

مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 43 . العدد 21

1442 هـ - 2021 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير	أ. د. ناصر سعد الدين
رئيس التحرير	أ. د. درغام سلوم

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث

بشرى مصطفى

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

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

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

. هاتف / فاكس : 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

قيمة العدد الواحد : 100 ل.س داخل القطر العربي السوري

25 دولاراً أمريكياً خارج القطر العربي السوري

قيمة الاشتراك السنوي : 1000 ل.س للعموم

500 ل.س لأعضاء الهيئة التدريسية والطلاب

250 دولاراً أمريكياً خارج القطر العربي السوري

توجه الطلبات الخاصة بالاشتراك في المجلة إلى العنوان المبين أعلاه.

يرسل المبلغ المطلوب من خارج القطر بالدولارات الأمريكية بموجب شيكات

باسم جامعة البعث.

تضاف نسبة 50% إذا كان الاشتراك أكثر من نسخة.

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

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

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
34-11	د. عزت حسن د. زيد بدر همام زيتي	دراسة تأثير معامل الحمل الحراري القسري على التبادل الحراري في المحرك التحريضي الثلاثي الطور
62- 35	د. محمود الأسعد	دراسة تأثير سرعة الطباعة الثلاثية الأبعاد بتقنية ال <i>FDM</i> لمادة <i>PLA</i> على خاصية مقاومة الانعطاف
94-63	د. كمال السلوم د. ناصر أبو صالح ريم ناصر	استخدام القواميس والتعلم الآلي لتحليل المشاعر في اللغة العربية
128-95	د. يسر الأتاسي د. سهيل حمود لما براك	استعراض لأهم تقنيات تضمين الكلمات في معالجة اللغة الطبيعية
150-129	د. م. ايلي خليل	تشكيل حزمة الإشعاع الهجين في شبكات الجيل الخامس بالاعتماد على تحليل القيمة الفردية

دراسة تأثير معامل الحمل الحراري القسري على التبادل الحراري في المحرك التحريضي الثلاثي الطور

الدكتور المهندس عزت حسن*

الدكتور المهندس زيد بدر**

المهندس همام زيتي***

ملخص

تلعب طريقة جريان وسيط التبريد داخل الآلة الكهربائية دوراً هاماً في عملية التبادل الحراري بينها وبين الوسط الخارجي. يمكن أن نميّز نوعين من الحمل الحراري: الحر والقسري، وذلك حسب نوع القوة المسببة لجريان أو حركة المائع على سطح الجسم الصلب. وتبعاً لنوع الجريان فيما إذا كان صفيحي أو مضطرب فإن عامل الحمل الحراري يقسم إلى مركبتين: ساكنة ودورانية. نسعى في هذا البحث إلى دراسة أثر تغيير معاملات الحمل الحراري القسرية (الدورانية) على التبادل الحراري للآلة الكهربائية مع الوسط الخارجي، حيث تتم الدراسة بطريقتين هما طريقة البارامترات المجمعة ونمذجة معادلاتها باستخدام برنامج MATLAB، وطريقة العناصر المنتهية باستخدام برنامج ANSYS. أعطت النتائج قيم مقارنة للطرفين لجهة تحسين عملية التبادل الحراري للآلة عند تحسين المركبة الدورانية لعامل الحمل الحراري.

كلمات مفتاحية: محرك تحريضي، تحليل حراري، ANSYS، Maxwell، MATLAB.

*أستاذ - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.
**أستاذ - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.
***طالب دراسات عليا (دكتوراه) - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

Study of the Forced convection coefficient on Thermal Exchange in a Three phase Induction Motor

Dr .Eng .Izzat Hasan *

Dr .Eng .Zaid Badr**

Engineer Homam Zaity***

ABSTRACT

The way the refrigerant circulates inside the electrical machine plays an important role in the heat exchange process between it and the outside medium. Two types of free and forced convection can be distinguished according to the type of force causing the flow or movement of the fluid on the surface of a solid particle. Depending on the type of flow in it, if it is laminar or turbulent, the convection factor is divided into two components: static and rotating. In this paper, we seek to study the effect of the change of coercive (rotational) convection coefficients on the heat exchange of the electrical machine with the external medium, where the study is carried out in two methods: the combined parameters method and their equations modeling using the MATLAB program, and the finite element method using the ANSYS program. The results gave comparable values for the two parties in terms of improving the heat exchange process of the machine when improving the rotational component of the heat convection factor.

Keyword: Induction Motor, Thermal Analysis, ANSYS, Maxwell, MATLAB

***Professor, Department of Electric Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Syria.**

****Professor, Department of Electric Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Syria.**

*****Postgraduate Student, Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Syria.**

1. المقدمة:

يعدّ تطور قطاع الكهرباء عاملاً هاماً في التقدم العلمي والتقني بحيث يعبر عن مستوى التنمية والانتاج في جميع القطاعات: الصناعي والنقل والزراعي. ويعود الدور الأكبر في عملية التطور هذه إلى تصميم وتصنيع واستثمار الآلات الكهروميكانيكية بشكلها التقليديين: المولدات والمحركات.

تستهلك المحركات الكهربائية الجزء الأكبر من الطاقة الكهربائية المولدة والتي تتحوّل، بفعل عملها، إلى طاقة ميكانيكية. تتنوّع المحركات الكهربائية المستخدمة في سير العمليات الانتاجية المختلفة من حيث مبدأ العمل والتصميم والبناء، بما يؤمن الاستخدام الأكثر كفاءة لأنظمة نقل الحركة الكهربائية. كل هذه العوامل تحدد الغرض الرئيس لتصميم الآلة الكهروميكانيكية وهو: تحقيق أعلى مستوى للمؤشرات الفنية والاقتصادية.

يرافق عملية تحويل الطاقة في الآلات الكهربائية بشكل عام ضياعات مختلفة ومهدورة (غير قابلة للعكس). هذه الطاقة الضائعة تتحول إلى حرارة بفعل جول، والتي يؤدي انتشارها في الآلة إلى تسخين الأقسام الفعالة والتصميمية لها، وبالتالي ارتفاع درجة حرارتها. تنتشر الحرارة في أقسام الآلة بشكل غير متجانس حيث تكون على الغالب الأقسام الفعالة لها درجة حرارة أعظمية والسطح الخارجي للآلة أقل درجة حرارة. ويؤدي هذا إلى تدفق الحرارة من الأقسام الفعالة إلى الأجزاء أو الأقسام التصميمية للآلة ومنه إلى الوسط الخارجي المحيط بها، وبالتالي تعتبر الآلة الكهربائية ليس فقط نظام كهروميكانيكي بل أيضاً وحدة حرارية. [1]

عند تصميم الآلة الكهربائية يتم تحديد شكل وأبعاد العناصر، التي يجب أن تؤمن عمل وظيفي ذو وثوقية عالية للأجزاء النشطة منها. كما ويتم تحديد متانة وقساوة جميع أجزاء الآلة المعرضة لتأثير قوى ميكانيكية. أيضاً في هذه المرحلة يتم التطرق إلى مسائل تشكيل مسار التبريد وذلك بهدف تأمين تبريد فعال، الأمر الذي سيسمح باستثمارها لفترة طويلة وبالتالي ضمان مؤشرات فنية واقتصادية عالية للآلة الكهربائية. [2]

لكي تعمل الآلة كهربائية بموثوقية وبمؤشرات طاقية عالية يُشترط عند تصميمها أن ترفق بنظام تبريد فعال يستند على الحسابات الحرارية وهذا النظام عبارة عن مجموعة من قنوات مسار التبريد يتحرك عبرها وسيط مبرد (غاز أو سائل) تحت تأثير عمل عناصر ضاغطة، كالمراوح أو المضخات أو عناصر مركبة في الآلة الكهربائية تقوم بنفس الدور، وتؤمن حركة قسرية موجهة للوسيط المبرد. يتمحور الشرط الرئيسي لنظام التبريد في تأمينه لمستوى مقبول لاحتراق

الأجزاء الرئيسية من الآلة الكهربائية كالمفاتيح مثلاً. كما ويعتبر هذا الشرط ضرورياً لتأمين أطول فترة استثمار ممكنة للآلة الكهربائية وبمستوى وثوقية عمل عالٍ [2].

تتعدد طرق التحليل الحراري للآلات الكهربائية، منها ما يعطي نتائج مباشرة ودقيقة للنقاط الأكثر أهمية في الآلة مثل برنامج MOTOR-CAD الذي أطلقته شركة Motor design limited، والذي يؤمن سهولة وسرعة في الحساب، ولكنه يُفسح للمستخدم مجال محدود للعمل بحيث يجب التقيد بالبناء الهندسي للمحرك المدخل مسبقاً للبرنامج. ومنها ما يعطي نتائج مقبولة الدقة ويعطي للمصمم مرونة في تحديد المعطيات الأساسية للبنية التصميمية للمحرك وإدخال التعديلات التي يراها المصمم أو الباحث ضرورية لتحسين أداء المحرك مثل:

- ❖ طريقة العناصر المنتهية (Finite Element Analysis (FEA).
 - ❖ وطريقة ديناميكا الموائع الحسابية: Computational Fluid Dynamics (CFD).
 - ❖ بالإضافة لطريقة البارامترات المجمعة Lumped-parameter Thermal Model.
- وسنجري عملية التحليل الحراري للمحرك التحريضي في هذا البحث كل من طريقتي: البارامترات المجمعة والعناصر المنتهية.

2. أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في اقتراح حل لمشكلة لاتزال إحدى أكثر المشاكل شيوعاً. وهي التخفيف من أثر الحرارة المنبعثة -نتيجة الضياعات المختلفة- على كفاءة المحرك ومنع انهيار عازليته، وذلك من خلال تحسين المركبة الدورانية لمعامل الحمل الحراري الداخلي للمحرك مما ينعكس إيجاباً على استثمار المحركات التحريضية وزيادة من عمر العازلية.

3. طرائق البحث ومواده:

تمت محاكاة الحالة الحرارية للمحرك عند نقطة العمل الاسمية بطريقتين:

- 1- طريقة النموذج البارامتري المجمع ونمذجة معادلاته في برنامج (MATLAB).
- 2- طريقة العناصر المنتهية التي يستخدمها برنامج ANSYS في عملية التحليل الحراري.

وبعد الحصول على النتائج قمنا بمقارنة درجة الحرارة في النقاط الأساسية في المحرك عند تحسين المركبة الدورانية مع درجة حرارة النقاط المقابلة لها في الحالة الطبيعية.

4. الدراسة المرجعية

يربط المرجع [5] الدراسة الحرارية بالدراسة الكهرومغناطيسية، حيث تم تحديد قيمة الضياعات (النحاسية والحديدية) بناء على التحليل الكهرومغناطيسي الذي يتم خلال دورة عمل واحدة، أما التحليل الحراري فيحتاج أكثر من دورة عمل واحدة، وذلك لأن زمن الاستجابة الكهرومغناطيسي أقل من زمن الاستجابة الحراري. واستخدمت قيم الضياعات المحسوبة كمدخلات للتحليل الحراري.

لاحظ الباحث ارتفاع قيمة الضياعات النحاسية بشكل كبير مع ارتفاع درجة الحرارة. وانخفاض قيمة الضياعات الحديدية في الدائر مع ارتفاع درجة الحرارة. كما استنتج انخفاض قيمة عزم الدوران بنسبة 4% عند ارتفاع درجة الحرارة من 20 إلى 172 درجة مئوية.

تم حساب درجات الحرارة في نقاط مختلفة من المحرك باستخدام طريقة العناصر المنتهية **Finite Element Method (FEM)**، وللتحقق قام الباحث بمقارنة نتائج هذه الطريقة في التحليل الحراري مع النتائج التي يعطيها برنامج **MOTOR-CAD**، حيث تبين له أن نتائج الطريقتين متساوية تقريباً، ما عدا درجة حرارة أسنان الثابت، وهذا بسبب مواجهة الأسنان للثغرة الهوائية. ويعود ذلك إلى احتواء **MOTOR-CAD** على معطيات مفصلة تجعل نتائجه أكثر دقة في عملية التحليل الحراري.

تم استخدام برنامج Maxwell لنمذجة ومحاكاة محرك تحريضي ذو دائر مقصور $\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{24}{22}$ والحصول على توزيع الفيض وكثافة الفيض في الحزمة 3D , 2D من البرنامج بالإضافة إلى بعض المميزات التشغيلية في المحرك [6].

كما تم استخدام برنامج Maxwell لدراسة ومحاكاة المحرك التحريضي المستخدم في السيارات الكهربائية حيث تم إجراء التصميم الكهرومغناطيسي للمحرك وفقاً لمعايير التصميم المحددة. ثم تم التحقق من التصميم التحليلي باستخدام طريقة العناصر المنتهية. اعتماداً على النتائج التي تم الحصول عليها في التحليلات الكهرومغناطيسية. عدّل التصميم السابق للمحرك التحريضي بما يلائم شروط استخدامه في السيارات الكهربائية ثم تم إجراء التحليل الكهرومغناطيسي والحراري للمحرك المصمم باستخدام برنامجي Maxwell® و ANSYS على التوالي. حيث تم اختبار المحرك المصمم عند أقصى درجة حرارة مسموح بها وفقاً لنوع مادة العزل المستخدمة. وأظهرت نتائج التحليلات أن المحرك المصمم يفي بمعايير التصميم [7].

تمت محاكاة عمل نظام متكامل يحتوي على محرك تحريضي ودارة قيادة ومخطط تحكم في بيانات نمذجة مختلفة لكل جزء من النظام، حيث تم تصميم المحرك باستخدام Ansys-

Maxwell وتمّ تصميم دارة القيادة باستخدام Ansys-Simplorer بينما تم انجاز مخطط التحكم في بيئة MATLAB-Simulink، تمت دراسة النظام في حالتين هما حالة وجود عطل في دارة القيادة وكانت الحالة الثانية هي حالة وجود قصر بين طورين من أطوار الثابت، أبدى النموذج مرونة لجهة إمكانية اكتشاف العطل وذلك من خلال مراقبة كل من التيار والعزم الكهرطيسي [8].

أما في المرجع [3] فقد تم فيه وضع مخطط حراري مكافئ للمحرك التحريضي ثلاثي الطور عند درجات حماية ميكانيكية وأنظمة تبريد مختلفة ووضعت المعادلات الجبرية الخاصة لهذا المخطط. أظهر النموذج كفاءة في إمكانية معرفة درجات الحرارة في أي جزء من أجزاء المحرك، وبناء على ذلك تم تحسين أداء المحرك عن طريق تحسين عمليات التبادل الحراري (عن طريق التغيير في قيمة الناقلية الحرارية λ).

يلاحظ من الدراسات السابقة جميعها أن بعض عمليات البحث تركز على دراسة أثر ارتفاع درجة الحرارة على أداء المحرك، وإمكانية تحسين عمليات التبادل الحراري عن طريق تحسين معاملات التوصيلية الحرارية، فيما يدرس بعضها الآخر تأثير وجود التوافقيات العليا، وزيادة درجة الحرارة المرافق لتواجد هذه التوافقيات.

ندرس في هذا البحث أهمية تحسين المركبة الدورانية لمعامل الحمل الحراري الداخلي في تبديد الحرارة الناتجة عن الضياعات المختلفة من داخل المحرك إلى الوسط الخارجي وتتم الدراسة وفق طريقتي البارامترات المجمعّة والعناصر المنهية.

5. الضياعات في المحرك التحريضي:

إن دراسة الضياعات بمختلف أشكالها أمر بالغ الأهمية قبل البدء بالدراسة الحرارية، لكونها المنابع الحرارية التي تشكل المدخل للمعادلات الحرارية في المحرك. لذلك يجب معرفة توزيع الضياعات في جميع أجزاء المحرك.

تقسم الضياعات في المحرك التحريضي إلى ضياعات أساسية وإضافية، وتتكون الضياعات الأساسية من الضياع الكهربائي الناتج عن مرور التيار في الملفات وتسمى ضياعات نحاسية، ومن الضياعات الحديدية في الدارة المغناطيسية للمحرك نتيجة تيارات فوكو الإحصارية والتعويق المغناطيسي. أما الضياعات الإضافية فتشمل الضياعات السطحية والترددية (النبضية) والضياعات في كل من الملفات والدارة المغناطيسية الناتجة عن الفيض المتسرب وتشوه الساحة

المغناطيسية في الثغرة الهوائية عند الحمولة، على شكل نسبة: 30% من الضياعات الإضافية تحدث في أسنان الثابت و 40% منها يحدث في الملفات في المجاري و 30% منها يحدث في حديد الدائر. يتم تجاهل الضياعات في الرولمانات ويمكن تضمينها كمنبع حراري في المحور. وبسبب التناظر يتم دراسة نصف المحرك فقط وبالتالي يتم أخذ نصف الضياعات في النموذج الحراري [10 , 11].

6. مواصفات المحرك المستخدم في عملية التحليل الحراري للنموذجين:

تم حساب الأبعاد والضياعات الكهرومغناطيسية لآلة أثناء عملية التصميم الكهرومغناطيسي، واستخدمت خواص المواد الداخلة في التصميم وموصلاتها الحرارية وطريقة التبريد كقيم مدخلة، وتم تحديد معاملات الحمل الحراري داخل المحرك تبعاً لشروط الجريان والحركة الدورانية العشوائية للهواء الداخلي أثناء عمل المحرك مع الأخذ بالاعتبار أن مراوح التبريد تعمل، حيث تم إجراء التحليل الحراري على محرك تحريضي ثلاثي الطور ثنائي الطبقة ذو قفص سنجابي مغلق مزود بمروحة تبريد TEFC استطاعته 30 KW مواصفاته وأبعاده مبينة بالجدول بالجدولين (1 ، 2) [2].

الجدول (1) مواصفات المحرك التحريضي الذي أجريت عليه عملية النمذجة

$P=30.10^3$	الاستطاعة الاسمية- W
$n_{syn}=1500$	سرعة الدوران - r.p.m
$U=690$	جهد الخط- V
$U_{sp\Box} = \frac{U}{\sqrt{3}} = 398.3717$	جهد الطور- V
$m=3$	عدد الأطوار
$2P=4$	عدد الأقطاب
$f = \frac{n_{syn}}{60} P \quad f = 50$	التردد
$\omega = 2 \pi f \quad \omega = 314.1593$	السرعة الزاوية
$\cos \varphi_n = 0.84$	عامل الاستطاعة
$\eta=0.927$	المردود
$\sigma_{cu20^\circ C} = 57 \cdot 10^6$	الموصلية الكهربائية للنحاس عند الدرجة

	20°C
$\sigma_{Al20^\circ C} = 37 \cdot 10^6$	الموصلية الكهربائية للألمنيوم عند الدرجة 20°C
$P_{1.5}=6.6$	الضياعات الحديدية في واحدة الكتلة من المادة المصقّحة (الضياع النوعي): $W/kg, 1.5T, 50 Hz$

الجدول (2) أبعاد المحرك - m

الجزء	الرمز	القيمة بـ m
طول الثابت	l	0.2066
نصف القطر الخارجي للثابت	r_1	0.169
نصف القطر الخارجي للسّن	r_2	0.1351
الخطوة السنّية	τ_u	0.0106
عدد المجاري	n	48
نصف القطر الداخلي للسّن	r_3	0.1075
عرض سن الثابت	b_{ds}	0.006812
نصف قطر اللفة	r_4	$5718 \cdot 10^{-3}$
سماكة العازلية	d_i	0.0005
مساحة المقطع المكافئ للنحاس في المجرى	S_c	$9066 \cdot 10^{-4}$
نصف القطر الخارجي للدائر	r_5	0.2134
نصف قطر حلقة القسم الجبهوي	r_t	0.1213

7. تصميم الشبكات الحرارية باستخدام النموذج البارامتري المجمع:

تطرح الحرارة المكتسبة في التجهيزات الكهربائية والناجمة عن الضياعات المختلفة فيها في الحالة المستقرة إلى الوسط الخارجي عبر انتقال الحرارة بأشكال مختلفة: توصيل، حمل وإشعاع. [4 , 9]

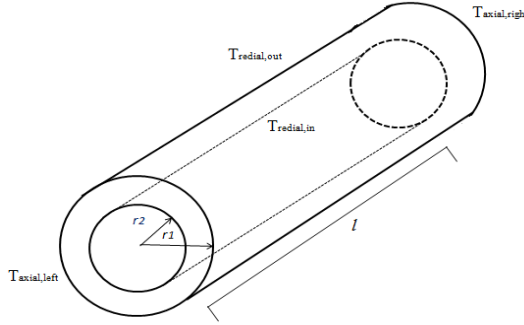
1.7 انتقال الحرارة بالتوصيل:

تنتقل الحرارة بين أجزاء المحرك المتلاصقة بالتوصيل، وتعطى المقاومة الحرارية التي تصف انتقال الحرارة بالتوصيل بالعلاقة (1) [9]:

$$R_{th} = \frac{l}{\lambda.S} \quad (1)$$

حيث أن: l - طول الجسم ويقاس بـ m ، λ - معامل التوصيل الحراري وتقاس بـ $\frac{W}{m.^{\circ}C}$ ، S - مساحة المقطع وتقاس بـ m^2 .

من المعروف أن الأجزاء الرئيسية للألة مصممة بحيث تأخذ شكلاً أسطوانياً كما هو مبين في الشكل (1)



الشكل (1) الشكل العام للجسم الاسطواني ببعديه الشعاعي والمحوري ودرجات الحرارة المرتبطة بكل منهما

r_1 نصف قطر الأسطوانة الخارجية r_2 نصف قطر الأسطوانة الداخلية

$T_{axial,right}$ انتقال الحرارة محورياً إلى يمين الأسطوانة $T_{axial,left}$ انتقال الحرارة محورياً إلى يسار الأسطوانة

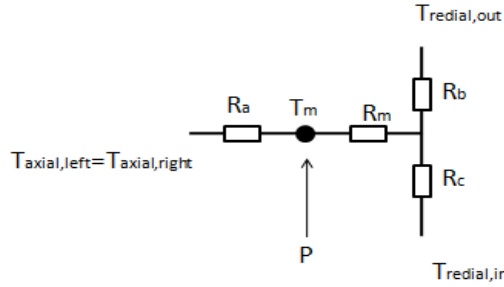
$T_{radial,out}$ انتقال الحرارة شعاعياً إلى خارج للأسطوانة $T_{radial,in}$ انتقال الحرارة شعاعياً إلى داخل الأسطوانة

لشرح انتقال الحرارة في جسم أسطواني نفترض مايلي:

- تتدفق الحرارة في الاتجاهين المحوري والشعاعي بشكل مستقل.

- عقدة الحرارة الوسطية هي التي تحدد التدفق الحراري في كلا الاتجاهين الشعاعي والمحوري.
- تتوزع الحرارة المتولدة بشكل منتظم.

بالإضافة إلى الافتراضات السابقة، فإن تأثير التدفق الحراري بالاتجاه المحيطي قليل في معظم نقاط الآلة ولذلك لن يعتمد الانتقال بالاتجاه المحيطي بشكل رئيسي كما الشعاعي والمحوري، إنما سيحسب فقط في النقاط التي يكون فيه ذو أهمية أثناء عملية التحليل الحراري. عند أخذ الافتراضات السابقة بعين الاعتبار، نحصل على شبكتين منفصلتين ثلاثيتي الأطراف. تمثل إحداها انتقال الحرارة في الاتجاه المحوري والأخرى بالاتجاه الشعاعي. وبما أن المحرك متناظر بالنسبة لمحوره الشاقولي، تختصر الشبكة الحرارية الخاصة بانتقال الحرارة بالاتجاه المحوري إلى مقاومة حرارية مضاعفة تمثل الانتقال الحراري في هذا الاتجاه، كما هو مبين بالشكل (2).



الشكل (2) الشبكة الحرارية للجسم الاسطواني بالاتجاهين الشعاعي والمحوري

$T_{axial,right}$ انتقال الحرارة محورياً إلى يمين الأسطوانة
 $T_{axial,left}$ انتقال الحرارة محورياً إلى يسار الأسطوانة

$T_{radial,out}$ انتقال الحرارة شعاعياً إلى خارج للأسطوانة
 $T_{radial,in}$ انتقال الحرارة شعاعياً إلى داخل الأسطوانة

تتكون هذه الشبكة من عقدتين داخليتين وأربع مقاومات حرارية R_a, R_m, R_b, R_c ، تعطى

على الترتيب بالعلاقات [10]:

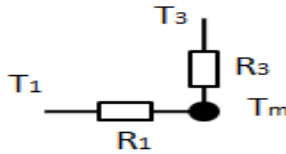
$$R_a = \frac{l}{6\pi\lambda_a(r_1^2 - r_2^2)} \quad (2)$$

$$R_b = 2R_{1r} = \frac{1}{2\pi\lambda_r l} \left[1 - \frac{2r_2^2 \ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}{(r_1^2 - r_2^2)} \right] \quad (3)$$

$$R_c = \frac{1}{2\pi\lambda_r l} \left[\frac{2r_1^2 \ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}{(r_1^2 - r_2^2)} - 1 \right] \quad (4)$$

$$R_m = \frac{-1}{4\pi(r_1^2 - r_2^2)\lambda_r l} \left[r_1^2 + r_2^2 - \frac{4r_1^2 r_2^2 \ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}{(r_1^2 - r_2^2)} \right] \quad (5)$$

تطبق العلاقات السابقة على الأجزاء الاسطوانية في المحرك، وبالنسبة لكل من ملفات الثابت والقسم الجبهوي والمحور. تمثل وفق الحالة الخاصة حيث $r_2=0$ ، حيث تأخذ شكل قضبان اسطوانية توضح دارتها في الشكل (3).



الشكل (3) الشبكة الحرارية بالاتجاهين الشعاعي والمحوري عندما $r_2=0$

وعندها تحسب المقاومتين R_3 و R_1 بالمعادلتين [9]:

$$R_1 = \frac{l}{6\pi\lambda_a r_1^2} \quad (6)$$

$$R_3 = \frac{1}{4\pi\lambda_r l} \quad (7)$$

2.7 انتقال الحرارة بالحمل:

يحدث الحمل الحراري عندما تنتقل الحرارة بين جسم صلب ومائع متحرك (غاز أو سائل)، وبالعكس على الحد الفاصل بين المادتين. وحسب نوع القوة المسببة لجريان أو حركة المائع على سطح الجسم الصلب يمكن أن نميز نوعين من الحمل الحراري هما الحمل الحراري الحر أو الطبيعي والحمل القسري (عند وجود مروحة تبريد مثلاً). وسواء كانت حركة المائع طبيعية أم قسرية فإننا سنميز نوعين من الجريان ولكل منهما قوانينه الخاصة، فإذا تحركت جزيئات المائع بشكل منتظم يكون الجريان صفحي، أما إذا تحركت جزيئات المائع بشكل عشوائي يكون الجريان مضطرب حيث كل جزيئة تمتاز بسرعة مختلفة بالقيمة والاتجاه. وتعطى المقاومة الحرارية R_{th} التي تصف انتقال الحرارة بالحمل بالعلاقة (8) [9]:

$$R_{th} = \frac{1}{\lambda_c S} \quad (8)$$

حيث أن: S - مساحة سطح التبادل الحراري بـ m^2 ، λ_c - هي معامل الحمل الحراري $\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$. ونظراً لاختلاف نوع الجريان في الآلات الكهربائية في الحالة الساكنة عنه في الحالة الدورانية فإن معامل الحمل الحراري λ_c يأخذ قيم مختلفة تبعاً للنقطة التي يتم فيها الحمل الحراري وتبعاً لوجود نظام تهوية أو عدم وجوده (مروحة). وبالتالي يشار لمعامل الحمل الحراري λ_c برمز λ_r في الحالة الدورانية ورمز λ_s للحالة الساكنة (المراوح غير فعالة)، وتبعاً لمكان الحمل الحراري نميز ثلاث قيم لهذا المعامل في كل حالة:

- $\lambda_{1r}, \lambda_{1s}$ - انتقال الحرارة بين الهيكل والهواء الخارجي
- $\lambda_{2r}, \lambda_{2s}$ - انتقال الحرارة بين الثابت والدائر عن طريق الثغرة الهوائية
- $\lambda_{3r}, \lambda_{3s}$ - انتقال الحرارة بين حديد الثابت والدائر والملفات الطرفية أو الأغشية الخارجية وهواء الأغشية الخارجية.

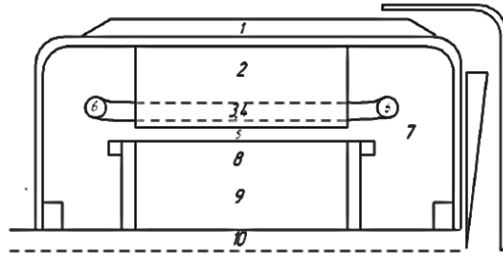
3.7 انتقال الحرارة بالإشعاع:

فسرَ العالمان أينشتاين وبلانك الإشعاع الحراري على أنه تدفق فوتوني كوانتي يمتاز بكتلة ويكمية حركة وبساحة كهرومغناطيسية، وينتقل من جسم لآخر (الجسمان لهما درجة حرارة مختلفة عن الصغر المطلق) على شكل أمواج كهرومغناطيسية مختلفة الطول. في الآلات الكهربائية، الإشعاع الحراري ليس ذو أهمية كبيرة كما هو الحال بالنسبة لكل من التوصيل والحمل الحراري. ويكون انتقال الحرارة بالإشعاع ذو أهمية لآلة كهربائية عند عدم وجود مروحة في نظام التهوية وبالتالي تنتقل الحرارة بالحمل الحراري الطبيعي فقط وبالإشعاع. [4]

8. النموذج الحراري البارامتري المجمع:

يعتبر النموذج الحراري البارامتري المجمع واحداً من النماذج التي تدرس العمليات الحرارية في المحرك التحريضي مثل الحساب التحليلي الدقيق (نموذج الضياع الموزع) والتحليل العددي أو الطريقة العقدية (نموذج الضياع المركز) ويعتبر هذا النموذج بسيطاً إلى حد ما، ومعقداً إذا أردنا تحديد درجات الحرارة في معظم عناصر الآلة. بشكل عام، النموذج البارامتري المجمع هو طريقة لتبسيط عمل الأنظمة الموزعة مكانياً في حيز يتألف من عناصر متلاصقة تقرّنا من فهم سلوك أو عمل النظام الموزع تحت افتراضات معينة. تعتمد هذه الطريقة في حل المسائل الحرارية على وضع دارات حرارية بالتشابه مع الدارات الكهربائية، التي يكون فيها التحليل الرياضي أبسط بكثير من حل معادلات ماكسويل من أجل النظام الفيزيائي الحقيقي. حيث أن الكميات الحرارية تناظر الكميات الكهربائية كما هو معروف.

تقسم الآلة الكهربائية هندسياً إلى عدد من الأجزاء (العناصر) المجمعة شكل (4)، وكل جزء يعتبر منبع حراري ويرتبط مع الأجزاء المجاورة بمقاومة حرارية، حيث تم تمثيل مصادر الضياعات النحاسية والحديدية والإضافية كمنابع حرارية. مع الأخذ بالاعتبار أن التوليد الحراري يتركز في نقطة واحدة منه تمثل متوسط درجة الحرارة للجزء، وتتصل الأجزاء المتجاورة مع بعضها البعض من خلال مقاومات حرارية.



الشكل (4) الأجزاء الرئيسية للمحرك التحريضي

10	7 الهواء الداخلي	4 ملفات الثابت	1 الهيكل
	المحور		
	8 ملفات الدائر	5 الثغرة الهوائية	2 قلب الثابت
	9 قلب الدائر	6 القسم الجبهوي	3 أسنان الثابت

تأخذ المكونات الصلبة لكل من الهيكل (1)، والثابت (2،3)، والملفات (4،6) والدائر (8،9) والمحور (10) شكلاً اسطوانياً، واستناداً لشكلها الاسطواني صممت شبكة المقاومات

الحرارية الخاصة بها. يوجد مكونان آخرين يمثلان الثغرة الهوائية (5) والهواء الداخلي (7). وتتصل الأجزاء العشر مع بعضها مباشرة، أو عبر مقاومات حرارية إضافية [9].

1.9 تحليل النموذج الحراري للمحرك التحريضي باستخدام LPTM:

الهدف من هذا البحث هو إيجاد متوسط درجات الحرارة لعناصر النموذج الحراري، يتألف النموذج الحراري للمحرك التحريضي ذو التصميم المغلق TEFC من 10 عقد (نقاط) حرارية كما في الشكل (4)، لكل عقدة منها شبكتها الحرارية الخاصة، ويجمع هذه الشبكات الحرارية مع بعضها ينتج المخطط الحراري الكلي للمحرك التحريضي الموضح بالشكل (5).

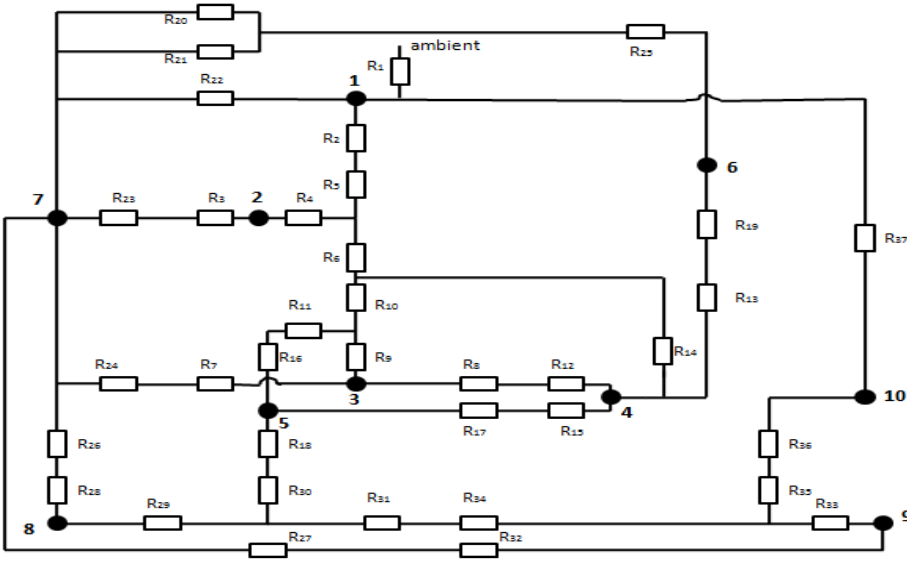
من أجل تحليل الحالة المستقرة نحسب ارتفاع درجة حرارة العقد من المعادلة المصفوفية:

$$G^{-1}P \quad \Delta T = \quad (9)$$

حيث أن: $-P$ مجموع الضياعات في كل عقدة، $-\Delta T$ ارتفاع درجة الحرارة. تستخدم مقاومات عناصر الشبكة الحرارية للحصول على مصفوفة ناقلات حرارية أبعادها $n * n$ ، حيث n عدد العقد في النموذج. ويتم تعريف مصفوفة الناقلات الحرارية بالشكل:

$$G = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{1,i}} & -\frac{1}{R_{1,2}} \dots & -\frac{1}{R_{1,n}} \\ -\frac{1}{R_{2,1}} & \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{2,i}} \dots & -\frac{1}{R_{2,n}} \\ \vdots & \vdots & \ddots \\ -\frac{1}{R_{n,1}} & -\frac{1}{R_{n,2}} \dots & \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{n,i}} \end{bmatrix}$$

حيث العنصر القطري هو مجموع ناقلات الشبكة المتصلة بالعقدة n $G(i,j)$ الناقلية الحرارية الموصولة مع العقد i,j بإشارة سالبة. وبحل المعادلة (9) نحصل على حل الحالة المستقرة.



الشكل (5) المخطط الحراري الكلي للمحرك التحريضي

7 الهواء الداخلي	4 ملفات الثابت	1 الهيكل
	10 المحور	
8 ملفات الدائر	5 الثغرة الهوائية	2 قلب الثابت
9 قلب الدائر	6 القسم الجبهوي	3 أسنان الثابت

10. دراسة المحرك باستخدام Maxwell:

قبل البدء في تصميم المحرك، يتم تحديد بارامترات التصميم مثل الاستطاعة، عدد الأطوار، التردد، جهد التغذية، المردود المتوقع، عامل الاستطاعة، كثافة التيار في الناقل وكثافة التدفق في الثغرة الهوائية. بعد ذلك تبدأ عملية التصميم، ويتم إجراء المراجعات المنهجية عن طريق تعديل بارامترات التصميم على نموذج المحرك حتى يتم استيفاء معايير التصميم الأخرى كالتصميم الحراري و الميكانيكي واختبار العزل [11 ، 2].

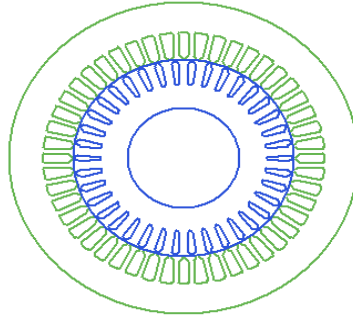
يمكن تلخيص خطوات تصميم الآلة الكهربائية على النحو التالي [8 ، 2]

1- التصميم الكهربائي و المغناطيسي: يتم تحديد أبعاد الجزء الثابت والدوار وسماكة الثغرة الهوائية ونوع اللف وأبعاد وأرقام ومعاملات الملف وطريقة توصيل الملفات اعتماداً على قوانين التصميم الكهرومغناطيسي. أما تصميم أسنان وقلب الجزء الثابت والدوار يتم اعتماداً على كثافة التدفق المغناطيسي في الثغرة الهوائية وتشبع القلب.

- 2- اختيار العزل: يتم تنفيذ تصميم عزل المحرك اعتماداً على معايير التصميم المعتمدة لتوفير السلامة الكهربائية مع مراعاة درجة حرارة تشغيل المحرك.
- 3- التصميم الحراري: نظراً لأن مقاومة الملف تزداد مع ارتفاع درجة الحرارة، فإن للتصميم الحراري تأثير مهم على كفاءة المحرك. لذلك يتم تنفيذ التصميم الحراري بما يضمن عمل المحرك ضمن مجال درجة الحرارة المسموحة. في التصميم الحراري، يتم تحديد نوع التبريد ومعدل تدفق وسيط التبريد وقنوات التهوية وما إلى ذلك.
- 4- التصميم الميكانيكي: يشمل التصميم الميكانيكي للآلة الكهربائية تنفيذ وتصميم كل من المحور وقوس النهاية والهيكل الخارجي للمحرك مع الأخذ بعين الاعتبار سرعة العمل الحرجة والضوضاء واهتزازات الآلة الكهربائية أثناء العمل وقوى الشد التي تؤثر على المحور ولحظة القصور الذاتي وما إلى ذلك.

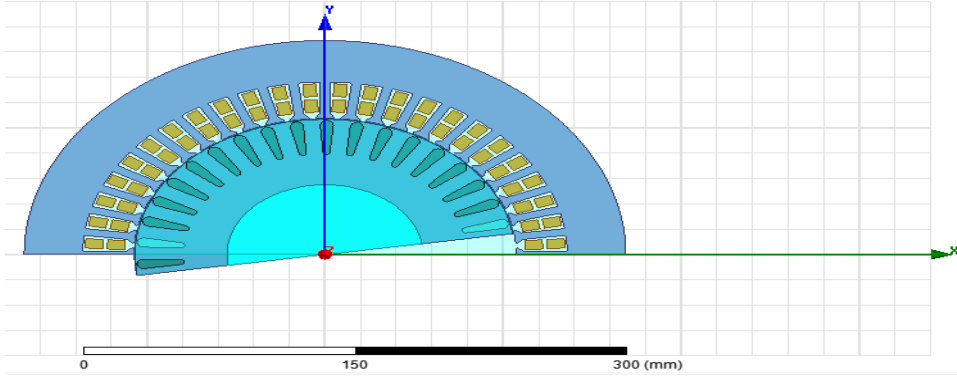
1-10 تصميم المحرك باستخدام حزمة Maxwell 2D و Ansoft RMxprt:

بعد معرفة جميع بارامترات وأبعاد المحرك كما هو وارد في الجدول (2) و الجدول (3) نبدأ بتصميم المحرك باستخدام برنامج Maxwell حيث تستخدم القيم السابقة كمدخلات للبرنامج فنحصل على الشكل التالي:



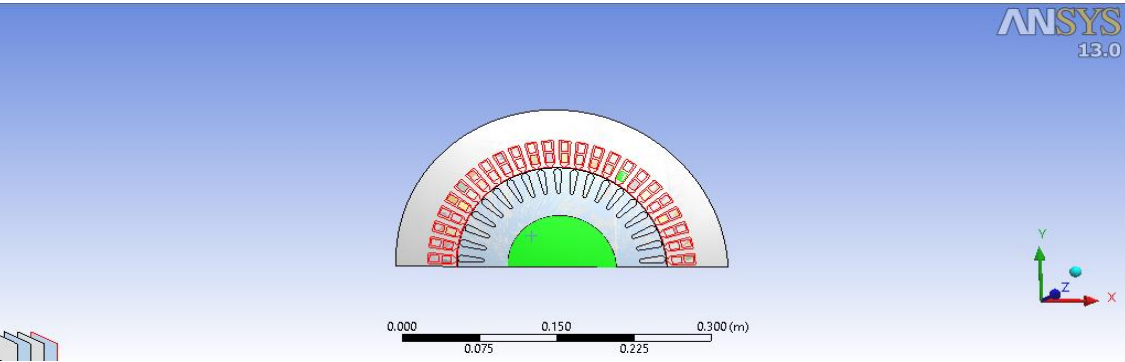
الشكل (6) الصيغة المبدئية للمحرك المدروس باستخدام حزمة Ansoft RMxprt

يمثل الشكل (6) الصيغة المبدئية للمحرك المدروس باستخدام حزمة Ansoft RMxprt ، حيث يمكننا إجراء حساب تحليلي للمحرك لمعرفة كفاءة المحرك وبارامتراته الأساسية. بعد ذلك ننتقل إلى الحزمة Maxwell 2D لإجراء الاختبارات المغناطيسية كما هو مبين في الشكل (7):



الشكل (7) الصيغة المبدئية للمحرك المدروس باستخدام حزمة Maxwell 2D

بعد التأكد من سلامة النموذج المصمم وجاهزيته للعمل يتم الانتقال إلى برنامج ANSYS 13 و اجراء التحليل الحراري كما يوضح الشكل (8):



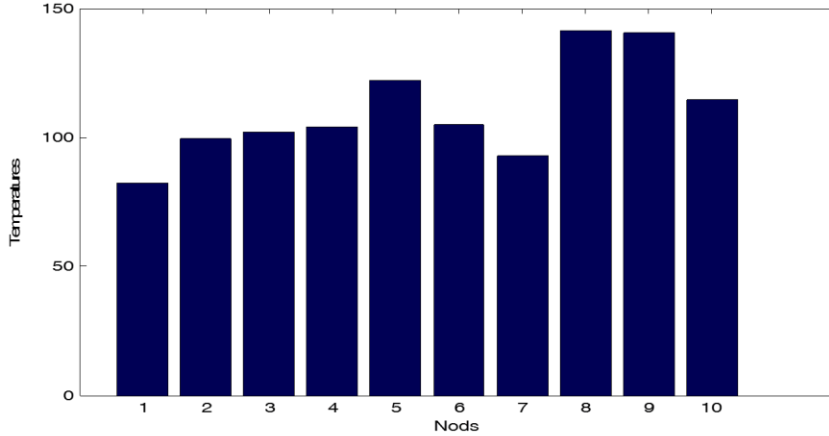
الشكل (8) المحرك التحريضي في ANSYS 13

11. النتائج:

1.11 نتائج نمذجة المعادلات الحرارية للمحرك التحريضي باستخدام LPTM:

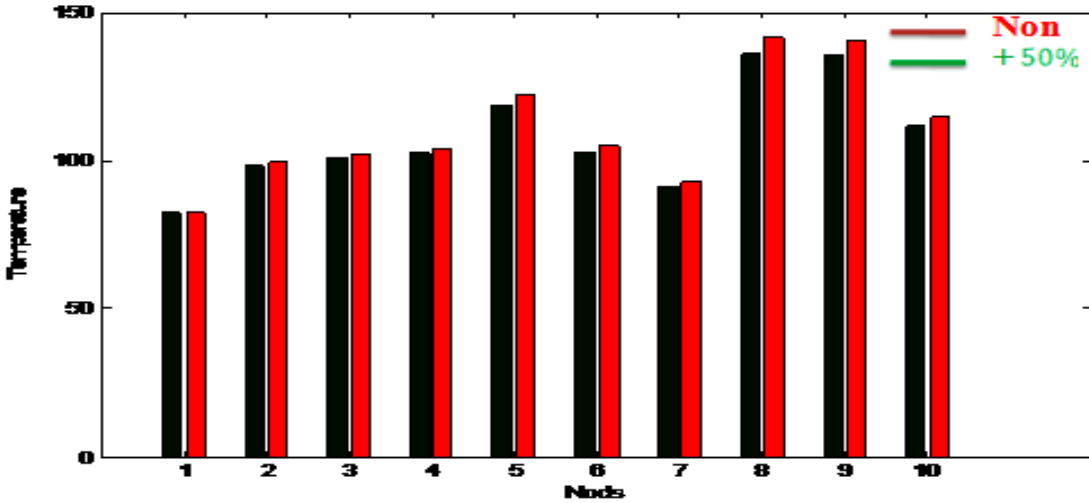
بعد وضع المخطط الحراري للمحرك كما في الشكل (8) يتم صياغة المعادلات التي تحسب قيم المقاومات الحرارية واعتماداً على قيم هذه المقاومات يتم حساب الناقلات الحرارية الذاتية والتبادلية، وبضرب مقلوب مصفوفة الناقلات الحرارية بمصفوفة الضياعات نحصل على تغيير درجة الحرارة ΔT في نقاط المحرك المدروسة عند نقطة التشغيل الاسمية، حيث تتألف مصفوفة الضياعات من عمود واحد ومن عدد أسطر يساوي عدد أعمدة مصفوفة الناقلات، وتعبّر أسطر مصفوفة الضياعات عن أجزاء المحرك بالترتيب المدروس سابقاً آخذين بالاعتبار الضياع الذي

يحدث في هذا الجزء، وقد تم حساب درجة حرارة العقد عند نظام العمل الاسمي للآلة مع الاعتبار أن معدل درجة حرارة الوسط المحيط يساوي 25 درجة. يظهر الشكل (9) درجات الحرارة في النقاط المدروسة من المحرك باستخدام LPTM. من الشكل نلاحظ أن أعلى درجة حرارة تساوي 140.75 درجة وهي في النقطة 9 من المحرك أي في قلب الدائر.



الشكل (9) درجات الحرارة في النقاط المدروسة من المحرك باستخدام LPTM

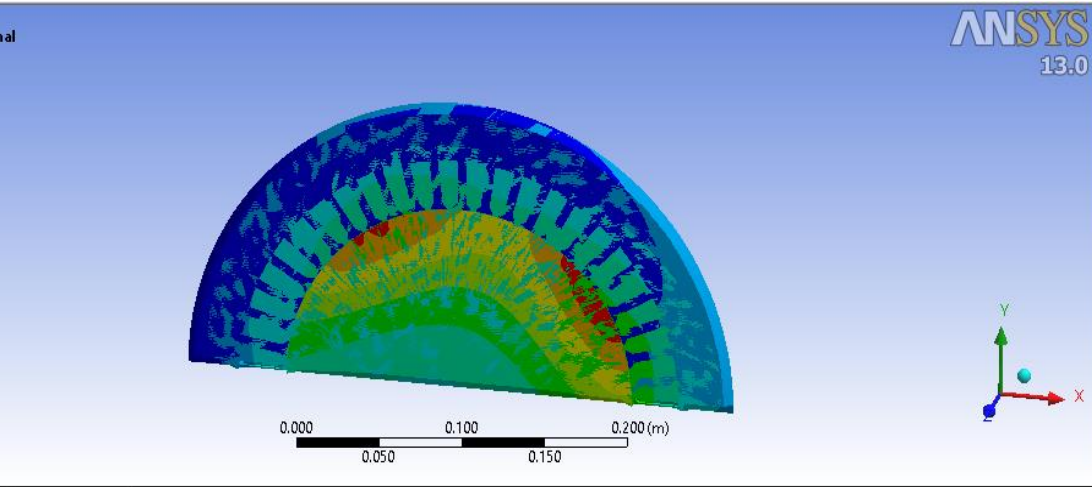
تم استخدام النموذج لإجراء اختبارات تحسين معامل الحمل الحراري الداخلي. يبين الشكل (10) درجات الحرارة في عقد المحرك بعد تحسين التهوية الداخلية. حيث انخفضت درجة الحرارة من 2 إلى خمس درجات في مختلف أجزاء المحرك بعد تحسين معامل الحمل الحراري الداخلي بمقدار 50%.



الشكل (10) درجات الحرارة في عقد المحرك بعد تحسين معامل الحمل الحراري الداخلي

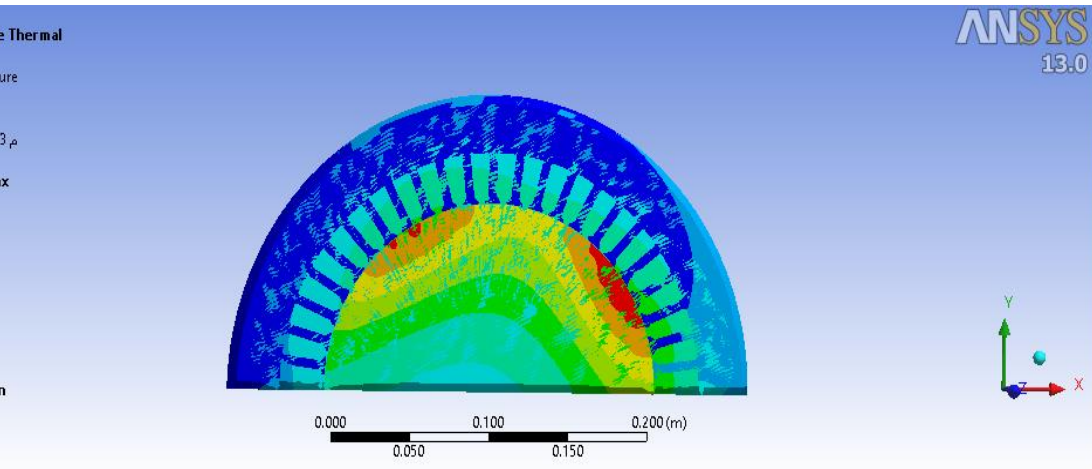
2.11 نتائج الدراسة الحرارية باستخدام ANSYS :

تم إجراء التحليل الحراري في الحالة المستقرة بما يحاكي عمل المحرك لفترة معينة من الوقت ريثما يحدث تغيير في درجة الحرارة. تم الحصول على الضياعات في الآلة من نتائج التحليل الكهرومغناطيسي في Maxwell 2D، حيث يتم استخدام هذه النتائج كمدخلات لبرنامج التحليل الحراري ANSYS. يبين الشكل (11) نتائج عملية التحليل الحراري للمحرك التحريضي ذو المواصفات المذكورة في الجدولين (1 ، 2) قبل تحسين معامل الحمل الحراري حيث يتبين من الشكل أن أكبر قيمة لدرجة الحرارة تساوي 142.97 درجة في الجزء الدائر وهي قيمة مقبولة تبعاً لكون العازل المستخدم في المحرك من النوع H.



الشكل (11) نتائج عملية التحليل الحراري للمحرك التحريضي باستخدام ANSYS

بعد ذلك تم اجراء التحليل الحراري للمحرك بعد تحسين معامل الحمل الحراري الداخلي عن طريق تحسين معامل الحمل الحراري الداخلي بنسبة: 50% كما في الشكل (12) حيث نلاحظ انخفاض درجات الحرارة في أجزاء المحرك.



الشكل (12) درجات الحرارة في أجزاء المحرك بعد تحسين معامل الحمل الحراري

12. مناقشة النتائج:

تم فيما سبق تحليل ومحاكاة الحالة الحرارية للمحرك التحريضي بطريقتي البارامترات المجمعمة والعناصر المنتهية. أبدى النموذجين فعالية في تحديد درجات الحرارة في النقاط موضوع الدراسة، ويمكن تلخيص النتائج بمايلي:

1- تمت عملية النمذجة على محرك تحريضي ثلاثي الطور والحصول على درجات الحرارة في العقد الحرارية المدروسة. وحيث أن الانهيار الحراري في المحرك يحدث في ملفات الثابت والدائر، تمت مقارنة النتائج مع درجة الانهيار الحراري للمواد المستخدمة في العزل والتي تقدر بـ 155 درجة وتبين أن النتائج مقبولة.

2- أظهر النموذجين مرونة في إمكانية إجراء اختبارات تحسين معامل الحمل الحراري للمحرك المدروس.

3- تبين من خلال التجارب الحاسوبية أن تحسين معامل الحمل الحراري الداخلي يحسن من درجات الحرارة في أجزاء المحرك بشكل جيد، الأمر الذي ينعكس إيجاباً على أداء المحرك عندما يراد قيادته بواسطة مبدلة مثلاً.

4- هذا الانخفاض في درجة الحرارة في كل من القسم الفعال والقسم الجبهوي سوف يزيد من عمر العازلية، وسوف يقلل من احتمالات الانهيار الحراري عند ظروف عمل غير طبيعية قد يتعرض لها المحرك أثناء عمله.

13. الاستنتاجات:

من خلال ما سبق يمكن أن نستنتج ما يلي:

إن تحسين معامل الحمل الحراري الداخلي يمكن أن يخفف من درجة الحرارة في مختلف أجزاء المحرك، وحيث أن عمر العازل يتناقص بشكل أسّي مع ارتفاع درجة الحرارة وبالتالي فإن هذا الانخفاض في درجة الحرارة سوف يزيد من عمر عازلية الملفات. وبالنظر إلى المرونة التي يبيدها النموذجين في إمكانية إجراء اختبارات تحسين عمليات التبادل الحراري يمكن القول أنهما ملائمين لإجراء الاختبارات اللازمة للوصول إلى نتائج مقبولة عند التصميم الحراري للمحركات التحريضية.

14. التوصيات:

إنّ أحد الأعمال المستقبلية كتتمة لهذا البحث يمكن أن يكون:

- دراسة أثر تحسين معامل الحمل الحراري الداخلي في المحركات التحريضة على مميزاتها الكهروميكانيكية.
- إجراء اختبارات عملية ومقارنتها مع نتائج البرمجة.

المراجع REFERENCES

[1] Hassan, I, N ” *Induction Machines*”. Tishreen University, 2003, pp 600.

[2] Hassan, I, N ” *Design of Electrical Machines*”. Tishreen University, 1995, pp 494.

[3] Hasan. I, N,, Sheikhouk, H and Suleiman, N. ” *Thermal Calculation for Three-Phase Induction Motors, Using the Thermal Equivalent Modeling*” Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol. (27) No (1) 2005.

[4] Housam Al-din, A, A and Zhirh, M. ” *High Current Technical in power Supply Electrical Network*” , Lattakia, Syria, pp 342.

[5] LOMBARD, J and MARION, F. “ *Using analytical approach with finite element analysis for coupling magnetic and thermal*

analysis for motors” Cedrat SA., chemin de Malacher-Inovallée, MEYLAN Cedex 2007, PP 38-56.

[6] Ahmet NUR, Zeki OMAÇ and Eyyüp ÖKSÜZTEPE " *Modelling and Analyzing of Induction Motor Using Three-Dimensional Finite Element Method*". Valencia -Spain, A. NUR et al./ ISITES,2015, pp 457-461.

[7] Cenk Ulu, Oğuz Korman and Güven Kömürgöz " *Electromagnetic and Thermal Design/Analysis of an Induction Motor for Electric Vehicles*" *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research Vol. 8, No. 2, March 2019, pp 239-246.*

[8] Bensalem, Y and M, N, Abdelkrim " *Modeling and Simulation of Induction Motor based on Finite Element Analysis*" *International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS) Vol. 7, No. 4, December 2016, pp. 1100~1109.*

[9] ROBERTS, D. " *The application of an induction motor thermal model to motor protection and other functions*". PhD thesis, University of Liverpool. 1986, PP 63-75.

[10] CHIN, Y.K., D.A. STATON. " *Thermal Analysis Lumped-Circuit Model And Finite Element Analysis*" 2003, PP 103-112.

[11] PYRHONEN, J., JOKINEN, T and HRABOVCOVA, V " *Design of Rotating Electrical Machine* "©John Wiley & Sons, Ltd. ISBN, 2008, PP668.

دراسة تأثير سرعة الطباعة ثلاثية الأبعاد بتقنية الـ FDM لمادة PLA على خاصية مقاومة الانعطاف

الدكتور: محمود الأسعد
كلية الهمك - جامعة البعث

الملخص :

مع التطور الكبير الذي شهدته الطباعة ثلاثية الأبعاد بدأ التوسع باتجاه استخدام مزيد من المواد وذلك لتلبية حاجة السوق من المنتجات المختلفة ومن بين هذه المواد فإن مادة PLA هي من المواد البلاستيكية المتلذنة حراريا والمتككة حيويًا لذلك زاد الطلب عليها كثيرا في الآونة الأخيرة، تم في هذا العمل استخدام طريقة النمذجة بتموضع المصهور، حيث تلعب كل من سرعة الطباعة واتجاهها دورا مهما في خواص المنتج إضافة لباقي البارامترات. ان الهدف من البحث هو دراسة تأثير سرعة الطباعة بالاتجاهات الثلاث على مقاومة الانعطاف لعينات مصنعة من بوليمير الـ PLA بتقنية الـ FDM.

بينت النتائج أن مقاومة الانعطاف لا تتأثر كثيرا بالسرعة وإنما تتأثر بالاتجاه ، وأن المتانة الأكبر للطباعة هي باتجاه X وعند سرعة (40—50 mm/s). وأن الطباعة بسرعات أعلى تتعلق بجودة المنتج بالدرجة الأولى

الكلمات المفتاحية: PLA ، التصنيع بالاضافة ، سرعة الطباعة ، الطباعة ثلاثية الأبعاد ، النمذجة السريعة ، تخطيط المسارات ، اختبار الانعطاف الستاتيكي.

* - د.م محمود الأسعد أستاذ مساعد في قسم هـ. التصميم و الانتاج - كلية الهمك - جامعة البعث.

Studying the effect of 3D printing speed using FDM technology for PLA material on the flexural strength

Abstract :

With the great development witnessed by 3D printing, the expansion towards the use of more materials began to meet the market need of different products, and among these materials, PLA is a thermoplastic and biodegradable plastic material, so the demand for it has increased a lot recently. Using the molten position modeling method, where the printing speed and direction play an important role in the product properties in addition to the rest of the parameters. The aim of this research is to study the effect of printing speed in three directions on the flexural strength of samples manufactured from PLA polymer using FDM technique.

The results showed that the flexural strength won't be affected much by the speed, but by the direction, and that the biggest toughness of printing is in the X direction at a speed of (40-50 mm/s), and that printing at higher speeds is related to the quality of the product in the first place.

Keywords: PLA, additive manufacturing, printing speed, 3D printing, rapid modeling, trajectory planning, bending test.

* - Dr. Mahmoud Al-Asaad Assistant Professor , Department of Engineering Design and Production - Faculty Of Mech and Elect Eng - Al-Baath Univ.

1. مقدمة :

يزداد الطلب يوماً بعد يوم على المنتجات والنماذج المصنعة بتقنية البناء بالطبقات -Layer by-Layer Building.

وحيث أن الطباعة ثلاثية الأبعاد 3D Printing هي من إحدى الاختراعات المهمة والتي تمثل ثورة صناعية ثالثة للبشرية. و من أبرز مميزات ما يلي :

1. سهولة تجهيز وتعديل التصميم ، و ذلك لكونه عبارة عن نموذج رقمي.
2. إمكانية تجهيز التصاميم المعقدة باستخدام نظام مسح ضوئي رقمي ثلاثي الأبعاد 3D scanning للنموذج مما يسرع و يسهل من عملية النمذجة السريعة.
3. إمكانية الحصول على أجزاء كبيرة الحجم ، الأجزاء البارزة ، الأجزاء المتداخلة ، و الأجزاء المعقدة و التي من الصعب أو المستحيل الحصول عليها بطرائق التشكيل و التشغيل التقليديتين.
4. لا تستخدم أدوات أو أجهزة كثيرة و بذلك يتحقق اختصار الوقت و التكلفة. حيث يمكننا القول أن الطباعة ثلاثية الأبعاد هي عبارة عن عدد غير محدد من المعامل في جهاز واحد هو الطابعة.
5. لا توجد حدود لمدى تعقيد التصميم ، و تحقق تكلفة أقل بالنسبة للأشكال المعقدة.
6. دورة انتاج قصيرة جداً. أضف لذلك فإنها تسهل من عملية الابداع و التطوير و تقلص بشكل كبير و ملحوظ دورة تطوير المنتج.

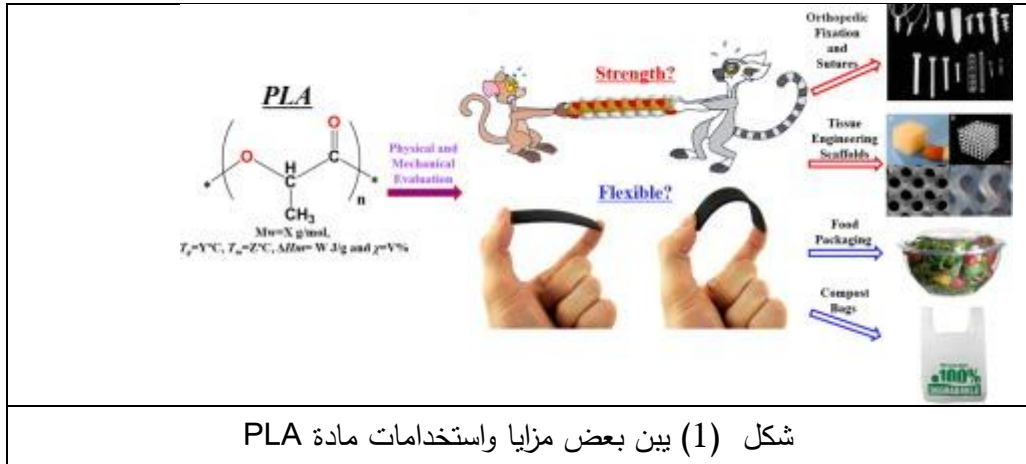
2. الدراسة المرجعية:

يشير المرجع [1] إلى أن Poly(lactic acid) (PLA) هو بوليمير حيوي متعدد الاستعمال .وهو مركب بسهولة من المصادر المتجددة الوفيرة وقابلة للتفكيك ، وله تطبيقات حيوية طبية واسعة كالجراحة القلبية وزراعة الأعضاء والأوعية والتطبيقات السنية، وتوصيلات التخدير ، وصناعة الجبائر والعديد من الأدوات والتجهيزات الطبية. وتلعب دور فعال في تصنيع أجهزة وقائية شخصية في معالجة كوفيد 19 عن طريق الطباعة ثلاثية الأبعاد .

ويشير البحث [2,3] إلى أن مادة PLA تلاقي رواجاً كبيراً في الصناعات الطبية وكذلك. وتجري المحاولات لتحسين أدائها عن طريق دمجها مع محسنات نانوية لتحسين استقرار خواصها البنوية والفيزيائية والميكانيكية تجاه الرطوبة والبيئة المحيطة والصمود الحراري.

ان بوليمير حمض اللاكتيك PLA هو بوليمير قابل للتحلل الحيوي وهو الأكثر استخداماً في تاريخ الانسانية بسبب مزاياه المتعددة، ويعد مادة حيوية رائدة للعديد من التطبيقات الطبية والصناعات وكذلك في الصناعة الهادفة لإيجاد بدائل للمركبات الكيميائية التي أساسها بتروكيميائية تقليدية. وقد تمت دراسة الخصائص الميكانيكية والفيزيائية وتأثيرها بقابلية المعالجة و بخواص التقادم وقابلية اعادة التدوير كما تم التعرض للتحلل الحراري والبيولوجي اثناء عمليات التعقيم وغيرها من المعالجات وكذلك تمت دراسة خصائص PLA بما في ذلك المكونات واطافة المدنات وبعض التعديلات على التركيب النانوي بهدف تحسين الخواص لتلائم الاحتياجات والتطبيقات العالمية ، شكل (1).

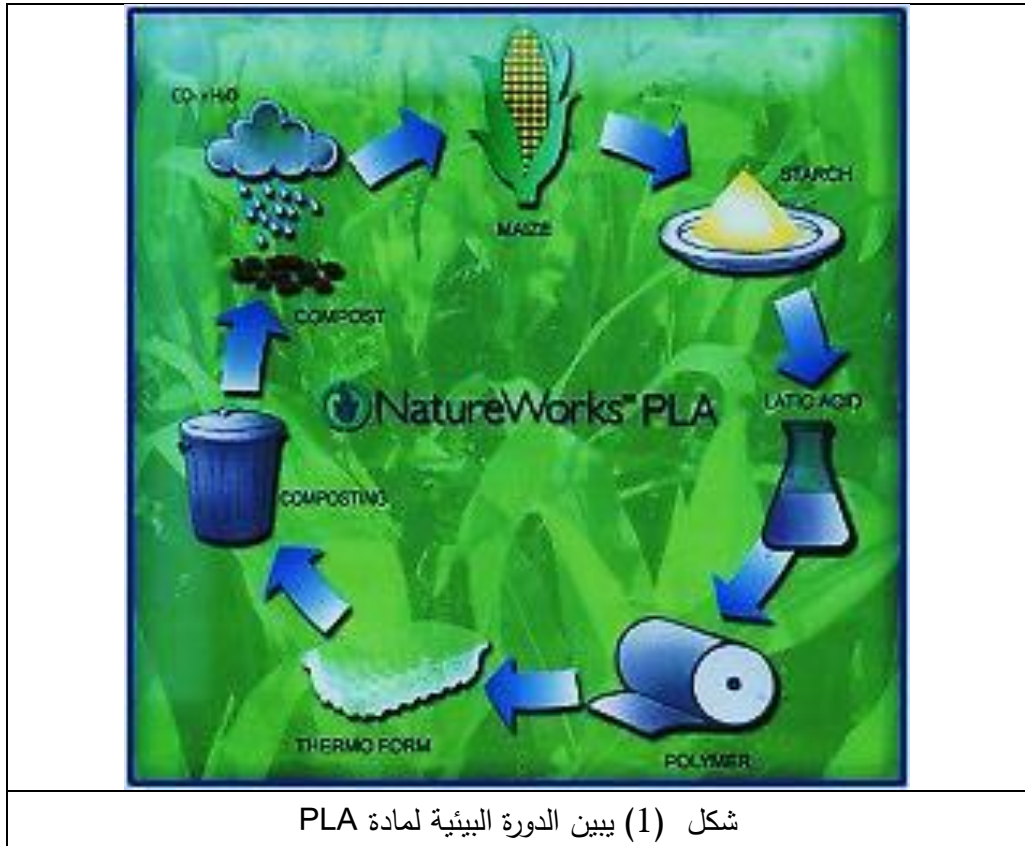
1



شكل (1) بين بعض مزايا واستخدامات مادة PLA

تمت دراسة العلاقة بين البنية المجهرية والاستجابة الميكانيكية لمختلف الأدوات وتجهيزات PLA الطبية كالدعامات والخيوط الحيوية [4] .

بينت هذه الدراسة أن التخلص من الكميات الكبيرة من النفايات ذات الطبيعة البوليميرية هو مثل PLA هو الحل الأمثل لهذه المشكلة شكل (2). كما يمكن استخدام طبقة من PLA ثم تدعيمها بطبقات من مواد مركبة لتحقيق فوائد ضخمة من حيث المتانة الميكانيكية والخواص الحيوية (غذائية أو طبية). والشكل التالي يبين دورة حياة ومعالجة مادة PLA.



شكل (1) يبين الدورة البيئية لمادة PLA

تبين الدراسة المرجعية وللعديد من الأبحاث العلمية التي أنجزت في مجال الطباعة ثلاثية الأبعاد و بمختلف تقنياتها و مجالات استخدامها الأهمية الكبيرة لهذه التقنية والآمال المستقبلية الكبيرة المعقودة عليها. يتناول على سبيل المثال البحث [5] تطبيق تقنيات النمذجة السريعة و بالتحديد تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد بطريقة الـ FDM Fused Deposition Modeling في تصنيع النماذج المعقدة لعملية السباكة بالنموذج المتبخر ، حيث مكنت الطباعة ثلاثية الأبعاد حسب وجهة نظر الباحث من تسهيل عملية تصميم و تصنيع النماذج المعقدة و التي يصعب تصنيعها بالطرائق التقليدية لصناعة النماذج ، طبق الباحث هذه

الطريقة على منتج حقيقي و قارن النتائج التي حصل عليها مع الطرائق التقليدية في التصميم و التصنيع.

وتمت في الدراسة [6] توضيح تأثير اتجاه مستوي بناء العينات وفق المستويات الثلاث على الخواص الميكانيكية للعينات المطبوعة بالإضافة لأخذ زمن البناء بعين الاعتبار. قام الباحث بتصنيع العينات بنسبة ملاء 100% و باستخدام طابعة ثلاثية الأبعاد تعمل بتقنية الـ FDM و مع ثبات جميع بارامترات الطباعة لمادة الـ ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) التي تم اختيارها للطباعة. خلص البحث الى أن طباعة العينات وفق المحور y يعطي أكبر اجهاد للتحمل على الشد و بأقل زمن ممكن للطباعة أي بأقل تكلفة للبناء.

لم تهمل الأبحاث الأخرى العمل على تطوير نموذج رياضي باستخدام طريقة العناصر المنتهية [7] ، تهدف هذه الأبحاث الى وضع موديل رياضي باستخدام طريقة العناصر المنتهية من شأنه محاكاة انهيار العينات المصنعة بطريقة الطباعة ثلاثية الأبعاد بتقنية الـ FDM .

ذهبت بعض الأبحاث بشكل أعمق في تحليل العوامل المؤثرة على الخواص الميكانيكية للقطع المطبوعة ، حيث يدرس البحث [8] و اعتمادا على طريقة Taguchi L32 العلاقة بين جودة السطح المطبوع (الخشونة) و مقاومة الشد من جهة و من جهة أخرى البارامترات التقنية لعملية الطباعة ثلاثية الأبعاد بطريقة الـ FDM لمادة الـ ABS و هي سماكة الطبقة المطبوعة و الخطوة بين خطوط الطباعة و اتجاهاتها و عدد المنحنيات القشرية للشكل المطبوع. خلص الباحث الى أن العامل الأهم الذي يؤثر على الخواص الميكانيكية و الخشونة السطحية هو خطوة الطباعة في الطبقة الواحدة.

البعض الآخر من الأبحاث العلمية تناول موضوع البحث في مدى دقة المنتجات المصنعة بالطباعة ثلاثية الأبعاد و امكانية استخدام هذه المنتجات بشكل وظيفي [9] ، وتوصل الى أنه يمكن استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد و بشكل ممتاز لتصنيع نماذج دقيقة الأبعاد.

نزعت بعض الأبحاث العلمية الى التعبير في فلسفة البناء الثلاثي الأبعاد للقطع المصنعة بالطباعة ثلاثية الأبعاد بتقنية الـ FDM و ذلك عن طريق تطويرات برمجية من شأنها توليد مسارات بناء منحنية [10] ، أطلق عليها الباحث اسم CLFDM أي الطباعة بتقنية الـ

FDM وفق منحنيات. أثبتت تجارب الانعطاف التي أجراها الباحث أن العينات التي طبعت بطريقة الـ CLFDM تتفوق على مثيلاتها التقليدية و المبنية بالطبقات حسب مبدأ الـ FDM. و خلص الباحث الى نتيجة هامة و هي أن استخدام طباعة ثلاثية الأبعاد بخمس درجات للحرية و بحيث يتوضع فيها رأس البثق عموديا دائما على المماس الموضعي في النقطة المطبوعة ، من شأنه الحصول على منتجات أكثر تماسكا.

البعض الآخر من الأبحاث عملت على ايجاد البارامترات الأمثل للطباعة ثلاثية الأبعاد للطابعات غير الاحترافية و ذلك بهدف تحقيق أكبر قدر ممكن من الدقة [11,12,13] ، ضمن هذا لسياق فقد عمل الباحث على دراسة أثر كل من سماكة الطبقة المطبوعة و كثافة الملء للعيونة المطبوعة و سرعة الطباعة ثلاثية الأبعاد بتقنية الـ FDM على أبعاد عينة بشكل متوازي مستطيلات تم انجازه على طباعة مكتبية مفتوحة المصدر Open Source ، خلص الباحث الى أن سرعة الطباعة هي العامل الأهم المسؤول عن دقة الطباعة ثلاثية الأبعاد. كما يعد البحث غير مكتمل لحد ما كونه لم يدخل تأثير العديد من العوامل الأخرى المهمة ، منها ضبط سرعة تدفق المادة الميثوقة و رطوبة المادة الميثوقة و الانكماش الحراري للقطعة المطبوعة.

من الدراسات المرجعية السابقة نستنتج أن العديد من الدراسات قد أنجزت في مجال تحسين الخواص الميكانيكية للقطع المطبوعة ، كل ذلك ضمن اطار الارتقاء بالخواص الميكانيكية للقطع المطبوعة ليصار لاستخدامها كمنتجات وظيفية مباشرة. تم اعتماد العديد من البارامترات المؤثرة على جودة المنتجات من الناحية الميكانيكية ، ونرى أن البحث بتأثير بارامترات الطباعة ثلاثية الأبعاد (سرعة الطباعة) لمادة PLA على الخواص الميكانيكية (مقاومة الانحناء) للعينات المطبوعة ، الأمر الذي يعد بغاية الأهمية من الناحية التطبيقية و ذلك لكون الطباعة ثلاثية الأبعاد تحقق امكانية التحكم بشكل هندسة ودقة المنتجات من جهة و من جهة أخرى تعد خاصية المقاومة النوعية العالية (حد تحمل عالي مع وزن خفيف) الخاصة الأكثر طلبا في عصرنا هذا و خاصة في مجال الأدوات الطبية والتجهيزات الحيوية.

3. هدف البحث :

يهدف البحث إلى دراسة تأثير سرعة واتجاه الطباعة في بعض الخواص الميكانيكية كمقاومة الانحناء والمتانة وخواص المرونة لعينات PLA المصنعة بالطباعة ثلاثية الأبعاد بتقنية الـ FDM كون هذه التقنية تعد الأكثر انتشارا والأكثر اقتصادية في الطباعة ثلاثية الأبعاد ولما تتمتع به هذه المواد من خواص حيوية واستخدامات واسعة ومرغوبة بشدة بيئيا.

4. مواد و طرائق البحث :

تعتمد الطباعة ثلاثية الأبعاد بتقنية الـ FDM على مبدأ البناء بالطبقات Layer by Layer Building ، تستخدم الطابعات ثلاثية الأبعاد و التي تعمل بتقنية الـ FDM موادا أولية من اللدائن على شكل خيوط Filaments ملفوفة على بكرات Spools و بأقطار عيارية هي 1.75 مم للطابعات الصغيرة الحجم نسبيا و 3 مم للطابعات الكبيرة الحجم.

يعتمد مبدأ الطباعة ثلاثية الأبعاد بتقنية الـ FDM على دفع المادة الأولية باستخدام محركات مقادة حاسوبيا باتجاه فوهة البثق بسرغ مختلفة تتعلق بسرعة الطباعة و قطر فوهة البثق.

يتم تسخين فوهة البثق Nozzle لدرجة حرارة البثق و هي عبارة عن درجة حرارة محددة يتم تحديدها من قبل الشركة الصانعة بحيث لا تقل عن درجة حرارة انسياب المادة البلاستيكية.

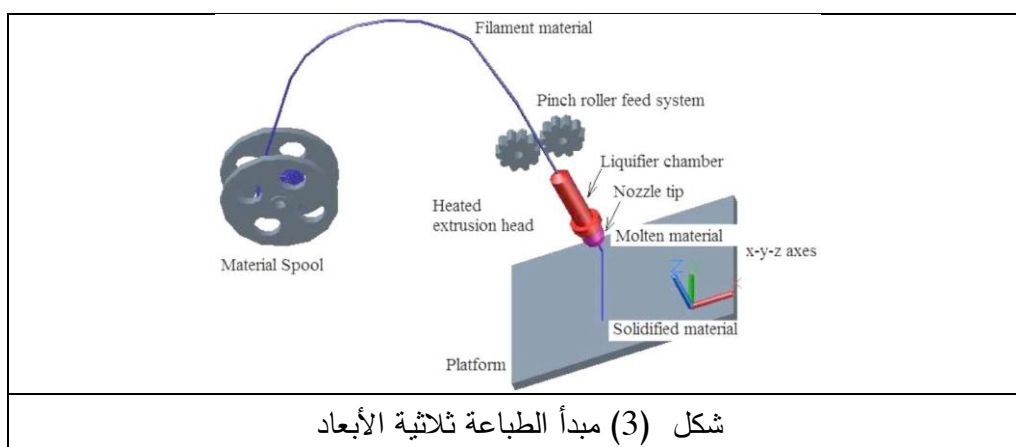
يتم التحكم بحركة رأس البثق Extruder عن طريق الحاسب ، حيث يتم توجيهه في كل طبقة على حدة و فق مسارات الطباعة ثلاثية الأبعاد المولدة لكل طبقة Trajectories و في كل مرة يتم فيها انهاء بناء طبقة من الشكل ثلاثي الأبعاد المراد بناؤه تقوم الطابعة بإنشاء طبقة تالية في مستو تالي يبعد عن المستوي السابق بمسافة شاقولية محددة هي سماكة التقطيع أو سماكة الطبقة المراد بناؤها.

يوضح الشكل (3) و بصورة مبسطة مبدأ الطباعة ثلاثية الأبعاد بتقنية الـ FDM.

كمنصة تجريبية تم اعتماد طابعة ثلاثية الأبعاد تعمل بتقنية الـ FDM من ماركة Wanhao الأكثر انتشارا عالميا ، تعد هذه الطابعة من فئة الطابعات المكتبية Desktop 3D Printer متوسطة الحجم. تتمتع الطابعة بالمواصفات التالية :

حجم الطباعة الأعظمي	سرعة الطباعة	سماكة الطباعة	المواد	الممكن
[cm ³]	الأعظمية	المطبوعة	طباعتها	

	[mm]	$\left[\frac{mm}{Sec} \right]$	
ABS-PLA	(0.05 – 0.25)	$v_{max} = 120$	$V = 15 \times 23 \times 15$
PETG-TPU			$V = 5175$
الجدول (1) المواصفات الأساسية للطابعة ثلاثية الأبعاد المستخدمة بالبحث			



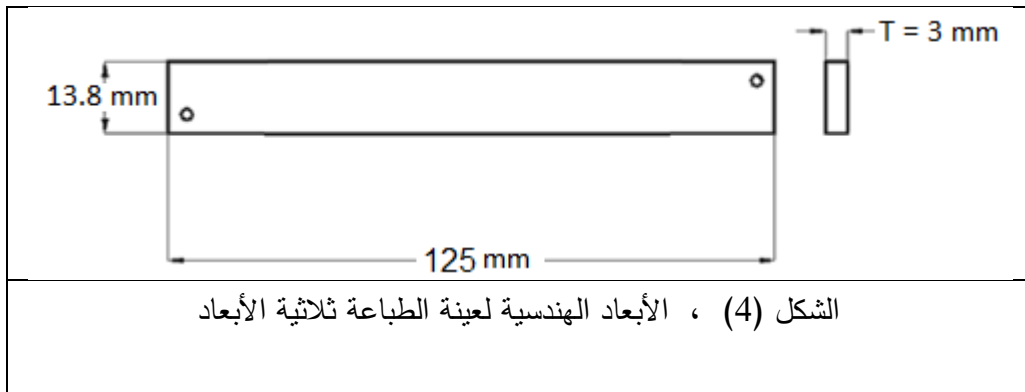
بالنسبة للمادة التي تم اعتمادها بالبحث ، فهي عبارة عن خيوط بلاستيكية بقطر $\phi = 1.75 [mm]$ من مادة الـ PLA. و هي عبارة عن مادة (polylactic acid) PLA هي مادة من البلاستيك المتلدن حراريا مصنعة من مصادر متجددة مثل الذرة وقصب السكر وغيرها وهي مواد حيوية لها استخدامات طبية وغذائية واسعة وهي قابلة للتفكك بيئيا بدأ إنتاج هذه المادة في ثلاثينات القرن الماضي من قبل الكيميائي الامريكي Wallace Carothers لصالح شركة DuPont واصبح أكثر انتشارا بعد الثمانينات وينتج عن طريقة تخمير ومعالجة كربوهيدرات نشاء الذرة أو قصب السكر أو غيره بخلطها مع مونومير لبني تليه عدة عمليات معالجة للوصول لمادة PLA [13]

تم اختيار هذه المادة كونها من المواد المستخدمة حديثا في الطباعة ثلاثية الأبعاد من جهة و من جهة أخرى لما تتمتع به هذه المادة من استقرار هندسي جيد أثناء عملية التصنيع نظرا لأن انكماش هذه المادة أقل من كثير من المواد مثل ABS ولانها تتمتع بقوة وصلابة جيدة

ورخيصة الثمن لذلك يمكن أن تستعمل في عمليات النمذجة السريعة ويمكن أن تشكل مادة مثالية لطباعة النماذج الكثيرة ، ونماذج خاصة بهندسة العمارة و في صناعة أجزاء الآلات وبعض العناصر والأدوات التي تعمل في درجات الحرارة العادية وذات اهتمامات طبية وبيئية. ويبين الجدول (2) أهم خواص مادة PLA

أضف لذلك فهي تعد من المواد المعترف بها من قبل الـ FDA (Food and Drug Administration) من ناحية السماح باستخدامها في حالات التماس المباشر مع الجسم أو الأغذية ، الأمر الذي يجعل من نتائج بحثنا هذا ، قاعدة أساسية و منطلق لأبحاث قادمة تعنى بتقييم تطبيقات الطباعة ثلاثية الأبعاد في مجال صناعة الأطراف الصناعية و التعويضات.

لقد تم تصميم الشكل الهندسي للعينات التي سيتم اجراء اختبار الانحناء عليها والموضحة بالشكل 3 اعتمادا على المواصفة القياسية (Standard Test Method ASTM D790 for flexural properties of unreinforced and reinforced Plastics).



Properties	Values
Density	1.24 g/cm ³
Tensile strength	60 MPa
Flexural strength	108 MPa
Elongation	9%
Young's modulus	3100 MPa
Shore hardness, <i>D</i>	85 Sh D
Melting temperature	145–160 °C
Glass transition temperature	56–64 °C
Izod Impact Strength	26 J/m

جدول (2) أهم خواص مادة PLA

بالنسبة لتخطيط مسارات الملء فقد تم العمل على توليد نماذج موحدة لمسارات الملء الداخلي للعينات مائل بزواوية $45 \pm$ درجة ونسبة ملء 100% أي تم تصنيع العينات بنسبة ملء كاملة أي عينات مصمتة 100%، حيث كانت فوهة الباتق بقطر $\phi_{Nozzle} = 0.4 [mm]$

أن التحكم بسرعة الطباعة يساهم بشكل مباشر في التأثير على زمن الطباعة ثلاثية الأبعاد ، حيث أن زيادة السرعة يؤدي مباشرة لانقاص زمن الطباعة ثلاثية الأبعاد و بالتالي التخفيض في تكلفة المنتج كون الطباعة ثلاثية الأبعاد تعد من التقنيات البطيئة في العمل إلا أن ذلك يؤثر على دقة الطباعة وخواصها وقد تم استخدام سرعات طباعة المبينة في الجدول (3)

وهي ذات قيم متدرجة من 20 وحتى 120mm/s و من أجل كل سرعة تم طباعة ثلاث عينات باتجاه X و ثلاث عينات باتجاه Y وثلاث عينات باتجاه Z ، ليصبح عدد العينات الكلي المصنع بالطباعة ثلاثية الأبعاد يساوي :

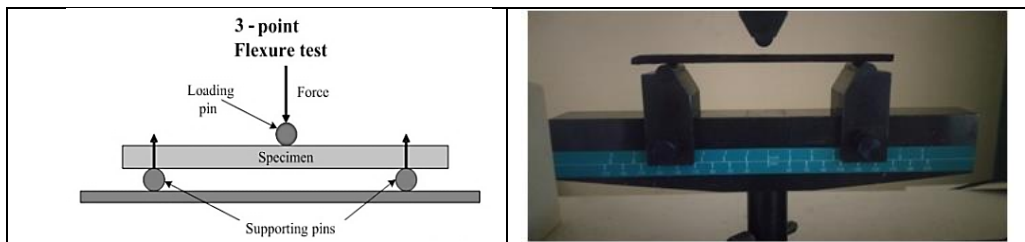
$$n_{\text{spec}}=3 \times 3 \times 9=81 \text{ (Specimens)}$$

لقد تم تثبيت بقية بارامترات الطباعة ثلاثية الأبعاد بالنسبة للعينات الـ 81 التي تم طباعتها كلها من مادة الـ PLA. و هي موضحة في الجدول التالي :

V9	V8	V7	V6	V5	V4	V3	V2	V1	السرعة
120	100	80	70	60	50	40	30	20	m/s
$N_{\text{Shells}} = 1[\text{Shell}]$		عدد القشور المحيطة			1.75mm		قطر الخيط		
$h_{\text{Layer}} = 0.1[\text{mm}]$		سماعة الطبقة المطبوعة			205 C°		درجة حرارة الطباعة		
الجدول (3) بارامترات الطباعة ثلاثية الأبعاد لعينات الانحناء									

بالنسبة لاختبار الانحناء فقد تم انجازه باستخدام جهاز Universal Testing Machine من شركة OLSEN الانكليزية بالنسبة لمعدل التحميل فقد تم اعتماد القيم الموصى بها بالـ ASTM D790 و هي ألا يزيد معدل الانفعال بالألياف الخارجية عن 0.01 mm/mm/min ، بهدف الحصول على مخطط (القوة - سهم الانحناء). الشكل (5) يوضح شكل العينة المختبرة أثناء تطبيق الحمل على جهاز اختبار الانحناء.

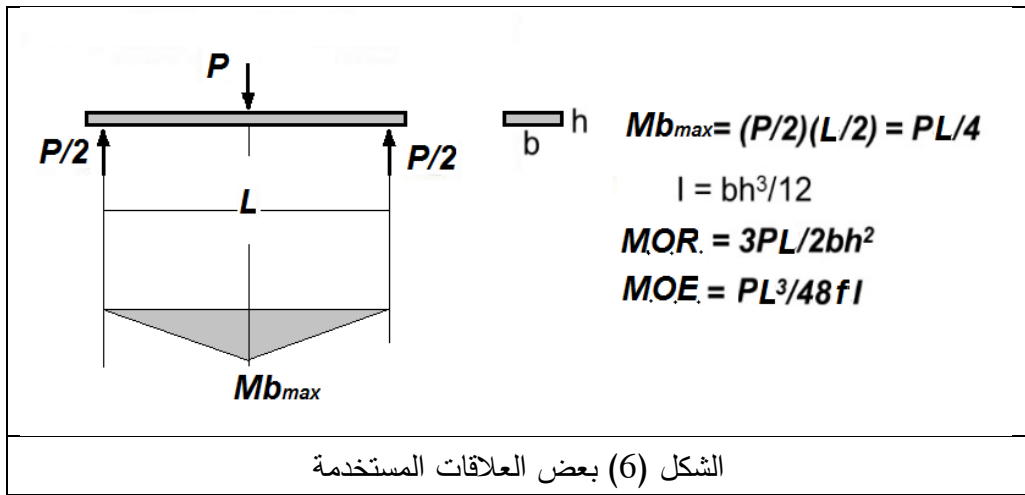
تم اجراء اختبار الانحناء من أجل كل سرعة طباعة على ثلاث عينات مطبوعة باتجاه X ، وتم أخذ القيمة الوسطية للاختبارات الثلاث كما تم تكرار التجارب على عينات مطبوعة باتجاه Y وعلى عينات أخرى مطبوعة باتجاه Z.



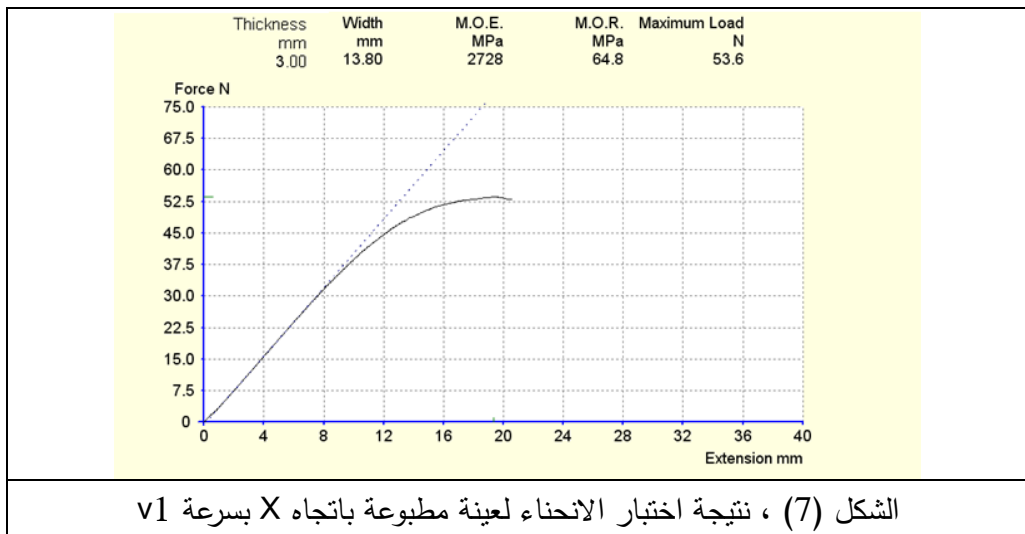


الشكل (5) شكل العينة المختبرة ومبدأ الاختبار

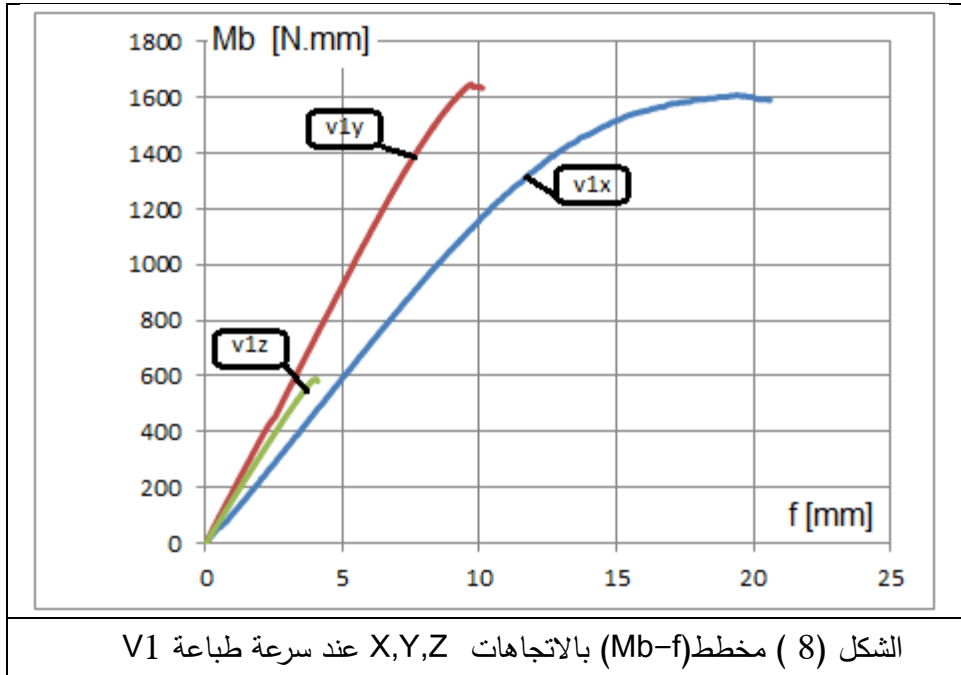
ان الأشكال (7---16) توضح نتائج اختبارات الانحناء لجميع العينات بين عزم الانحناء $Mb = P \cdot L/4$ [N/mm²] وبين سهم الانحناء f وبين الشكل (6) بعض العلاقات المستخدمة في الحسابات حيث أن P هي القوة المطبقة و L طول العينة القياسي.

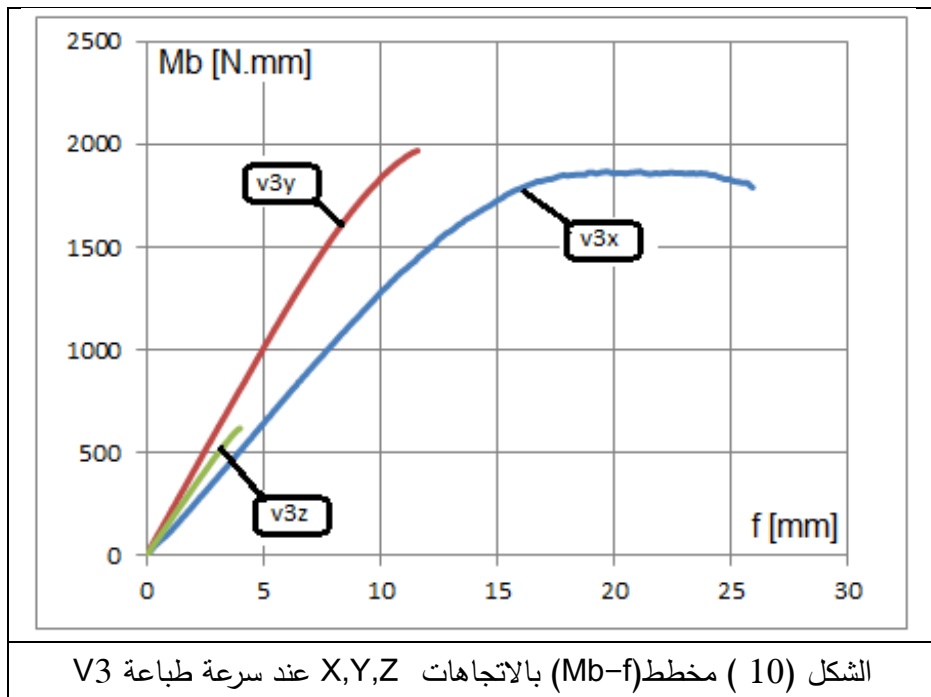
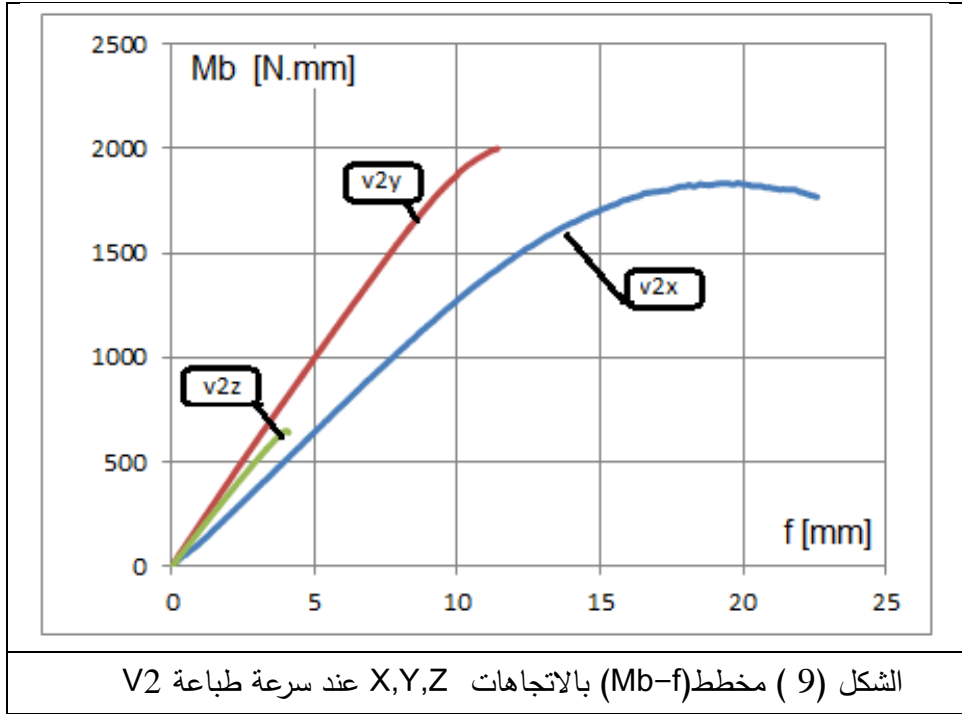


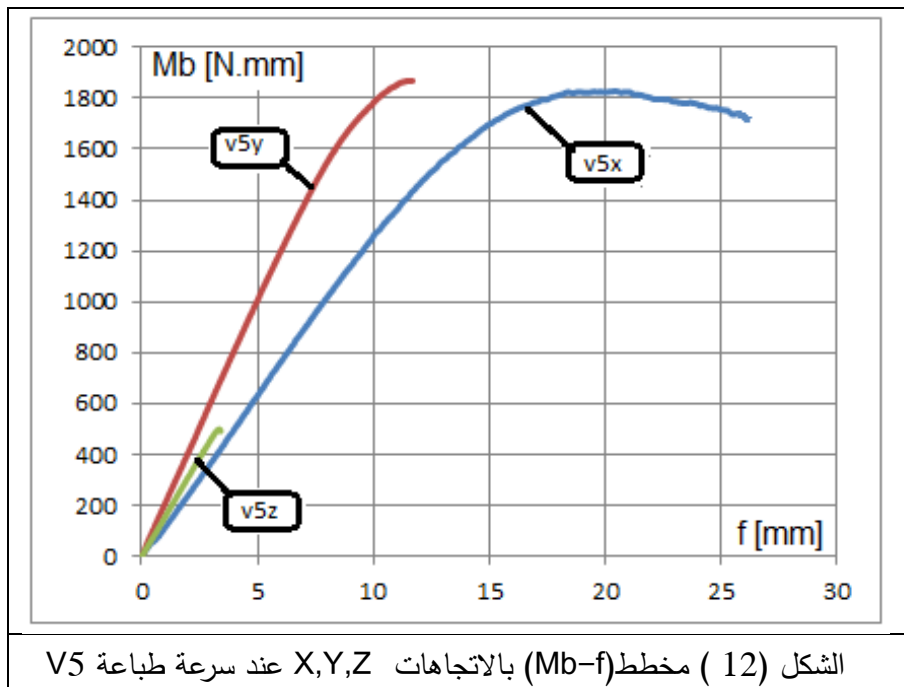
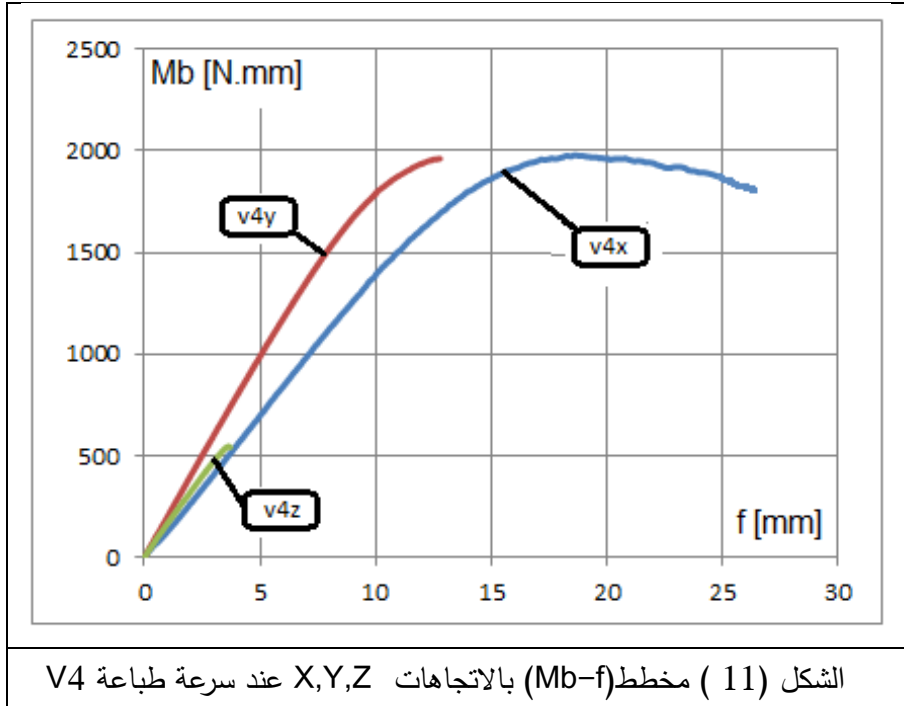
الشكل (6) بعض العلاقات المستخدمة

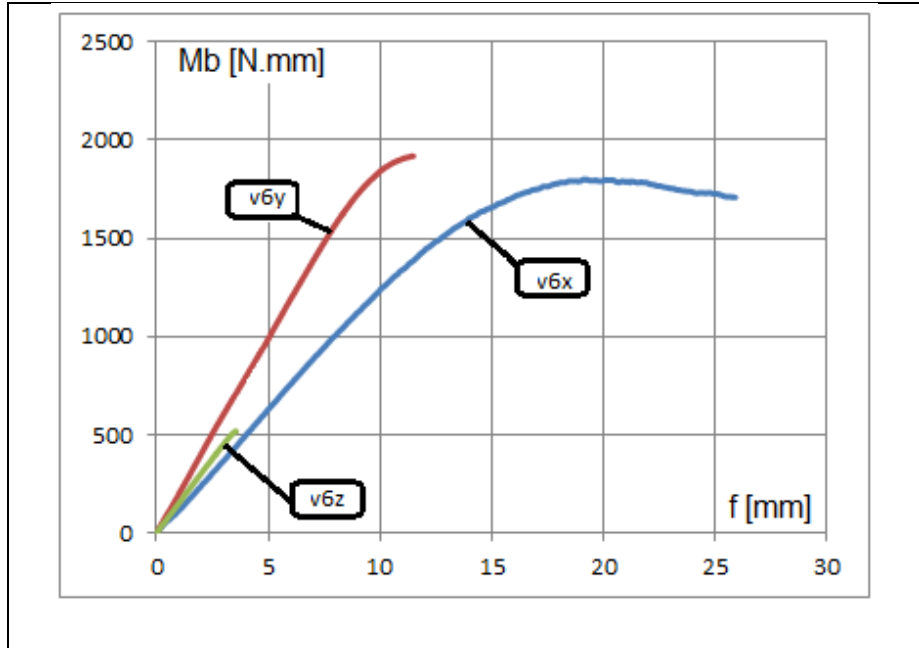


الشكل (7) ، نتيجة اختبار الانحناء لعينة مطبوعة باتجاه X بسرعة $v1$

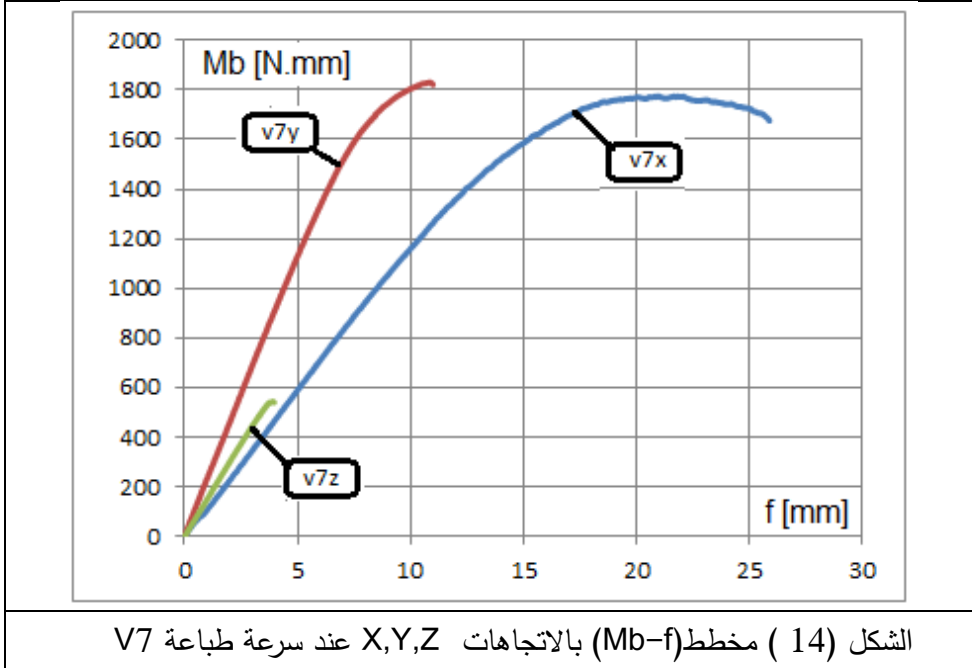




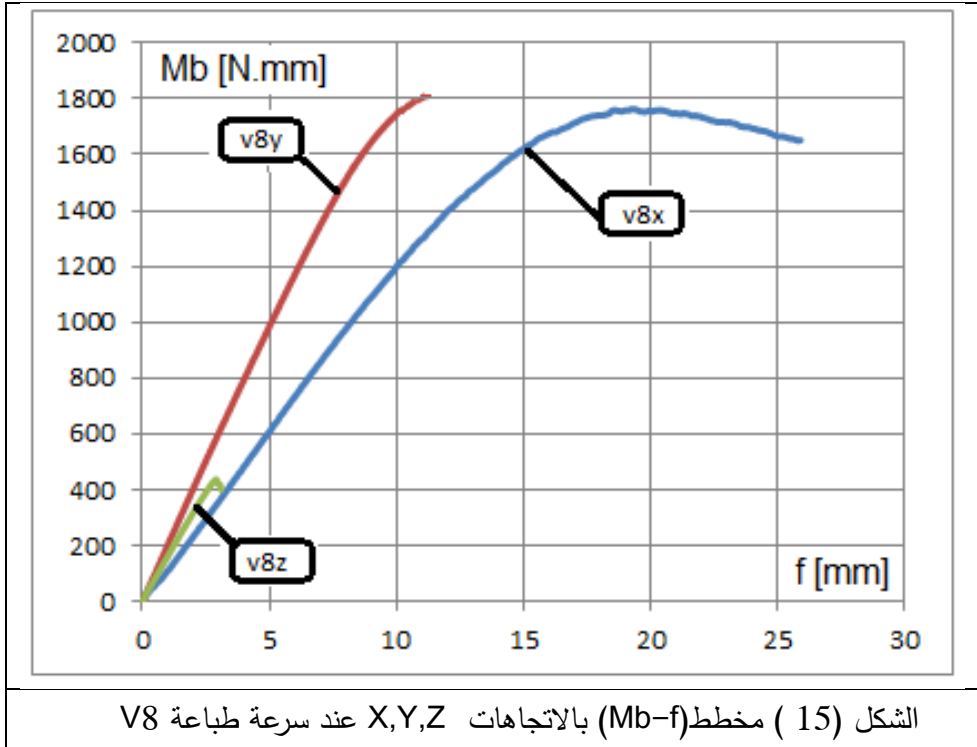


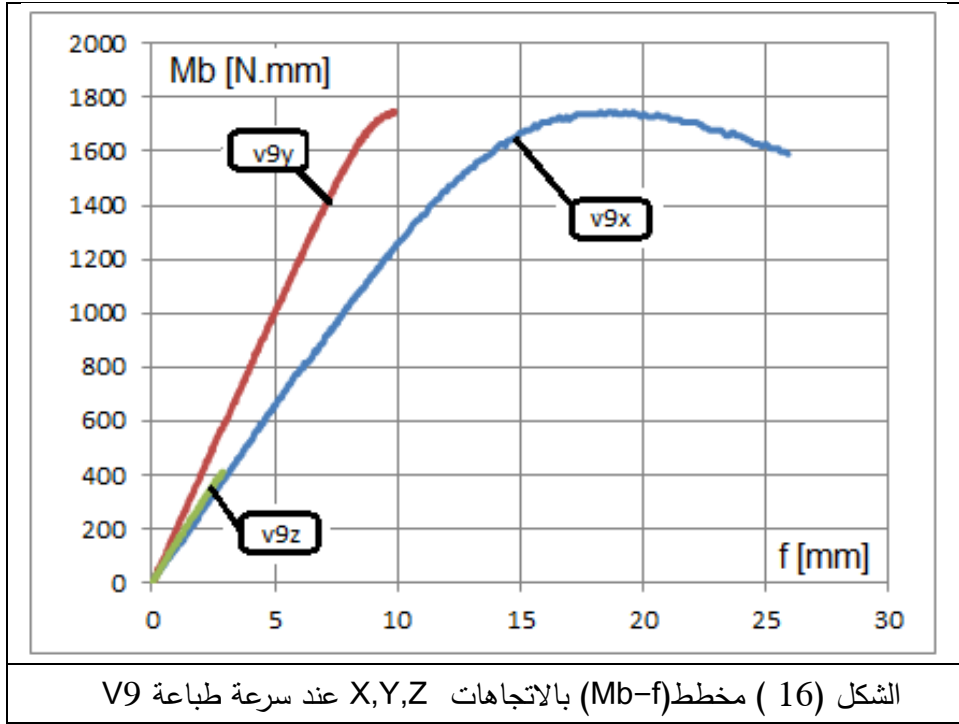


الشكل (13) مخطط (M_b-f) بالاتجاهات X,Y,Z عند سرعة طباعة V6



الشكل (14) مخطط (M_b-f) بالاتجاهات X,Y,Z عند سرعة طباعة V7



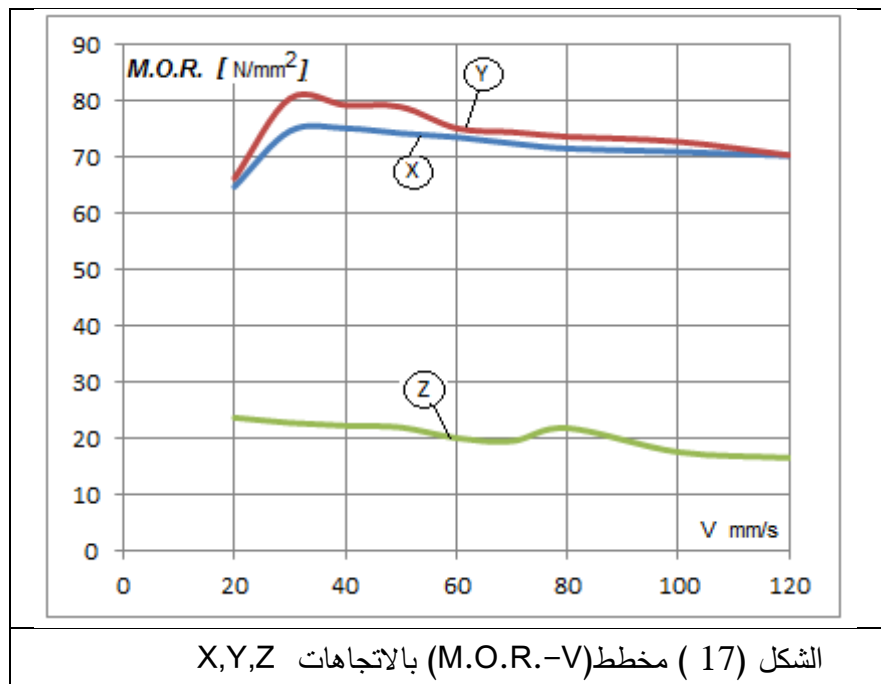


من خلال دراسة المخططات السابقة تبين أن عزم الانحناء الأعظمي للعينات التي تم طباعتها باتجاه X وبسرعات طباعة مختلفة يتساوى تقريبا مع مثيلاتها والتي تم طباعتها باتجاه Y أما العينات التي تم طباعتها باتجاه Z فقد انخفض فيها عزم الانحناء الأعظمي بشكل كبير وتراوح بحدود 35% من قيمة باتجاه X أو باتجاه Y أما سهم الانحناء f حتى بلوغ ذروة المخطط والذي يرتبط بقدرة المادة على التشوه فقد تميزت العينات المطبوعة باتجاه X بارتفاع قيمته عن باقي العينات تلتها العينات المطبوعة باتجاه Y حيث انخفضت قيم سهم الانحناء f فيها إلى 50% بينما كانت أسوأ النتائج باتجاه Z حيث لم تتجاوز قيم f فيها 10% من قيم مثيلاتها باتجاه X وهذا مؤشر جيد على أن الطباعة بالاتجاه X هي الأفضل.

يتميز اختبار الانحناء بأنه يبرز خواص المادة على الشد والضغط عند الالياف السطحية وكذلك الأمر يعطي فكرة جيدة عن صلابة ومرونة المادة المختبرة وقد بينا في المخطط رقم

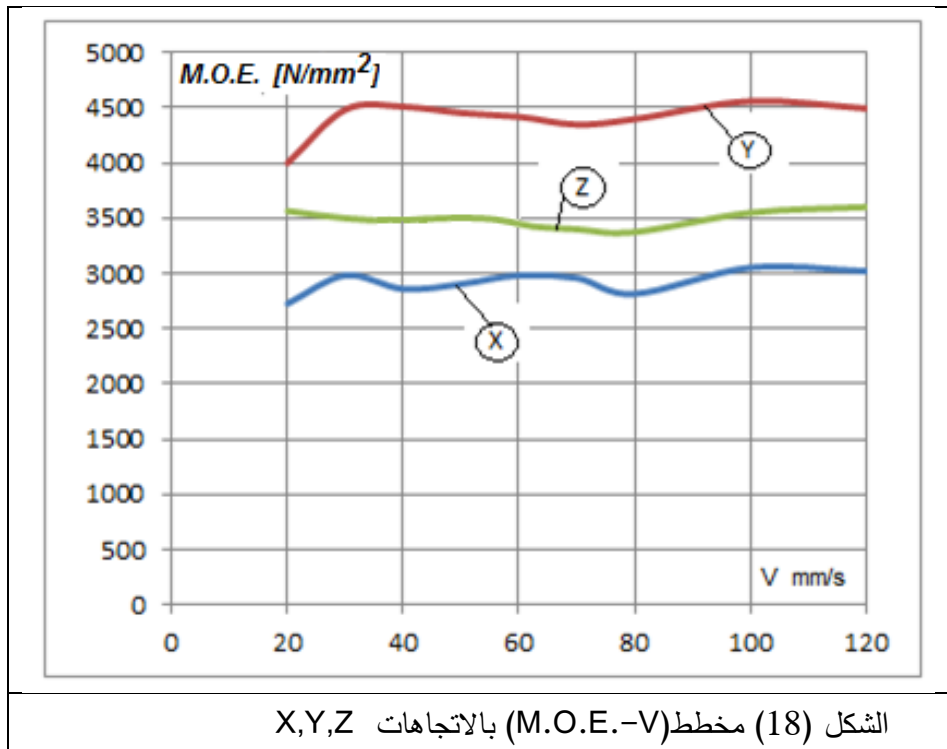
(17) العلاقة بين حد المقاومة (الاجهاد الأعظمي أو M.O.R. modulus of rupture) في حالة الانحناء وبين سرعة الطباعة V [mm/s] لمختلف اتجاهات الطباعة.

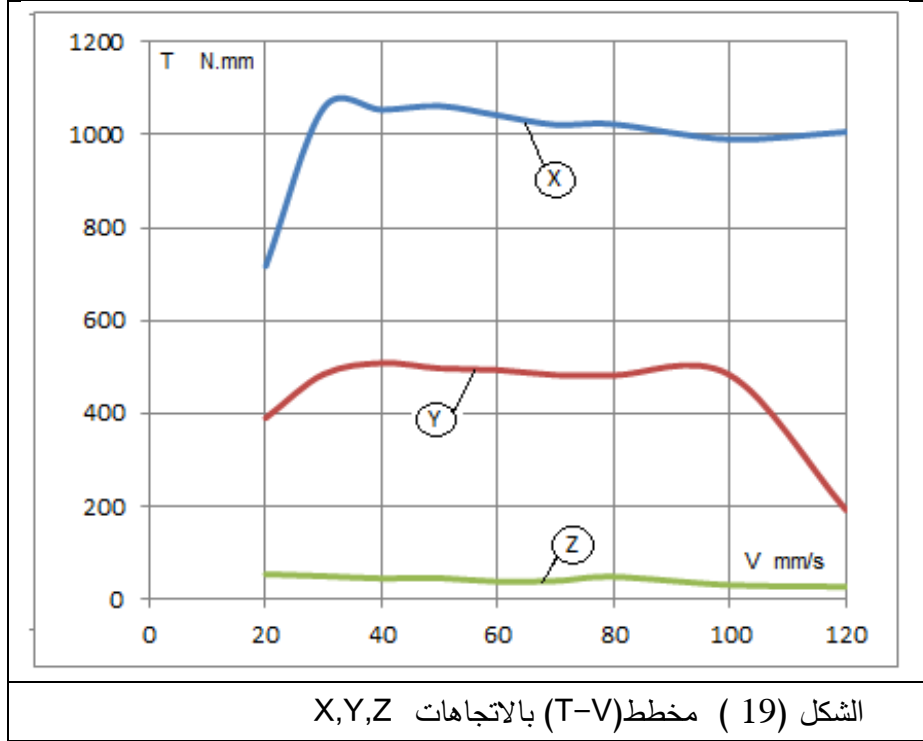
وتظهر النتائج أن حد المقاومة متقارب بغض النظر عن سرعة الطباعة وأن التفاوتات قليلة مع ملاحظة أن حد المقاومة انخفض قليلا عن السرعة 20mm/s ويمكن أن يفسر ذلك أن البطء الشديد يسبب تبريدا أكبر للسطح ويؤثر في الترابط بين اشواط الطباعة الا أن هنا التأثير قليل نسبيا وكذلك بينت هذه المخططات أن الطباعة باتجاه x وباتجاه Y لهما مقاومة متقاربة مع تفوق بسيط للاتجاه Y ويمكن تفسير ذلك بأن الطباعة باتجاه Y خلقت نوع من الترابط الجيد بين الياف الطبقات بالاتجاه الموازي للقوة P مما حسن من مقاومة المادة للانحناء أما حد المقاومة بالاتجاه Z فكان كالعادة منخفضا ولم يتجاوز 25 % من قيمته بالاتجاهات الأخرى.



في المخطط رقم (18) والذي يربط بين عامل الصلابة MOE modulus of elasticity وسرعة الطباعة لمختلف الاتجاهات نجد أن عامل الصلابة لم يتأثر كثيرا بسرعة الطباعة الا أن الطباعة باتجاه Y كان لها صلابة أكبر أي مرونة أقل تلتها الطباعة باتجاه Z ثم الطباعة

باتجاه X أي أن الطباعة باتجاه X أبدت أقل صلابة وأكثر مرونة من باقي الاتجاهات وهذا يعطي المشغولات بهذا الاتجاه مطاوعة أكبر ويظهر المخطط رقم (19) العلاقة بين المتانة Toughness التي تعبر عن قدرة المادة على امتصاص الطاقة حتى الكسر $T=2/3P_{max}.f_{max}$ وبين سرعة الطباعة بالاتجاهات الثلاث X,Y,Z وهنا نجد أن الطباعة بالاتجاه X تتفوق من حيث المتانة عن باقي الاتجاهات تليها الطباعة باتجاه Y حيث انخفضت المتانة فيها إلى نسبة 45% أما الطباعة باتجاه Z فكانت الطباعة فيها متدنية المتانة ولم تتجاوز نسبة 10% مقارنة مع الاتجاه X وهذا يؤكد أن الطباعة باتجاه X هو الاتجاه الأميز بين الاتجاهات الأخرى حيث كما بينت النتائج أنه يتمتع بمتانة أعلى مقاومة عالية ومرونة أكبر .

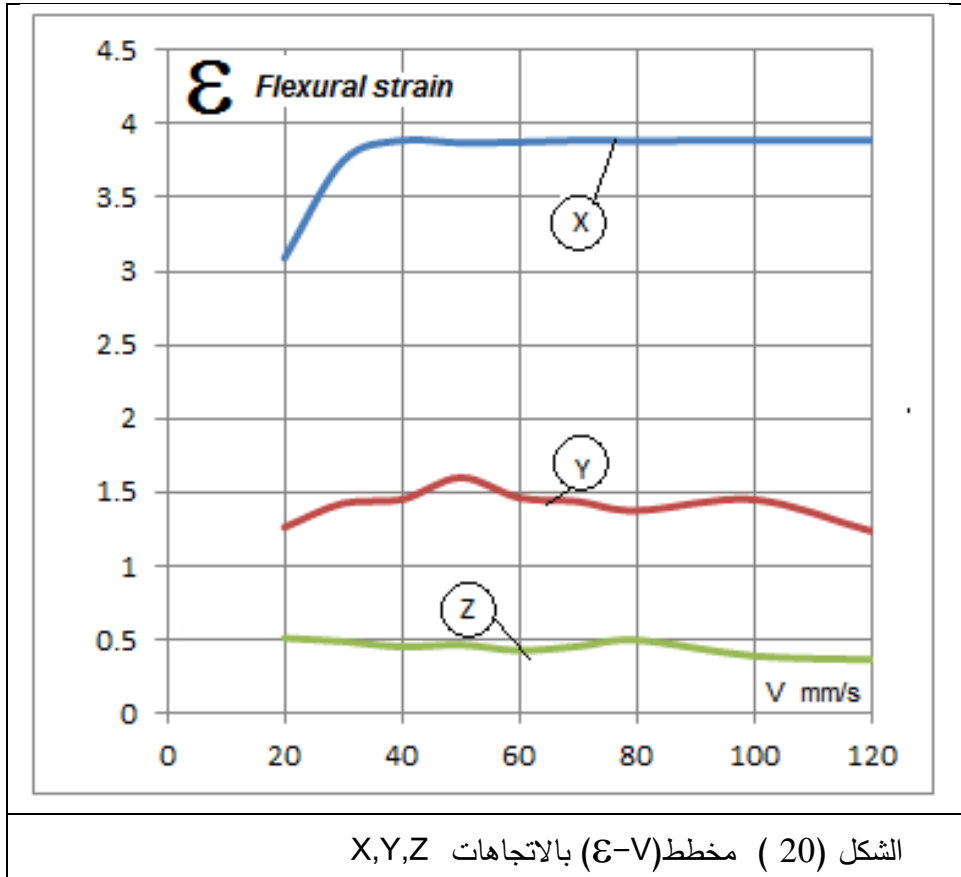




يبين المخطط (20) أن خصائص العينات المطبوعة باتجاه X تتمتع بمطيلية Ductility أكبر أو مايسمى (الانفعال في الانحناء Flexural strain $\epsilon = 6fh/L^2$) تليها العينات المطبوعة باتجاه Y وتليها العينات المطبوعة باتجاه Z أما تأثير سرعة الطباعة فكان متساويا تقريبا ماعدا الطباعة بسرعة متدنية $V1 = 20 \text{ mm/s}$ فقد انخفضت المطيلية قليلا .

قمنا بدراسة العلاقة بين زمن الطباعة لثلاث عينات بالاتجاهات الثلاثة وبين سرعة الطباعة جدول (5) ، حيث لوحظ أن زمن انجاز العينات شكل (21) ينخفض بشكل ملحوظ مع زيادة السرعة وهذا يزيد من اقتصادية العملية ولوحظ أن زيادة السرعة لـ 40 mm/s يخفض زمن عملية الطباعة للنصف تقريبا ولوحظ أن الطباعة باتجاه X أكثر اقتصادية من الطباعة بالاتجاهات الباقية وكذلك قد درسنا تأثير سرعة الطباعة في شكل ودقة وجودة الطباعة وذلك من خلال تحديد جودة السطح ورصد العيوب المرافقة لعملية الطباعة باتجاه Y لاحظنا أن سرعة الاختبار تؤثر على جودة و دقة شكل العينة وتبين لنا أنه كلما كانت السرعة أكبر كلما انخفضت جودة سطح العينة وأن السرعات الكبيرة تعطي أشكالاً غير مرغوب بها إذا كانت

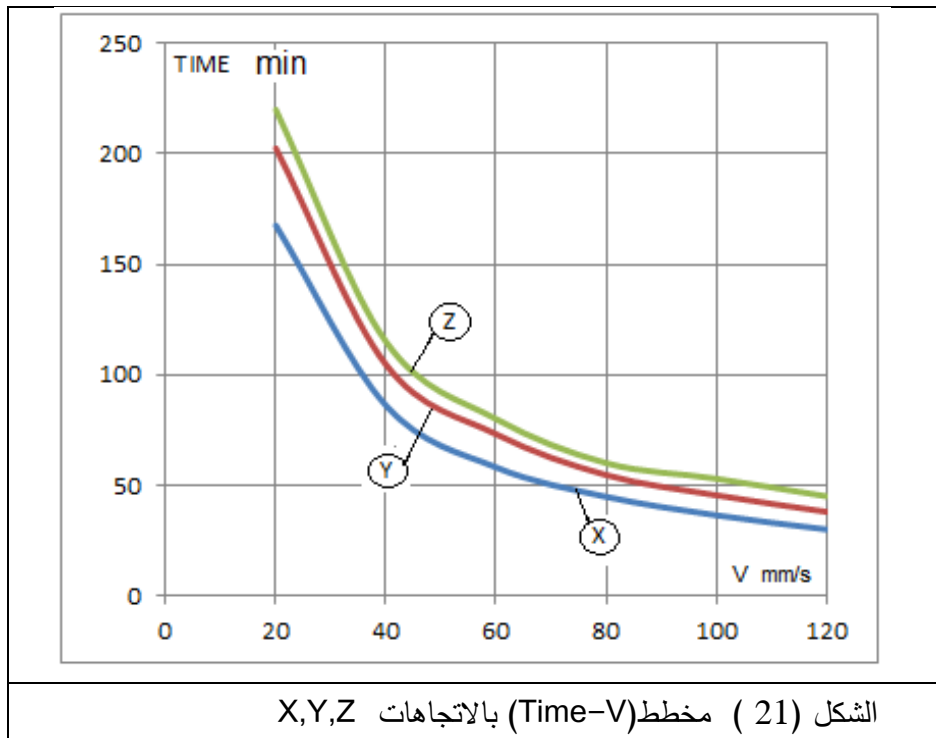
السماكات كبيرة وقد يكون ذلك بسبب كمية الحرارة المختزنة في العينات وحاجتها إلى زمن أكبر للتصلب.

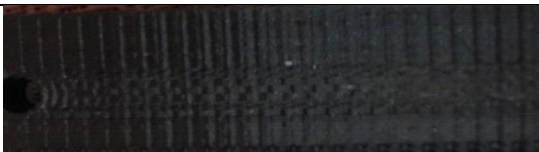
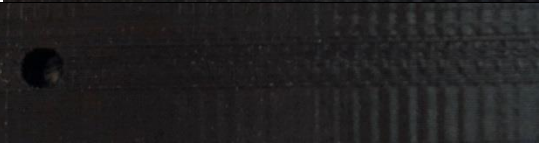


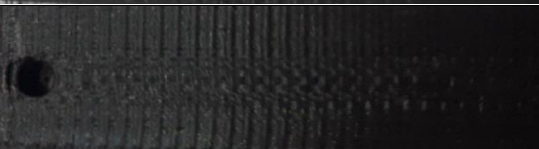

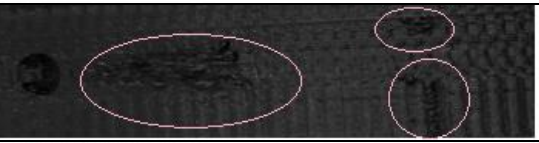
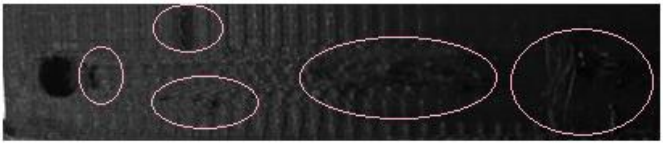



يظهر الشكل (22) صوراً للسطح الجانبي لبعض العينات المطبوعة أن جودة الطباعة تتخفف مع ازدياد السرعة وتظهر العيوب على شكل ندب بعد تجاوز سرعة الطباعة $V_6=70\text{mm/s}$ كما هو واضح وقد حافظت العينات على دقة أبعادها بشكل مقبول أن العيوب انحصرت بخشونة السطح علماً أن الصور مأخوذة من السطح الجانبي للطباعة باتجاه Y وبينت الدراسة أنه ضمن حدود المواصفات الميكانيكية أعلاه يمكن الطباعة بسرعات عالية في حال غرض النظر عن جودة السطوح الخارجية.

زمن الطباعة حسب الاتجاه		سرعة الطباعة	
z	y	x	mm/s
3h40min	3h23min	2h48min	20
2h42min	2h25min	1h54min	30
1h55min	1h45min	1h26min	40
1h31min	1h23min	1h7min	50
1h18min	1h11min	58min	60
1h7min	1h2min	51min	70
1h1min	55min	45min	80
53min	45min	36min	100
45min	38min	30min	120

جدول (5) زمن الطباعة بالاتجاهات الثلاث



V1	
V2	
V3	
V4	
V5	
V6	
V7	
V8	
V9	
<p>الشكل (22) تأثير سرعة الطباعة في جودة السطح الجانبي (طباعة باتجاه Y)</p>	

5. الاستنتاجات :

- تبين من دراسة مخططات عزم الانحناء - سهم الانحناء (Mb-f) عموماً أن الطباعة باتجاه X رغم امتلاكها عزم انحناء مساو لمثيلاتها باتجاه Y الا أن سهم الانحناء X أكبر بكثير منه في الاتجاه Y وأما في الاتجاه Z فكان القيم متدنية جداً وذلك لجميع السرع المتاحة من 20 وحتى 120 mm/s
- يمكننا ملاحظة أن أفضل النتائج من ناحية حد المقاومة الأعظمي M.O.R. يمكن الحصول عليها في حالة الطباعة باتجاه Y وتقاربها في القيم العينات المطبوعة المطبوعة باتجاه X أما العينات المطبوعة باتجاه Z انخفضت قيم حد المقاومة إلى حدود 25% مقارنة مع الاتجاهين X,Y .
- بينت دراسة المتانة أن الطباعة باتجاه X تمتلك متانة Tx هي الأفضل تلتها الطباعة باتجاه Y بنسبة $Ty=(0.45*Tx)$ وكانت الطباعة باتجاه Z هي الأضعف متانة $Tz=(0.1*Tx)$
- بينت الدراسة أن المرونة للعينات المطبوعة باتجاه X هي الأفضل تلتها العينات المطبوعة باتجاه Y ثم Z .
- بينت الدراسة أن المطيلية للاتجاه X هي الأفضل تلتها Y تلتها Z
- بينت الدراسة أن زمن الطباعة في الاتجاه X هو الأقل والأكثر اقتصادي يليه الطباعة باتجاه Y ثم باتجاه Z وأن لسرعة الطباعة تأثير كبير حيث انخفض الزمن إلى النصف مع زيادة السرعة من 20 إلى 40mm/s وان العامل الأهم في ذلك يعود لجودة الشكل والدقة والاقتصادية وأن الطباعة بسرعة (40—50)mm/s يحقق أفضل الخواص واقتصادية معقولة وجودة ممتازة.

6. المراجع :

- [1] Vincent DeStefano, Salaar Khan , Alonzo Tabada "pplications of PLA in modern medicine" Engineered Regeneration 1 (2020) 76–87
- [2] Shady Farah , Daniel G. Anderson , Robert Langer " Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications " Advanced Drug Delivery Reviews xxx (2016)
- [3] K. Pongtanayuta, C. Thongpina*, O. Santawiteeb The Effect of Rubber on Morphology, Thermal Properties and Mechanical properties of PLA/NR and PLA/ENR blends Energy Procedia 34 (2013) 888 – 897
- [4] Jörgen S. Bergström & Danika Hayman "An Overview of Mechanical Properties and Material Modeling of Polylactide (PLA) for Medical Applications" Annals of Biomedical Engineering volume 44, pages 330–340 (2016)
- [5] Pranjal Jain, A. M. Kuthe 2013 Feasibility Study of Manufacturing Using Rapid Prototyping : FDM Approach, journal of Procedia Engineering, Vol.63, 4 -11.
- [6] Sandeep Raut, VijayKumar S. Jatti, Nitin K. Khedkar, T.P.Singh 2014 Investigation of the Effect of Built Orientation on Mechanical Properties and Total Cost of FDM Parts, procedia Materials Science, Vol. 6, 1625 -1630.
- [7] J. Martínez, J.L. Diéguez, E. Ares, A. Pereira, P. Hernández, J.A. Pérez 2013 Comparative Between FEM Models for FDM Parts and their Approach to a Real Mechanical Behaviour, Procedia Engineering, Vol.63, 878 – 884.
- [8] M Alhubail, D Alenezi and B Aldousiri 2013 Taguchi-based Optimisation of Process Parameters of Fused Deposition Modelling for Improved Part Quality, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 2 Issue 12.
- [9] B.Satyanarayana, Kode Jaya Prakash 2015 Component Replication using 3D Printing Technology, Procedia Materials Science, Vol. 10, 263 – 269.
- [6] Hua Wei Guan, Monica Mahesh Savalani, Ian Gibson, Olaf Diegel 2015 Influence of Fill Gap on Flexural Strength of Parts Fabricated by Curved Layer Fused Deposition Modeling, Procedia Technology, Vol. 20, 243 – 248.

- [10] L. Villalpando, H. Eiliata, R. J. Urbanic 2014 An optimization approach for components built by fused deposition modeling with parametric internal structures, Procedia CIRP, Vol. 17 800 – 805.
- [11] L. M. Galantucci, I. Bodib, J. Kacani, F. Lavecchia 2015 Analysis of dimensional performance for a 3D open-source printer based on fused deposition modeling technique, Procedia CIRP, Vol. 28, 82 – 87.
- [12] B.M. Tymrak, M. Kreiger, J.M. Pearce 2014 Mechanical properties of components fabricated with open-source 3-D printers under realistic environmental conditions, Materials and Design, Vol. 58, 242–246.
- [13] M.Jamshidian poly lactic acid production , application, nanocomposites 2010
- [14] د.محمود الأسعد د.المهندس مكي " دراسة تأثير تخطيط مسارات الملء ونسبة الملء في الطباعة ثلاثية الأبعاد بتقنية FDM لمادة PETG على خاصية المقاومة النوعية والتكلفة الكلية للقطع المطبوعة" مجلة جامعة البعث المجلد 40-2018

استخدام القواميس والتعلم الآلي لتحليل المشاعر

في اللغة العربية

طالبة الدراسات العليا: م. ريم ناصر كلية الهندسة المعلوماتية- جامعة البعث

اشراف الدكتور: كمال السلوم

مشرف مشارك : د. ناصر أبو صالح

الملخص:

بسبب تزايد مواقع التجارة الالكترونية وشبكات التواصل الاجتماعي بدأ الناس بالاعتماد على الآراء الواردة في هذه الشبكات كأحد المراجع الأساسية عند شراء منتج أو خدمة، حيث تساعدهم في اتخاذ القرار أثناء عملية الشراء أو التصفح، ولكن عند اللجوء إلى هذه الشبكات نلاحظ كثرة التعليقات والآراء حول العديد من المواضيع وبذلك يصبح من الصعب الوصول لكل هذه التعليقات وتحليلها يدوياً. قُدمت هذه الدراسة بهدف إجراء مراجعة لبعض النماذج السابقة في مجال تحليل المشاعر للغة العربية، واستخدام طرق تساعد في تحسين دقة التنبؤات وذلك باستخدام تقنيات أفضل لتجذيع الكلمات. تمت مقارنة نتائج تنفيذ هذه الطرق مع تقنيات أخرى وذلك بالنسبة لدقة التنبؤ. ثم تم تطبيق عدة خوارزميات للتعلم الآلي ومقارنة نتائجها بالنسبة لمجموعتي البيانات وتحديد الخوارزمية الأفضل.

الكلمات المفتاحية: تحليل المشاعر، القواميس، التعلم الآلي، التجذيع، نماذج التصنيف، القطبية.

Using of lexicons and machine learning for sentiment analysis in the Arabic language

Eng. Reem Nasser

Dr. Kamal Alsalloum

Dr. Nasser Abo Saleh

Abstract

Due to the increase in e-commerce sites and social networks, people began to rely on the opinions expressed in these networks as one of the basic references when purchasing a product or service, as it helps them in making decisions during the buying or browsing process, but when accessing these networks we notice the abundance of comments and opinions about many Topics thus making it difficult to access all of these comments and analyze them manually. This study was presented with the aim of conducting a review of some previous models in the field of sentiment analysis for the Arabic language, and using methods that help improve the accuracy of predictions by using better techniques for word stemming. The results of implementing these methods were compared with other techniques in terms of prediction accuracy. Then, several machine learning algorithms were applied and their results compared for the two data sets and the best algorithm was determined.

Keywords: sentiment analysis, lexicons, machine learning, stemming , classification models,polarity.

1. مقدمة:

انتشر تحليل المشاعر بكثرة في السنوات الأخيرة، حيث استخدم في كثير من المجالات معتمداً على تعليقات الأشخاص التي تعد عنصراً أساسياً لمعرفة مشاعرهم حول أي منتج.

يعرف مصطلح تحليل المشاعر sentiment analysis أو التنقيب في الآراء opinion mining بأنه تعريف أوتوماتيكي للآراء المُعبر عنها في النص تجاه موضوع معين [1].

يمكن القول أن السبب الرئيسي وراء ازدياد الاهتمام بتحليل المشاعر هو انتشار استخدام شبكة الانترنت التي شكلت بيئة مميزة لتفاعل البشر على اختلاف أماكنهم وأفكارهم، حيث زاد حجم البيانات المتبادلة بين مستخدمي الانترنت وهذا ما ساعد على زيادة التواصل وتبادل المعارف والمشاعر حول ظاهرة أو منتج معين، وبذلك أيضاً توفر للشركات وللمحللين بيانات خام لإجراء الإحصائيات اللازمة لمعرفة المنتجات الأكثر رغبة من قبل المستهلكين أو معرفة آراء الناس حول إحدى الظواهر بين إيجابي أو سلبي.

تجري عملية تحليل المشاعر على مستويات عدة من التقسيمات: الكلمة، العبارة، الجملة، المستند، أو المفهوم. كما توجد طريقتان أساسيتان لتطبيق تحليل المشاعر: الطرق التي تعتمد على القواميس وطرق التعلم الآلي.

تتصب معظم الجهود في مجال تحليل المشاعر على اللغة الانكليزية واللغات الأوربية الأخرى في حين حظيت اللغة العربية بالقليل من الأعمال. معظم طرائق تحليل المشاعر طُورت للغة الانكليزية ومن الصعب تطبيقها على باقي اللغات كاللغة العربية.

تعد اللغة العربية لغةً غنيّةً من حيث المفردات والقواعد وهذا ما شكل تحدياً كبيراً لأنظمة معالجة اللغات الطبيعية NLP، حيث أن القواميس العربية المحددة القطبية قليلة نوعاً ما وليست متاحة للعموم إضافةً إلى ذلك ركزت الجهود المبذولة لتحليل المشاعر في اللغة

العربية على معالجة النصوص العامة دون تحديد المجال وتم تطوير القليل في مجالات محددة كالرياضة، القانون، وما إلى ذلك.

2. الهدف من البحث:

أصبح لدينا كم هائل من البيانات وذلك نظراً لتطور تكنولوجيا المعلومات والويب [2] ، وهذا ما سمح لنا بفهم مشاعر مستخدمي الانترنت من خلال تحليل هذه البيانات. على العموم يمكن القول أنه كلما كان حجم هذه البيانات كبيراً، كلما كان من الصعب تحليلها لاستخراج معلومات مفيدة منها.

أظهرت الدراسات أن وسائل التواصل الاجتماعي مثل فيسبوك تنتج ما يقارب 250 مليون منشور في الساعة، بينما ينتج مستخدمو تويتر حوالي 21 مليون تغريدة في الساعة.

يغطي هذا البحث فعلياً ما يلي:

- 1- دراسة شاملة لمختلف تقنيات تحليل المشاعر إضافةً إلى تقنيات معالجة البيانات.
- 2- تحليل الأعمال التي قام بها مجموعة من الباحثين في مجال تحليل المشاعر حتى وقتنا الحالي باستخدام مختلف التقنيات.
- 3- مقارنة تحليلية لعدة مجذعات stemmer بهدف الوصول للمجذع الأفضل، ومقارنة عمل مجموعة من خوارزميات التصنيف على مجموعتين من البيانات.

3. أدوات وطرائق البحث:

يتم التعامل في هذه الورقة مع نظام تشغيل windows 10/64 bit من نصب على جهاز له المواصفات التالية:

❖ المعالج: intel core i7-10510U 2.30 GHz

❖ الذاكرة: 16 غيغا بايت.

4. تحليل المشاعر:

يعرف تحليل المشاعر sentiment analysis أو التنقيب في الآراء opinion mining على أنه تحليل لآراء الناس ومشاعرهم ومواقفهم تجاه منتج أو خدمة أو موضوع معين. و يعتبر فرعاً من التنقيب في محتويات الويب حيث يقوم بتطبيق تقنيات التنقيب في البيانات لاكتشاف الأنماط وتطبيق تقنيات معالجة اللغات الطبيعية لتتبع آراء الناس حول منتج أو خدمة معينة. [1]

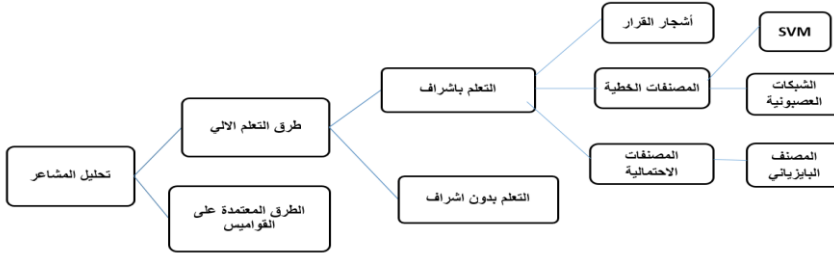
4-1 مستويات تحليل المشاعر:

يوجد ثلاث مستويات لتحليل المشاعر وهي: [1]

- **تحليل على مستوى Document:** مهمة هذا المستوى تصنيف الرأي الكلي للوثيقة فيما إذا كان شعوراً إيجابياً أو سلبياً. يفترض هذا المستوى أن كل وثيقة تعبر عن آراء حول غرض واحد (منتج مثلاً) وبالتالي غير قابل للتطبيق على الوثائق التي تقيم أو تقارن أغراض متعددة.
- **تحليل على مستوى Sentence:** مهمة هذا المستوى من التحليل تحديد فيما إذا كانت الجملة تعبر عن رأي إيجابي أو سلبي أو حيادي (لا رأي).
- **تحليل على مستوى Aspect:** يعتمد هذا المستوى على فكرة أن الرأي يتألف من شعور (إيجابي، سلبي، حيادي) وغرض (ميزة) مستهدف بالشعور. وبدلاً من النظر إلى التراكيب اللغوية (الوثائق أو العبارات أو الفقرات) يتم النظر مباشرة إلى الرأي بالغرض بحد ذاته.

4-2 تقنيات تحليل المشاعر:

تقسم تقنيات تحليل المشاعر إلى نوعين مختلفين: تدعى الأولى بتقنيات التعلم الآلي أما الثانية فهي الطرائق التي تعتمد على القواميس، وهذا ما نلاحظه في الشكل (1).

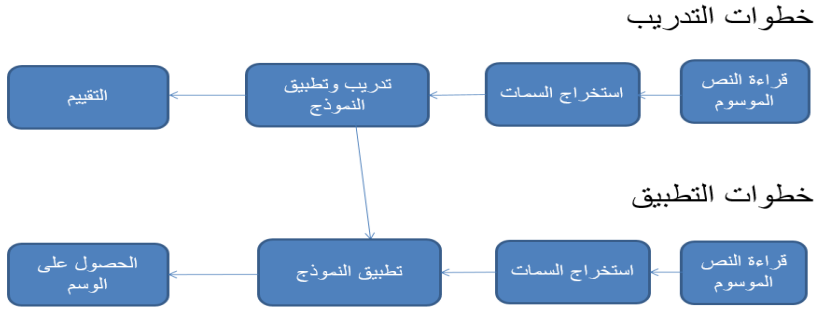


الشكل -1- تقنيات تحليل المشاعر.

4-2-1 طرائق التعلم الآلي:

1- التعلم الخاضع للإشراف Supervised Learning: هناك العديد من التقنيات الشائعة المستخدمة لتحليل المشاعر والتي تندرج ضمن طرائق التعلم بإشراف نذكر منها مايلي: [2]

- المصنف البايزياني Naïve Bayes : يُعرف بأنه مصنف احتمالي بسيط يعتمد على نظرية بايز وفرضية الاستقلال (كل المميزات مستقلة عن بعضها البعض)، حيث يقوم بحساب الاحتمالات المسبقة لكل وسم اعتماداً على تكرار ظهوره ضمن مجموعة بيانات التدريب.
- Maximum entropy (ME): التوزيع الاحتمالي الأفضل لتمثيل الحالة الراهنة من المعرفة هو التوزيع الذي يحتوي على الأنثروبي الأعظم.
- Support vector machines (SVM): أحد نماذج التعلم بإشراف المستخدمة لتحليل البيانات والتعرف على الأنماط للقيام بعمليات التصنيف والانحدار regression، ويعتبر أحد المصنفات الخطية حيث يفصل مجموعات البيانات إلى فئتين أو أكثر بحيث يكون التباعد بين الفئتين أعظماً وذلك وفق قانون رياضي.
- أشجار القرار: يتم تقسيم البيانات عودياً باستخدام شرط معين حتى نصل للأوراق التي تنتمي لأحد الصفوف، أشهرها: C4.5 ، ID3



الشكل -2- : آلية تحليل المشاعر باستخدام طرائق التعلم الآلي.

يوضح الشكل (2) خطوات تحليل المشاعر باستخدام طرائق التعلم الآلي، حيث يوضح عملية تدريب النموذج المقترح بدايةً ثم اختباره ومعرفة فاعليته وأدائه .

2- التعلم بلا إشراف Unsupervised Learning :

يندرج التجميع في حقل التعلم من دون إشراف، حيث تقوم هذه الخوارزميات بتقسيم البيانات إلى عدد من المجموعات الفرعية. كل من هذه المجموعات الفرعية تحتوي على بيانات مشابهة لبعضها البعض. تُعرف هذه المجموعات الفرعية باسم المجموعات أو العناقيد.

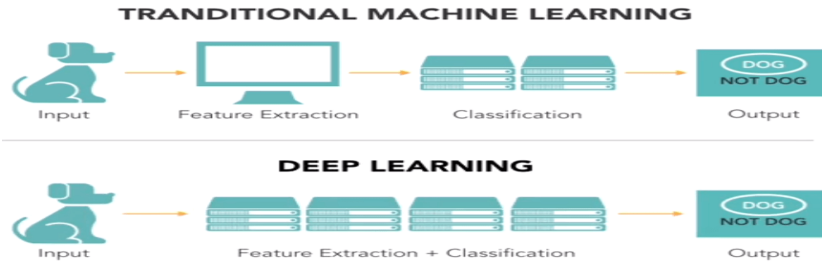
4-2-2 التقنيات التي تعتمد على القواميس (المنهجيات الدلالية):

تعتمد هذه الطرق على قواميس الكلمات ذات القطبية، حيث تقوم الأنظمة بمعالجة النص وتقسيمه لمجموعة من الكلمات ثم إهمال كلمات التوقف وإعادة الكلمات إلى أصلها stemming ثم مقارنة كل كلمة مع القاموس الذي يعطي أوزاناً محددة لكل كلمة وجمع هذه القيم للحصول على قيمة الشعور العام للنص. أيضاً تتضمن القواميس معالجة لبعض الكلمات التي تزيد أو تنقص القطبية مثل (very, little) أو التي تعكس الشعور الذي تؤثر عليه مثل (no, not).

4-2-3 استخدام التعلم العميق في تحليل المشاعر: [3]

أحد أشكال التعلم الآلي، يتضمن خوارزميات تتيح للآلة التعلم بنفسها عن طريق محاكاة الخلايا العصبية، أثبتت الدراسات تقدماً كبيراً في مختلف المجالات أهمها معالجة اللغات الطبيعية. يمكن أن يقدم التعلم العميق دقة عالية قريبة من دقة الأداء البشري وذلك لأنه يحاكي الخلايا العصبية، وتستخدم نماذج التعلم العميق لمجموعات البيانات الكبيرة المحددة الصفوف حيث تتعلم المميزات مباشرةً من البيانات دون الحاجة لعملية الاستخراج اليدوي لها وهذا مايمكن ملاحظته من خلال الشكل(3).

علماً أن أداء شبكات التعلم العميق يزداد بازدياد حجم البيانات بينما أداء خوارزميات التعلم الآلي التقليدية يزداد إلى حد معين ثم يصبح ثابتاً مهماً ازداد حجم البيانات.



الشكل -3- : الفرق بين التعلم الآلي التقليدي والتعلم العميق.

يوضح الشكل(3) أن بنى التعلم العميق ماهي إلا شبكات عصبونية ذات طبقات مخفية كثيرة العدد (كلما كان عددها أكبر كلما كانت الشبكة أعمق)، يتم معالجة المستندات وتمرر إلى طبقة الدخل للشبكة العصبونية حيث يعبر عن كل كلمة بشعاع مستخدماً موقع كل كلمة في الجملة لإيجاد التشابه العاطفي بين الكلمات وهذا ما يسمى Word2vec أو يتم حفظ ترتيب الكلمات في الجملة إضافةً إلى ما سبق (Doc2vec) وغيرها الكثير من الأساليب لأنظمة تضمين الكلمات word embedding. ثم ترسل للطبقات المخفية ومنها طبقة الخرج التي تعطي الخرج النهائي (الشعور، التصنيف، الخ).

4-3 التحديات التي تواجه مجال تحليل المشاعر: [4]

هناك العديد من التحديات التي تواجه تحليل المشاعر بشكل عام والتي توصف كما يلي:

- المشاعر الضمنية والسخرية: من المحتمل أن تحوي الجملة على مشاعر ضمنية حتى لو لم يكن هناك كلمة ظاهرة تدل على نوع هذه المشاعر، أو أن تحوي على نوع من السخرية وهذا ما يشير إلى نوع من السلبية غير الظاهرة بشكل علني.
- الاعتماد على المجال: تختلف قطبية الكلمة من مجال لآخر، فمن الممكن أن تعطي شعوراً إيجابياً في مجال ما ومشاعراً سلبياً في مجال آخر.
- الآراء المزيفة: يعتبر الرأي المزيف تضليل للمستخدمين والقراء من خلال تزويدهم برأي إيجابي أو سلبي أو غير صادق يتعلق بأي موضوع، وهو التحدي الاجتماعي الذي يواجهه مجال تحليل المشاعر.
- النفي: يؤدي استخدام أحد أدوات النفي إلى تغيير قطبية الرأي بشكل كامل.

أما فيما يتعلق باللغة العربية بشكل خاص فهناك العديد من التحديات الإضافية وذلك بسبب تنوعها وغناها الصرفي، نذكر منها ما يلي:

- تنوع اللغة العربية: تعد اللغة العربية لغةً رسمية لحوالي 300 مليون شخص في 22 دولة، وبالتالي هناك العديد من اللهجات المستخدمة إضافةً للغة الفصحى.
- قواعد الإملاء في اللغة العربية: تتألف اللغة العربية من 28 حرف، وتكتب الكلمات من اليمين إلى اليسار وهناك العديد من الإشارات التي توضع فوق أو تحت الأحرف ليتم تهجئة الكلمة بشكل صحيح ولتوضيح معناها.
- قواعد الصرف في اللغة العربية: يمكن اشتقاق العديد من الكلمات من نفس الكلمة بإضافة لاحقة أو سابقة على الكلمة، مثلاً من الكلمة "شعر" نشق الكلمات "شاعر"، "شعور"، وغيرها الكثير. أيضاً كل فعل له أكثر من شكل (الماضي والحاضر) ويختلف أيضاً حسب الفاعل (أنا، هو، هي، الخ).

- قلة مجموعات المفردات Corpora : ليس هناك أي مجموعة مفردات للغة العربية يمكن أن تغطي جميع الكلمات وبكل اللهجات، علماً أن الدقة تزداد حسب نوعية وحجم مجموعة المفردات المستخدمة لتدريب مصنف المشاعر.
- قلة قواميس المشاعر sentiment lexica : هناك العديد من الأعمال الحالية لإنتاج قواميس المشاعر، وعلى الرغم من ذلك لا يزال عددها قليلاً مقارنةً بقواميس اللغة الانكليزية.
- تعدد اللهجات العربية: يستخدم الناس لهجاتهم للتعبير عن آرائهم على شبكات التواصل الاجتماعي، إلا أن أدوات معالجة اللغات الطبيعية مصممة خصيصاً للغة العربية الفصحى وهذا ما يجعل مهمة المعالجة أكثر تعقيداً.

4-4 خطوات تحليل المشاعر:

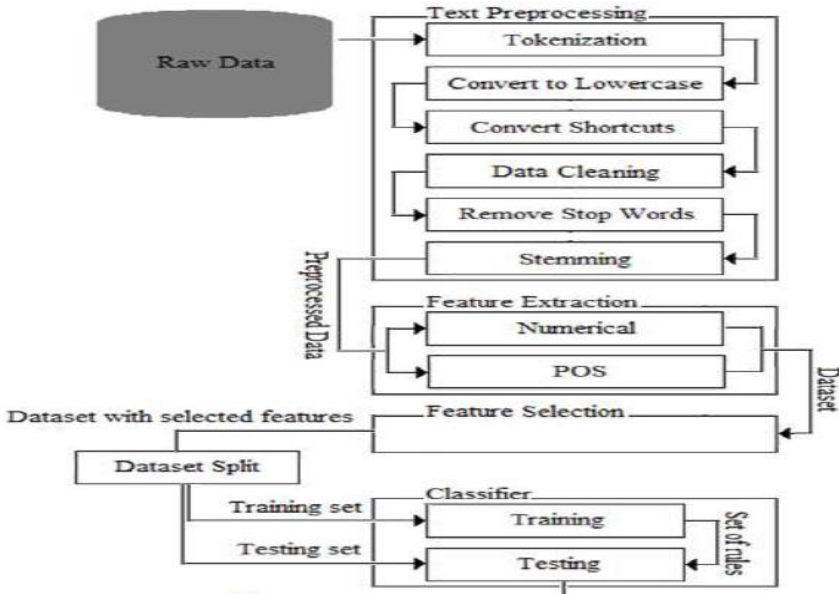
يعتبر نظام تحليل المشاعر نظاماً أوتوماتيكياً لتحديد قطبية النص المدخل. حيث يعتمد على تقنيات التعلم الآلي ويمر بعدة خطوات: الخطوة الأولى هي جمع البيانات يليها معالجة النص بهدف التخلص من الضجيج في النص باستخدام مجموعة من العمليات كالتقطيع، حذف كلمات التوقف، التجذيع (إعادة الكلمة لجذرها). فيما بعد تأتي خطوة استخراج المميزات من البيانات، ومن ثم اختيار أكثرها فائدة من المجموعة الكلية، وهذا ما يوضحه الشكل(4). فيما يلي سنتحدث عن الخطوات السابقة بالتفصيل: [5]

- اختيار البيانات Data Selection: وهي المرحلة الأولى من أي نظام تصنيف، بهدف اختيار البيانات الأنسب لهذه المهمة. قمنا باختيار مجموعتي بيانات في هذا البحث.
- معالجة البيانات Text processing: وهي المرحلة الأهم في أي نظام تصنيف، وتأتي أهميتها لكونها تقوم بفلتر النص المدخل وذلك عن طريق حذف الكلمات غير المرغوبة وتحويل الكلمات إلى تمثيل مناسب.

تغطي هذه العملية مجموعة من الخطوات بهدف المعالجة المسبقة للبيانات:

- التقطيع Tokenization: وهي عملية تقسيم النص المدخل إلى أجزاء أصغر كالكلمات أو العبارات وتدعى هذه العناصر بالرموز Tokens. وقد نالت عملية التقطيع أهميتها من الحاجة للتعامل مع كل كلمة بمفردها كدخل. تتم هذه الخطوة بمسح النص المدخل وحفظ كل جزء منفصل من النص كرمز (يتم الفصل من خلال الفراغات).

- تنظيف البيانات Data Cleaning: وهي عملية إزالة الضجيج من النص المدخل باستخدام الخطوات التالية:



الشكل-4- : بنية نظام تحليل المشاعر

1- التحويل للأحرف الصغيرة: الحصول على شكل واحد للنص وهذا ما يسهل التعامل مع الكلمات، تكمن أهمية هذه الخطوة لأنه بدونها يتم اعتبار الكلمات المتشابهة ذات الأشكال المختلفة للحرف على أنها كلمات مختلفة وبالتالي تسبب مشاكل للنظام عند حاجته للعمل على ذاكرة أو سرعة محددة.

- 2- تحويل الاختصارات: يتم تحويل كافة الاختصارات إلى كلماتها الأصلية، وهذا ما يقلل عدد الكلمات التي سيتعامل معها النظام.
- 3- إزالة الروابط: يتم إزالتها من النص لأنها جزء غير مهم لعملية التصنيف، ويتم حذفها من خلال فحص كل الرموز وحذف أي رمز يحوي URL .
- 4- حذف الرموز التعبيرية: وهي عبارة عن صور رقمية تستخدم في الشبكات الاجتماعية، عندما يدخل النص إلى النظام يتم تحويل أي رمز تعبيري إلى ثلاث علامات استفهام؟؟؟ وبالتالي تصبح عملية الحذف أسهل عن طريق إزالة أي رمز يتألف من ثلاث إشارات استفهام متتالية.
- 5- حذف إشارة (/) بين أي كلمتين: يتم البحث عن هذه الإشارة واستبدالها بفرغ في أي رمز من النص المدخل.
- 6- حذف الأقواس: يتم حذف الأقواس لأنها غير مهمة في عملية التحليل الحالية، حيث يتم فحص كل الرموز المدخلة وحذف أي قوس بداية أو نهاية.
- 7- حذف الأرقام: تعد الأرقام غير مهمة في مسألة تحليل المشاعر.
- 8- حذف إشارة Mention: هناك أداة في الشبكات الاجتماعية تستخدم لإخبار المستخدمين عن تعليق أو منشور معين من خلال ذكر اسمه باستخدام الإشارة @ (أي ذكر حسابه). وتعتبر حسابات المستخدمين وإشارة @ غير مهمة في عملية تحليل المشاعر وبالتالي يتم حذفها.
- 9- حذف إشارة الهاشتاغ: يعد الهاشتاغ أداة في الشبكات الاجتماعية تمثل كل المنشورات التي تستخدم #، وبما أن علامة الهاشتاغ غير مهمة في عملية تحليل المشاعر يتم حذفها ولكن نحافظ على كلمة الهاشتاغ لأنها من الممكن أن تحوي معلومات مفيدة حول قطبية النص.
- حذف كلمات التوقف: وهي الكلمات التي تظهر بشكل متكرر في النص ولكن لا تحوي أي معنى ويقتصر استخدامها في الجملة لربط الكلمات فقط.
- إعادة الكلمات إلى جذورها Word Stemming: وهي عملية تقييس لغوي تهدف لتحويل مختلف أشكال الكلمة إلى شكل شائع وحيد.

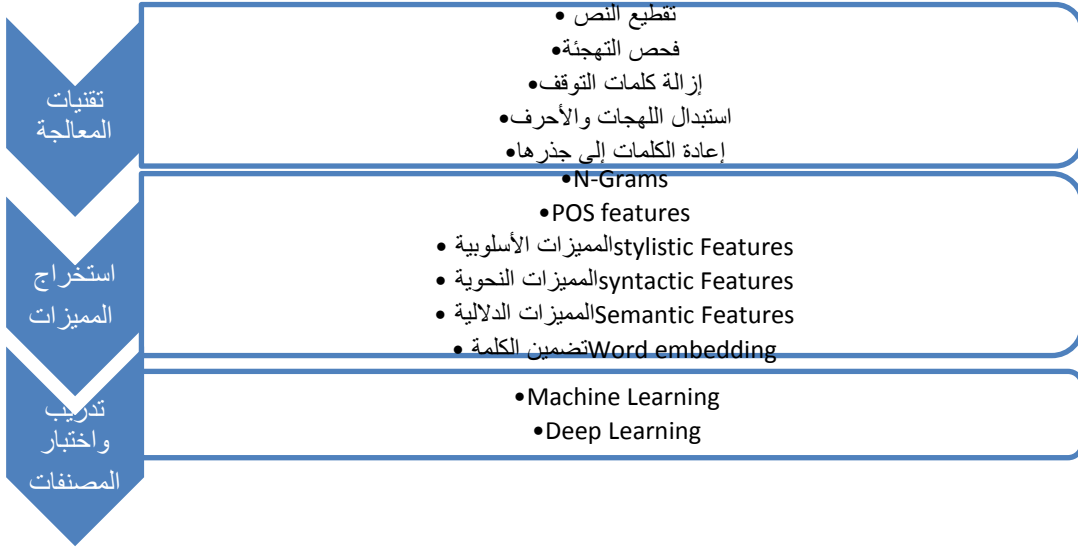
- استخراج المميزات: تعد مسألة اختيار المميزات أحد المهام الحرجة في مجال تحليل المشاعر، إذ أنّ اختيار المميزات الصحيحة يحدد الأداء الكلي لعملية التصنيف [6]. فيما يلي سنشير إلى أكثر المميزات استخداماً في هذا المجال:
 - N-grams: وهو متتالية من الكلمات المستخرجة من النص. أكثرها استخداماً unigrams والتي تحوي كلمة واحدة، bigrams والتي تحوي كلمتين متتاليتين، trigrams والتي تحوي ثلاث كلمات متتالية.
 - TF-IDF (term frequency-inverse document frequency): وهو مقياس إحصائي يقيّم مقدار ارتباط الكلمة بالمستند في مجموعة من المستندات. حيث يتم إسناد الأوزان العليا للكلمات ذات التردد الأعلى في مختلف المستندات.

$$w_{x,y} = tf_{x,y} \log \left(\frac{N}{df_x} \right)$$

حيث أن w هو وزن الكلمة x في المستند y و tf هو تكرار الكلمة x في المستند y ، N هو عدد المستندات في المجموعة و df هو عدد المستندات التي تحوي الكلمة x . تكرار الكلمة للمستند ينبغي أن يتم تقييسه من خلال قسمته على طول المستند.

- أجزاء الكلام (POS) part of speech: وهي عملية تحديد الكلمات في النص بالاعتماد على طبيعتهم وعلاقاتهم مع الكلمات المجاورة والمرتبطة في ذلك النص. عندما يكون النص مكتوباً باللغة الانكليزية يتم إسقاط كل كلمة إلى ثمانية فئات نحوية: الأفعال، الأسماء، الضمائر، الظروف، الصفات، حروف الجر، كلمات الربط كحروف العطف مثلاً، وصيغ التعجب. تتمتع اللغة الإنكليزية بغناها بالأدوات المخصصة للتقطيع الخاصة بتويتر -Twitter specific POS taggers ، أما بالنسبة للغة العربية فإن معظم هذه الأدوات مخصصة للغة الفصحى مع بعض الأعمال التمهيدية لهجة المصرية.

- الميزات الأسلوبية *stylistic features*: تهدف هذه الميزات إلى التحقق من وجود مؤشرات معينة للمشاعر في النص، مثل الرموز الإيجابية والسلبية ومقياس الغنى ببعض المفردات وتكرار محارف خاصة. تشمل المميزات الأسلوبية أيضاً فحص علامات الاستفهام والتعجب.
 - الميزات النحوية *Syntactic features*: هي نماذج عبارات تشير إلى المشاعر مثل الأسماء التي تليها صفة سلبية. على سبيل المثال عبارة "يوم جيد". يستخدم عادةً لاستخراج مثل هذه الميزات *POS*، *n-grams*، وحققية الكلمات *BOW*. أو تُستخدم الأفعال المتعدية واللازمة.
 - الميزات الدلالية *Semantic features*: تمثل الميزات الدلالية الاتجاه الدلالي للنص. من أجل قطبية معينة، تقيس هذه السمات ارتباط مجموعة من الكيانات من خلال مفاهيم الكيانات المختلفة.
 - ميزات المعجم *Lexicon features*: تشتق هذه المميزات من قاموس المشاعر، مثل معدل المشاعر. في حين أن هنالك العديد من المعاجم للغة الإنكليزية، إلا أن اللغة العربية تمتلك القليل من المعاجم والتي تم إنشاؤها تلقائياً من وسائل التواصل الاجتماعي أو ترجمتها من المعاجم المكتوبة باللغة الإنكليزية.
- يوضح الشكل (5) خطوات تحليل المشاعر باستخدام تقنيات التعلم الآلي من تقنيات المعالجة، إلى تقنيات اختيار المميزات وصولاً إلى تدريب واختبار المصنفات.



الشكل -5-: الطرائق المعتمدة على تقنيات التعلم الآلي لتحليل المشاعر باللغة العربية.

5. مصادر المشاعر باللغة العربية:

1- مجموعات المفردات corpus : تعد هذه المجموعات أساسية لتدريب نظم تصنيف المشاعر، حيث تحوي عدداً هائلاً من التعابير على شكل كلمات، عبارات، جمل.

بذل الباحثون جهد كبير لتطوير مصادر للغة العربية بهدف تحسين دقة عملية تحليل المشاعر، سنذكر بعض الأعمال التي اعتمدت على مجموعات المفردات المتاحة والتي سيتم تقييمها تبعاً لعدة خصائص منها: الكمية، النوعية، تغطيتها لأكثر من لهجة، توفره.

قدم الباحثون [7] ARSENTD-LEV وهو عبارة عن مجموعة مشاعر باللغة العربية تتألف من 4K تغريدة باللهجة الأردنية، اللبنانية، الفلسطينية والسورية. يتم اختيار الشعور الكلي للتغريدة (سلبى جداً، سلبى، محايد، إيجابي، إيجابي جداً).

قدم الباحثون [8] أكبر مجموعة بيانات تضم مراجعات لكتب باللغة العربية BRAD خاصة بتحليل المشاعر، حيث تضم 510K مراجعة بعدة لهجات أكثرها شيوعاً اللهجة المصرية.

قدم الباحثون [9] أكبر مجموعة بيانات تضم مراجعات لفنادق باللغة العربية HARD متاحة بالمجان للباحثين حيث تضم حوالي 370000 مراجعة باللغة العربية الفصحى إضافةً إلى بعض اللهجات، وتتنوع هذه المراجعات بين السلبية والإيجابية.

2- القواميس: إن توفر القواميس يعد شيئاً أساسياً في تطوير نظم تحليل المشاعر، وذلك لأنها توفر الوقت والجهد. سنستعرض بعض القواميس العربية وأهم خصائصها.

لا بد لنا أن نذكر أنّ الباحثين [10] حولوا قاموس sentiWordNet (SWN) إلى اللغة العربية، حيث يعتبر SWN قاموساً متاحاً بشكل عام للباحثين يعتمد على كلمات مكتوبة باللغة الانكليزية. يتم إعطاء قيم رقمية سلبية أو إيجابية كشعور لكل كلمة من المفردات وتم اعتماد نفس الأسلوب في القاموس الناتج للغة العربية، الذي يحوي فقط 10K كلمة وليس متاحاً للعموم.

طور الباحثون [11] قاموس مشاعر ثنائي اللغة يدعى BiSaL ، حيث بنوا قاموسين SentiLEn للغة الانكليزية و SentiLAR للعربية. استخرجت كلمات المشاعر من 2000 منشور في منتدى العقاب مرتبطة بالتهديدات الأمنية، النزاعات، والتطرف، فيما بعد تم الاستعانة بثلاث خبراء باللغة العربية لإعطاء القطبية للمصطلحات المستخرجة (0،1)،- (1). على أي حال لم يتحقق الباحثون من القاموس الناتج باستخدامه في تطبيق حقيقي.

6. الدراسات السابقة:

1- دراسات باللغة الانكليزية:

قام كل من P. Bansal و R. Kaur [12] بتصنيف النصوص إلى سلبية أو إيجابية، قدموا طريقة هجينة باستخدام خوارزميات تحسين ذكية تدعى Swarm مع المصنفات . يتم معالجة كل تغريدة من خلال عدة مراحل : عملية التقطيع، إزالة كلمات التوقف، إعادة الكلمة لأصلها stemming. ثم يتم تشكيل شعاع المميزات من خلال حساب TF-IDF و practical Swarm Optimization قبل عملية تصنيف النصوص. تم استخدام كل من المصنف البايزياني و SVM من أجل تصنيف التغريدات، وقد أظهرت

النتائج أن استخدام عملية التحسين مع التصنيف أعطت نتائج أفضل من استخدام المصنفات لوحدها.

قدم A. Ortigosa وآخرون [13] طريقة جديدة لتحليل المشاعر في فيسبوك، حيث تقوم باستخراج معلومات حول قطبية مشاعر المستخدمين (إيجابي، سلبي، محايد) ونمذجة قطبية مشاعرهم الاعتيادية. استُخدم تطبيق خاص بالفيسبوك يدعى SentBuk مهمته استعادة الرسائل المكتوبة من قبل المستخدم وتصنيفها، وتدعم عملية اكتشاف التغيرات العاطفية.

إن عملية التصنيف في SentBuk تعتمد طريقة هجينة حيث تدمج تقنيات التصنيف المتعمدة على القواميس والتصنيف الآلي. أظهرت النتائج إمكانية تحليل المشاعر في فيسبوك بهذه الطريقة وبدقة عالية %83.27. يمكن أن تستخدم هذه النتائج من قبل الأنظمة التعليمية لمعرفة مشاعر الطلاب تجاه مادة معينة وبذلك تقدم تلك المعلومات للمعلمين وخاصة في حالة التعليم عن بعد.

اقترح K. Gull وآخرون [14] طريقة لكشف المشاعر من بيانات مأخوذة من تويتر، حيث يتم معالجتها وإعطاء وزن لكل كلمة اعتماداً على POS ومن ثم حساب النتيجة النهائية واختبار المجال التي تنتمي إليه لتصنيفها. تمت مقارنة نتائج الطريقة المقترحة مع نتائج تطبيق المصنف البايزياني (يعتمد مبدأ الاحتمالات وبالتالي إذا ظهرت كلمة ولم تكن موجودة في مجموعة بيانات التدريب سيقوم بتجاهلها) باستخدام الأداة WEKA على نفس مجموعة البيانات، وقد أظهرت النتائج تفوق تقنية NLP على NB لأن الأخيرة تحتاج بيانات تجريب كثيرة والتي بدورها تتطلب ذاكرة أكبر. يمكن تطوير النظام المقترح من خلال استخراج التعليقات للزيائن من مواقع متعددة وتحليلها باستخدام خوارزميات مختلفة لمعرفة وجهة نظرهم بالمنتجات أو الأفراد، أيضاً يمكن تحسين الدقة من خلال حذف كلمات التوقف من التغريدات المُجمعة. نستطيع أن نعمم النموذج المقترح ليقبل الصوت والصورة كدخل له واستخراج النص منهم لتحليله، أو معالجة البيانات الضخمة باستخدام خوارزمية MapReduce التي يمكن أن تضاف للمعالجة بدون الانترنت.

اقترح الباحثون [15] طريقة لتحسين دقة التوقع في الأنظمة الناصحة اعتماداً على المشاعر. في البداية قدموا آلية لحساب شعور كل مستخدم تجاه المنتج، ثم أخذوا سمعة المنتج بعين الاعتبار والتي يمكن استنتاجها من قبل توزيعات عاطفية لمجموعات المستخدمين التي تعكس تقييم العملاء الشامل. أخيراً دمجوا ثلاثة عوامل: تشابه مشاعر المستخدمين، تأثير المشاعر بين الأشخاص، وتشابه سمعة المنتجات في نظام التوصية لجعل التنبؤ بالتقييم أدق.

قدم الباحثون [16] نظاماً يعتمد على خوارزميات التنقيب في البيانات لتصنيف مراجعات المستخدمين، حيث دمجوا المصنف البايزياني والشبكات العصبونية للقيام بهذه المهمة وتم الوصول إلى دقة أعلى بنسبة 80.65% من خلال هذه العملية وذلك باستخدام unigram للحصول على المميزات. يمكن تطبيق هذا العمل على عناوين مراجعات الأفلام لتطبيقات التنقيب في الآراء حيث يستخدم العنقود لحل مشكلة نقص الآراء.

اقترح الباحثون [17] طريقة جديدة لدمج التعلم العميق مع النماذج التي تعتمد على الميزات باستخدام شبكة MLP لتحليل المشاعر المالية. لذلك طوروا نماذج عديدة للتعلم العميق CNN LSTM GRU ، التي تم تدريبها باستخدام مجموعة من القواميس. أظهرت النتائج أن النظام المقترح حقق تفوقاً على الأنظمة الموجودة عند اختباره على قاعدتي بيانات مأخوذة من (المدونات الصغيرة وعناوين الأخبار).

اقترح كل من N. Mittal وآخرون [18] طريقة لتصنيف التغريدات في تويتر إلى صنفين (إيجابي أو سلبي)، حيث اعتمدوا على نموذج يتكون من ثلاث مراحل. تعتمد المرحلة الأولى بالتصنيف على الرموز التعبيرية emoticons ، وفي حال عدم وجودها يتم تصنيف التغريدات تبعاً لقائمة من الكلمات المعرفة مسبقاً ذات مشاعر سلبية أو ايجابية، أخيراً يتم إعطاء أوزان للرموز token اعتماداً على القواميس وطريقة تعتمد على الاحتمالات (احتمال أن الكلمة تنتمي لصف إيجابي هو حاصل قسمة عدد المرات التي تظهر فيها الكلمة في صف إيجابي على العدد الكلي لمرات ظهور هذه الكلمة، وبنفس الأسلوب تحسب قيمة القطبية السلبية). درس هذا البحث أيضاً تأثير أدوات الربط في

مرحلة المعالجة الأولية، أظهرت النتائج العملية فعالية الطريقة الهجينة التي تم اعتمادها في تصنيف التغريدات. حيث اعتمدت الطريقة الهجينة على الطريقتين السابقتين معاً لإعطاء القطبية الموزونة للكلمة.

اقترح الباحثون [19] تقنية لإنشاء قاموس مشاعر يعتمد على مجال محدد، حيث يتم دمج قاموس عام مع قاموس معتمد على المجال لتحليل المشاعر. تم تحقيق وتقييم هذه التقنية على تغريدات مأخوذة من تويتر لإظهار الفائدة من عملية دمج القاموسين، ومقارنة الأداء مع مصنفات التعلم الآلي التي أثبتت تفوقها، وأخيراً دراسة سلوك التقنية على مجموعات بيانات مختلفة من حيث الحجم.

اقترح الباحثون [20] طريقة هجينة تدمج التعلم بدون إشراف (K-means clustering) وذلك لتجميع التغريدات مع التعلم بإشراف (أشجار القرار، SVM، ..) للقيام بالتصنيف، وذلك لتحسين دقة توقع المشاعر في تويتر. أثبتت هذه الطريقة كفاءتها عند دمج خوارزمية K-means مع أشجار القرار، ويستطيع النموذج المقترح استيعاب كميات كبيرة من بيانات تويتر النصية وكلما كانت البيانات أضخم وأكثر تنوعاً كان أداء النموذج أفضل.

2- دراسات باللغة العربية:

هناك الكثير من الأعمال التي ركزت على اللغات الأوربية على عكس العربية التي شكلت حيزاً صغيراً من الاهتمام وبالتالي هناك القليل من الأعمال التي تتوجه لمعالجة مشاكلها.

-استخدام تقنيات التعلم الآلي فقط:

حلل الباحثون [21] تعليقات الفيسبوك المكتوبة باللغة العربية الفصحى واللهجة المغربية، بهدف اختبار ميزة إضافة تصنيف مجموعات المفردات العربية Arabic corpus تبعاً لنماذجها (لغة فصحى أو لهجات) وذلك قبل عملية تصنيف المشاعر. حيث ارتكزت فكرتهم الأساسية على تكييف عملية المعالجة الأولية للنص تبعاً للفئة اللغوية. على سبيل

المثال استخدم الباحثون الاشتقاق الخفيف للنصوص (إعادة الكلمة لأصلها) light stemming . طبقوا نهجهم مع المصنف البايزياني NB و SVM . سمح هذا التصنيف المكون من خطوتين بتقليل الأخطاء الناتجة عن اشتقاق الكلمات. ومع ذلك، فإن هذا النهج سيكون معقداً في حالة الحجم الكبير ومجموعات البيانات المتعددة اللهجات.

ركز المؤلفون [22] على اللغة العربية الفصحى واللهجة الأردنية. قاموا بتطبيق خوارزميات التعلم الآلي الخاضعة للإشراف على وسائل التواصل الاجتماعي الخاصة بالعرب للمواد العامة والتي تتضمن إما MSA أو اللهجة الأردنية. استخدموا SVM و NB لتقييم تأثير مخططات الوزن المختلفة والاشتقاق وتقنيات n-grams. أظهرت التجارب أن مصنف SVM الذي يستخدم stemmer و TF-IDF للأوزان من خلال bigrams هو أفضل تركيبة، ولاحظ المؤلفون أن هذا المزيج حقق أعلى أداء وتفوق على مصنف NB.

-استخدام تقنيات التعلم العميق فقط:

اقترح الباحثون [23] إطاراً يعتمد خوارزمية التطور التفاضلي differential evolution (DE) لشبكة CNN من أجل تعزيز الأداء. تم استخدام خوارزمية DE للعثور على التكوين الأمثل لكل من بنية CNN وبارامترات الشبكة. تم ضبط خمس بارامترات بواسطة خوارزمية DE، بما في ذلك أحجام مرشح الالتفاف convolution filter ، وعدد الخلايا العصبية في الطبقة المتصلة بالكامل، ووضع التهيئة، ومعدل التسرب dropout. تم تقييم إطار عمل DE-CNN على خمس مجموعات بيانات للمشاعر العربية وحققت دقة أعلى واستهلاكاً أقل للوقت مقارنةً بأحدث الخوارزميات.

اقترح الباحثون [24] نظام ABSA الذي يستخدم LSTM ثنائي الاتجاه Bi-LSTM والحقل العشوائي المشروط (CRF) . أدى دمج Bi-LSTM مع ميزات التضمين على مستوى الحرف إلى تحسين أداء التعبير عن وجهة نظر الجانب بشكل كبير. كانت الدقة الإجمالية التي تم تحقيقها لتحديد قطبية المشاعر 82.7%.

-استخدام القواميس فقط:

قدم الباحثون [25] دراسة استخدمت فقط النهج القائم على المعجم. قاموا بإنشاء معجم من 120 ألف مصطلح باللغة العربية من خلال توسيع معجم سابق [9] ثم قاموا بتقييم جودة المعجم فاستخدموا مجموعة بيانات من 300 تغريدة لكل فئة إيجابية وسلبية ومحايدة. بعد ذلك أزالوا تكرار حروف العلة، وصححوا الأخطاء الإملائية. حققوا دقة بلغت 87% وذلك اعتماداً على القاموس الخاص بهم.

-استخدام طرق هجينة:

اقترح الباحثون [26] طريقة هجينة لتحليل المشاعر باللهجة السعودية فقط. استخدموا مجموعة من الميزات التي تم تصميمها لتكون مستقلة عن اللهجة وتقييمها باستخدام طريقة اختيار ميزة رجعية feature-backward. ثم تم تطوير ثلاث نماذج تصنيف لتحليل المشاعر السعودية على تويتر ومقارنتها على النحو التالي: طريقتان (إيجابية وسلبية)، ثلاث طرق (إيجابية، وسلبية، ومحايدة)، وأربع طرق (إيجابية، وسلبية، ومحايدة، ومختلطة). حقق الباحثون في تأثير مجموعات الميزات المقترحة على جميع نماذج التصنيف المطورة، فوجدوا أن الميزات المستخرجة من معجم AraSenTi كانت موجودة في أفضل مجموعات الميزات لجميع طرق التصنيف المجرية.

قدم الباحثون [27] HILATSA وهو نهج التعلم الإضافي الهجين ل ASA، حيث كانت الفكرة الرئيسية هي تقديم أداة لتحليل المشاعر للتغريدات العربية القادرة على التأقلم مع التغيير السريع للكلمات واستخداماتها. قام الباحثون ببناء بعض القواميس الأساسية مثل قاموس الكلمات، قاموس الاصطلاحات، قاموس الرموز، وقاموس الكلمات المكثفة للمعنى. استخدم الباحثون خوارزمية المسافة levenshtein للتعامل مع أشكال الكلمات المختلفة والأخطاء الإملائية. أما بالنسبة للتصنيف، استخدموا خوارزميتين للتعلم الآلي (SVM,LR) ونموذج التعلم العميق (RNN). أظهرت التجارب نتائج واعدة من خلال إظهار الدقة العالية والأداء الموثوق في البيئة الديناميكية.

7. القسم العملي:

هناك العديد من المشاكل التي واجهت الباحثين عند تحليل المشاعر باللغة العربية، لذلك سنوضح في هذا القسم كيف يمكن للمعالجة الأولية تحسين نتائج تحليل المشاعر.

1- مجموعة البيانات: سنستخدم خلال هذا البحث مجموعتي بيانات:

- المجموعة الأولى: [28] وهي مجموعة بيانات كبيرة لمراجعات باللغة العربية (LABR)، تتضمن حوالي 63000 مراجعة لكتب جُمعت من موقع goodreads.com . يتم تقييم كل كتاب على هذا الموقع ضمن المجال من 1 إلى 5 ومن ثم يتم تحويلها إلى قطبية مشاعر محددة. يتم استخدام مجموعة البيانات هذه لعملية تصنيف المشاعر. تتألف كل مراجعة review من: تقييم المستخدم rating، رقم المراجعة review id، رقم المستخدم user id، رقم الكتاب book id، ونص المراجعة review.

- المجموعة الثانية: [29] وهي مجموعة بيانات باللغة العربية مأخوذة من مواقع التواصل الاجتماعي تتضمن حوالي 1200 سجل، ومقسمة إلى ثلاث فئات (إيجابي، سلبي، أو محايد).

2- عمليات المعالجة الأولية: سيتم تطبيق عمليات المعالجة الأولية على الدخل وذلك على عدة مراحل: التقطيع tokenization، التقييس Normalization، إزالة كلمات التوقف، إعادة الكلمات إلى أصلها Stemming.

بدايةً ستتم عملية التقييس في بحثنا هذا تبعاً لعدة قواعد وهي: حذف إشارة " _ " ، الصوتيات، علامات الترقيم، الأعداد، المحارف الخاصة، والأحرف المكررة. مثلاً سنستبدل كل المحارف (أ، إ، آ) بالحرف (ا) والأحرف (ئ، و) بالحرف (ء).

أما فيما يخص عملية إعادة الكلمات لأصلها Stemming فهي عملية إزالة اللواحق من الكلمة لينتج لدينا الجذر. سنستخدم في هذا البحث ثلاث طرق لإعادة الكلمات إلى

أصلها: الأولى للتجذيع الخفيف (تاشفين tashaphyne) والثانية التجذيع للوصول إلى الجذر (Khoja stemmer)، أما الثالثة فهي للتجذيع الخفيف (Assem's Arabic).

يعيد Khoja الجذر المؤلف من ثلاث محارف للكلمة وأحياناً أربعة أو أكثر، بينما يقوم تاشفين بتجذيع الكلمة، استخراج الجذر، تقطيع الكلمة إلى جميع الحالات الممكنة، تجميع الكلمة، يعطي قائمة مسبقة للزوائد وحروف الزيادة مع إمكانية تعديل هذه القوائم [30]. وبذلك نلاحظ أن تاشفين يقوم بنوعي التجذير معاً. أما فيما يخص المجذر الثالث فهو للتجذيع الخفيف حيث يعمل على إزالة اللاحقة والبادئة من الكلمات، ويتميز بدعمه للعديد من اللغات وبسرعته مقارنة بغيره.

3- استخراج الميزات: سنعمل على ميزة TF-idf التي تم ذكرها سابقاً.

4- القواميس: الهدف من استخدام القواميس في عملية تصنيف القطبية هو المساعدة في البحث عن كلمة معينة وتحديد فيما إذا كانت سلبية أم إيجابية أم محايدة، سنستخدم في هذه الدراسة قاموسين:

ArSenL - تم بناءه من قبل Badaro وآخرين [31] ، وذلك من خلال دمج SentiWordNet و Arabic WordNet و المحلل SAMA .

MPQA [32] : يعتبر هذا القاموس ترجمة لقاموس MPQ للذاتية subjectivity والمطور في جامعة Pittsburgh إلى اللغة العربية. يحوي هذا القاموس 1406 كلمة عربية إيجابية و 2361 كلمة عربية سلبية.

5- سنقوم في هذا البحث بحساب قيمة الشعور الكلي للمستند بشكل كامل أي تصنيف الشعور فيه إلى سلبي، إيجابي، محايد. يمكن تقسيم عملية تحليل المشاعر على مستوى العبارة إلى مهمتين الأولى هي التركيز على عبارات المستند من خلال علامات الترقيم والأحرف الكبيرة لمعرفة من أين تبدأ العبارة وبما أن اللغة العربية لا تحوي أحرف كبيرة إذا سيتم التركيز على علامات الترقيم (". ، " ، " ، " ، " ، "؟"). أما المهمة الثانية فهي إيجاد الشعور لكل عبارة بهدف حساب الشعور الكلي للمستند.

هناك العديد من الطرق لحساب قيمة الشعور الكلي للمستند من خلال حساب الشعور لكل عبارة، سنقدم في هذا البحث عدة طرق ونقارن نتائج كل طريقة على حدى:

الطريقة الأولى: وهي الطريقة التقليدية التي تقوم بإعطاء +1 من أجل كل كلمة إيجابية و -1 من أجل كل كلمة سلبية، وفي النهاية يتم جمع هذه القيم بهدف الحصول على قيمة الشعور الكلي.

الطريقة الثانية: سنأخذ بعين الاعتبار فقط العبارة الأولى والأخيرة في المستند لحساب القطبية وسيتم تجاهل باقي العبارات.

الطريقة الثالثة: سيتم تجاهل العبارة الأولى والأخيرة واستخدام العبارات الوسطى فقط.

6- النفي والتركيز:

لدينا قائمة من الكلمات المستخدمة لعملية النفي، فعند اكتشاف أي منها يتم فحص الكلمة التي تليها فيما إذا كانت سلبية أم إيجابية المشاعر يتم عكس قطبيتها أما إذا كانت حيادية يتم فحص الكلمة التي تليها، وبذلك في حالة النفي يتم فحص كلمتين متاليتين على الأكثر. أما في حالة اكتشاف كلمة من قائمة الكلمات التي تستخدم بهدف التركيز يتم فحص الكلمتين السابقتين وإعطائهما وزناً مضاعفاً.

7- استخدام نماذج التصنيف:

في هذه المرحلة سيتم بناء نماذج التصنيف اعتماداً على الخوارزميات الأكثر انتشاراً وهي المصنف البايزياني NB، SVM، خوارزمية الجار الأقرب KNN. تم تدريب واختبار النموذج باستخدام بايثون، ونقسم كل مجموعة بيانات إلى مجموعات تدريب واختبار بنسبة 70:30، ثم ضبط المصنفات على قيمها الافتراضية.

8- التجربة والنتائج:

الهدف الأساسي من بحثنا هذا هو قياس مدى تأثير استخدام أنواع التجذيع لحساب قطبية المشاعر، حيث تم تطبيق التجارب على مجموعتي بيانات وباستخدام قاموسين كما ذكر سابقاً.

سنستخدم أربعة معايير شائعة لقياس دقة التصنيف وهي:

(1) Accuracy: يقيس هذا المعيار كم عينة تم توقعها بشكل صحيح نسبةً

إلى عدد التوقعات الكلي ويُعطى وفق الصيغة التالية:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FN + FP + TN}$$

(2) Precision: يقيس هذا المعيار نسبة العينات التي تم تصنيفها بشكل

صحيح إلى العدد الكلي للعينات التي تم تصنيفها بشكل صحيح والعينات

التي تم تصنيفها بشكل خاطئ misclassified، ويُعطى وفق الصيغة

التالية:

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

(3) Recall: يقيس هذا المعيار نسبة العينات التي تم تصنيفها بشكل صحيح

إلى العينات التي تم تصنيفها بشكل صحيح والعينات التي لم يتم

تصنيفها، ويُعطى وفق الصيغة التالية:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

(4) F-Measure: دمج للمعيارين السابقين Precision و Recall، حيث

أنه كلما كانت قيمته أكبر كان الأداء أفضل، ويُعطى وفق الصيغة

التالية:

$$F - Measure = 2 * \left(\frac{Precision * Recall}{Precision + Recall} \right)$$

الجدول(1): الدقة باستخدام مختلف ال Stemmer .

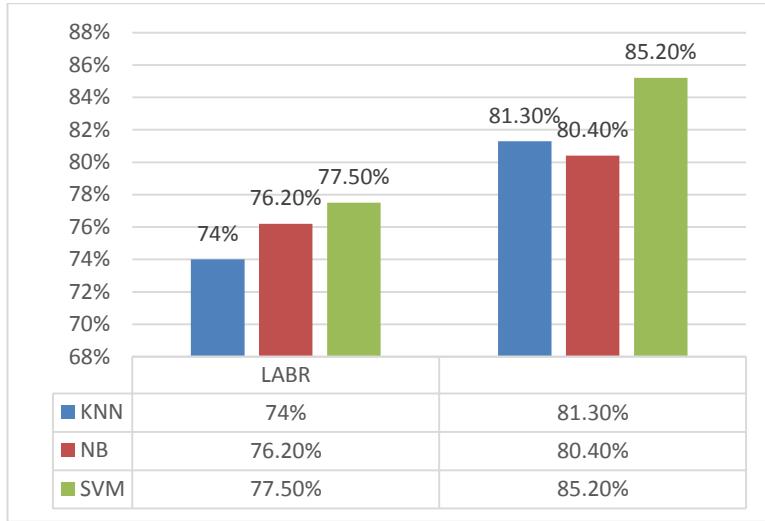
القاموس	الطريقة	LABR			Dataset2		
		Tashaphyne	Assem	Khoja	Tashaphyne	Assem	Khoja
ArSenL	1	58.1%	58%	57.3%	46.6%	43.9%	42.5%
	2	63%	59.4%	60.2%	77.2%	70.9%	64.1%
	3	59.1%	57.2%	56%	64.3%	62.4%	63%
MPQA	1	55.1%	54%	55%	59.4%	52.5%	49.3%
	2	61.7%	59.1%	58.4%	55%	53.2%	50.1%
	3	56.5%	55.2%	57.2%	61.2%	68.1%	63.2%

من الجدول(1) نلاحظ أن دقة المجذع الخفيف (تاشفن tashaphyne) أعلى من دقة طريقة التجذيع للوصول إلى الجذر. وبالتالي فإن تاشفن يحسن النتائج ، ويعزى ذلك كون معظم الكلمات في اللغة العربية تملك نفس الجذر مع اختلاف كبير بالمعنى أو الشعور. اعتماداً على ماسبق سنستخدم تاشفين فقط في عملية التجذيع أثناء معالجة البيانات، وسنقارن دقة خوارزميات التصنيف الثلاثة التي تم ذكرها سابقاً كما نلاحظ في الجدول(2).

الجدول(2): مقارنة الدقة للخوارزميات الثلاثة.

DataSet	SVM	NB	KNN
LABR	77.5%	76.2%	74%
Dataset2	85.2%	80.4%	81.3%

نلاحظ من الشكل (6) أن خوارزمية SVM الأفضل من حيث الدقة بين الخوارزميات.



الشكل-6- : مقارنة الدقة للخوارزميات الثلاثة.

8. الاستنتاجات والتوصيات:

قدمنا في هذا البحث دراسة مرجعية عن تحليل المشاعر باللغة العربية، إضافةً إلى تطبيق عدد من المجذعات stemmer على مجموعتي البيانات المستخدمة لنجد أن دقة المجذع الخفيف (تاشفن tashaphyne) أعلى من دقة Khoja والمجذع الخفيف (Assem's Arabic).

فيما بعد اعتمادنا على نتيجة ماسبق وطبقنا ثلاث خوارزميات وهي المصنف البايزياني و SVM و KNN لنجد أن خوارزمية SVM هي الأفضل بالنسبة لمجموعة البيانات الأولى والثانية.

هناك مجموعة من الرؤى المستقبلية نتمنى تطويرها وهي:

- تم التصنيف في بحثنا هذا إلى ثلاث فئات سلبية، إيجابي، أو محايد. ولكن هناك الكثير من الآراء التي تحوي مشاعراً متناقضةً. فمن الممكن أن يعبر الشخص عن إعجابه بمنتج ما ولكنه غير معجب بإحدى ميزاته، أو أن تكون المشاعر مقسمة لأكثر من ثلاث صفوف (غضب، كره، حب، تفاؤل، الخ). لذلك يجب تطوير البحث ليطمأنى مع الحالات المختلفة.

- اعتمدنا في بحثنا هذا على طريقة واحدة لاستخراج الميزات، لذلك يمكن لنا في البحث القادم أن نقارن بين طرق كثيرة لاستخراج الميزات للوصول للطريقة ذات الدقة الأفضل.

- اتجهت الأبحاث الحديثة إلى معالجة مشكلة السخرية الكامنة في آراء المستخدمين، وهذا ما سنتوجه إليه في أبحاثنا القادمة.

9. المراجع:

- [1] Bing Liu. Sentiment Analysis and Opinion Mining, Morgan & Claypool Publishers, May 2012.
- [2] Kaur, H. and Mangat, V., 2017, February. A survey of sentiment analysis techniques. In 2017 International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud)(I-SMAC) (pp. 921-925). IEEE.
- [3] Zhang, L., Wang, S. and Liu, B., 2018. Deep learning for sentiment analysis: A survey. Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, 8(4), p.e1253.
- [4] Joshi, M., Prajapati, P., Shaikh, A. and Vala, V., 2017. A survey on Sentiment Analysis. International Journal of Computer Applications, 163(6), pp.34-38.
- [5] Joshi A, Tripathi V, Patel K, Bhattacharyya P, and Carman M. Are word embedding-based features useful for sarcasm detection? In Proceedings of the Conference on Empirical Methods on Natural Language Processing , 2016.
- [6] Rui Xia, Chengqing Zong, and Shoushan Li. Ensemble of feature sets and classification algorithms for sentiment classification.
- [7] Ramy Baly, Alaa Khaddaj, Hazem Hajj, Wassim El-Hajj, and Khaled Bashir Shaban. Arsentd-lev: A multi-topic corpus for target-based sentiment analysis in arabic Levantine tweets. arXiv preprint arXiv:1906.01830, 2019.
- [8] Ashraf Elnagar and Omar Einea. Brad 1.0: Book reviews in arabic dataset. In 2016 IEEE/ACS 13th International Conference of Computer Systems and Applications (AICCSA), pages 1–8. IEEE, 2016.
- [9] Ashraf Elnagar, Yasmin S Khalifa, and Anas Einea. Hotel arabic-reviews dataset construction for sentiment analysis applications. In Intelligent Natural Language Processing: Trends and Applications, pages 35–52. Springer, 2018.

- [10] Samah Alhazmi, William Black, and John McNaught. Arabic sentiwordnet in relation to sentiwordnet 3.0. 2180, 1266(4):1, 2013.
- [11] Khalid Al-Rowaily, Muhammad Abulaish, Nur Al-Hasan Haldar, and Majed Al-Rubaian. Bisal—a bilingual sentiment analysis lexicon to analyze dark web forums for cyber security. *Digital Investigation*, 14:53–62, 2015.
- [12] Bansal, P. and Kaur, R., 2018. Twitter sentiment analysis using machine learning and optimization techniques. *International Journal of Computer Applications*, 179(19), pp.5-8.
- [13] Ortigosa, A., Martín, J.M. and Carro, R.M., 2014. Sentiment analysis in Facebook and its application to e-learning. *Computers in human behavior*, 31, pp.527-541.
- [14] Gull, K., Padhye, S. and Jain, D.S., 2017. A comparative analysis of lexical/NLP method with WEKA's bayes classifier. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication (IJRITCC)*, 5(2), pp.221-227.
- [15] Lei, X., Qian, X. and Zhao, G., 2016. Rating prediction based on social sentiment from textual reviews. *IEEE transactions on multimedia*, 18(9).
- [16] Dhande, L.L. and Patnaik, G.K., 2014. Analyzing sentiment of movie review data using Naive Bayes neural classifier. *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science (IJETTCS)*, 3(4), pp.313-320.
- [17] Akhtar, M.S., Kumar, A., Ghosal, D., Ekbal, A. and Bhattacharyya, P., 2017, September. A multilayer perceptron based ensemble technique for fine-grained financial sentiment analysis.
- [18] Mittal, N., Agarwal, B., Agarwal, S., Agarwal, S. and Gupta, P., 2013. A hybrid approach for twitter sentiment analysis.
- [19] Muhammad, A., Wiratunga, N., Lothian, R. and Glassey, R., 2013. Domain-Based Lexicon Enhancement for Sentiment Analysis.
- [2] Soni, R. and Mathai, K.J., 2015. Improved Twitter sentiment prediction through cluster-then-predict model. *arXiv preprint arXiv:1509.02437*.
- [21] Mohcine Maghfour and Abdeljalil Elouardighi. Standard and dialectal arabic text classification for sentiment analysis. In

International Conference on Model and Data Engineering, pages 282–291. Springer, 2018.

[22] Khaled Mohammad Alomari, Hatem M ElSherif, and Khaled Shaalan. Arabic tweets sentimental analysis using machine learning. In International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems, pages 602–610. Springer, 2017.

[23] Abdelghani Dahou, Mohamed Abd Elaziz, Junwei Zhou, and Shengwu Xiong. Arabic sentiment classification using convolutional neural network and differential evolution algorithm, 2019.

[24] Mohammad Al-Smadi, Bashar Talafha, Mahmoud Al-Ayyoub, and Yaser Jararweh. Using long short-term memory deep neural networks for aspect-based sentiment analysis of Arabic reviews. International Journal of Machine Learning and Cybernetics, 10(8):2163–2175, 2019.

[25] Mahmoud Al-Ayyoub, Safa Bani Essa, and Izzat Alsmadi. Lexicon-based sentiment analysis of arabic tweets. International Journal of Social Network Mining, 2(2):101–114, 2015.

[26] Nora Al-Twairesh, Hend Al-Khalifa, AbdulMalik Alsalman, and Yousef Al-Ohali. Sentiment analysis of arabic tweets: Feature engineering and a hybrid approach. arXiv preprint arXiv:1805.08533, 2018.

[27] Kariman Elshakankery and Mona F Ahmed. Hilatsa: A hybrid incremental learning approach for arabic tweets sentiment analysis, 2019.

[28] <http://www.mohamedaly.info/datasets/labr>

[29] http://saifmohammad.com/WebDocs/Arabic-SentimntCorpora/bbn_shared-2.xls

[30] T. Zerrouki, Tashaphyne, Arabic light stemmer, <https://pypi.python.org/pypi/Tashaphyne/0.2>

[31] Gilbert Badaro, Ramy Baly, Hazem Hajj, Nizar Habash, and Wassim El-Hajj. A large scale arabic sentiment lexicon for arabic opinion mining, 2014.

[32] <http://mpqa.cs.pitt.edu/lexicons/>
<http://nlp4arabic.blogspot.com/2012/05/arabic-mpqa-subjective-lexicon-arabic.html>

استعراض لأهم تقنيات تضمين الكلمات في معالجة

اللغة الطبيعية

طالبة الماجستير لما براك

قسم هندسة البرمجيات ونظم المعلومات - كلية الهندسة المعلوماتية - جامعة البعث

إشراف: د. يسر الأتاسي د. سهيل حمود

الملخص

تعد معالجة اللغات الطبيعية مهمة لأنها تساعد في حل الغموض في اللغة وتضيف بنية رقمية مفيدة إلى البيانات للعديد من التطبيقات النهائية، مثل التعرف على الكلام أو تحليلات النص.

العديد من خوارزميات التعلم الآلي وجميع بنيات التعلم العميق تقريباً غير قادرة على معالجة السلاسل أو النص العادي في شكلها الأولي. إنها تتطلب أرقاماً كمدخلات لأداء أي نوع من الوظائف، سواء كان ذلك التصنيف أو الانحدار وما إلى ذلك بعبارات عامة. ومع الكم الهائل من البيانات الموجودة في تنسيق النص، من الضروري استخراج المعرفة منه وبناء التطبيقات.

في هذا البحث نوضح مراحل معالجة النص وصولاً إلى طرق تضمين النص الذي يمثل طريقة حديثة لتمثيل الكلمات كمتجهات رقمية ليتم معالجتها من قبل خوارزميات التعلم الآلي، حيث توفر مقدمة موجزة عن المجال ونظرة عامة سريعة على بنى وطرق التعلم العميق وتمثيلات الكلمات السياقية العميقة مثل نموذج التضمين من نماذج اللغة.

الكلمات المفتاحية: خوارزميات تعلم عميق - معالجة اللغة الطبيعية - تضمين الكلمات.

A review of the most important Word Embedding Techniques in Natural Language Processing

Abstract

Natural language processing is important because it helps solve ambiguities in the language and adds a useful numerical structure to data for many end-to-end applications.

Many machine learning algorithms and nearly all deep learning architectures are unable to process strings or plain text in their initial form. It requires numbers as input to perform any kind of job, such as classification, regression, etc. in general terms. With the vast amount of data contained in text format, it is imperative to extract knowledge from it and build applications.

In this research, we explain the stages of text processing down to methods of text embedding that represents a modern way of representing words as digital vectors to be processed by machine learning algorithms, as it introduces the field and a quick overview of deep learning structures such as Embeddings from Language Models (ELMO) Model.

Key words: Deep Learning Algorithm-Natural Language Processing - Word Embedding.

1- مقدمة:

معالجة اللغة الطبيعية (Natural language processing) هي فرع من فروع الذكاء الاصطناعي تساعد أجهزة الحاسب على فهم وتفسير ومعالجة اللغة البشرية. تستمد معالجة اللغات الطبيعية من العديد من التخصصات، بما في ذلك علوم الحاسب واللغويات الحاسوبية، في سعيها لسد الفجوة بين التواصل البشري وفهم الحاسب.

يشمل مجال معالجة اللغة الطبيعية (NLP) مجموعة متنوعة من الموضوعات، والتي تتضمن المعالجة الحسابية وفهم اللغات البشرية. منذ الثمانينيات، اعتمد المجال بشكل متزايد على الحساب المستند إلى البيانات والذي يتضمن الإحصاء والاحتمالات والتعلم الآلي [1]، [2].

على الرغم من أن معالجة اللغة الطبيعية ليست علمًا جديدًا، فإن التكنولوجيا تتقدم بسرعة بفضل الاهتمام المتزايد بالاتصالات بين الإنسان والآلة، بالإضافة إلى توفر البيانات الضخمة والحوسبة القوية والخوارزميات المحسنة، وهذا ما قادنا إلى الاهتمام بتطوير هذا المجال.

كإنسان، يمكنك التحدث والكتابة باللغة الإنجليزية أو العربية أو الإسبانية أو الصينية. لكن اللغة الأصلية للحاسب -المعروفة باسم رمز الآلة أو لغة الآلة- غير مفهومة إلى حد كبير لمعظم الناس. عند أدنى مستويات جهازك، لا يحدث الاتصال بالكلمات ولكن من خلال الملايين من الأصفار والأرقام التي تنتج إجراءات منطقية.

تعتبر معالجة اللغة الطبيعية مهمة بسبب وجود كميات كبيرة من البيانات النصية فهي تساعد أجهزة الحاسب على التواصل مع البشر بلغتهم وتوسع المهام الأخرى المتعلقة باللغة.

على سبيل المثال، يتيح NLP لأجهزة الحاسب قراءة النص وسماع الكلام وتفسيره وقياس المشاعر وتحديد الأجزاء المهمة.

من خلال استخدام NLP ومكوناتها[2]، يمكن للمرء تنظيم مجموعات ضخمة من البيانات النصية، وتنفيذ العديد من المهام الآلية وحل مجموعة واسعة من المشكلات مثل -التلخيص التلقائي، والترجمة الآلية، والتعرف على الكيانات المسماة، واستخراج العلاقة، وتحليل المشاعر، والتعرف على الكلام، وتجزئة الموضوع إلخ.

2- مشكلة البحث:

يمكن لآلات اليوم أن تحلل البيانات المستندة إلى اللغة أكثر من البشر، دون إجهاد وبطريقة متسقة وغير متحيزة[3]. بالنظر إلى الكم الهائل من البيانات غير المهيكلة التي يتم إنشاؤها كل يوم، من السجلات الطبية إلى وسائل التواصل الاجتماعي، ستكون الأتمتة بالغة الأهمية لتحليل بيانات النص والكلام بكفاءة.

وتساعد NLP في هيكلة اللغات الطبيعية التي تعتبر مصدر بيانات غير منظم وذلك لأن لغة الإنسان معقدة ومتنوعة بشكل مذهل. فنحن نعبر عن أنفسنا بطرق لا نهائية، شفهيًا وكتابيًا.

لا يوجد فقط مئات اللغات واللهجات، ولكن داخل كل لغة مجموعة فريدة من القواعد النحوية والمصطلحات والكلمات العامية.

عندما نكتب، غالبًا ما نخطئ في تهجئة الكلمات أو اختصارها، أو نحذف علامات الترقيم. بينما يتم الآن استخدام التعلم الخاضع للإشراف وغير الخاضع للإشراف، ونماذج التعلم العميق، على نطاق واسع لنمذجة اللغة البشرية، إلا أن هناك أيضًا حاجة إلى الفهم النحوي والدلالي والخبرة في المجال التي ليست بالضرورة موجودة في مناهج التعلم الآلي هذه. العديد من خوارزميات التعلم الآلي وجميع بنيات التعلم العميق تقريبًا غير قادرة على معالجة السلاسل أو النص العادي في شكلها الأولي. إنها

تتطلب أرقامًا كمدخلات لأداء أي نوع من الوظائف، سواء كان ذلك التصنيف أو الانحدار وما إلى ذلك بعبارات عامة.

3- هدف البحث:

سنقدم في هذه المقالة دراسة لطرق تضمين الكلمات Word Embedding، حيث أن تمثيل الكلمات هي اللبنة الأساسية لأنظمة معالجة اللغة الطبيعية الحديثة. تمنحنا تمثيلات الكلمات بشكل أساسي طريقة لتحويل جزء من النص إلى أرقام تستطيع أنظمة الحاسب لدينا قراءتها. على مر السنين، تم تطوير العديد من تمثيلات الكلمات التي تهدف إلى النقاط الدلالات والاعتماد النحوي للكلمات. يعد تطوير تمثيلات الكلمات الجيدة التي تلتقط التفاصيل الدقيقة للغة البشرية مهمة صعبة للغاية. يجب أن تضع الكلمات الجيدة الكلمات المتشابهة معًا. اعتبار أساسي آخر هو تعدد المعاني اللغوي (polysemy) هذه هي القدرة على أن تأخذ الكلمة معاني مختلفة في سياقات مختلفة. فمثلاً،

An Apple a day keeps the doctor away.

Apple released its latest iPhone model today.

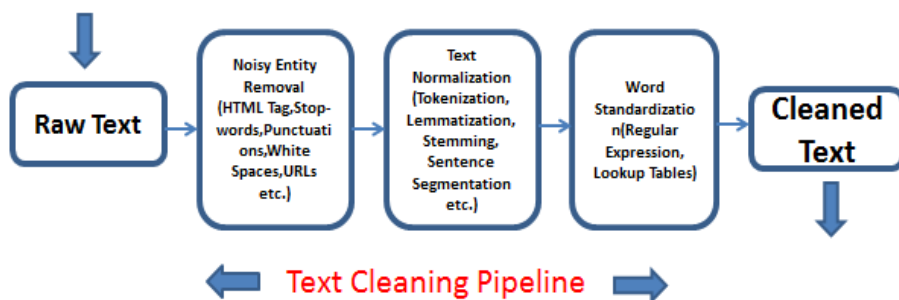
في الجملتين السابقتين، لكلمة "Apple" معاني مختلفة، ويجب أن تأخذ تمثيلات الكلمات ذلك في الاعتبار ولا تحسب نفس التمثيلات للكلمة بشكل مستقل عن السياق.

4- معالجة النص (Text Preprocessing):

نظرًا لأن النص هو الشكل غير المنظم لجميع البيانات المتاحة، فإن أنواعًا مختلفة من الضجيج موجودة فيه ولا يمكن تحليل البيانات بسهولة دون أي معالجة مسبقة. تُعرف العملية الكاملة لتنظيف النص وتوحيده، مما يجعله خاليًا من الضجيج وجاهزًا للتحليل بمعالجة النص.

يتكون في الغالب من ثلاث خطوات:

- إزالة الضجيج Noise Removal
- Lexicon Normalization
- Object Standardization



الشكل 1-1- مراحل تنظيف النص

4-1 إزالة الضجيج (Noise Removal):

يمكن تحديد أي جزء من النص لا علاقة له بسياق البيانات والمخرجات النهائية على أنه ضجيج.

على سبيل المثال - كلمات التوقف في اللغات المختلفة مثلا (الكلمات المستخدمة بشكل شائع للغة -هي، أنا، من، في، إلخ)، أيضا عناوين URL أو الروابط تعتبر ضجيج، كيانات الوسائط الاجتماعية (مذكورة، علامات التصنيف)، علامات الترقيم.

تتناول هذه الخطوة إزالة جميع أنواع كيانات الضجيج الموجودة في النص.

تتمثل الطريقة العامة لإزالة الضجيج في إعداد قاموس للكيانات المزعجة، وتكرار كائن النص بواسطة الرموز (أو بالكلمات)، مما يلغي تلك الرموز المميزة الموجودة في قاموس الضجيج.

```
# Sample code to remove noisy words from a text
```

```
noise_list = ["is", "a", "this", "..."]

def _remove_noise(input_text):

    words = input_text.split()

    noise_free_words = [word for word in words if word not in
noise_list]

    noise_free_text = " ".join(noise_free_words)

    return noise_free_text

_remove_noise("this is a sample text")

>>> "sample text"
```

يوجد طريقة أخرى لإزالة بيانات الضجيج من النص باستخدام التعابير المنتظمة
regular expressions

```
# Sample code to remove a regex pattern

import re

def _remove_regex(input_text, regex_pattern):

    urls = re.finditer(regex_pattern, input_text)

    for i in urls:

        input_text = re.sub(i.group().strip(), '', input_text)

    return input_text
```

```
regex_pattern = "#[\w]*"  
  
_remove_regex("remove this #hashtag from analytics ",  
regex_pattern)  
  
>>> "remove this from analytics "
```

4-2 التحليل المعجمي (Lexicon Normalization):

نوع آخر من الضجيج النصي يتعلق بالأشكال المتعددة التي تظهر بكلمة واحدة. على سبيل المثال play، player، played، plays، playing هي الأشكال المختلفة للكلمة "play"، على الرغم من أنها تعنى معان مختلفة ولكن جميعها متشابهة من حيث السياق.

تقوم الخطوة الحالية بتحويل جميع التباينات في الكلمة إلى شكلها الطبيعي (المعروف أيضًا باسم lemma). تعد التسوية Normalization خطوة محورية لهندسة الميزات مع النص لأنها تحول الميزات عالية الأبعاد (N ميزات مختلفة) إلى مساحة منخفضة الأبعاد (ميزة واحدة)، وهو طلب مثالي لأي نموذج تعلم آلة ML.

فيما يلي بعض تقنيات بناء الجملة التي يمكن استخدامها:

• **Stemming** هو عملية بدائية قائمة على القواعد لتجريد اللواحق ("ing"، "ly"

، "es"، "s" إلخ) من الكلمات.

وهي الأداة التي تسمح بتجريد أي كلمة من جميع الإضافات التي فيها ، والعودة للمصدر الأصلي لها و هي معتمدة على فكرة إرجاع الكلمة إلى أصلها ، وحذف جميع الإضافات عليها سواء في البداية أو النهاية ، فكلما مثل ، playing player ، plays ، played كلها تعود للكلمة play، و هي مفيدة بشكل كبير في التعرف على معاني الكلمات ، وكذلك في ضم جميع الكلمات ذات الأصل الواحد

إلى نفس الكلمة . فكلّما مثل (كتاب، كتب، مكتبة، كاتب، مكتوب)، كلّها من الأصل كتب، ونفس الأمر في أغلب اللغات .
كذلك جمّلتني:

I was riding in the car.

I was taking a ride in the car .

بنفس المعنى حتى لو اختلفت الكلمات لكن أحيانا تفشل أداة stemming في إيجاد جذر الكلمة، وتقوم بحذف حرف متحرك في النهاية، بينما هو حرف أصل مثل since تصبح sinc.

● **Lemmatization** : هو إجراء منظم وخطوة للحصول على شكل جذر الكلمة ، ويستخدم المفردات (أهمية القاموس للكلمات) والتحليل الصرفي (بنية الكلمات والعلاقات النحوية).

هي مشابهة لـ stemming في الفكرة لكنها أكثر قوة وفعالية، فهي لا تكتفي بإزالة الحروف الزائدة في الكلمات، ولكن بالبحث في معناها وأساسها، فكلّما مثل was، been أصلها هو be وهكذا.

كما أنه يراعي المعنى في الجملة فكلّما meeting قد يكون أصلها meet لو كانت فعل مضارع، وقد يكون أصلها هو نفسه meeting في حالة كانت اسم وليس فعل (بمعنى اجتماع).

```
from nltk.stem.wordnet import WordNetLemmatizer

lem = WordNetLemmatizer()

from nltk.stem.porter import PorterStemmer

stem = PorterStemmer()
```

```
word = "multiplying"

lem.lemmatize(word, "v")

>> "multiply"

stem.stem(word)

>> "multipli"
```

■ الترميز Tokenization :

- وهي عملية تقسيم الجملة إلى عدد من الأجزاء أو الكلمات (Token) أو يعني فصل كل كلمة على حدة، للتعامل معها ومعرفة نوعها وما إلى ذلك، وهي قائمة على فصل الكلمات من الجمل، بحيث تكون كل كلمة وحدها، وهناك نوعين منها:
- Word tokenizer: أي فصل الكلمات.
 - Sentence tokenizer: أي فصل كل جملة على حدة.

■ تقسيم الجمل Sentence Segmentations:

وهي الخاصة بتقسيم الكلام كله إلى جمل حسب بدايتها والسياق، وهي عملية مهمة للغاية، وقد تتم بأحد طريقتين إما بعلامة واضحة أنها لنهاية جملة مثل؟ أو! وأحياناً تتم عبر استخدام علامة غير واضحة مثل النقطة. والتي قد يكون لها استخدامات أخرى مثل نهاية اختصار مثل Dr. أو أرقام عشرية وهكذا.

3-4 : Object Standardization

غالبًا ما تحتوي البيانات النصية على كلمات أو عبارات غير موجودة في أي قواميس معجمية قياسية. ولم يتم التعرف على هذه القطع من قبل محركات البحث والنماذج.

بعض الأمثلة هي -الاختصارات، والوسم (hashtag) مع الكلمات المرفقة ،
والعامية. بمساعدة التعبيرات العادية وقواميس البيانات المعدة يدويًا، يمكن إصلاح هذا
النوع من الضجيج، يستخدم النص البرمجي أدناه طريقة البحث في القاموس لاستبدال
اللغة العامية لوسائل التواصل الاجتماعي من النص.

```
lookup_dict = {'rt':'Retweet', 'dm':'direct message', "awsm" :  
"awesome", "luv" :"love", "..."}  
  
def _lookup_words(input_text):  
  
    words = input_text.split()  
  
    new_words = []  
  
    for word in words:  
  
        if word.lower() in lookup_dict:  
  
            word = lookup_dict[word.lower()]  
  
        new_words.append(word) new_text = " ".join(new_words)  
  
    return new_text  
  
_lookup_words("RT this is a retweeted tweet by John Doe")  
  
>> "Retweet this is a retweeted tweet by John Doe "
```

5- هندسة الميزات على البيانات النصية (Text to Features):

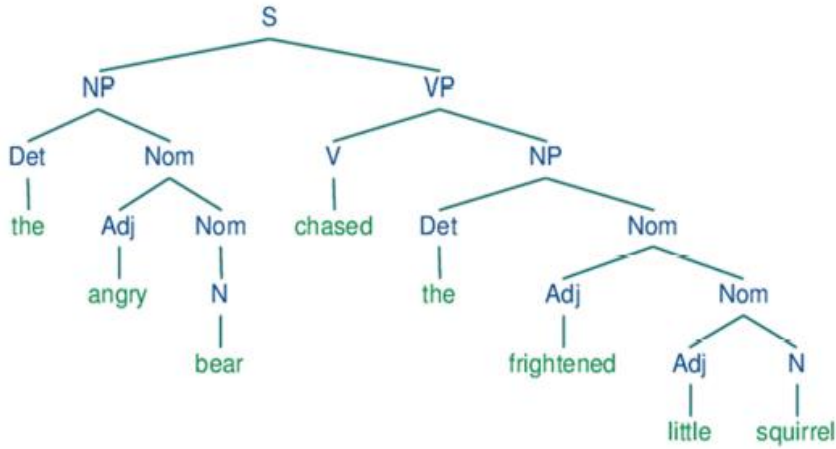
لتحليل البيانات التي تمت معالجتها مسبقًا، يجب تحويلها إلى ميزات. اعتمادًا على
الاستخدام، يمكن إنشاء ميزات النص باستخدام تقنيات متنوعة -التحليل النحوي

والكيانات / N-grams / الميزات المستندة إلى الكلمات والميزات الإحصائية وتضمين الكلمات.

5-1 التحليل النحوي (Syntactic Parsing):

يتضمن التحليل النحوي تحليل الكلمات في الجملة من أجل القواعد وترتيبها بطريقة تُظهر العلاقات بين الكلمات. تعد قواعد التبعية وجزء من علامات الكلام من السمات المهمة لتكوين النص.

نتناول هنا بناء هيكلية الكلمات، والتي ترسم العلاقة بين الكلمات في الجملة بناء على قواعد اللغة والأسس النحوية، وتوضح مدى اعتمادية كل منها على الآخر.



وعلينا أن نتعرف على مجموعة من الرموز ومعناها:

Symbol	Means	المعنى
S	Sentence	الجملة
NP	Noun Phrase	جملة اسمية
VP	Verb Phrase	جملة فعلية
Det	Determiner	كلمات الوصل
PP	prepositional phrase	جملة الوصل
ADJP	Adjective Phrase	جملة صفة
ADVP	Adverb Phrase	جملة حال
N	noun	اسم
V	verb	فعل
P	preposition	حرف جر

وهناك نموذجين من هذا الهيكل:

الأول هو: النموذج الدائري constituency

والذي يعتمد على تجزئة الجملة إلى أجزاء صغيرة، ومنها ربط كل كلمة بالكلمات المتعلقة بها، ثم عمل ربط هيكلية بينهم وبين بعضهم فلو كان لدينا جملة

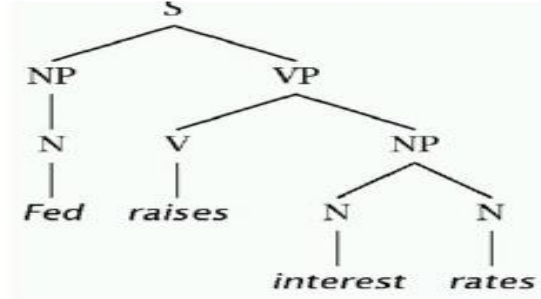
Fed raises interest rate

فكلمة fed وحدها لا تعني شيء، و fed raises معناها لكن ناقص، و raises interest غير مفهومة، بينما interest rate وحدها هي جملة مفيدة، وهي جملة اسمية NP.

ثم يتم ضمها مع الكلمة الأخرى التابعة لها، و هي raises لتكون جملة raises interest rate جملة كاملة، وهي جملة فعلية VP .

أخيراً يتم رفع الأمر مستوى أعلى لإضافة fed والتي هي وحدها NP لتكون كلها هي S.

وإذا كان التكوين صحيح، فسترى أن إعادة ترتيب الأجزاء كل جزء على حدة سيعطي نفس المعنى.

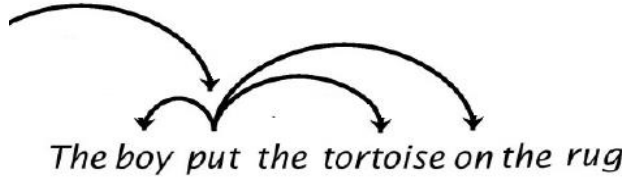


أما النوع الثاني فهو: هيكل الاعتمادية

والذي يقوم على تناول أهم كلمة في الجملة، ثم نبدأ بتحديد ما الذي يعتمد عليه، ونكمل العملية، فجملة:

The boy put the tortoise on the rug

أهم كلمة هنا هي put وبالتالي نقوم بعمل سهم من الخارج إلى هذه الكلمة وهذا الفعل، نرى هنا ثلاث كلمات معتمدة عليه، وهي الفاعل، والمفعول به، ومكان الفعل، فيكون هناك أسهم ثلاث تتجه منها هكذا:



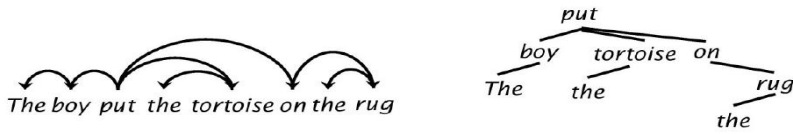
مع التأكيد على أن في جملة أخرى قد لا يتواجد الفاعل أو المفعول، أو قد يتواجد أشياء أخرى مثل زمن الفعل، فجملة:

Train moved yesterday quickly

فهنا نرى أن المرتبط بالفعل move هو الفاعل والزمان والحال ثم نقوم بعمل ربط لكل كلمة من الكلمات التي قمنا بالتعامل معها بالفعل، لنرى هي تعتمد على ماذا هكذا:



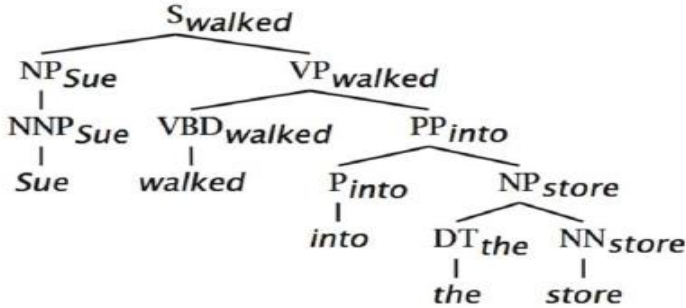
فيكون الشكل النهائي:



مثال آخر:

Sue walked into the store

وهنا نرى العلاقة بين النوعين بشكل واضح، فالتقسيمات معتمدة على علاقة الاعتماد



```
from nltk import word_tokenize, pos_tag
```

```
text = "I am learning Natural Language Processing "
```

```
tokens = word_tokenize(text)
```

```
print pos_tag(tokens)

>>> [('I', 'PRP'), ('am', 'VBP'), ('learning', 'VBG'),
      ('Natural', 'NNP'), ('Language', 'NNP'),

      ('Processing', 'NNP')]
```

2-5 اكتشاف الكيانات (Entities as features):

نمذجة الموضوع (Topic Modelling) والتعرف على الكيان المحدد (Named-Entity Recognition) هما طريقتان رئيسيتان لاكتشاف الكيان في معالجة اللغة الطبيعية.

A. نمذجة الموضوع (Topic Modelling): نمذجة الموضوع هي عملية التعرف تلقائيًا على الموضوعات الموجودة في مجموعة نصية، وهي تستمد الأنماط المخفية بين الكلمات الموجودة في المجموعة بطريقة غير خاضعة للإشراف. يتم تعريف الموضوعات على أنها "تمط متكرر من المصطلحات المتزامنة في مجموعة". ينتج عن نموذج الموضوع الجيد -"الصحة"، "الطبيب"، "المريض"، "المستشفى" لموضوع -الرعاية الصحية، و "المزرعة"، "المحاصيل"، "القمح" لموضوع -"الزراعة".

B. التعرف على الكيان المحدد (Named-Entity Recognition NER): هي الخاصة بالتعرف على كلمات هامة و تصنيفها، مثل أسماء الأشخاص، أو المؤسسات أو أسماء الدول أو المدن، الوقت، الأموال، النسب المئوية، وكذلك يقوم بتحديد أسماء الأعلام من أسماء الأشخاص و الشركات و المدن و العملات، وهكذا ومن تطبيقات NER :

- يمكن ربط الأسماء المستخرجة بروابط لها من (ويكيبيديا).
- يتم ربط منتجات شركات معينة.
- يتم ربط أسئلة معينة بإجابات لها في مكان آخر.

C. نموذج N-Grams: هو نموذج يقوم بتعيين الاحتمالات للجمل وتسلسل الكلمات ، يمكنك التفكير في N-gram على أنه تسلسل للكلمات N ، و بالتالي لدينا ما يسمى Unigrams لتناول كلمة واحدة ، و نظام bigram الذي يعني التعامل مع كلمتين ، ونظام trigram للتعامل مع ثلاث كلمات ، كما أن هناك 4-gram و 5-gram وهكذا .

3-5 الميزات الإحصائية Statistical features:

- معامل TF – IDF (term frequency-inverse document frequency)
- سمات التردد/الكثافة Frequency / Density
- سمات قابلية القراءة Readability Features

TF-IDF (مصطلح تردد الوثيقة العكسية): يحدد هذا النهج الإحصائي مدى ملاءمة الكلمة داخل نص في مجموعة من الوثائق ، وغالبًا ما تستخدم لاستخراج الكلمات الأساسية ذات الصلة من النص. تزداد أهمية الكلمة بناءً على عدد المرات التي تظهر فيها في النص (تردد النص)، ولكنها تتناقص بناءً على تكرار ظهورها في مجموعة النصوص (تكرار المستند العكسي).

6- تضمين الكلمات (text vectors) Word Embedding:

تضمين الكلمات هو الطريقة الحديثة لتمثيل الكلمات كمتجهات [5]. الهدف من تضمين الكلمات هو إعادة تعريف سمات الكلمات عالية الأبعاد إلى متجهات سمات منخفضة الأبعاد من خلال الحفاظ على التشابه السياقي في المجموعة. يتم استخدامها على نطاق واسع في نماذج التعلم العميق مثل الشبكات العصبية التلافيفية CNNs والشبكات العصبية المتكررة RNNs.

ويقصد بها، مصفوفة للكلمات والتي تقوم بتمثيل قيم خاصة لكل كلمة، لتحديد معناها، ولمعرفة مدى تقارب أو ابتعاد هذه الكلمة عن باقي الكلمات.

فلو كان لدينا خمس كلمات مختلفة هي (الصبر، رجل، تفاحة، كلب، كتاب) و نريد عمل علاقات رياضية بينهم ، فيمكن أن نقوم بطرح عدد من الأسئلة ، و الإجابة عنها لكل كلمة من الكلمات مثل:

- هل هذا الشيء حي؟ هل هو قادر على التحدث؟ هل هو ذكر؟
- هل هو ملموس؟ هل يمكن أكله؟ هل يمكن بيعه وشراؤه؟ هل يتقدم في العمر؟

وهنا يمكن عمل مصفوفة بسيطة هكذا:

المعيار	الصبر	رجل	تفاحة	كلب	كتاب
هل هذا الشيء حي؟					
هل قادر على التحدث؟					
هل هو ذكر أم انثي؟					
هل هو ملموس أم شيء معنوي؟					
هل يمكن أكله؟					
هل يمكن بيعه و شراؤه؟					
هل يتقدم في العمر؟					

سنكون الإجابات كالتالي:

المعيار	الصبر	رجل	تفاحة	كلب	كتاب
هل هذا الشيء حي؟	لا	نعم	نعم	نعم	لا
هل قادر على التحدث؟	لا	نعم	لا	نعم	لا
هل هو ذكر ؟	نعم	نعم	لا	نعم	نعم
هل هو ملموس ؟	لا	نعم	نعم	نعم	نعم
هل يمكن أكله؟	لا	لا	نعم	لا	لا
هل يمكن بيعه و شراؤه؟	لا	لا	نعم	نعم	نعم
هل يتقدم في العمر؟	لا	نعم	نعم	نعم	لا

ماذا عن الأسئلة التي ليست لها قيمة نعم/لا، بل نسبة معينة، مثلا سؤال: هل هو مهم للإنسان، فقيمة الصبر تختلف عن الكتاب عن التفاحة وهكذا.

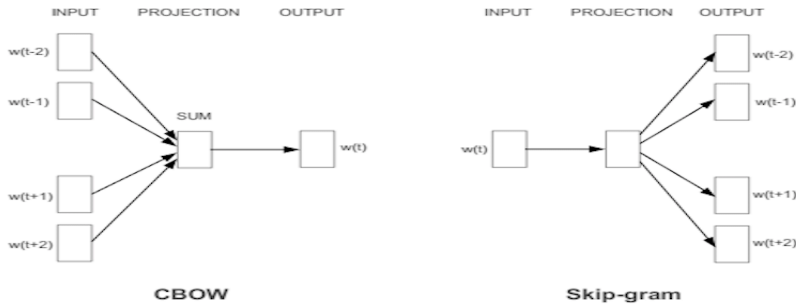
وتضمين الكلمات، معتمدة على هذا الأساس، ولكن على مستوى أكبر، فمتوسط المكتبات تتيح لنا قيمة 300 رقم يقوم بوصف كل كلمة بشكل دقيق تماما وتستخدم هذه الأرقام للتعرف على المعنى التقريبي للكلمة المتداولة، وأيضا للمقارنة بين الكلمات، ولمعرفة مدى اقتراب كلمة تفاح من كلمة برتقال، ومدى ابتعاد كل منهما عن كلمة الصبر.

وإنشاء تضمين للكلمات word embedding لا يتم بهذه الطريقة القديمة [8] ولكن يعتمد على تدريب النموذج لمعرفة المعنى التقريبي لكل كلمة بشكل دقيق بناء على بيانات من ملايين الكلمات.

يعد كل من Word2Vec و Glove النموذجين الشائعين لإنشاء تضمين كلمة للنص. تأخذ هذه النماذج مجموعة نصية كمدخلات وتنتج متجهات الكلمات كإخراج. Glove وهو نموذج أصدره باحثو ستانفورد، على الرغم من أنه يحسن نموذج Word2Vec من خلال مراعاة إحصائيات التكرار الإجمالية للكلمات بالإضافة إلى السياق المحلي ، إلا أنه لا يزال يعاني من نفس المشكلات مثل Word2Vec.

6-1 نموذج (Word to Vector) Word2Vec:

هي عبارة عن شبكة عصبية من طبقتين والتي تقوم بمعالجة النصوص [4]، يكون المدخل لها هو النص text corpus أما الناتج فهي كمية من المصفوفات الخاصة بالميزات للنص.



الشكل 2- نموذج Word2Vec

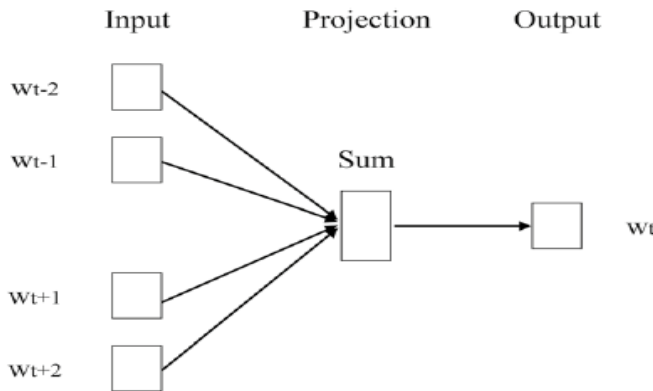
فهي ببساطة شبكة عصبية، يتم تدريبها على أساس تضمين الكلمات، وهدفها حساب مدى أهمية وقيمة كل كلمة في الجملة، ومن ثم، نقوم باستنتاج الكلمة الباقية. والمهمة الأساسية لأداة word2vec هي عمل تجميع للمصفوفات للكلمات المتشابهة والمتماثلة والمرتبطة معاً، وهو ما يتم عبر التشابهات الرياضية لكل كلمة.

وهذه التشابهات والتناظرات تشبه (رجل - صبي) == (امرأة - فتاة)
 وأيضاً أداة word2vec حينما تأخذ كمية كبيرة من البيانات، فلديها القدرة على توقع معاني الكلمات، بناء على موقعها وسياقها.
 يتكون نموذج Word2Vec من وحدة معالجة مسبقة، ونموذج شبكة عصبية ضحلة يسمى Continuous Bag of Words ونموذج آخر للشبكة العصبية الضحلة يسمى skip-gram، تستخدم هذه النماذج على نطاق واسع لجميع مشاكل NLP الأخرى.

تم إنشاء هذا النموذج بواسطة Google في عام 2013 وهو نموذج قائم على التعلم العميق التنبؤي لحساب وتوليد تمثيلات متجهة كثيفة عالية الجودة وموزعة ومستمرة للكلمات، والتي تلتقط التشابه السياقي والدلالات. بشكل أساسي، هذه نماذج غير خاضعة للإشراف يمكنها أن تستوعب مجموعة نصية ضخمة، وتخلق مفردات للكلمات المحتملة.

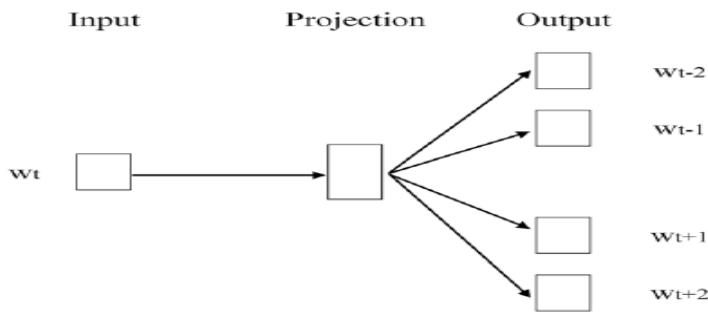
• **بنية CBOW (Continuous Bag of Words) [4]:**

تحاول بنية نموذج CBOW التنبؤ بالكلمة الحالية (الكلمة المركزية) بناء على كلمات السياق (الكلمات المحيطة).



الشكل-3-بنية CBOW

- **بنية Skip Gram [4]:** عادة ما تحاول بنية نموذج Skip-gram تحقيق عكس ما يفعله نموذج CBOW. إنه يحاول التنبؤ بكلمات السياق المصدر (الكلمات المحيطة) بالنظر إلى الكلمة المستهدفة (الكلمة المركزية).



الشكل-4-بنية Skip-gram

لتوليد متجهات الكلمات في Python، فإن المكتبات المطلوبة هي nltk و gensim. يقوم النص البرمجي التالي بقياس التشابه بين كلمتين من خلال توليد متجهات word vectors باستخدام Word2Vec من خلال نمونجي CBOW و skip-gram باستخدام المكتبة gensim:

```
pip install nltk
pip install gensim
```

```

# Create CBOW model
model1 = gensim.models.Word2Vec(data, min_count = 1,
                                size = 100, window = 5)

# Print results
print("Cosine similarity between 'alice' " +
      "and 'wonderland' - CBOW : ",
      model1.similarity('alice', 'wonderland'))

print("Cosine similarity between 'alice' " +
      "and 'machines' - CBOW : ",
      model1.similarity('alice', 'machines'))

# Create Skip Gram model
model2 = gensim.models.Word2Vec(data, min_count = 1, size = 100,
                                window = 5, sg = 1)

# Print results
print("Cosine similarity between 'alice' " +
      "and 'wonderland' - Skip Gram : ",
      model2.similarity('alice', 'wonderland'))

print("Cosine similarity between 'alice' " +
      "and 'machines' - Skip Gram : ",
      model2.similarity('alice', 'machines'))

```

Output :

```

Cosine similarity between 'alice' and 'wonderland' - CBOW : 0.999249298413
Cosine similarity between 'alice' and 'machines' - CBOW : 0.974911910445
Cosine similarity between 'alice' and 'wonderland' - Skip Gram : 0.885471373104
Cosine similarity between 'alice' and 'machines' - Skip Gram : 0.856892599521

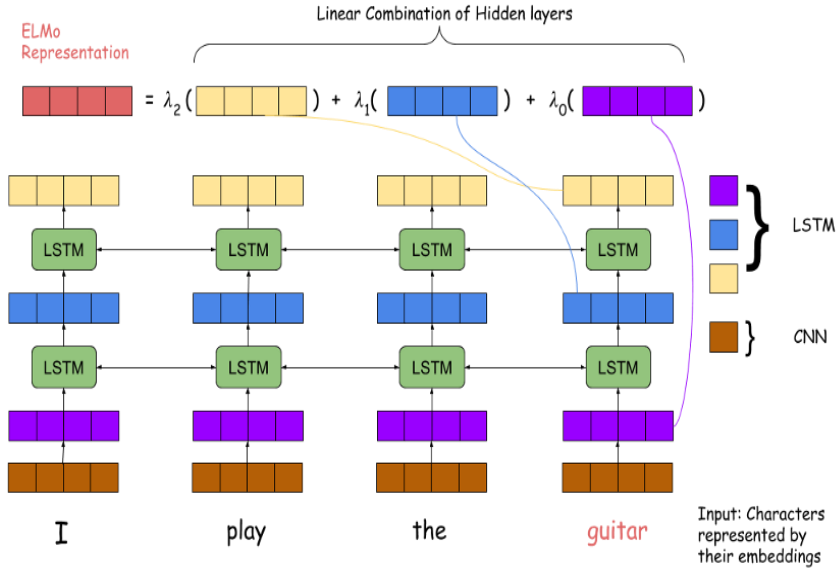
```

تظهر النتائج أن CBOW أعلى دقة من Skip-gram وذلك لأنها تحاول التنبؤ بالكلمة الحالية بناء على كلمات السياق (الكلمات المحيطة)، مما يعزز من قدرتها على إيجاد أقرب تشابه للكلمة مع المحيط، أو باختصار لأن نموذج CBOW يعتبر الكلمة التي نبحث عنها كلمة مركزية للبحث، وهذا على عكس Skip-gram التي تحاول التنبؤ بكلمات السياق المصدر بمعنى أنها تبحث عن الكلمات المحيطة

وتتعامل معها ككلمات مصدر أو مركزية، ثم تحاول معرفة موضع الكلمة التي نبحث عنها أو الكلمة الهدف.

6-2 نموذج (Embeddings from Language Models) ELMO:

هي طريقة جديدة لتمثيل الكلمات كمتجهات أو التضمين (Embeddings) [6] ، يتم أخذ الرموز المميزة على مستوى الأحرف كمدخلات إلى LSTM ثنائي الاتجاه والذي ينتج Embeddings على مستوى الكلمة على عكس كلمة (Embeddings) التي أنتجتها مناهج وأساليب قديمة مثل "Bag of Words"، وأساليب المتجهات السابقة مثل Word2Vec و GloVe ، فإن تضمين Elmo حساس جداً للسياق ، وينتج تمثيلات مختلفة للكلمات التي تشترك في نفس التهجئة ولكن لها معاني مختلفة (المرادفات) مثل "عين" و "عين الانسان" و"عين الماء" الخ، ويعد تضمين الأحرف الموجودة في الكلمات أو الجمل بواسطة LSTM يتم إدخالها إلى نموذج CNN. يتكون ELMO من ثلاث وحدات بشكل أساسي [6]، [7] - (1) الشبكات العصبية التلافيفية (CNN)، (2) الذاكرة طويلة المدى ثنائية الاتجاه (LSTM)، و (3) التضمين Embeddings .



الشكل-5-نموذج ELMO

✓ دخل النموذج:

يعتمد الإدخال في ELMO على الأحرف فقط. نقوم بتحويل كل حرف إلى متجه باستخدام عمليات دمج الأحرف، والتي يتم تمريرها بعد ذلك إلى طبقات CNN. يمكننا تضمين الأحرف (Character Embeddings) من تجاوز عيوب النماذج السابقة. أولاً، قد يلتقط تضمين الأحرف أدق تفاصيل اللغة التي قد يفتردها تضمين الكلمات (Word Embeddings). ثانياً، يمكننا تمثيل الكلمات خارج المفردات بشكل فعال، وهذه قفزة هائلة إلى الأمام.

✓ دور طبقة CNN:

تأخذ طبقات CNN تضمين الأحرف للكلمة التي تقوم بمعالجتها كمدخلات وتحسب تمثيلات أكثر قوة من خلال التقاط ميزات n-gram. تحسب طبقات CNN بشكل أساسي الميزات من مجموعة الرموز المقدمة إليها، وبالتالي تستخرج بعض المعلومات

الإحصائية التي تمثل عدد تكرار الكلمة داخل السياق ، والزمانية والمكانية ومقصود بهم ، معرفة موضع ذكر الكلمة ، لان ELMO تعمل على فهم الجملة من السياق فهي تنظر إلى الجملة بأكملها قبل تعيين تضمين كل كلمة فيها، بمعنى كلمة عين كما وضحا أعلاه يكون لها أكثر من متجه بحسب مكانها أو موقعها من السياق التي جاءت فيه والسبب في ذلك كما ذكرنا أن ELMO تعمل على فهم السياق أو معاني الكلمات بحسب ورودها ، وليس مجرد إنشاء متجه للكلمة مهما كان موضعها ، كما هو الحال مع word2vec ، ثم يتم تمرير هذا الإخراج إلى طبقات LSTM ثنائية الاتجاه. بعد تضمين الحروف الموجودة في الكلمات أو الجمل بواسطة LSTM يتم ادخالها إلى نموذج CNN.

✓ دور طبقة الذاكرة ثنائية الاتجاه طويلة المدى LSTM:

نحن نعلم أن LSTM، في جوهرها، تحافظ على المعلومات حول المدخلات التي شاهدها بالفعل. هذا يجعله مفيداً جداً لمهام نمذجة التسلسل حيث يكون تذكر السياق السابق أمراً حيوياً. بشكل عام، كانت LSTM أحادية الاتجاه، أي أنهم يأخذون بعين الاعتبار المعلومات من الماضي فقط للتنبؤ بالنتيجة.

من ناحية أخرى، تنتظر LSTM ثنائية الاتجاه إلى المدخلات من كلا الطرفين، أحدهما من الماضي والآخر من المستقبل لعمل توقع. يمكنها القيام بذلك من خلال التفكير في اثنين من LSTM، أحدهما يمتد من الماضي إلى المستقبل والآخر يمتد من المستقبل إلى الماضي. من خلال ربط الحالات المخفية من كلا LSTMs، يمكنه الاحتفاظ بمعلومات حول التسلسل بأكمله في أي وقت.

إذن، على سبيل المثال، إليك ما ستعالجه LSTM للأمام والخلف:

Forward LSTM: She went to play ...

Backward LSTM: ... with her bat and ball.

كما ترى، فإن LSTM ثنائي الاتجاه سوف يتفوق في التنبؤ بالكلمة المفقودة من خلال فهم الماضي والمستقبل.

✓ طبقة الخرج (Embedding/Output):

هنا ينفصل نموذج ELMO عن البنى السابقة. في حين أن البنى السابقة استخدمت للتو الحالة المخفية النهائية لنموذج LSTM كتمثيل للكلمة، فإن ELMO تعتبر مزيجاً خطياً من جميع الحالات المخفية لـ LSTM. تعتبر أوزان حالات LSTM المخفية خاصة بالمهمة. هذا يعني أنه بناءً على الغرض من التمثيلات، سيعطي نموذج ELMO أوزاناً مختلفة لكل طبقة. هذا مفيد للغاية لأنه، تلتقط الطبقات المختلفة خصائص مختلفة للغة.

في تقييماتهم الجوهرية، أظهروا أن حالات LSTM ذات المستوى الأعلى تلتقط الجوانب المعتمدة على السياق لمعنى الكلمة، في حين أن الحالات ذات المستوى الأدنى نموذج لجوانب بناء الجملة.

يتيح تعريف كل هذه الطبقات في نفس الوقت للنموذج اختيار التمثيلات التي يجدها أكثر فائدة للمهمة قيد البحث. على سبيل المثال، قد تكون الطبقات ذات المستوى الأعلى أكثر فائدة لمهام توضيح معنى الكلمة. في المقابل، قد تكون الطبقات ذات المستوى الأدنى أكثر فائدة لمهام مثل وضع علامات على جزء من الكلام.

المثال التالي يبين دقة فهم ELMO للمعاني حيث نقوم بمقارنة لإيجاد التشابه بين جملتين:


```
[ ] 1 result_embed_A = elmo_embeddings(["How are you my friend"])

[ ] 1 result_embed_B = elmo_embeddings(["This reference is good"])

[ ] 1 result_embed_C = elmo_embeddings(["how is your work"])

[ ] 1 result_embed_D = elmo_embeddings(["good reference"])

[ ] 1 result_embed_F = elmo_embeddings(["These books are helpful"])

[ ] 1 simsA_B = cosine_similarity(result_embed_A, result_embed_B)
2 simsA_C = cosine_similarity(result_embed_A, result_embed_C)
3 simsB_C = cosine_similarity(result_embed_B, result_embed_C)
4 simsB_D = cosine_similarity(result_embed_B, result_embed_D)
5 simsB_F = cosine_similarity(result_embed_B, result_embed_F)

▶ 1 print(["How are you my friend", "vs" , "This reference is good "], simsA_B)
2 print(["How are you my friend", "vs" , "how is your work "], simsA_C)
3 print(["This reference is good", "vs" , "how is your work "], simsB_C)
4 print(["This reference is good", "vs" , "good reference "], simsB_D)
5 print(["This reference is good", "vs" , "These books are helpful"], simsB_F)

['How are you my friend', 'vs', 'This reference is good '] [[0.4756319]]
['How are you my friend', 'vs', 'how is your work '] [[0.7792548]]
['This reference is good', 'vs', 'how is your work '] [[0.50702286]]
['This reference is good', 'vs', 'good reference '] [[0.64696056]]
['This reference is good', 'vs', 'These books are helpful'] [[0.6244303]]
```

نجد من خلال المقارنات أن ELMO تختلف عن النماذج السابقة مثل Word2vec التي كانت تستوجب حذف بعض الكلمات أثناء المعالجة الأولية للجمل، فبالنسبة لـ ELMO كل الحروف والكلمات ذات أهمية.

نلاحظ في آخر مقارنة رغم عدم وجود كلمات مشتركة لكن المعنى واحد فإن ELMO أعطت درجة تشابه 0.62 وكذلك مقارنة الجملتين 'How are you my friend' و 'how is your work' كانت درجة التشابه 0.77، وذلك يوضح طريقة ELMO في التعامل مع الجمل رغم اختلاف السياق أو طريقة السرد.

تظهر النتائج التجريبية قوة نموذج ELMO [6]. يمكن لـ ELMO أن تتحسن بشكل كبير مع أنواع مختلفة من البيانات وتساهم في حل العديد من مشكلات معالجة اللغة الطبيعية NLP، تظهر ELMO في شكل بنى أو نماذج مستقلة عن بعضها البعض،

بسبب اختلاف نوعية المشكلات أو البيانات التي تدرت عليها مثل نماذج تحليل المشاعر ونماذج توليد الكلام والإجابة عن الأسئلة وأمثلة أخرى، وتحقق هذه النماذج أداءً متطوراً عن الطرق السابقة في التحديات المختلفة.

7- خاتمة:

استعرضنا في هذا البحث بعض تقنيات تضمين الكلمات لتمثيل الكلمات كمتجهات رقمية يمكن لخوارزميات تعلم الآلي معالجتها.

على مدى السنوات العديدة الماضية، تم دفع مجال معالجة اللغة الطبيعية إلى الأمام من خلال الانفجار في استخدام نماذج التعلم العميق. قدمنا في هذه المقالة دراسة لطرق تضمين الكلمات ونظرة عامة سريعة على نموذج ELMO إحدى بنى التعلم العميق.

8-المراجع:

- [1] K. S. Jones, "Natural language processing: A historical review," in Current Issues in Computational Linguistics: In Honour of Don Walker. Dordrecht, the Netherlands: Springer, 1994, pp. 3–16.
- [2] E. D. Liddy, "Natural language processing," in Encyclopedia of Library and Information Science, 2nd ed. New York, NY, USA: Marcel Decker, Inc., 2001.
- [3] Collobert R, Weston J, Bottou L, Karlen M, Kavukcuoglu K, Kuksa P Natural language processing (almost) from scratch. J Mach Learn Res 12:2493–2537 ,2011.
- [4] Wang, S., Zhou, W., & Jiang, C. A survey of word Embeddings based on deep learning. Computing, 2019.
- [5] Turian J, Ratinov L, Bengio Y Word representations: a simple and general method for semi supervised learning. In: Proceedings of the 48th annual meeting of the association for computational linguistics, Association for Computational Linguistics, 2010, pp 384–394
- [6]. Matt G., Joel G., Mark N., AllenNLP: A Deep Semantic Natural Language Processing Platform, 2018.

- [7]. Peters M. E., Neumann M., Uyyer M., Gardner M., Clark C., Lee K., Zettlemoyer L. Deep contextualized word representations, 2018.
- [8].Chen X, Lei X, Liu Z, Sun M, Luan H Joint learning of character and word Embeddings. In: International conference on artificial intelligence, 2015.
- [9]. Devlin J, Chang MW, Lee K, Toutanova K Bert: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding, 2018.
- [10]. Bian J, Gao B, Liu TY Knowledge-powered deep learning for word embedding. In: Joint European conference on machine learning and knowledge discovery in databases, Springer, 2014, pp 132–148.
- [11]. Qi L., Matt J., Phil B., A Survey on Contextual Embeddings, 2020.

تشكيل حزمة الاشعاع الهجين في شبكات الجيل الخامس بالاعتماد على تحليل القيمة الفردية

د.م. ايلي خليل

ملخص

تعد عملية تشكيل الشعاع الـ **Beamforming** عملية أساسية في شبكات الجيل الخامس، و ذلك بهدف التغلب على المعوقات الناتجة عن اعتماد الأمواج الميليمترية لنقل البيانات، والتي تعاني من فقد مسار كبير وتتأثر بمختلف العوائق .

كما أنه لا بد من أجل التعامل مع هذه الخصائص اعتماد عدد كبير من الهوائيات (**Massive MIMO**) ، مما يجعل من الصعب الاعتماد على تشكيل الحزمة الرقمي بسبب المعوقات الطاقية الناتجة عن ضرورة وجود سلسلة راديوية خاصة بكل هوائي ، مما دفع باتجاه تطوير خوارزميات تشكيل الحزمة الهجينة.

سندرس في هذا البحث آلية تشكيل الحزمة الهجين بالاعتماد على طريقة تحليل القيمة الفردية، وسنقوم بإجراء محاكاة للنظام بالاعتماد على هذه الطريقة ونقارن أداءه مع حالة تشكيل الحزمة الرقمي الكامل

الكلمات المفتاحية : تشكيل حزمة الاشعاع، شبكات الجيل الخامس، الأمواج الميليمترية ، الأنظمة متعددة الدخل والخرج الهائلة

Hybrid Beamforming in 5G Network using Singular Value Decomposition

Dr. Eng. ElieKhalil

Beamforming is an essential process in 5G networks, with the aim of overcoming the obstacles resulting from the adoption of millimeter waves to transmit data, which suffer from large path loss and are affected by various obstacles.

Also, in order to deal with these characteristics, a large number of (Massive MIMO) antennas must be adopted, which makes it difficult to rely on digital beamforming due to the energy constraints resulting from the necessity of having a radio chain for each antenna, which has pushed towards developing hybrid beam forming algorithms.

In this paper, we will study the mechanism of hybrid beamforming based on the Singular value Decomposition method, and we will simulate the system based on this method and compare its performance with the case of full digital beamforming.

-1 مقدمة:

تعتمد شبكات الجيل الخامس الخليوية على الأمواج المليمترية كطبقة فيزيائية لنقل البيانات، وذلك بهدف تأمين معدلات نقل بيانات عالية؛ حيث يعتمد أي نظام اتصالات لاسلكي لتأمين الطلب المتزايد على الكفاءة الطيفية (SE) ، وعرض النطاق الترددي، وقد كانت جميع التقنيات اللاسلكية تعمل على ترددات ضمن النطاق 300MHZ و 3GHZ ، وبما أن تكنولوجيا الطبقة المادية المستعملة قد بلغت سعة شانون (Shanon capacity) [1] ، فالخيار الوحيد غير المستكشف هو عرض النطاق الترددي للنظام. لذلك يكمن جوهر الشبكات اللاسلكية لنظام 5G في استعمال التردد العالي لنطاق الأمواج المليمترية، والذي يتراوح من 30GHz إلى 300GHz .

دفع الاعتماد على الأمواج المليمترية الى استخدام أنظمة Massive MIMO وذلك بهدف التغلب على العوائق الناجمة عن اعتماد الامواج المليمترية؛ حيث إن خصائص انتشار الإشارات المليمترية فريدة من نوعها بسبب الطول الموجي الصغير جداً مقارنة بحجم معظم الكائنات في البيئة؛ حيث يزداد فقد المسار بسبب صغر الأطوال الموجية للموجات المليمترية، كما أنها أكثر عرضة لآثار الغلاف الجوي، والخفوت الناجم عن الجسم البشري، ولا يمكن أن تنتشر جيداً خلال معظم المواد، الى جانب أن طول الموجة الصغير للأمواج المليمترية، يسمح بتكديس عدد كبير من الهوائيات ضمن مساحة صغيرة، ولكن هذا سيعني استهلاك كبير في الطاقة الأمر الذي يصبح من الصعب معه التنفيذ العملي لهذه الطريقة؛ وبالتالي فمن المهم جداً تقديم حلول ذات كفاءة في استهلاك الاستطاعة مع الحفاظ على المتطلبات الفنية.

إن معالجة الإشارة في الأنظمة الميكروية التقليدية مع عدد محدود من عناصر الهوائي سواء عبر عملية وزن بقم ثابتة، أو تشكيل الحزمة المتكيف، يمكن أن تتم بسهولة في المجال الرقمي الأساسي، بينما في الاشارات المليمترية ومع اعتماد الـ Massive MIMO ، فإن عملية تشكيل الحزمة الـ Beamforming ستستخدم عدد كبير من

الهوائيات، وهنا لن تعد طرائق تشكيل الحزمة الرقمية التقليدية مجدية؛ حيث إنه يجب أن يتصل كل هوائي بسلسلة راديوية RF خاصة به مما يعني تكلفة كبيرة وتعقيد كبير واستهلاك كبير للطاقة؛ حيث أن عدد الهوائيات يمكن أن يصل في المحطة الرئيسة الى المئات وحتى الآلاف، كما أن طرائق تشكيل حزمة الشعاع المتكيفة المتطورة لم تستعمل بعد على نطاق واسع في اتصالات الأمواج الميلترية، بسبب زيادة النفقات العامة لمعالجة الإشارات والتأخير الحاصل، كل هذه المعوقات فرضت توجهاً جديداً في تشكيل الحزمة، وهو تشكيل الحزمة الهجين بين الرقمي و التماثلي، وذلك بهدف تقليل عدد السلاسل الراديوية مع الإبقاء على عدد الهوائيات الكبير [2].

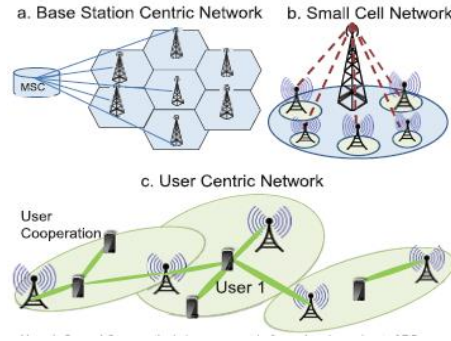
2- هدف البحث:

نعمل في هذا البحث على دراسة طريقة تشكيل حزمة الإشعاع الهجينة في أنظمة الجيل الخامس عبر الاعتماد على طريقة تحليل القيمة الفردية للقناة، وتم إجراء محاكاة لهذه الطريقة باستخدام برنامج الماتلاب (نرفق في الملحق A الكود البرمجي المستعمل للمحاكاة) وإظهار جدواها ومقارنتها مع طريقة تشكيل الحزمة الرقمية الكاملة.

3- بنية نظام 5G:

إن عرض النطاق الترددي في الطيف اللاسلكي التقليدي المحدود، وضرورة تقليل زمن التأخير الى رتبة ميلي ثانية دفع بالشبكات اللاسلكية لكسر نموذج الشبكة ذات المحطة الأساسية (BS) المحورية، ويوضح الشكل (1) هذه الحركة التدريجية من التمركز حول الBS الى شبكة تعتمد مركزية الجهاز. فقد تم التركيز على طرائق تصميم الشبكات التي تتمركز حول المستخدم، فالمستخدم لم يعد الحلقة النهائي في الشبكة اللاسلكية .

تتصل شبكات الجيل الخامس بعقد متنوعة ذات تباعد مختلف؛ حيث سيتم نشر عدة أنواع من الخلايا الصغيرة و micro و pico و femto ، وبالتالي فإن شبكات 5G الكثيفة سوف تعاني من تداخل عالي من القنوات المشتركة، وهذا يدفع بدوره نحو توجيه أكبر للهوائيات.



الشكل (1) (a) مركزية المحطة الرئيسية (b) شبكة الخلايا الصغيرة (c) الشبكة ذات المركزية عند المستخدم

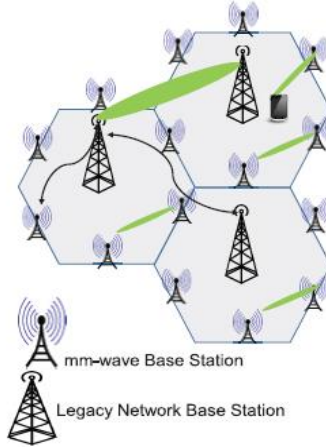
كما أن الفصل بين مستوى المستخدم، أو المعطيات ومستوى التحكم هو: من النقاط الأساسية عند تصميم شبكات الجيل الخامس، مما سيسمح باعتماد مفهوم الشبكات المعرفة برمجياً، إلى جانب إمكانية التشغيل المتداخل السلس بين مختلف الشبكات.

3-1 الشبكة الراديوية:

تقترح شبكة 5G - كما ذكرنا - استخدام الترددات العالية للاتصال، والتي تتميز بانتشار واختراق محدودة للغاية في البيئة الخارجية، وبالتالي، لا يمكن أن يكون تصميم العقدة في الشبكات الخلوية ثابت وفق نمط محدد، بل سيتم النشر بشكل متنوع وفق الحاجة، فالنشر المكثف للغاية ضروري في المناطق التي تتطلب ارتفاع معدلات البيانات، مثل محطات المترو ومراكز التسوق والمكاتب [3].

إن الكسب الكبير الناتج عن تشكيل حزمة الإشعاع سيزيد التغطية؛ حيث سيقلل التداخل ويحسن جودة الرابط في حواف الخلية. هذه الميزة ستمكن محطات BS الميلترية من تقليل التأخير، وتوفير حلول فعالة من حيث التكلفة. يظهر الشكل (2) نظاماً مختلطاً لموجة ميلترية في الجيل الخامس مع شبكة 4G القديمة، مما يتيح للمستخدم التبدل بين الشبكتين بالتناوب للحصول على تجربة أفضل، يمكن أيضاً استخدام طيف الموجة

الميلترية للبيانات فقط ، في حين أن نظام التحكم يمكن أن يتم عن طريق استخدام شبكات 4G التقليدية [2].



الشكل (2) العمل المشترك لشبكة الجيل الخامس وشبكة الجيل الرابع التقليدية

2-3 الهوائيات :

تسمح الأطوال الموجية الصغيرة للإشارات الميلترية بتصغير أحجام الهوائيات، وتقليل التباعد بينهم مما سيعني إمكانية استعمال عدد أكبر من الهوائيات الصغيرة، وسيسهل التحكم بالمطال والطور للإشارة عبر مصفوفة الهوائيات بتحسين توجيه الموجة الكهرومغناطيسية في الاتجاه المرغوب، والغائها في باقي الاتجاهات.

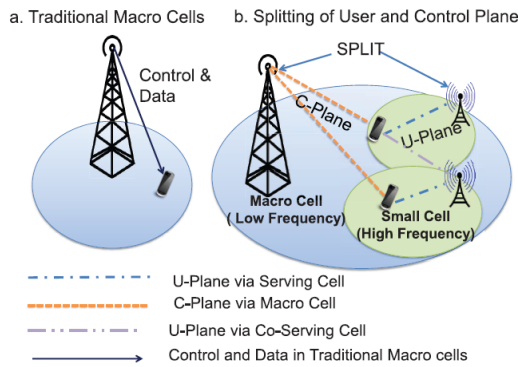
يعتمد النشر الناجح لشبكات 5G على فعالية تصميم مصفوفة الهوائيات، ولا بد من استخدام مصفوفات الهوائيات الذكية متعدد الحزم الإشعاعية لتحقيق قدرات الوصول المتعدد بتقسيم الفراغ **SDMA Space-division multiple access**؛ حيث تساعد الهوائيات الذكية في التخفيف من التداخل، مع الحفاظ على منطقة التغطية المثلى، وتخفيض استطاعة الإرسال لكل من الهاتف المحمول ومحطة الإرسال. بالإضافة الى أنه ومن أجل الهوائي نفسه يمكن أن ننقل المزيد من الطاقة لتردد أعلى عن طريق استخدام الحزم الإشعاعية الضيقة [4]، وسيتيح تطبيق الهوائي الذكي نفس القناة ليتم

استخدامها من قبل مختلف الحزم. مما يقلل من واحدة من المشاكل الرئيسية في الاتصالات اللاسلكية وهي تداخل القناة المجاورة.

3-3 الشبكات المصممة برمجياً (SDN) Software Design Network :

ان التغييرات في بنية الشبكة والهوائيات المستعملة في 5G تؤكد على ضرورة نشر خلايا صغيرة، وزيادة عدد الهوائيات. بالتالي فإن تنظيم العديد من المخدمات وأجهزة التوجيه وصيانتها في بيئة كثيفة كخلايا الجيل الخامس يعد تحدياً معقداً، لذا تم اقتراح فكرة الشبكات المصممة برمجياً (SDN) كحل مبسط لهذا التحدي المعقد؛ حيث يتم الفصل بين مستويات التحكم (c-plane)، ومستويات البيانات او تسمى بمستوى المستخدم (U-Plane)، وبالتالي إدخال السرعة والمرونة في شبكات الجيل الخامس [5].

يظهر الشكل (3) عملية الفصل هذه، والتي تؤمن زيادة في قدرة مستوى البيانات للمستخدم، وبالتالي تصبح مستقلة عن موارد التحكم. هذا يمنح شبكة 5G معدل نقل بيانات عالية في المواقع المطلوبة، من دون تكبد كلفة زائدة لمستوى التحكم. تتم عملية فصل مستوى البيانات عن مستوى التحكم باستخدام مكونات برنامجية. هذه المكونات البرنامجية هي المسؤولة عن إدارة مستوى التحكم، وبالتالي تخفيف قيود التجهيزات ومحدداتها [3].



الشكل (3) الفصل بين مستوى التحكم ومستوى البيانات في نظام الجيل الخامس الخليوي

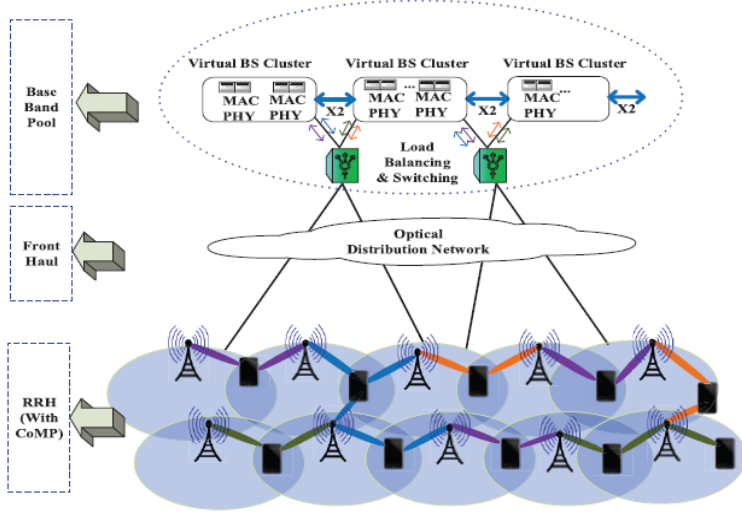
4-3 سحابة شبكة الوصول الراديوي (Cloud RAN) :

تحل سحابة شبكة الوصول الراديوي (C-RAN) بعض المشاكل الرئيسية المرتبطة بزيادة الطلب على ارتفاع معدلات البيانات . تعمل الصناعة اللاسلكية على اتخاذ تدابير لتعزيز قدرة الشبكة عن طريق إضافة المزيد من الخلايا ، وتنفيذ تقنيات MIMO ، إنشاء بنية معقدة من الشبكات غير المتجانسة HetNets ونشر الخلايا الصغيرة. ولكن ، التداخل بين الخلايا سيزداد ، والتكلفة والنفقات التشغيلية ستزداد مما سيعوق هذه الجهود. وهنا اقترحت C-RAN لتحسين بنية النظام ، والتنقل ، وأداء التغطية والطاقة وبنفس الوقت يقلل من كيفية نشر الشبكة و التشغيل.

تستند سحابة شبكة الوصول الراديوي (C-RAN) على أساسيات المركزية والواقع الافتراضي؛ حيث يتم تجميع الموارد الأساسية في BaseBand Unit (BBU) ، وتقع في مكان بعيد (ليس في مواقع الخلايا).

يبين الشكل (4) بنية C-RAN النموذجية ، مع BBUs من عدة مواقع متحكم بها وتتمركز في تجمع BBU الظاهري. وهذا يؤدي الى مكاسب إحصائية مضاعفة و كفاءة ووفرة في استخدام الطاقة والموارد ، بالتالي تجمعات BBU الافتراضية تزيد من سهولة التوسع و خفض التكاليف وتكامل الخدمات المختلفة والتخفيض في استهلاك الوقت للتجارب الميدانية [3].

بينما تتألف الواجهات الراديوية عن بعد Remote Radio Heads (RHH) ، من مكونات جهاز الإرسال ، والمكبرات وتجهيزات المعالجة الرقمية والتحويلات الرقمية التناظرية ، مضخمات الطاقة والمرشحات [3] ، و ترتبط RRHs إلى تجمع BBU بواسطة الألياف الضوئية . وتمكن القدرة الحوسبية السحابية بسهولة من التعامل مع جميع عمليات التحكم المعقدة.



الشكل (4) سحابة شبكة الوصول الراديوي

4- تشكيل الحزمة الهجين:

بعد تشكيل الحزمة الهجين عاملاً حاسماً في إمكانية استعمال الإشارات المليمترية واعتماد الـ Massive MIMO ، ومن دون هذه الآلية سيكون استعمال الأمواج المليمترية مكلفاً ومعقداً جداً في حال اعتماد تكوين الشعاع الرقمي فحسب، أو سيعتريه عدم الدقة و تزايد التداخل بين المستخدمين في حال اعتماد تشكيل الحزمة التماثلي فقط.

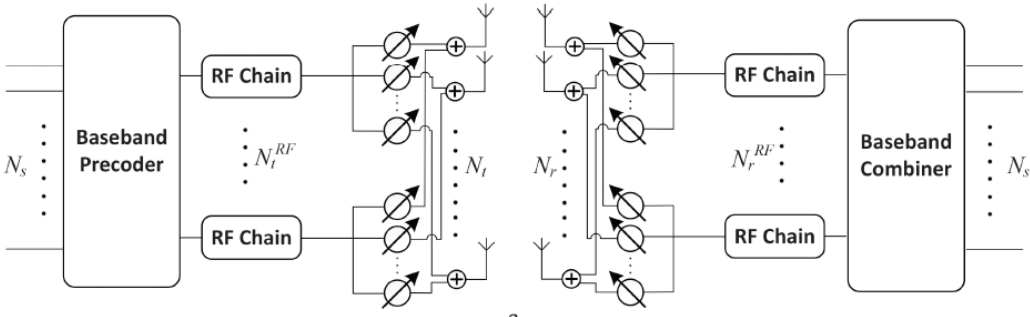
بالإضافة الى أن استعمال تشكيل الحزمة الهجين سيزيد بصورة واضحة كفاءة الطاقة؛ حيث يقلل من طاقة الإرسال المحتملة للوصلة الهابطة والوصلة الصاعدة من خلال آلية التجميع المتناسك، وزيادة مساحة اشعاع الهوائي [2]؛ حيث يمكن أن نزيد من كفاءة الطاقة في الوصلة الصاعدة عن طريق الحد من طاقة الإرسال المطلوبة لكل جهاز مستعمل (UE) ، وهو ما يتناسب عكسياً مع عدد الهوائيات في BS مع عدم وجود انخفاض في الأداء.

كما أن زيادة عدد الهوائيات، يسمح باستخدام مضخمات الترددات الراديوية منخفضة التكلفة في رتبة m Watt ، لأن إجمالي الطاقة المنقولة تتناسب طردياً مع $1/N_r$ ؛ حيث

N_r هو عدد هوائيات الإرسال [2] ، على عكس مصفوفات الهوائيات الكلاسيكية، والتي تستخدم هوائيات قليلة تتغذى من مكبرات ذات طاقة عالية وبالتالي سينعكس هذا الأمر على تخفيف الكلفة التشغيلية.

ويقسم تشكيل الحزمة الهجين الى نمطين اساسيين : متصل كامل (Full connected) ومتصل جزئي (Sub-connected) ، في حالة المتصل الكلي تتصل كل سلسلة راديوية RF بكامل الهوائيات، بينما في النوع الجزئي تتصل كل سلسلة راديوية بمصفوفة جزئية من مصفوفة الهوائيات الكلية [2].

تتكون عملية تشكيل الحزمة الهجينة كما هو مبين في الشكل (5) من مرحلة تشكيل الحزمة الرقمي (Digital Precoding) ، والتي يتم فيها تحديد معاملات وزن وفقاً لأحد تقنيات الـ Precoding المستعملة لتشكيل الحزمة في أنظمة MIMO ثم مجموعة من السلاسل الراديوية RF ، والتي تتكون من مجموعة من التجهيزات الالكترونية كالمبدل من رقمي الى تماثلي ADC و ثم مرحلة تشكيل الحزمة التماثلي .



الشكل (5) تشكيل الحزمة الهجين

يمكن تنفيذ آلية تشكيل الشعاع التماثلي إما عن طريق مزيجات طور متحكم بها رقمياً، أو عبر مفاتيح إلكترونية (Switches)، أو هوائي عدسة (Leans antenna). إن ميزة

استعمال مزيجات الطور المتحكم بها رقمياً هو امكانية تشكيل الشعاع الرقمي من تصحيح مشكلة عدم الدقة الذي سيحدث عند استعمال مزيجات الطور؛ حيث يقضي على التداخل المتبقي بين تدفقات البيانات، إلى جانب أنها تحقق كسب مصفوفة عالي، لكنها تعاني من ارتفاع استهلاك الطاقة والخطأ الكمي لأن الإزاحات الطورية المتاحة محدودة. بينما طريقة تشكيل الحزمة التماثلي على أساس مفاتيح فهي منخفضة الطاقة و ذات تعقيد منخفض حيث تحقيق انخفاض في استهلاك الطاقة في حدود 45-70 % لأحجام مجموعة القياسية وعدد متساو من السلاسل الراديوية بالمقارنة مع مزيجات الطور غير أنها ذات ربح مصفوفة أقل بالمقارنة مع مزيجات الطور [6].

تتجز عملية تشكيل الحزمة الرقمية باعتماد أحد خوارزميات تشكيل الحزمة التقليدية في الـ MIMO ، مع ضبط المعاملات بحيث تتناسب مع القيود المفروضة بسبب تشكيل الحزمة التماثلي ، وسنعمد في دراستنا على استعمال طريقة تحليل القيمة الفردية لانجاز تشكيل الحزمة الرقمي.

5- تشكيل الحزمة الهجين بالاعتماد على تحليل القيمة المفردة:

نفرض لدينا مرسل مزود بـ N_t هوائي، و بـ N_t^{RF} سلسلة راديوية RF، متصل مع مستقبل مزود بعدد هوائيات N_r ، و N_r^{RF} سلسلة راديوية ، فبالنالي سيتلقى المستقبل N_t^{RF} تدفق واحد للبيانات،

بفرض لدينا N_s رمز بيانات، سنتجز عملية تشكيل الحزمة الرقمي في البداية، كما هو مبين في الشكل (5)؛ حيث ستمرر هذه البيانات عبر مشفر أولي أساسي في المجال الرقمي (Baseband Precoder) F_{BB} المكون من مصفوفة $N_t^{RF} \times N_s$ من المعاملات التي سنحددها لاحقاً ثم تحول سلاسل البيانات المشفرة الى المجال الراديوي لتتم عملية تشكيل الحزمة التماثلي (analog Beamforming) F_{RF} المكون من

مصفوفة $N_t \times N_t^{RF}$ من الأوزان، بالتالي ستكون مصفوفة المشفر الجامعة هي

$$F = F_{BB} F_{RF}$$

إن معاملات المشفر الرقمي تتغير بالمطال والطور، بينما معاملات تشكيل الحزمة التماثلي ذات مطال ثابت وتتغير في الطور فقط، وتكون قيمة هذا المطال $1/\sqrt{N_t}$ في حال اعتمدت مزيجات الطور.

يمكن نمذجة الإشارة المرسله من المستقبل على النحو:

$$x = F.S \quad (1)$$

حيث S هو شعاع رموز البيانات المرسله وهو بطول $1 \times N_s$ رمز، وهي رموز مستقلة لكل مستخدم وذات طاقة واحدة وتحقق:

$$E[S_i S_j^*] = 0, i \neq j \quad \text{و} \quad E[S_i S_i^*] = 1/\sqrt{N_t}$$

تعطى الإشارة المستقبلية بالشكل:

$$y_i = Hx + n = HFS + n \quad (2)$$

حيث H_i هي القناة بين الـ BS و المستخدم UE_i و n هو الضجيج الغاوصي .

سيقوم المستقبل الآن بإجراء عملية تسوية للإشارة الواردة عبر مجمع رقمي (Digital Combiner) ، ومجمع تماثلي (Analog Combiner) W_{RF} ، فبالتالي تكون مصفوفة المجمع الكلية هي $W_i = W_{BB} W_{RF}$ ؛ حيث ستم معالجة الإشارة المستقبلية، وبالتالي سنحصل على شعاع البيانات المخمنه وفق [7] :

$$\hat{s}_i = W^H HFS + W_i^H n_i \quad (3)$$

توصف القناة اللاسلكية الميليمترية H - وفق النموذج التالي [8]:

$$H = \frac{1}{\sqrt{N_p}} \sum_{n_{cl}}^{N_{cl}} \sum_p^{N_p} \rho_{n_{cl}} g_{n_{cl},p}(t) \cdot \alpha_{n_{cl},p}^{R_x}(\varphi_{n_{cl},p}^{R_x}, \theta_{n_{cl},p}^{R_x}) \cdot \alpha_{n_{cl},p}^{T_x}(\varphi_{n_{cl},p}^{T_x}, \theta_{n_{cl},p}^{T_x})^H \quad (4)$$

حيث N_{cl} عدد الclusters و N_p عدد المسارات ضمن كل Cluster.

الاستطاعة الجزئية الخاصة بكل Cluster $\rho_{n_{cl}}$.

و $g_{n_{cl},p}(t)$ ربح قناة الخفوت ضيق النطاق العقدي.

و $\alpha_{n_{cl},p}^{R_x}(\varphi_{n_{cl},p}^{R_x}, \theta_{n_{cl},p}^{R_x}) \subset C^{N_r}$ و $\alpha_{n_{cl},p}^{T_x}(\varphi_{n_{cl},p}^{T_x}, \theta_{n_{cl},p}^{T_x}) \subset C^{N_t}$ هما تابعا استجابة

مصفوفتي الاستقبال والإرسال ثلاثية الأبعاد على التوالي وبالتالي سينتج لدينا مصفوفة

مكونة من N_r صف و N_t عمود.

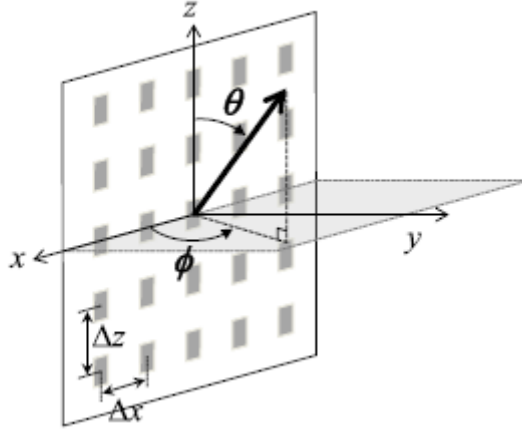
سنعتمد في دراستنا على مصفوفة هوائيات استقبال وإرسال مستوية عمودية (Uniform Planer Array) - كما هو مبين في الشكل (6) - وهو ما سيدعم تشكيل الحزمة ثلاثي البعد (D-Beamforming3).

سنعتمد في تنفيذ تشكيل الحزمة التماثلي على شبكة من مزيحات الطور، وبالتالي كل قيم المصفوفة

سكون ذات مطال ثابت $1/\sqrt{N_t}$ عند الإرسال، و $1/\sqrt{N_r}$ عند المستقبل.

تعطى مصفوفة تشكيل الحزمة التماثلية F_{RF} بالشعاع التالي :

$$F_{RF} = [W^{(0,0)}, \dots, W^{(n-1,m-1)}]$$



الشكل (6) مصفوفة الهوائيات العمودية المستطيلة المستعملة

يتم اختيار معاملات مصفوفة تشكيل الحزمة التماثلي من CodeBook محددة مسبقا لعدد من الزوايا يغطي عدد من الاحتمالات بحسب دقة هذه الCodebook ، وتتألف الCodebook من مجموعة من الاشعة، أو تسمى بالكلمات المشفرة (CodeWord)، وكل كلمة مشفرة هي عبارة عن مجموعة من قيم الازاحة الطورية التي ستطبق على كل عناصر الهوائي.

يتم تشكيل الCodebook بهدف تكبير ربح المصفوفة في اتجاه محدد، ولا بد من أجل مصفوفات مستوية أن تدعم الCodebook تشكيل الحزمة ثلاثي البعد (3D-Beamforming)، أي تكبير ربح المصفوفة في من أجل كلا الزاويتين θ, φ .

بفرض F هي الCodebook المستعملة سيكون عدد اشعتها مساوياً لـ $2^{N_\theta N_\varphi}$ ؛

حيث N_θ هو عدد زوايا θ المعتمدة و N_φ هو عدد الزوايا φ المعتمدة، عندها سيكون شكل الأشعة التي سيتكون منها الCodebook على النحو التالي:

حيث : K_ϕ ستأخذ قيم من 0 حتى $2^{N_\phi} - 1$ و K_θ ستأخذ القيم من 0 حتى $2^{N_\theta} - 1$ [9].

بعد إرسال المحطة الرئيسية إشارة من أجل كل Codeword ، سيقوم المستقبل باختيار زوج من الCodeWord ، بما يكبر الاستطاعة المستقبلية لديه [9]:

$$(F_{RF}, W_{RF}) = \arg \max_{W_{RF}, F_{RF} \in F} |W_{RF}^* H F_{RF}| \quad (5)$$

بعد أن يحدد كل مستخدم زوج معاملات مصفوفة تشكيل الحزمة التماثلي الخاصة به عند المرسل والمستقبل، سيتم الآن تحديد معاملات تشكيل الحزمة الرقمي (Precoding) وذلك بالاعتماد على طريقة تحليل القيمة الفردية Singular value . SVD Decomposition

أولاً نشكل القناة الرئيسية الفاعلة (Effective Baseband Channel) ، فبعد اختيار معاملات تشكيل الحزمة الخطي تعطى القناة وفق [9] :

$$\begin{aligned} H_{eff} &= W_{RFi}^* H_i F_{RFi} \\ &= \sqrt{N_i N_r} g_i(t) W_{RFi} F_{RFi} \end{aligned} \quad (6)$$

ثم نقوم بتحليل القيمة الفردية SVD لمصفوفة القناة الفعالة كما يلي [10] :

$$H_{effi} = UAV^H \quad (7)$$

حيث U, V هما مصفوفتان واحدتان ، و A هي مصفوفة قطرية تحوي قيم أحادية
 The $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_N$ في قطرها، و $(*)^H$ تعني المرافق العقدي للمنقول
 . conjugate transpose operation

عندها وبهدف تعظيم المعلومات المتبادلة وكبح التداخلات يعطى المشفر الرقمي
 بالاعتماد على SVD كما يلي [11] :

$$F_{BB} = V \quad (8)$$

$$W_{BB} = U \quad (9)$$

غير أن هذه القيم لمعاملات تشكيل الحزمة الرقمي لابد أن يتم ضبطها من أجل أن تلائم
 محددات استطاعة الـ Precoding ، وذلك لوجود عملية تشكيل حزمة تماثلية الى جانب
 عملية تشكيل الحزمة الرقمية لذا يجب أن يتحقق الشرط الآتي [12]:

$$\|F_{RF} F_{BB}\|_F^2 = N_s \quad (10)$$

$$\|W_{RF} W_{BB}\|_F^2 = N_s \quad (11)$$

وبالتالي لابد من ضبط معاملات المشفر والمجمع الرقمي لتصبح على النحو [12] :

$$F_{BB} = \frac{VN_s}{\|F_{RF} F_{BB}\|_F^2} \quad (12)$$

$$W_{RF} = \frac{UN_s}{\|W_{RF} W_{BB}\|_F^2} \quad (13)$$

سنجري الآن محاكاة لهذا النظام باستخدام برنامج الماتلاب، حيث تمت النمذجة من أجل عدد هوائيات $N=128$ و $N=256$ ومن أجل عدد سلاسل راديوية $N_t^{RF} = 16$ و $N_t^{RF} = 8$ ، ونرفق في الملحق (A) الكود البرمجي الذي تم استعماله في المحاكاة ورسم النتائج التي تم التوصل إليها

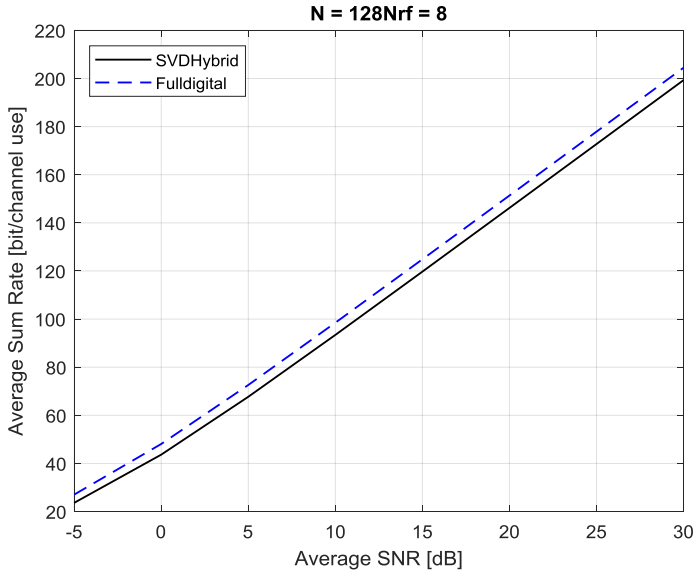
وسندرس أولاً أداء تشكيل الحزمة الهجين باعتماد خوارزمية تحليل القيمة الفردية، وسنقارن أداءها مع حالة تشكيل الحزمة الرقمي الكامل من أجل كل حالة من الحالات المدروسة.

يتبين من الشكل (7) أن الطريقة الهجينة المتبعة تقدم أداء قريب من الطريقة الرقمية بالكامل حيث بلغ معدل نقل البيانات في حالة الطريقة المتبعة عند استعمال 128 هوائي و 8 سلاسل راديوية $199.3 \text{ bit/channel}$ من أجل $\text{SNR}=30 \text{ dB}$ بينما بلغ في الحالة الرقمية الكاملة $204.5 \text{ bit/channel}$

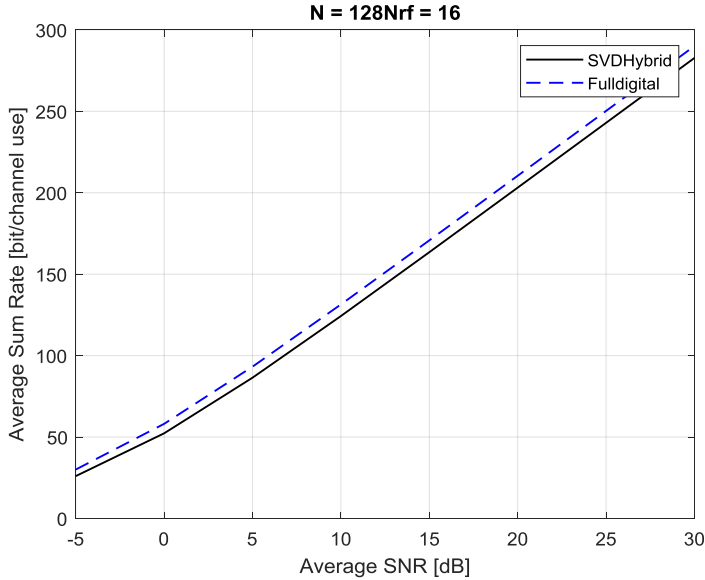
كما تبين من الشكل (8) نفس النتيجة في حالة استعمال 16 سلسلة راديوية حيث بلغ معدل نقل البيانات للطريقة المقترحة $282.8 \text{ bit/channel}$ من أجل $\text{SNR}=30\text{dB}$ بينما بلغ في الحالة الرقمية الكاملة $290.1 \text{ bit/channel}$.

وبمقارنة نتائجنا مع النتائج التي تم التوصل إليها في البحث [13] الذي درس اعتماد طريقة تشكيل الحزمة الهجينة باعتماد الـ SVD فقد بلغ معدل نقل البيانات 160 bit/channel من أجل $\text{SNR}=0 \text{ dB}$ و 380 bit/channel من أجل $\text{SNR}=10\text{dB}$ و من أجل 256 هوائي ارسال و 64 هوائي استقبال.

وتختلف النتائج التي تم التوصل إليها بسبب اختلاف البارامترات المدروسة في البحث [13] والبارامترات المستعملة في هذا البحث ، ولكن كلا الباحثين أثبتا امكانية اعتماد تشكيل الحزمة الهجين بالاعتماد على الـ SVD وأنه يقدم أداء مقارب للحالة الرقمية الكاملة.



الشكل (7) معدل نقل البيانات لنظام تشكيل حزمة هجين من أجل $N=128$ و $N_t^{RF} = 8$

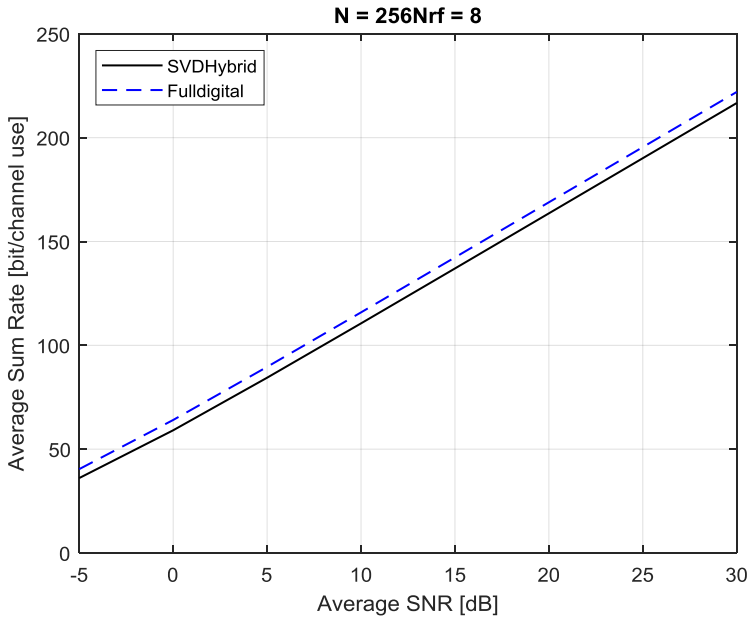


الشكل (8) معدل نقل البيانات لنظام تشكيل حزمة هجين من أجل $N=128$ و $N_t^{RF} = 16$

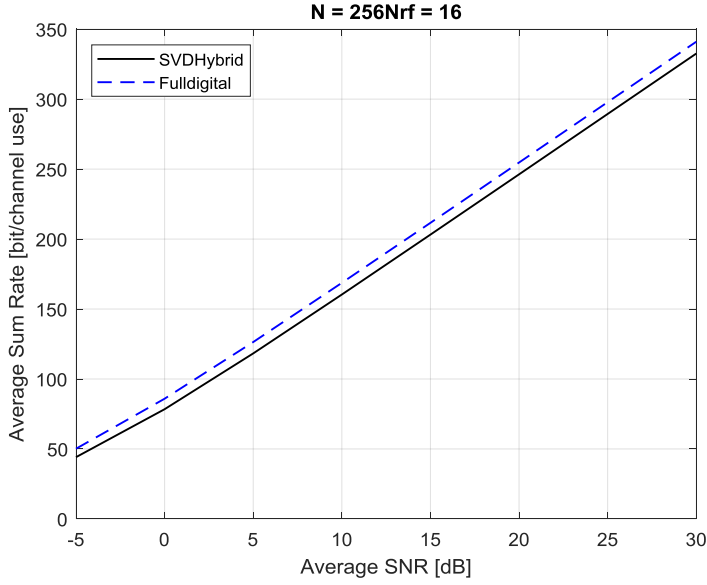
كما يتبين من الشكل (9) أن زيادة عدد الهوائيات من أجل الطريقة المدروسة في حالة استعمال 8 سلاسل راديوية من 128 الى 256 سيزيد من معدل نقل

البيانات من 199.3 bit/channel الى 216.7 bit/channel وبالتالي تحقيق زيادة مهمة في معدل نقل البيانات من دون زيادة الكلفة واستهلاك الطاقة الناجم عن زيادة عدد السلاسل الراديوية.

كما يتبين من الشكل (10) أن زيادة عدد الهوائيات من أجل الطريقة المدروسة في حالة استعمال 16 سلاسل راديوية من 128 الى 256 سيزيد من معدل نقل البيانات من 282.8 bit/channel الى 332.6 bit/channel من دون زيادة الكلفة واستهلاك الطاقة الناجم عن زيادة عدد السلاسل الراديوية وذلك بزيادة عدد الهوائيات وهو الأمر الذي لا يعد مكلفاً.



الشكل (7) معدل نقل البيانات لنظام تشكيل حزمة هجين من أجل $N=256$ و $N_t^{RF} = 8$



الشكل (7) معدل نقل البيانات لنظام تشكيل حزمة هجين من أجل $N=256$ و $N_i^{RF} = 16$

6- خلاصة:

- 1- يمكن بالاعتماد على طريقة SVD لتشكيل حزمة الاشعاع الهجين تأمين معدل نقل بيانات قريب من معدل نقل البيانات في الحالة الرقمية الكاملة
- 2- يمكن تحسين معدل نقل البيانات عبر زيادة عدد الهوائيات من دون زيادة عدد السلاسل الراديوية مما يؤمن تحسين في الأداء من دون زيادة الكلفة واستهلاك الطاقة
- 3- توصل البحث الى امكانية الحصول على معدل نقل بيانات bit/channel 332.6 من أجل 256 هوائي ارسال و 282.8 bit/channel من أجل 128 .

المراجع:

- [1] B. Bangerter, S. Talwar, R. Arefi, and K. Stewart, "Networks and devices for the 5G era," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 2, pp. 90–96, Feb. 2014.
- [2] Shajahan Kutty, , Debarati Sen, "Beamforming for Millimeter Wave Communications: An Inclusive Survey", DOI 10.1109/COMST.2015.2504600, *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 2016.
- [3] M. Agiwal, A. Roy, and N. Saxena, "Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey," *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 18, no. 3, pp. 1617–1655, 3rd Quart., 2016.
- [4] J. Mo, P. Schniter, N. Gonz'alez-Prelcic, and R. W. Heath Jr, "Channel estimation in millimeter wave MIMO systems with one-bit quantization," *Proc. of the Asil. Conf. on Sig. Sys. and Comp.*, 2014.
- [5] G. Rebeiz, S.-Y. Kim, O. Inac, W. Shin, O. Gurbuz, Y.-C. Ou, F. Golcuk, T. Kanar, and B.-H. Ku, "Millimeter-wave large-scale phasedarrays for 5G systems," in *Microwave Symposium (IMS), 2015 IEEE MTT-S International*, May 2015, pp. 1–3.
- [6] J. Wang et al., "Scalable Beamforming for 11ay," *IEEE 802.11 Documents* Jan. 2016. [Online]. Available: https://mentor.ieee.org/802.11/documents?is_dcn=SSW&is_group=00ay
- [7] D. H. N. Nguyen, L. B. Le, and T. Le-Ngoc, "Hybrid MMSE precoding for mmWave multiuser MIMO systems," in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun.*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2017, pp. 1–6.
- [8] Vutha Va; Takayuki Shimizu; Gaurav Bansal; Robert W. Heath Jr., "Millimeter Wave Vehicular Communications: A Survey," in *Millimeter Wave Vehicular Communications: A Survey* , now, 2016.
- [9] D. H. N. Nguyen, L. B. Le, and T. Le-Ngoc, "Hybrid MMSE precoding for mmWave multiuser MIMO systems," in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun.*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2017, pp. 1–6.
- [10] O. El Ayach et al., "Spatially Sparse Precoding in Millimeter Wave MIMO Systems," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 13, no. 3, Mar. 2014, pp.1499–1513.

[11] Ture Peken, Sudarshan Adiga, Ravi Tandon, and Tamal Bose, " Deep Learning for SVD and Hybrid Beamforming", Department of Electrical and Computer Engineering University of Arizona, Tucson, IEEE Transactions on Wireless Communications, 2020.

[12] M. Li, Z. Wang, X. Tian and Q. Liu, "Joint hybrid precoder and combiner design for multi-stream transmission in mmWave MIMO systems," in IET Communications, vol. 11, no. 17, pp. 2596-2604, 30 11 2017.

[13] A. Rozé, M. Crussière, M. H elard, and C. Langlais, "Comparison between a hybrid digital and analog beamforming system and a fully digital massive MIMO system with adaptive beamsteering receivers in millimeter-Wave transmissions," in Proc. Int. Symp. Wireless Commun. Syst., Pozna n, Poland, 2016, pp. 86–91.