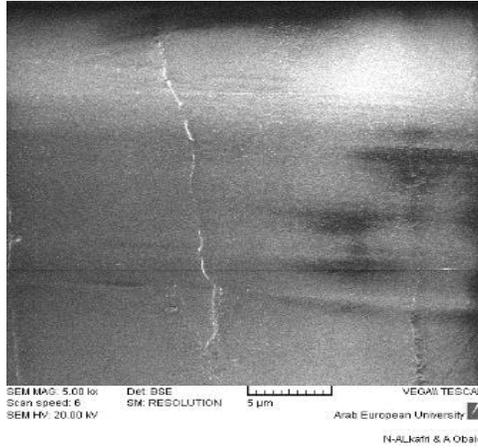
(c) صورة مجهرية لسطح العينة 12



(f) صورة مجهرية لسطح العينة 21



(e) صورة مجهرية لسطح العينة 18



(g) صورة مجهرية لسطح العينة 24

الشكل 7-2: صور مجهرية لعينات من البولي استر معالج بالطريقة الإشعاعية

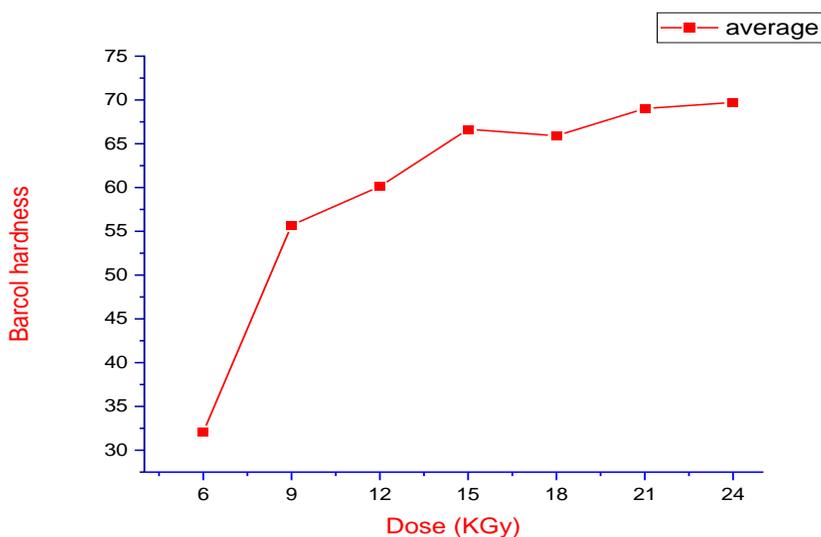
نلاحظ في العينة 24 وجود بعض الشقوق الميكروية المنتشرة على السطح. وهذا يدل على أن ازدياد قيمة الجرعة بشكل كبير يزداد معدل التسخين بشكل كبير و بالتالي ازدياد معدل البلمرة بشكل كبير و بالتالي ازدياد فعالية قيود انتشار الجذور الحرة وبقاء بعض الروابط غير المتفاعلة وينتج مايسمى البلمرة المبكرة، ويمكن أن ينتج عن ذلك فصل الطور بين حدود مناطق المتفاعلة أو الغير متفاعلة. وأدت إلى تشكل شقوق مكروية [11].

7.2 نتائج اختبار القساوة (hardness):

يبين الشكل (7-3) منحنى متوسط نتائج اختبار القساوة (Barcol) لجميع العينات المدروسة. وبلغت متوسط القساوة لعينات المعالجة الإشعاعية على مقياس القساوة (Barcol) ضمن المجال (55-70) باستثناء العينة 6. كما نلاحظ من الشكل تحسن القساوة مع ازدياد قيمة جرعة التشعيع. عند العينة 6 بلغت متوسط القساوة تقريبا 31.5.

عند هذه الجرعة لم تكتمل تشكيل الشبكة الثلاثية و حتى عند فحص العينة فيزيائياً يتبين بعض الليونة وقابلية للانحناء قليلاً باليد وهذا يشير إلى تصلب غير مكتمل. وهذا تبين بالبنية المجهرية لهذه العينة.

تزداد القساوة مع ازدياد قيمة الجرعة باستمرار. وتكون القيم متقارب أكثر في الجرعات التشعيع المرتفعة (15,24) وذلك بسبب تحسن معدل التفاعل وازدياد نمو المكروجيلات وبالتالي ازدياد كثافتها مما يحسن قيم القساوة السطحية مع ازدياد جرعات الإشعاع. كما لاحظنا في الصور المجهرية عند سطوح العينات عند الجرعات المرتفعة كيف كانت البنية السطحية أكثر تجانساً وهذا يدل على تماسك جيد في البنية [15].



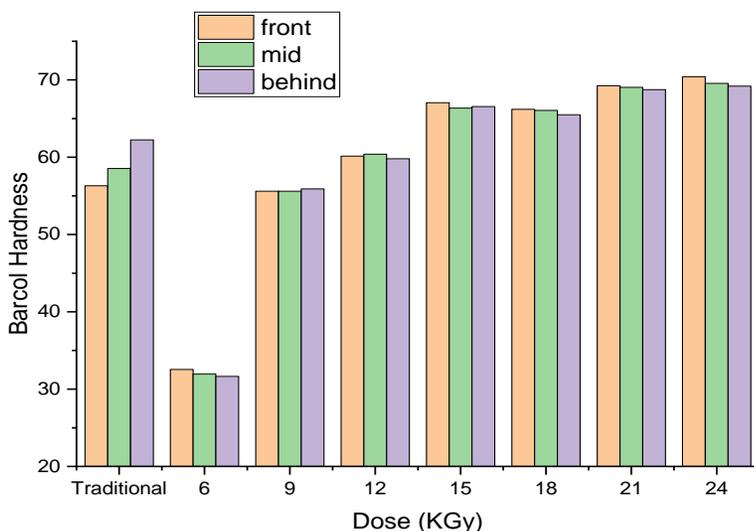
الشكل 7-3: منحنى متوسط القساوة للعينات تبعاً لتغير قيم جرعة الإشعاع

ما يهمننا أيضاً في اختبار القساوة هي دراسة القساوة عند الأوجه الثلاثة. الوجه المقابل للأشعة بشكل مباشر و الوجه الجانبي و الوجه الخلفي الأبعد عن الأشعة.

نلاحظ بشكل عام في الشكل (7-4) تقارب القيم بشكل كبير في مختلف الأوجه لجميع العينات المعالجة إشعاعياً. وهذا ما يثبت تجانس البنية الناتجة عن المعالجة الإشعاعية. حيث أن التشعيع بأشعة غاما يمكن ان يؤثر على العينة بشكل متساوي بسبب الطاقة العالية جدا وبالتالي عملية بدء البلمرة متساوية إلى حد كبير في جميع نقاط العينة. وبالتالي قيم قساوة متقاربة في جميع الأوجه. ومن جهة أخرى يوفر الإشعاع الكهرومغناطيسي بدءاً ثابتاً ومستمراً وقدر أشعة غاما على الاختراق الكبير للمادة بسبب الطاقة الكبيرة التي تحملها مما يمكن أن نتجاهل التأثير الناتج عن اختلاف السماكة إلى حد معين. وهذه ميزة أخرى تميز المعالجة الإشعاعية عن التقليدية [13]. حيث ظهر بشكل واضح تفاوت النتائج على مختلف الأوجه للعينة المعالجة بشكل تقليدي. وبلغت قيمة القساوة في الوجه الامامي 63.5 بينما على الوجه الجانبي 58.5 وفي الخلف 56 وهذا يدل على عدم تجانس البنية واختلاف في الخصائص. وهذا أثبتته عدة دراسات. ويعزى هذا الاختلاف إلى أن المعالجة التقليدية تتم تحضير العينة على مراحل و طبقات وخصوصاً في السماكات الكبيرة. وبالتالي تختلف مراحل البلمرة في كل طبقة باختلاف درجات الحرارة [12].

يتميز البولي استر غير المشبع من جهة أخرى بموصلية حرارية ضعيفة وبالتالي لا يمكن معالجة البولي استر غير المشبع بشكل متساوي من الداخل إلى الخارج وبالتالي يمكن أن تختلف خصائص العينة المعالجة بالطريقة التقليدية في كل وجه على عكس العينات المعالجة بالطريقة الإشعاعية [12].

بالإضافة إلى ذلك فإن اختلاف طريقة البدء يلعب دورا كبيرا في خصائص لمادة حيث يرافق المعالجة التقليدية تفكك البادئ الكيميائي وينتج عن البلمرة عملية طاردة للحرارة مما يسرع من عملية تفكك البادئ الحراري بشكل مستمر تزامناً مع عملية ارتفاع درجة الحرارة التي تساعد على تفكك الروابط المزدوجة بشكل أسرع، مما يؤدي إلى عدم انتظام العملية. في المقابل، عند التشعيع، لا يؤثر ارتفاع درجة الحرارة المماثل على تركيز الجذور الحرة التي تبدأ البلمرة، ويتم تحديد تركيزها بشكل أساسي من خلال قيمة جرعة الإشعاع. وبالتالي، يمكن أن يتيح بدء الإشعاع الكيميائي الحصول على تحكم أكثر دقة وتجانس في البلمرة خلال أي فترة زمنية مطلوبة، وهو أمر يصعب تحقيقه في البدء التقليدي. وهذا الأسباب تجعل من الصعب الحصول على بنية وخصائص متجانسة في المعالجة التقليدية [16].



الشكل 4-7: قيم القساوة على الأوجه الثلاثة لجميع العينات

8 الاستنتاجات والتوصيات:

8.1 الاستنتاجات :

- إن البلمرة الضوئية بأشعة غاما عند الجرعة (21 KGy) أعطت أفضل قساوة سطحية بدون ظهور عيوب في البنية، وهي تمثل القيمة المثلى.
- تحسن قيمة القساوة السطحية عند استخدام طريقة البلمرة الضوئية الإشعاعية مقارنة بالمعالجة التقليدية الحرارية عند الجرعات (15-24 KGy).
- إن تحسن قيمة القساوة السطحية في البلمرة الضوئية الإشعاعية ناتج عن تحسن ظروف البلمرة و بالتالي تحسن خصائصها.
- تحقق البلمرة الضوئية بأشعة غاما معدل انتاج أعلى من البلمرة التقليدية، وذلك لأن تحضر العينات في البلمرة الضوئية يتم في مرحلة واحدة بسبب قدرة أشعة غاما الكبيرة على الاختراق، بينما في المعالجة التقليدية يتم تحضير العينات على عدة طبقات بفواصل زمنية.

8.2 التوصيات :

- إن نتائج هذا البحث تبرز أهمية استخدام التقنيات المتقدمة لمعالجة بوليمر البولي استر غير المشبع، ويشجع المستثمرين والصناعيين في هذا المجال على استثمار التقنيات المتوفرة وادخالها ضمن عمليات التصنيع، خاصة كونها تدخل في العديد من الصناعات المحلية، يمكن أن نلخص أبرز التوصيات التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند الخوض في هذا المجال، لإعطاء قيمة إضافية لعملية البلمرة الضوئية ونتائج أكثر دقة:
- استخدام القيم المثلى التي توصلنا إليها في التطبيق العملي وفي الدراسات اللاحقة التي تبحث في هذا المجال.
 - ادخال أنظمة التحكم الرقمية لسهولة التحكم ببارامترات عملية المعالجة مثل جرعة أو زمن الشيع.

References:

- [1] G. G. Odian, *Principles of polymerization*, 4th ed. Hoboken, N.J: Wiley-Interscience, 2004.
- [2] A. B. Scranton, C. N. Bowman, R. W. Peiffer, American Chemical Society, and American Chemical Society, Eds., *Photopolymerization: fundamentals and applications*. in ACS symposium series, no. 673. Washington, DC: American Chemical Society, 1997.
- [3] K. D. Belfield and J. V. Crivello, Eds., *Photoinitiated Polymerization*, vol. 847. in ACS Symposium Series, vol. 847. Washington, DC: American Chemical Society, 2003. doi: 10.1021/bk-2003-0847.
- [4] I. Puci, 'Radiation crosslinking and liquid-liquid transitions in unsaturated polyesters', p. 12, 2009.
- [5] I. Pucić and T. Jurkin, 'Radiation and postirradiation crosslinking and structure of two unsaturated polyester resins', *Polym. Eng. Sci.*, vol. 48, no. 9, pp. 1768–1777, Sep. 2008, doi: 10.1002/pen.21143.
- [6] T. Jurkin and I. Pucić, 'Post-irradiation crosslinking of partially cured unsaturated polyester resin', *Radiat. Phys. Chem.*, vol. 75, no. 9, Art. no. 9, Sep. 2006, doi: 10.1016/j.radphyschem.2006.04.001.
- [7] D. S. Kim and W. H. Seo, 'Ultraviolet-curing behavior and mechanical properties of a polyester acrylate resin', *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 92, no. 6, pp. 3921–3928, Jun. 2004, doi: 10.1002/app.20422.

- [8] H. Basma and I. Ahmad, 'Free radical photopolymerization process for fiber-reinforced.pdf'. Polym Adv Technol, 2018.
- [9] B. I. Kharisov, 'Radiation Synthesis of Materials and Compounds', p. 581, 2013.
- [10] D. Abellache, A. Lounis, K. Taïbi, and A. A. Bin Mohamed, 'Contribution To Degradation Study, Behavior Of Unsaturated Polyester Resin Under Neutron Irradiation', presented at the NEUTRON AND X-RAY SCATTERING IN ADVANCING MATERIALS RESEARCH: Proceedings of the International Conference on Neutron and X-Ray Scattering—2009, Kuala Lumpur (Malaysia), 2010, pp. 135–139. doi: 10.1063/1.3295584.
- [11] I. Pucić and F. Ranogajec, 'Phase separation during radiation crosslinking of unsaturated polyester resin', *Radiat. Phys. Chem.*, vol. 67, no. 3–4, pp. 415–419, Jun. 2003, doi: 10.1016/S0969-806X(03)00077-X.
- [12] Q. Mo *et al.*, 'Study on Microwave Curing of Unsaturated Polyester Resin and Its Composites Containing Calcium Carbonate', *Polymers*, vol. 14, no. 13, Art. no. 13, Jun. 2022, doi: 10.3390/polym14132598.
- [13] A. Adeodu, 'Comparism of Cure Modeling of Unsaturated Polyester Based Composites Using Microwave and Autoclave Assisted Hand Lay-Up Process in Cylindrical Mould', *Adv. Mater.*, vol. 4, no. 3, p. 59, 2015, doi: 10.11648/j.am.20150403.13.

- [14] Hussein, 'Real-Time Cure Monitoring of Unsaturated Polyester Resin from Ultra-Violet Curing', *J. Res. Updat. Polym. Sci.*, Nov. 2012, doi: 10.6000/1929-5995.2012.01.01.5.
- [15] C. Albano, R. Perera, and P. Silva, 'Effects of gamma radiation in polymer blends, in composites with micro and nano fillers and in functionalized polyolefins', p. 26, 2010.
- [16] A. R. Rahmat and R. J. Day, 'Curing Characteristics of Unsaturated Polyester/aramid Reinforced Composite: Microwave vs. Thermal Energy', *J. Teknol.*, vol. 39, no. 1, pp. 83–96, Dec. 2003, doi: 10.11113/jt.v39.444.

استخدام خوارزمية TSHD والتعلم العميق لاستخراج

المعلومات النصية (حالة دراسية: السير الذاتية)

م. مجد طنوس¹ د. مهند رجب² د. وسيم رمضان³

ملخص البحث

يُعد استخراج المعلومات النصية أحد مهام معالجة اللغات الطبيعية الهامة، نظراً لدوره البارز في معالجة البيانات النصية غير المهيكلة واستخراج معلومات مفيدة منها وهيكلتها، مما يتيح المعالجة والتحليل الحاسوبي لها. تُعتبر نماذج الإجابة عن الأسئلة القائمة على الاستخراج النصي أحد تقنيات استخراج المعلومات الحديثة التي أثبتت فعاليتها.

يقدم هذا البحث طريقة جديدة لتطوير آلية عمل نماذج استخراج المعلومات بالاستفادة من التقطيع باستخدام خوارزمية TSHD. حيث يتم تطبيق الخوارزمية لاستخراج محتويات مقاطع الوثيقة وموضوع كل مقطع، ومن ثم استخراج المعلومات بواسطة النماذج من المقاطع عوضاً عن الوثيقة كاملة.

حققت الطريقة المقترحة تحسين في نتائج تقييم مجموعة من نماذج استخراج المعلومات على هيكلية مجموعة البيانات squad 1.1 في مجال السير الذاتية، حيث ارتفعت قيمة مقياس Exact match بنسبة زيادة وصلت إلى 7.4%، كما ارتفعت قيمة مقياس F1 score بنسبة زيادة وصلت إلى 7.8%.

الكلمات المفتاحية: معالجة اللغات الطبيعية، التعلم العميق، استخراج المعلومات النصية، نماذج المحولات، التقطيع.

¹ طالب دكتوراه في كلية الهندسة المعلوماتية جامعة البعث

² أستاذ في كلية الهندسة المعلوماتية جامعة البعث

³ مدرس في كلية الزراعة جامعة البعث

Using TSHD Algorithm and Deep Learning for Textual Information Extraction (case study: Resumes)

Eng. Majd Tannous¹ Dr. Mohanad Rajab² Dr. Wassim Ramadan³

Abstract

Textual information extraction is an important task of natural language processing, due to its prominent role in processing unstructured textual data to extract useful information and structure it, thus enabling computer processing and analysis. Extractive question answering models are one of the modern information extraction techniques that have demonstrated their effectiveness.

This research presents a novel approach to enhance information extraction models using TSHD segmentation algorithm. The algorithm is applied to extract the contents of document segments and their topics. Information extraction is then performed using models focused on individual segments rather than the entire document.

The proposed method achieves an improvement in the evaluation results of various information extraction models on squad 1.1 data set in the resume domain. The exact match metric is increased by 7.4%, and F1 score is increased by 7.8%.

Keywords: Natural Language Processing, Deep Learning, Textual Information Extraction, Transformer models, Topic Segmentation.

1. مقدمة

مع ازدياد حجم البيانات النصية غير المهيكلة بشكل هائل في عصر المعلومات، أصبح استخراج المعلومات من النصوص عملية هامة في مختلف المجالات، مثل البحث العلمي، والطب، والأعمال التجارية، والتعليم.. ومع ذلك، فإن استخراج المعلومات النصية مهمة صعبة، حيث تتطلب فهماً دقيقاً للغة.

تشكل معالجة اللغة الطبيعية واستخدام التقنيات الحديثة في تحليل النصوص نقلة نوعية في تفاعل الإنسان مع البيانات اللغوية وخاصة مع انتشار كميات هائلة من البيانات النصية غير المهيكلة. تعد نماذج المحولات "Transformer Models"، وهي نماذج عصبونية عميقة، من أبرز الطرائق القادرة على تحقيق أداء ممتاز في مجموعة متنوعة من المهام، بما في ذلك الترجمة الآلية والإجابة على الأسئلة واستخراج المعلومات، وغيرها.

تُستخدم تقنيات استخراج المعلومات النصية لتحويل البيانات النصية غير المهيكلة إلى معلومات مهيكلة سهلة الفهم وقابلة للمعالجة والتحليل من قبل البرامج الحاسوبية، مما يوفر الوقت والجهد. تعد نماذج استخراج المعلومات، وخاصة تلك التي تعتمد على الإجابة عن الأسئلة القائمة على الاستخراج النصي (Extractive Question Answering Models)، أدوات قوية لتحليل النصوص واستخلاص المعلومات منها تبعاً للسؤال المطروح. ومع ذلك، تواجه هذه النماذج تحديات هامة في تحديد السياق المناسب لاستخراج المعلومات المطلوبة من الوثائق بدقة. فمثلاً، في مجال السير الذاتية، لاستخراج اسم الجامعة التي تخرج منها صاحب السيرة الذاتية، قد يؤدي البحث ضمن كامل الوثيقة إلى استخراج معلومات خاطئة، مثل الجامعة التي يعمل بها، أو مجلة جامعة نشر بحثاً فيها.

إنَّ الطريقة التقليدية لاستخراج المعلومات من الوثائق هي البحث في الوثيقة بأكملها. وعلى الرغم من انتشار هذه الطريقة في أغلب طرائق استخراج المعلومات فإنها تتسم بعدم الدقة الكافية. حيث أن البحث في الوثيقة بأكملها قد يؤدي إلى استخراج معلومات غير ضرورية أو غير مناسبة. كما أنها تتسم بالبطء حيث قد تستغرق عملية البحث في الوثيقة بأكملها وقتاً طويلاً، خاصةً مع الوثائق الكبيرة.

وهنا يأتي دور الحل المقترح في هذه الدراسة: البحث في أجزاء من الوثيقة بدلاً من البحث في الوثيقة بأكملها. أي يمكننا البحث في أجزاء محددة من الوثيقة، مثل المقاطع أو الفقرات. تتميز هذه الطريقة بزيادة الدقة والسرعة. حيث أنه من خلال التركيز على أجزاء محددة من الوثيقة، يمكننا زيادة دقة استخراج المعلومات، ومن خلال تقليل حجم البيانات التي يتم البحث فيها، يمكننا تسريع عملية استخراج المعلومات.

الحل المقترح يركز على استخدام خوارزمية TSHD (Topic Segmentation based on Headings Detection) [1] إحدى الطرائق الفعالة في استخراج المقاطع من الوثائق واكتشاف موضوعاتها بالاعتماد على تحديد عناوين المقاطع.

كيف تساعد TSHD في استخراج المعلومات؟ يتم ذلك من خلال تحديد المقاطع ذات الصلة: يمكن استخدام TSHD لتحديد المقاطع ذات الصلة بالاستعلام تبعاً لموضوع المقطع، مما يسمح لنا بالتركيز على هذه المقاطع فقط عند استخراج المعلومات.

تقدم هذه الورقة استخدام خوارزمية TSHD كحل لتحسين دقة النماذج في استخراج المعلومات من الوثائق وتسريع العملية.

تم تطبيق الحل المقترح على السير الذاتية كحالة دراسية. تعد السير الذاتية من أهم الوثائق النصية التي تُستخدم في عملية التوظيف لاختيار المرشح المناسب. تحتوي هذه الوثائق على عدة مقاطع مثل (المعلومات الشخصية، والتعليم، والخبرات، وغيرها) وتتضمن المقاطع معلومات توصف جوانب متعددة لأصحابها. ونظراً لأهمية استخراج هذه المعلومات بفعالية ودقة، تم اختيار السير الذاتية كحالة دراسية في هذا البحث.

2. هدف البحث

انطلاقاً من أهمية الاستفادة من امكانيات نماذج المحولات في استخراج المعلومات النصية من جهة، بالإضافة للدور الهام الذي تقدمه خوارزمية TSHD في استخراج المقاطع وتحديد موضوعاتها من جهة أخرى. يهدف هذا البحث إلى تطوير آلية جديدة لتحسين عملية استخراج المعلومات من الوثائق ذات العناوين، من خلال تركيز اهتمام نماذج استخراج المعلومات على الجزء المهم من النص بدلاً من كامل النص. تعتمد هذه الآلية على الاستفادة من خوارزمية TSHD في استخراج مقاطع الوثيقة وتحديد موضوعاتها، مما يسمح للنموذج بالوصول المباشر للمقطع المناسب واستخراج المعلومات منه بدقة وكفاءة، ثم تخزين المعلومات المستخرجة بصيغة مهيكلة (جدول)، بحيث تصبح قابلة للمعالجة والتحليل حاسوبياً. تساهم الآلية المقترحة أيضاً في تخفيض الموارد الحاسوبية اللازمة نتيجة تصغير حجم السياق النصي. كما أن هذا التعديل لا يتطلب إعادة تدريب النماذج على مقاطع الوثائق بعد التقطيع.

3. دراسة مرجعية

خلال السنوات الأخيرة، حققت نماذج المحولات قفزة كبيرة في مجالات ومهام متعددة باعتمادها على تقنية الانتباه "Attention" [2] والتعلم المنقول "transfer learning". تختلف هيكلية النموذج تبعاً للمهام المطلوبة، ومن أبرز هيكليات النماذج التي يمكن

توظيفها من أجل استخراج المعلومات النصية: BERT [3] و RoBERTa [4] و Longformer [5] و XLNet [6] وغيرها. يتم تخصيص النماذج المدربة مسبقاً من خلال التعلم المنقول باستخدام آلية الضبط الدقيق "fine tuning"، عن طريق القيام بتدريب إضافي لتصبح هذه النماذج أكثر ملاءمةً ودقةً من أجل تأدية مهام محددة بكفاءة أعلى.

تعد نماذج الإجابة عن الاسئلة القائمة على الاستخراج النصي (Extractive Question Answering Models) أحد أبرز تقنيات استخراج المعلومات، حيث تعمل على استخراج المعلومة (الإجابة) من سياق نصي "context" تبعاً للسؤال المطروح. اهتمت العديد من الأبحاث خلال السنوات الأخيرة بدراسة ومقارنة فعالية نماذج استخراج المعلومات بعد تخصيصها وتدريبها على مجموعات بيانات نصية مختلفة.

تعد هيكلية مجموعة البيانات squad إحدى أبرز الهيكليات المستخدمة لتدريب هذا النوع من النماذج وتقييمها، وتضم نوعين squad 1.1 [7] و squad 2 [8]. تحتوي مجموعة البيانات squad 1.1 على 107,785 سؤال تم طرحها على 536 نص، حيث أن جميع الاسئلة لها إجابات ضمن السياق النصي المعطى. بينما أن مجموعة البيانات squad 2 تحتوي أيضاً على 53,775 سؤال إضافي ليس له إجابة ضمن السياق النصي. يشكل استخدام squad 2 من قبل النماذج تحدياً إضافياً هاماً علاوةً عن استخراج الإجابة المطلوبة، يتمثل بمقدرة النموذج على اكتشاف حالات عدم وجود إجابة للسؤال، حيث أن نموذجاً ما يحقق نتيجة تقييم $f1\text{-score}=85.8\%$ على squad 1.1، يحقق فقط $f1\text{-score}=66.3\%$ على squad 2 [8].

يوجد أيضاً مجموعات بيانات نصية أخرى، مثل NewsQA [9] وهي مجموعة بيانات تتكون من 119,633 سؤالاً تم طرحها على 12,744 مقالة إخبارية على شبكة

CNN .QuAC [10] وهي مجموعة بيانات تحتوي على 14 ألف حوار، و100 ألف سؤال. تتضمن مربعات الحوار: (1) طالب يطرح سلسلة من الأسئلة عن نصوص ويكيبيديا، و(2) مدرس يجيب على الأسئلة من خلال تقديم مقتطفات قصيرة من النص. CovidQA [11] وهي عبارة عن مجموعة بيانات للإجابة على الأسئلة تتكون من 2019 زوجاً مختلفاً من الأسئلة والأجوبة حول 147 مقالة ذات صلة بـ COVID-19.

يمثل نتائج التقييم باستخدام مقياس F1 score لمجموعة من النماذج في استخراج

الإجابات بعد تدريبهم على مجموعات بيانات مختلفة [12]

الجدول 1: قيم F1 score لمجموعة من النماذج على مجموعات بيانات مختلفة [12]

مجموعة البيانات النموذج	NewsQA	SQuAD 2	QuAC	CovidQA
XLNet _{BASE}	53.2	64.9	30.1	44.9
BERT _{BASE}	52.1	64.7	28.6	44.8
RoBERTa _{BASE}	57.0	68.2	31.3	44.5
ALBERT _{BASE}	51.8	64.8	19.5	42.4
ConvBert _{BASE}	55.7	67.4	31.5	44.9
BART _{BASE}	56.2	67.6	29.1	45.3
BERT _{BASE} - BiLSTM	52.6	65.0	28.9	45.6

نلاحظ من اختلاف نتائج تقييم النماذج من مجموعة بيانات لأخرى، تبعاً لحجم مجموعة التدريب، ودرجة وضوح صياغة الأسئلة وإجاباتها، بالإضافة لطول السياق النصي. حققت كافة النماذج أفضل النتائج على مجموعة بيانات SQuAD 2 نظراً

لوضوح صياغة الأسئلة وإجاباتها ضمن النصوص. كما نلاحظ أن نموذج RoBERTa قد حقق أفضل النتائج نسبياً، حيث يعد RoBERTa نسخة محسنة من نموذج BERT.

تم تطوير بعض النماذج الضخمة، والتي تتطلب موارد حاسوبية كبيرة، مثل نموذج Longformer. يعتمد النموذج على تطبيق آلية انتباه "attention" تتوسع خطياً مع ازدياد طول سلسلة الدخل. تم تقييم النموذج في استخراج الإجابات النصية، حيث حقق دقة نتائج أفضل من نموذج RoBERTa على مجموعات بيانات مختلفة [5].

تم تصميم بعض النماذج بهدف تحسين الأداء على حساب الدقة لملاءمة الموارد الحاسوبية الضعيفة، منها نموذج DistilBERT الذي يعد نسخة مخففة (مصغرة) عن نموذج BERT، حيث أنه أصغر حجماً وأسرع ويتطلب موارد حاسوبية أقل من نموذج BERT، إلا أن دقة نتائجه أقل [13].

تعتمد معظم الأبحاث عند تطبيق النماذج على استخراج المعلومات من الوثيقة كاملة، إلا أن بعض الوثائق مثل المنشورات البحثية والنشرات الدوائية ومقالات ويكيبيديا والسير الذاتية وغيرها، تحتوي على مقاطع ذات مواضيع معينة تتضمن معلومات مرتبطة بموضوع المقطع. نظراً لذلك، يمكن تطبيق تقنيات التقطيع "Topic segmentation" واكتشاف المواضيع "Topic identification" لاستخراج المقاطع من الوثائق واكتشاف موضوعاتها. تكمن أهمية تحقيق دقة نتائج تقطيع مرتفعة في تحسين جودة العديد من مهام معالجة اللغات الطبيعية، مثل استخراج المعلومات، وتلخيص الوثائق، وغيرها.

تعد خوارزمية TSHD (Topic Segmentation based on Headings Detection) إحدى الطرائق الفعالة في استخراج المقاطع وتحديد موضوعاتها بالاعتماد على تحديد عناوين المقاطع ضمن الوثيقة، ثم هيكلية المقاطع المستخرجة. يمكن موازنة الخوارزمية لاستخراج المقاطع من عدة مجالات نصية، منها السير الذاتية. حققت

الخوارزمية نتائج تقييم مرتفعة تقارب $F1\text{-score} = 96\%$ ، ونسبة خطأ تقطيع منخفضة جداً تقارب 2% [1]. وبالتالي، يمكن الاعتماد على خرج خوارزمية TSHD في تطوير أداء ودقة نماذج استخراج المعلومات.

4. أدوات وطرائق البحث

نقدم ضمن هذا القسم توصيف مجموعة البيانات المستخدمة، ومقاييس التقييم، وآلية عمل خوارزمية TSHD، وتوصيف نماذج استخراج المعلومات التي تم استخدامها لتقييم الطريقة المقترحة.

1.4. توصيف مجموعة البيانات "Dataset"

تم تجميع عدد من السير الذاتية مجموعها 105 مكتوبة باللغة الإنكليزية من مصادر ومواقع متعددة، كما أنها تتبع لأشخاص ذوي اختصاصات مختلفة. تعتبر هذه السير الذاتية ملفات نصية غير مهيكلة، وتتبع لقوالب وتنسيقات مختلفة، كما تختلف مقاطعها من حيث العدد والترتيب، ولا يتبع نمط وحجم ولون الخط فيها لأي مقاييس.

تم التقييم باستخدام هيكلية مجموعة البيانات squad 1.1 من أجل استخراج مجموعة من المعلومات من خلال طرح الأسئلة التالية على السير الذاتية:

- استخراج اسم صاحب السير الذاتية
السؤال: what is my full name?
- استخراج عنوان البريد الإلكتروني
السؤال: what is the email address?
- استخراج رقم الهاتف
السؤال: what is mobile phone?
- استخراج اختصاص البكالوريوس

السؤال: in which major is the bachelor?

- استخراج اسم الجامعة المانحة للبكالوريوس

السؤال: from which university is the bachelor?

حيث أن حجم مجموعة بيانات الاختبار هو 444 سؤال، جميعها تحوي إجابات للأسئلة المطروحة. حيث أن هيكلية مجموعة البيانات squad بالشكل:

['id', 'title', 'context', 'question', 'answers']

id: رقم معرف فريد للسؤال

title: اسم ملف الوثيقة

context: السياق النصي الذي يجب استخراج الإجابة منه

question: السؤال المطروح، الذي يمثل المعلومة المراد استخراجها

answers: الإجابة الفعلية (المعلومة الصحيحة)، حيث يمكن تحديد ثلاث إجابات صحيحة لكل سؤال.

2.4. مقاييس التقييم

يتم تقييم استخراج المعلومات باستخدام مقياسي Exact match و F1 score.

• مقياس (EM) Exact match

يقوم هذا المقياس بتقييم المطابقة التامة للإجابة المتوقعة الناتجة عن النموذج مع الإجابة الفعلية، وبذلك، تكون نتيجته من أجل كل سؤال، إما 100 في حال المطابقة التامة، أو 0 فيما عدا ذلك. ثم يتم حساب متوسط قيم الـ Exact match من أجل جميع الأسئلة.

• مقياس F1 score

يعتمد على قياس درجة تقاطع الكلمات المشتركة بين كلمات الإجابة المتوقعة الناتجة عن النموذج مع كلمات الإجابة الفعلية، بالاعتماد على

حساب precision و recall، حيث أن الـ precision تمثل نسبة عدد الكلمات المشتركة إلى عدد كلمات الإجابة المتوقعة الناتجة عن النموذج. بينما الـ recall تمثل نسبة عدد الكلمات المشتركة إلى عدد كلمات الإجابة الفعلية. وبالتالي يتم حساب F1 score وفق العلاقة:

$$F1\ score = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

ثم يتم حساب متوسط قيم الـ F1 score من أجل جميع الأسئلة.

3.4. الآلية العامة لخوارزمية TSHD ومراحل عملها

تتألف خوارزمية TSHD من ثلاث مراحل رئيسية، وهي:

- المرحلة الأولى: المعالجة المسبقة "Pre-processing"

تُعتبر هذه المرحلة أول مرحلة ضمن الخوارزمية، حيث يتم فيها معالجة أولية للبيانات النصية الخام "raw data". تتألف هذه المرحلة من سلسلة من الخطوات المتتابعة، هي: تحويل البيانات "Data Transformation"، وتجزئة الأسطر "Lines Tokenization"، وتنظيف البيانات "Data Cleaning"، والتقييس "Normalization"، وترقيم الأسطر "Lines Enumeration"، وتنقيح الأسطر "Lines Refinement"، بهدف تجهيز البيانات للمرحلة التالية.

- المرحلة الثانية: تحديد عناوين المقاطع "Headers Detection"

يتم في هذه المرحلة تحديد مواقع عناوين المقاطع، بالإضافة لتوحيد تسميات عناوين المقاطع المتشابهة. وذلك عن طريق القيام بمسحين خطيين متتاليين، هما: "Cue Phrases Scan" ومن ثم "Cue Words Scan".

• المرحلة الثالثة: التقطيع "Segmentation"

تُعتبر هذه المرحلة آخر مرحلة ضمن الخوارزمية، حيث يتم فيها استخراج مواضيع المقاطع ومحتوياتها، وهيكلتها كأزواج بصيغة JSON.

4.4. نماذج استخراج المعلومات المستخدمة

تم تطبيق وتقييم آلية العمل المقدمة بالاستفادة من مكتبة PyTorch على ثلاثة نماذج استخراج معلومات تم إجراء ضبط دقيق لها "fine tuning" على السير الذاتية. نستعرض فيما يلي هذه النماذج:

1.4.4. نموذج autotrain-resume_parser [14]

يتبع هذا النموذج هيكلية النموذج Longformer [5]. يعتمد نموذج Longformer على تطبيق آلية انتباه "attention" تتوسع خطياً مع ازدياد طول سلسلة الدخل. يبين خطأ! لم يتم العثور على مصدر المرجع. أبرز إعدادات "configuration" النموذج المطبقة

الجدول 2: أبرز إعدادات نموذج autotrain-resume_parser

التوصيف	القيمة	اسم الخاصية
تابع تنشيط الطبقة المخفية	gelu	hidden_act
حجم الطبقة المخفية (أبعاد التضمين)	768	hidden_size
حد التضمينات الأقصى	4098	max_position_embeddings
نوع النموذج	longformer	model_type
عدد رؤوس الانتباه	12	num_attention_heads
عدد الطبقات المخفية	12	num_hidden_layers
حجم القاموس	50265	vocab_size
الطول الأعظمي لدخل للنموذج	384	max_length

2.4.4. نموذج CV_Custom_DS [15]

يتبع هذا النموذج هيكلية النموذج Roberta [4]. يعد نموذج Roberta نسخة مطورة من نموذج BERT، حيث يتضمن التعديلات التالية على نموذج BERT، وهي حذف مهمة التنبؤ بالجملة التالية (NSP) Next Sentence Prediction، وتعديل طريقة الـ masking إلى Dynamic masking، بالإضافة إلى تدريب النموذج لفترة أطول على مجموعات بيانات أكبر ذات سلاسل نصية أطول. يبين الجدول 3 أبرز إعدادات النموذج المطبقة.

الجدول 3: أبرز إعدادات نموذج CV_Custom_DS

اسم الخاصية	القيمة	التوصيف
hidden_act	gelu	تابع تنشيط الطبقة المخفية
hidden_size	768	حجم الطبقة المخفية (أبعاد التضمين)
max_position_embeddings	514	حد التضمينات الأقصى
model_type	Roberta	نوع النموذج
num_attention_heads	12	عدد رؤوس الانتباه
num_hidden_layers	12	عدد الطبقات المخفية
vocab_size	50265	حجم القاموس

3.4.4. نموذج AQG_CV_Squad [16]

يتبع هذا النموذج هيكلية النموذج DistilBERT [13]. يعد نموذج DistilBERT نسخة مخففة (مصغرة) عن نموذج BERT، حيث أنه أصغر حجماً وأسرع ويتطلب موارد حاسوبية أقل من نموذج BERT، إلا أن دقة نتائجه أقل. يبين الجدول 4 أبرز إعدادات النموذج المطبقة.

الجدول 4: أبرز إعدادات نموذج AQQ_CV_Squad

اسم الخاصية	القيمة	التوصيف
Activation	gelu	تابع تنشيط الطبقة المخفية
Dim	768	حجم الطبقة المخفية (أبعاد التضمين)
max_position_embeddings	512	حد التضمينات الأقصى
model_type	distilbert	نوع النموذج
n_heads	12	عدد رؤوس الانتباه
n_layers	6	عدد الطبقات المخفية
vocab_size	30522	حجم القاموس

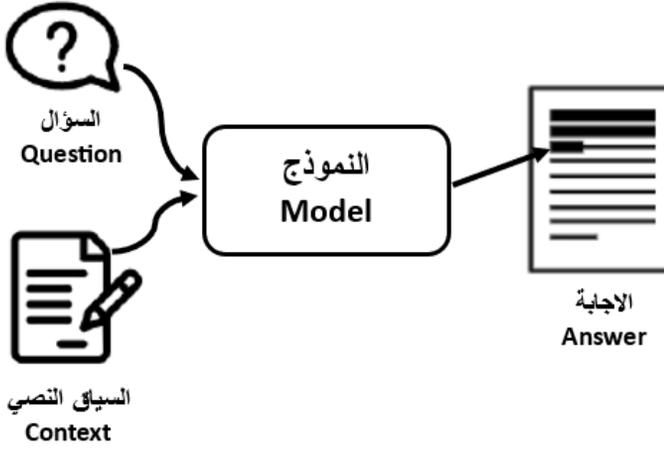
5. استخراج المعلومات باستخدام خوارزمية TSHD ونماذج المحولات

حققت نماذج المحولات قفزة كبيرة في مجالات معالجة اللغات الطبيعية، ومنها استخراج المعلومات. تسعى نماذج الإجابة عن الأسئلة القائمة على الاستخراج النصي إلى تحقيق أفضل النتائج.

يقدم هذا البحث طريقة جديدة تعمل على الاستفادة من المقاطع المستخرجة باستخدام خوارزمية TSHD، واستغلال هذه المقاطع ذات المواضيع المعروفة من قبل نماذج استخراج المعلومات، من خلال اعتبارها السياق النصي "context" الذي يمرر للنموذج، عوضاً عن الوثيقة كاملة.

سنبدأ بشرح الآلية العامة لاستخراج المعلومات باستخدام النماذج، ثم نقدم طريقة توظيف خوارزمية TSHD في تطوير آلية استخراج المعلومات بواسطة النماذج.

يوضح الشكل الآتي الشكل العام لمدخلات ومخرجات نماذج الإجابة عن الأسئلة القائمة على الاستخراج النصي.



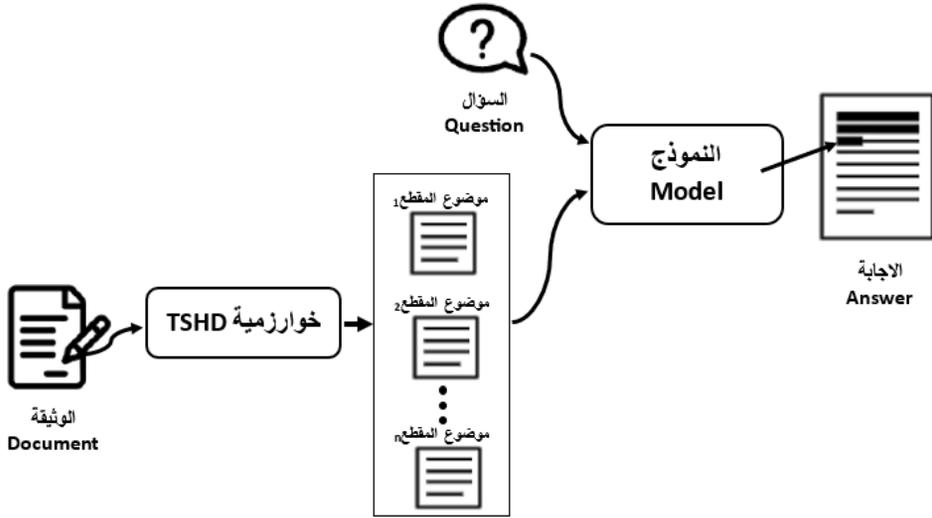
الشكل 1: مدخلات ومخرجات نموذج الإجابة عن الأسئلة القائم على الاستخراج النصي

نلاحظ من الشكل 1 طريقة استخدام النموذج في استخراج المعلومات، حيث يتم تمرير السؤال، الذي يوضح المعلومة المطلوب استخراجها، بالإضافة للسياق النصي، ويقوم النموذج بتحديد واستخراج إجابة السؤال من النص. يتم ذلك عبر المراحل الآتية:

- معالجة مسبقة لبيانات الدخل "pre-processing" لتلائم دخل النموذج من خلال تطبيق التجزئة "tokenization" وتحويل وحدات الدخل النصية إلى الأرقام "IDs" المقابلة لهم ضمن معجم المفردات "vocabulary"، ثم يتم تمريرها إلى النموذج.
- يقوم النموذج بالتنبؤ بـ start logit و end logit من أجل كل وحدة لغوية "token"، تحدد أرجحية كونها تمثل بداية أو نهاية الإجابة ضمن السياق النصي المعطى.

- يتم تطبيق معالجة لاحقة "post-processing" لتحديد مواقع الوحدات اللغوية ذوي الأرجحية الأعلى، من أجل تحديد بداية ونهاية الإجابة ضمن السياق النصي واستخراجها.

نأتي الآن إلى آلية استخراج المعلومات باستخدام النماذج وخوارزمية TSHD: يتم تمرير محتويات المقاطع المستخرجة ومواضيعها إلى النموذج عوضاً عن الوثيقة كاملة (الشكل 2).



الشكل 2: آلية توظيف خوارزمية TSHD في تطوير استخراج المعلومات من قبل النماذج

يتم بدايةً تمرير الوثيقة كاملة إلى خوارزمية TSHD التي تقوم باستخراج محتويات مقاطع الوثيقة وتحديد موضوع كل مقطع. ثم يتم مطابقة السؤال مع موضوع المقطع المناسب، وتمرير السؤال ومحتوى المقطع المناسب إلى النموذج عوضاً عن تمرير الوثيقة كاملة، حيث يقوم النموذج باستخراج المعلومة المطلوبة (الإجابة) من المقطع، وتخزينها بصيغة مهيكلة.

6. النتائج ومناقشتها

نستعرض فيما يلي نتائج تقييم الطريقة المقترحة، حيث تم اختبارها على مجموعة من نماذج استخراج المعلومات، التي تم ذكرها سابقاً في قسم أدوات البحث، تبعاً لهيكلية squad 1.1 في مجال السير الذاتية، لنبين تأثير تطبيق خوارزمية TSHD على دقة نتائج استخراج المعلومات من قبل النماذج.

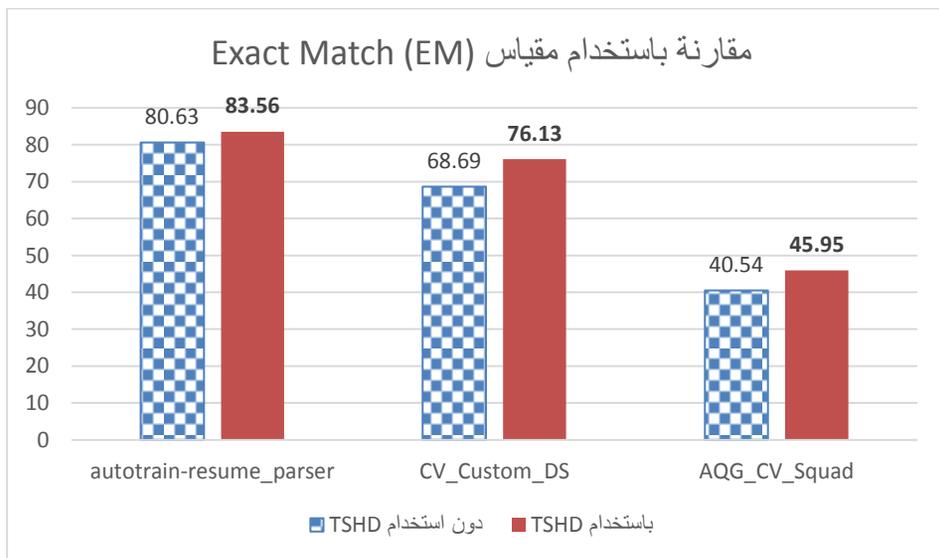
تم تقييم استخراج المعلومات على مجموعة بيانات الاختبار (444 سؤال) باستخدام ثلاثة نماذج، وهي autotrain-resume_parser و CV_Custom_DS و AQG_CV_Squad. حيث تم إجراء التقييم مرتين من أجل كل نموذج:

- الأولى دون استخدام خوارزمية TSHD، حيث يعمل النموذج على استخراج المعلومات المطلوبة من كامل الوثيقة.
- الثانية باستخدام خوارزمية TSHD، حيث يعمل النموذج على استخراج المعلومات المطلوبة من المقطع الملائم تبعاً لموضوعه.

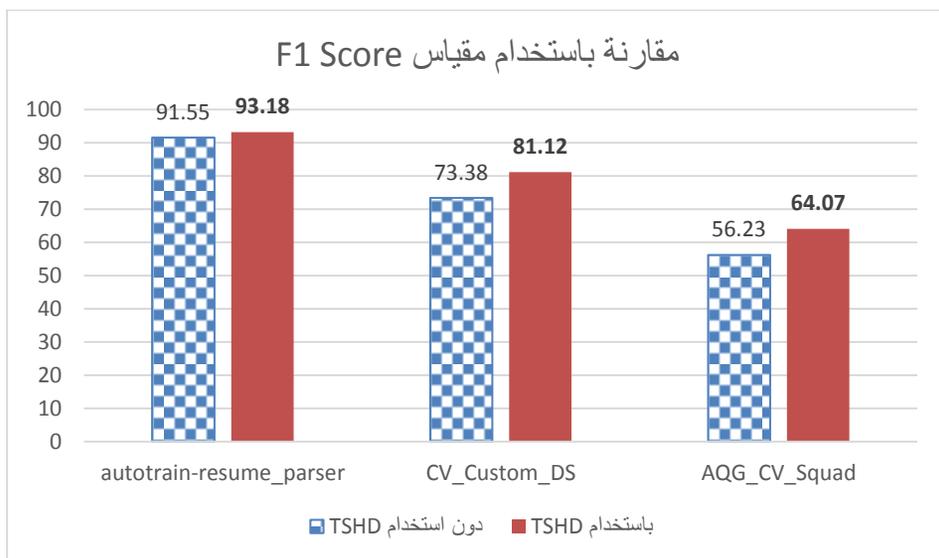
يبين كل من خطأ! لم يتم العثور على مصدر المرجع. والشكل 3 والشكل 4 نتائج تقييم النماذج الثلاثة في استخراج المعلومات على مجموعة بيانات الاختبار مع وبدون استخدام خوارزمية TSHD.

الجدول 5: مقارنة نتائج تقييم ثلاثة نماذج مع وبدون استخدام خوارزمية TSHD

باستخدام خوارزمية TSHD			دون استخدام خوارزمية TSHD			
F1-score(%)	EM(%)	#	F1-score(%)	EM(%)	#	
93.18	83.56	371	91.55	80.63	358	نموذج autotrain-resume_parser
81.12	76.13	338	73.38	68.69	305	نموذج CV_Custom_DS
64.07	45.95	204	56.23	40.54	180	نموذج AQG_CV_Squad
# : عدد الإجابات المتوقعة الصحيحة (مطابقة تامة) Exact Match :EM						



الشكل 3: مقارنة تبعاً لمقياس Exact match لثلاثة نماذج مع وبدون TSHD



الشكل 4: مقارنة تبعاً لمقياس F1 score لثلاثة نماذج مع وبدون TSHD

نلاحظ تحسن نتائج تقييم النماذج الثلاثة بمختلف مقاييس التقييم عند استخدام خوارزمية TSHD، حيث:

- من أجل نموذج autotrain-resume_parser:
 - ❖ ارتفعت نسبة مقياس EM نتيجة استخدام خوارزمية TSHD من 80.63% (358 إجابة) إلى 83.56% (371 إجابة)، بزيادة قدرها 2.93% (13 إجابة).
 - ❖ كما ارتفعت نسبة مقياس F1 score نتيجة استخدام خوارزمية TSHD من 91.55% إلى 93.18%، بزيادة قدرها 1.63%.
- من أجل نموذج CV_Custom_DS:
 - ❖ ارتفعت نسبة مقياس EM نتيجة استخدام خوارزمية TSHD من 68.69% (305 إجابة) إلى 76.13% (338 إجابة)، بزيادة قدرها 7.44% (33 إجابة).
 - ❖ كما ارتفعت نسبة مقياس F1 score نتيجة استخدام خوارزمية TSHD من 73.38% إلى 81.12%، بزيادة قدرها 7.74%.
- من أجل نموذج AQG_CV_Squad:
 - ❖ ارتفعت نسبة مقياس EM نتيجة استخدام خوارزمية TSHD من 40.54% (180 إجابة) إلى 45.95% (204 إجابة)، بزيادة قدرها 5.41% (24 إجابة).

❖ كما ارتفعت نسبة مقياس F1 score نتيجة استخدام خوارزمية TSHD من 56.23% إلى 64.07%، بزيادة قدرها 7.84%.

كنتيجة لما سبق، نلاحظ التأثير الإيجابي الواضح لاستخدام خوارزمية TSHD في تحسين دقة نتائج استخراج المعلومات من قبل نماذج المحولات، حيث ازدادت قيمة مقياس Exact match بنسبة تتراوح بين 2.93% و 7.44%، كما ازدادت قيمة مقياس F1 score بنسبة تتراوح بين 1.63% و 7.84%.

كما أن سبب تفاوت نتائج تقييم النماذج يعود لاختلاف قوة النموذج، فمثلاً: نموذج AQG_CV_Squad، الذي أعطى أقل نتائج تقييم، هو من نوع DistilBERT، حيث يعتبر أسرع وأخف مقارنةً بالنموذجين الآخرين، إلا أن عدد طبقاته وبارامتراته أقل. حيث أن هدفه الرئيسي السرعة وملاءمة الموارد الحاسوبية الضعيفة، ولكن على حساب الدقة.

7. الاستنتاجات والتوصيات

قدمنا في هذا البحث طريقة جديدة لتطوير آلية عمل استخراج المعلومات من قبل نماذج المحولات بالاستفادة من التقطيع باستخدام خوارزمية TSHD. وذلك من خلال تطبيق الخوارزمية لاستخراج محتويات مقاطع الوثيقة وموضوع كل مقطع، ومن ثم استخراج المعلومات بواسطة النماذج من المقاطع عوضاً عن الوثيقة كاملة.

تم اختبار وتقييم نتائج استخراج المعلومات من قبل ثلاثة نماذج على مجموعة من السير الذاتية مع وبدون استخدام خوارزمية TSHD بالاعتماد على هيكلية مجموعة البيانات squad 1.1. تم تحسين نتائج التقييم باستخدام خوارزمية TSHD، حيث ارتفعت قيمة مقياس Exact match بنسبة زيادة وصلت إلى 7.44%، كما ارتفعت

قيمة مقياس F1 score بنسبة زيادة وصلت إلى 7.84%. علاوة عن ذلك، يساهم استخدام خوارزمية TSHD في تخفيض الموارد الحاسوبية اللازمة نتيجة تصغير حجم السياق النصي. كما أن استخدام الخوارزمية لا يتطلب إعادة تدريب النماذج على مقاطع الوثائق بعد التقطيع.

يمكننا أيضاً اختبار وتقييم آلية العمل المقترحة على هيكلية مجموعة البيانات squad 2، من خلال إضافة مجموعة من الأسئلة التي لا يوجد إجابة لها ضمن السياق النصي.

نرى أن خوارزميات التقطيع واكتشاف المواضيع مثل خوارزمية TSHD، لديها القدرة على إحداث تأثير كبير في العديد من مجالات استخراج المعلومات النصية، ومهام مختلفة لمعالجة اللغات الطبيعية.

8. المراجع

1. TANNOUS, M.E., RAMADAN, W.H., and RAJAB, M.A. 2023– TSHD: Topic Segmentation Based on Headings Detection (Case Study: Resumes). **Advances in Human–Computer Interaction**, Vol. 2023, 6044007.
2. VASWANI, A., SHAZEER, N., PARMAR, N., USZKOREIT, J., JONES, L., GOMEZ, A.N., KAISER, \Lukasz, and POLOSUKHIN, I. 2017– Attention is all you need. **Advances in neural information processing systems**, Vol. 30, .
3. DEVLIN, J., CHANG, M.–W., LEE, K., and TOUTANOVA, K. 2018– Bert: Pre–training of deep bidirectional transformers for language understanding. **arXiv preprint arXiv:1810.04805**, .
4. LIU, Y., OTT, M., GOYAL, N., DU, J., JOSHI, M., CHEN, D., LEVY, O., LEWIS, M., ZETTLEMOYER, L., and STOYANOV, V. 2019– Roberta: A robustly optimized bert pretraining approach. **arXiv preprint arXiv:1907.11692**, .
5. BELTAGY, I., PETERS, M.E., and COHAN, A. 2020– Longformer: The long–document transformer. **arXiv preprint arXiv:2004.05150**, .
6. YANG, Z., DAI, Z., YANG, Y., CARBONELL, J., SALAKHUTDINOV, R.R., and LE, Q.V. 2019– Xlnet: Generalized

autoregressive pretraining for language understanding. **Advances in neural information processing systems**, Vol. 32, .

7. RAJPURKAR, P., ZHANG, J., LOPYREV, K., and LIANG, P. 2016– Squad: 100,000+ questions for machine comprehension of text. **arXiv preprint arXiv:1606.05250**, .

8. RAJPURKAR, P., JIA, R., and LIANG, P. 2018– Know what you don't know: Unanswerable questions for SQuAD. **arXiv preprint arXiv:1806.03822**, .

9. TRISCHLER, A., WANG, T., YUAN, X., HARRIS, J., SORDONI, A., BACHMAN, P., and SULEMAN, K. 2016– Newsqa: A machine comprehension dataset. **arXiv preprint arXiv:1611.09830**, .

10. CHOI, E., HE, H., IYYER, M., YATSKAR, M., YIH, W., CHOI, Y., LIANG, P., and ZETTLEMOYER, L. 2018– QuAC: Question answering in context. **arXiv preprint arXiv:1808.07036**, .

11. MÖLLER, T., REINA, A., JAYAKUMAR, R., and PIETSCH, M. 2020– **COVID-QA: A question answering dataset for COVID-19**. Proceedings of the 1st Workshop on NLP for COVID-19 at ACL 2020.

12. PEARCE, K., ZHAN, T., KOMANDURI, A., and ZHAN, J. 2021– A comparative study of transformer-based language

models on extractive question answering. **arXiv preprint arXiv:2110.03142**, .

13. SANH, V., DEBUT, L., CHAUMOND, J., and WOLF, T. 2019– DistilBERT, a distilled version of BERT: smaller, faster, cheaper and lighter. **arXiv preprint arXiv:1910.01108**, .

14. Kiet/autotrain–resume_parser–1159242747 · Hugging Face.
https://huggingface.co/Kiet/autotrain–resume_parser–1159242747.

15. sunitha/CV_Custom_DS · Hugging Face.
https://huggingface.co/sunitha/CV_Custom_DS.

16. sunitha/AQG_CV_Squad · Hugging Face.
https://huggingface.co/sunitha/AQG_CV_Squad.