

# مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية  
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 45 . العدد 26

1445 هـ - 2023 م

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

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

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث  
م. هلا معروف

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

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

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

. هاتف / فاكس : 963 31 2138071 ++

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

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

**ISSN: 1022-467X**

## شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

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

## المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
28-11	م. حسناء وسوف د. جمانا دياب	دراسة تحليلية لأداء خوارزمية التحكم الانزلاقي فائقة الالتواء
52-29	م. كندا غسان محمد	النمذجة التحليلية ومحاكاة FEM لحساس الضغط السعودي لاستشعار الضغط داخل العين (IOP)
92-53	م. محمد بشار معيني د. محمد رعد	تصميم جناح طائرة ذي أداء أيروديناميكي عالي مستوحى من جناح البوم
118-93	م. هلا العواد د. ماهر الابراهيم د. عبير المكانيل	تطبيق طريقة تحليل مخاطر نقاط التحكم الحرجة (HACCP) على خط إنتاج الخيوط البلاستيكية في معمل المتين
166-119	م. هند محمد د. أكرم مرعي د. رامز الخطيب	تقنيات التعلم الآلي لاكتشاف التسلل في الشبكات المعرفة برمجياً





## دراسة تحليلية لأداء خوارزمية التحكم الانزلاقي فائقة الالتواء

الباحث

م. حسناء اكرم وسوف

إشراف

د.م. جمانا دياب

### ملخص:

تعتبر خوارزمية التحكم الانزلاقي فائقة الالتواء من أهم خوارزميات التحكم الانزلاقي ذي الدرجة الثانية. تمتاز هذه الخوارزمية بمتانتها وقدرتها على حل مشكلة الاهتزازات الموجودة في التحكم الانزلاقي التقليدي. أثناء اختبار أداء هذه الخوارزمية تبين أن الأداء يعتمد بشكل كبير على قيمة ميل سطح الانزلاق وقيم بارامترات المتحكم (ألفا وبيتا). يهدف هذا البحث إلى إجراء دراسة تحليلية يوضح من خلالها أثر هذه البارامترات، وكيفية توليفها للحصول على أفضل أداء. تم تطبيق هذه الدراسة على نظام خطي ونظام آخر لاخطي. تم محاكاة النظام باستخدام الحزمة البرمجية ماتلاب. أثبتت نتائج هذا البحث دور ميل سطح الانزلاق في التحكم بدقة المتحكم لكن ذلك كان على حساب إشارة التحكم التي أصبحت مهتزة وذات مطال كبير. تبين أيضاً أن البارامتر ألفا  $\alpha$  يلعب دور في تقليل الخطأ بشكل كبير باستخدام إشارة تحكم ذات مطال كبير. أما البارامتر بيتا  $\beta$  فهو مسؤول عن مواصفات إشارة التحكم من حيث المطال والاهتزازات ويكون تأثيره طفيف على قيمة الخطأ.

الكلمات المفتاحية: التحكم الانزلاقي، التحكم الانزلاقي ذي الدرجات العليا، سطح الانزلاق.

# Analysis study for Super-Twisting Sliding Mode Control Algorithm

**Researcher**

**Eng. Hasnaa Akram Wasouf**

**Supervision**

**Dr. Eng. Jomana Diab**

## **Abstract:**

The super-twisting sliding mode control algorithm is one of the most important second-order sliding mode control algorithms. This algorithm is robust and capable of solving the chattering problem found in traditional sliding mode control. During test the performance of this algorithm shows that it depends on the sliding surface's slope and the values of the controlling parameters. This research aims to conduct an analytical study by which it demonstrates the impact of these parameters, and how they can be tuning for the best performance. This study was applied to a linear and non- linear system. The system was simulated using the MATLAB software package. The results of this research demonstrated the sliding surface's slope in controlling the precision of the controller but this was at the expense of the control signal that became shaky. Alpha-  $\alpha$  parameter has also been played a role in reducing error value using a large amplitude control signal. The beta-  $\beta$  parameter is responsible for the specification of the control signal in terms of length and vibration and has a slight impact on the error's value.

**Keywords:** sliding mode control, higher order sliding mode control, sliding surface.

## 1- مُقدِّمة

رغم تنوع تقنيات التحكم الحديث نال التحكم الانزلاقي Sliding Mode Control (SMC) الكثير من الاهتمام خلال السنوات الماضية. استخدم التحكم الانزلاقي في الأنظمة الخطية والأنظمة اللاخطية. يعود سبب الانتشار الواسع لهذا النوع من التحكم لمتانته وسرعة استجابته [1]. تأتي متانة المتحكم الانزلاقي من إشارة التحكم المتقطعة التي يستخدمها للتحكم في الأنظمة إلا أن استخدام هذه الإشارة تسبب الكثير من الاهتزازات في إشارة التحكم [2].

إن تطبيق المتحكم الانزلاقي في الواقع العملي يكون محدود وذلك لأن اهتزازات إشارة التحكم تسبب ضرر في مكونات النظام وزيادة استهلاك النظام للطاقة [3].

وجه العديد من الباحثين اهتماماتهم نحو حل هذه المشكلة والتغلب على آثارها. في البداية استخدمت طبقة من الحدود حول سطح الانزلاق لجعل هذه الاهتزازات ضمن مجال معين، إلا أن نتائج هذه التقنية تعتمد على سماكة طبقة الحدود [4]. استخدم التحكم الانزلاقي التكييفي [5] والتحكم الانزلاقي بوجود مخزن من أجل تخمين الاضطرابات التي يتعرض لها النظام واستبدالها بالجزء المتقطع الموجود في التحكم الانزلاقي التقليدي وذلك بهدف حل مشكلة الاهتزازات [6]. بالإضافة إلى ماتم ذكره سابقاً هناك الكثير من التقنيات التي وضعت للتغلب على هذه المشكلة. إحدى أهم التقنيات التي استطاعت القضاء على هذه المشكلة هي التحكم الانزلاقي ذي الدرجات العليا Higher Order Sliding Mode Control (HOSMC). تعاني هذه التقنية من صعوبة التطبيق لأنها تحتاج لمعلومات عن مشتقات بارامترات النظام العليا التي تكون في أغلب الأحيان غير ممكنة القياس [7]. لهذا السبب تم التوجه إلى إيجاد حل لمشكلة الاهتزازات دون فرض قيود على تطبيق الحل في الواقع العملي. نتيجةً لهذه الجهود وضعت خوارزمية التحكم الانزلاقي فائقة الالتواء Super-Twisting Sliding Mode Control (STSMC)،

حيث تمكنت من حل مشكلة الاهتزازات دون الحاجة لمعلومات عن مشتقات سطح الانزلاق[8].

إن أداء هذه الخوارزمية يعتمد بشكل كبير على قيم بارامترات المتحكم وقيمة ميل سطح الانزلاق لذلك قمنا بهذه الدراسة لكي نوضح أثر كل بارامتر وكيفية توليف هذه البارامترات لتحسين الأداء.

### 1.1. الدراسات السابقة

من الأبحاث التي تناولت موضوع تحسين الأداء أبحاث ركزت اهتمامها على أمثلة قيم بارامترات المتحكم باستخدام خوارزميات الأمثلة المختلفة. من هذه الأبحاث بحث استخدم خوارزمية أمثلة سرب الجسيمات particle swarm optimization (PSO) من أجل أمثلة بارامترات المتحكم واستخدامه للتحكم في طائرة هيلوكبتر. أثبتت نتائج هذا البحث أن الأمثلة ساعدت في جعل التتبع للإشارة المرغوبة أسرع وذلك مقارنة مع المتحكم التقليدي[9].

في بحث آخر استخدمت خوارزمية تحسين سرب الجسيمات الديناميكية dynamic particle swarm optimization (D-PSO) في تحسين أداء المتحكم الانزلاقي فائق الالتواء المستخدم في الحفاظ على درجة حرارة نظام الطهي. إن قيم بارامترات المتحكم تتغير مع الزمن بهدف الحصول على أفضل أداء. استطاع هذا المتحكم المحافظة على قيمة درجة الحرارة المرغوبة ومنعها من الازدياد رغم وجود اضطرابات خارجية[10].

استخدم المتحكم الانزلاقي فائق الالتواء الموائم عن طريق خوارزمية أمثلة السرب المبسطة (SSO) simplified swarm optimization للتحكم في نظام الريبوت. تم

المقارنة بين أداء المتحكم الموائم باستخدام SSO مع المتحكم الموائم باستخدام PSO . أظهرت نتائج هذا البحث تفوق خوارزمية SSO على خوارزمية PSO [11].

هناك أبحاث اعتمدت في تحسين أداء المتحكم على تعديل علاقة سطح الانزلاق الذي يلعب دور مهم في التحكم بأداء المتحكم. قام في [12] الباحثون بدمج التحكم التنبؤي مع التحكم الانزلاقي فائق الالتواء. هدف هذا الدمج إلى جعل قيمة سطح الانزلاق محسوبة من قبل المتحكم التنبؤي. استخدمت إشارة المتحكمين للتحكم في غواصة ذاتية القيادة، حيث أظهرت نتائج البحث تفوق المتحكم المقترح على المتحكم التنبؤي بمفرده.

في [13] جرى تعديل على علاقة سطح الانزلاق حيث تم استبدال المسار المرغوب بمنطقة مرغوبة. استخدم المتحكم المحسن للتحكم بمركبة ذاتية القيادة، حيث ساعد هذا التحسين في بقاء المركبة ضمن منطقة مرغوبة رغم تعرض النظام للاضطرابات. تم مقارنة أداء المتحكم المحسن مع أداء المتحكم الانزلاقي التقليدي والمتحكم الانزلاقي الضبابي والمتحكم الانزلاقي فائق الالتواء. أظهرت النتائج أن سرعة وصول النظام إلى المسار المرغوب أسرع ب 20 مرة من المتحكمات الأخرى وهناك توفير في الطاقة يصل إلى 50%.

في [14] وضعت علاقة جديدة لتصميم سطح الانزلاق المستخدم في المتحكم الانزلاقي فائق الالتواء. تميزت هذه العلاقة بأنها علاقة ديناميكية لخطية بحيث تكون قادرة على التغلب على آثار الاضطرابات الخارجية الغير معلومة. استخدم المتحكم المقترح للتحكم بنظام روبوت يعمل في ظل وجود بارامترات متغيرة واضطرابات خارجية. أظهرت نتائج البحث قدرة المتحكم المقترح على تتبع المسار المرغوب بقيمة خطأ صغيرة مقارنة مع المتحكم الأساسي.

## 2- مشكلة البحث

لكي نتمكن من الاستفادة من ميزات خوارزمية التحكم الانزلاقي فائقة الالتواء نحن بحاجة لفهم دور بارامترات هذه الخوارزمية. إن أي تغير في قيم بارامترات المتحكم يمكن أن يؤثر سلباً على الأداء. يناقش هذا البحث مشكلة توليف هذه البارامترات للحصول على أفضل أداء.

## 3- الهدف من البحث

نظراً لأهمية خوارزمية التحكم الانزلاقي فائقة الالتواء ومناقتها تم القيام بهذه الدراسة لمعرفة دور كل بارامترات هذه الخوارزمية. بعد الانتهاء من هذه الدراسة نستطيع توليف بارامترات المتحكم بهدف الحصول على أفضل أداء ونكون قد تعرفنا على نقاط الضعف الموجودة في هذه الخوارزمية تساعد على تعديلها في أبحاث قادمة.

## 4- أهمية البحث

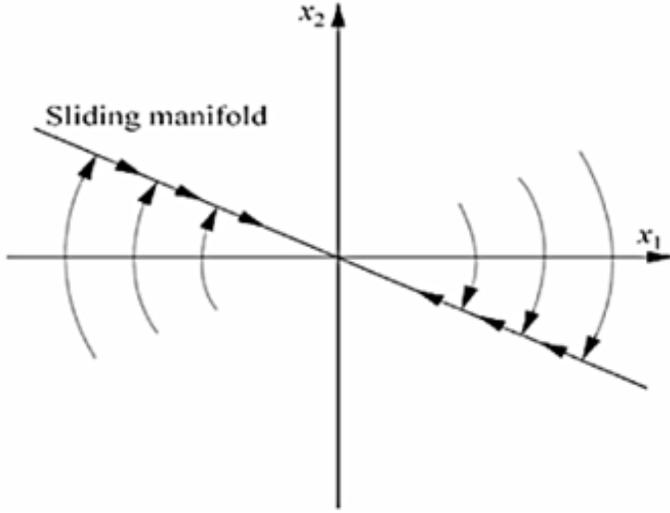
تكمن أهمية هذا البحث أننا تمكنا في نهاية البحث من الحصول على جدول خاص بتوليف بارامترات المتحكم، هكذا يستطيع الباحثون معرفة كيفية تعديل قيم البارامترات لتحسين أداء المتحكم في أبحاثهم.

## 5- مواد وطرائق البحث

### • التحكم الانزلاقي

يعتبر التحكم الانزلاقي من أهم تقنيات التحكم المتين [15]. عند استخدام هذا النوع من التحكم للتحكم بالأنظمة، فإن النظام سوف يمر بمرحلتين هما: مرحلة الوصول ومرحلة الانزلاق موضحتان بالشكل (1). تكون مهمة إشارة التحكم خلال طور الوصول تأمين نقل

لمتغيرات الحالة للنظام من أي نقطة في فضاء الحالة باتجاه سطح الانزلاق، بينما خلال طور الانزلاق مهمتها تأمين انزلاق متغيرات الحالة على سطح الانزلاق باتجاه وضع التوازن [16].



الشكل (1): التحكم الانزلاقي

تم الاعتماد في نقل متغيرات الحالة على مايسمى شرط الوصول. تم اشتقاق شرط الوصول بالاعتماد على نظرية ليابونوف في الاستقرار. تنص هذه النظرية على مايلي: حتى يكون النظام مستقر في فضاء الحالة يجب أن يكون تابع ليابونوف تابع موجب التحديد ومشتقه تابع سالب التحديد [17].

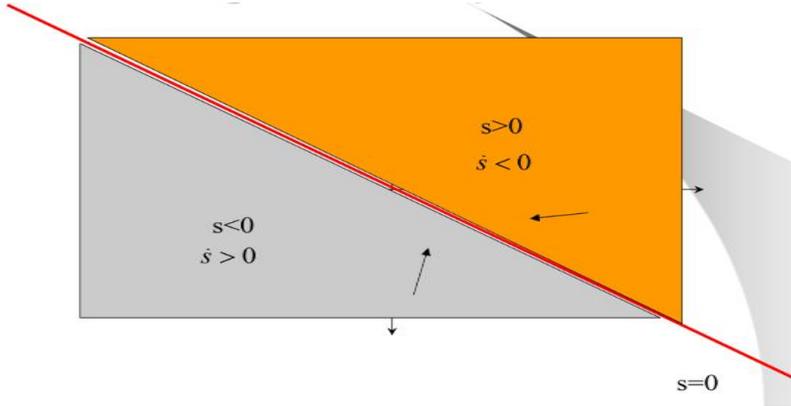
يعطى تابع ليابونوف بالعلاقة (1):

$$V(x) = \frac{1}{2} s^2 \quad (1)$$

باشتقاق المعادلة (1) نحصل على المعادلة الآتية:

$$\dot{V}(x) = s\dot{s} \quad (2)$$

من المعادلة (2) نلاحظ أنه لكي يكون النظام مستقر يجب أن يكون مشتق تابع ليايونوف سالب التحديد وهذا شرط أطلق عليه شرط الوصول. بناءً على ما سبق نلاحظ أنه عندما يكون متحول سطح الانزلاق أكبر من الصفر هذا يعني أن متغيرات الحالة تقع فوق سطح الانزلاق، وبالتالي يجب أن يكون مقدار التغير في سطح الانزلاق أصغر من الصفر لتأمين نقل لمتغيرات الحالة باتجاه سطح الانزلاق. بينما عندما تكون قيمة متحول سطح الانزلاق أصغر من الصفر هذا يتطلب أن يكون مقدار التغير في قيمة السطح أكبر من الصفر [18] وهذا موضح في الشكل (2).



الشكل (2): شرط الوصول

لحساب إشارة المتحكم الانزلاقي نقوم في البداية بتصميم سطح الانزلاق واشتقاق العلاقة المصممة، بعد ذلك نعوض بها معادلة النظام. من العلاقة الأخيرة التي حصلنا عليها نحسب إشارة التحكم. يتم إضافة جزء منقطع إلى علاقة المتحكم بهدف تعويض الخطأ الناتج عن عدم دقة نموذج النظام. إن هذا الجزء المنقطع الذي أضيف لزيادة الدقة هو الذي تسبب في اهتزاز إشارة التحكم [19]. من هنا جاء الدافع لضرورة وضع خوارزمية

تجمع بين متانة المتحكم الانزلاقي وإشارة التحكم الانسابية فوضعت خوارزمية التحكم الانزلاقي فائقة الالتواء.

### • التحكم الانزلاقي فائق الالتواء

تكمن أهمية خوارزمية التحكم الانزلاقي فائقة الالتواء في أمرين، الأول هو قدرتها على حل مشكلة الاهتزازات الموجودة في التحكم الانزلاقي، والأمر الثاني هو قانون التحكم لهذه الخوارزمية قانون عام فلسنا بحاجة لاشتقاق إشارة التحكم من أجل كل نظام. لإيجاد إشارة التحكم لهذه الخوارزمية نقوم في البداية بتصميم سطح الانزلاق [20]. لا يوجد قانون ثابت لتصميم سطح الانزلاق ولكن معظم الدراسات تعرفه بالعلاقة (3):

$$S(t) = e(t) + \lambda e(t) \quad (3)$$

حيث أن  $\lambda$  ثابت موجب يعبر عن ميل سطح الانزلاق، والمتحول  $S$  يعبر عن سطح الانزلاق، و  $e$  تعبر عن إشارة الخطأ. تعرف إشارة الخطأ بالعلاقة (4):

$$e(t) = x(t) - x_d(t) \quad (4)$$

حيث أن  $x(t)$  تمثل قيمة متغيرات الحالة المقاسة و  $x_d(t)$  تمثل قيمة متغيرات الحالة المرغوبة [12].

تعرف إشارة المتحكم الانزلاقي فائق الالتواء بالمعادلة (5):

$$u = -\alpha\sqrt{|s|}sign(s) - \beta \int sign(s) \quad (5)$$

حيث أن  $\alpha$  و  $\beta$  عبارة عن ثوابت موجبة القيمة، و تابع sign يعبر عن تابع الإشارة [21].

نساوي معادلة سطح الانزلاق بالصفر فنحصل على معادلة تفاضلية من الدرجة الأولى بحل هذه المعادلة نحصل على المعادلة (6):

$$e(t) = \exp(-\lambda t) \quad (6)$$

من المعادلة (6) نجد أن القيم الكبيرة جداً لميل سطح الانزلاق هي التي تجعل الخطأ مساوي للصفر وكلما قلت قيمة الميل ازداد الخطأ. بما أن الخطأ لا يزال موجود هذا يعني أن متحول سطح الانزلاق لا يساوي الصفر والمتحكم لا يزال يسعى لنقل متغيرات الحالة إلى سطح الانزلاق. سيتم توضيح أثر الميل بشكل أوسع في القسم العملي.

من المعادلة (5) نلاحظ أن كل بارامتر من بارامترات المتحكم مضروب بحد ما يوضح بشكل بسيط دور هذا البارامتر. إن زيادة  $\alpha$  يسبب زيادة في مطال إشارة التحكم وذلك لأن هذا البارامتر مضروب بتابع الإشارة، حيث ينتج عن ذلك زيادة دقة المتحكم. أما البارامتر  $\beta$  فهو مضروب بالحد التكاملي المسؤول عن تنعيم إشارة التحكم دون التأثير على قيمة الخطأ.

من خلال العلاقات الرياضية لم نستطع دراسة أثر البارامترات على الأداء بشكل كامل لذلك أجرينا دراسة تطبيقية تؤكد ماسبق وتمكننا من معرفة كافة التغيرات التي تحصل عند تغيير البارامترات.

## 6. النتائج والمناقشة

درسنا من خلال هذا البحث أثر تغير البارامترات على أداء المتحكم في نظام خطي ونظام لاخطي آخر وذلك لكي نثبت أن الأداء لا يعتمد على نوع النظام.

## 1.6. نظام خطي من الدرجة الثانية

ليكن لدينا معادلة النظام الذي نريد التحكم به على الشكل الآتي:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = u \quad (7)$$

حيث أن  $m$ : الكتلة

$C$ : معامل التخميد

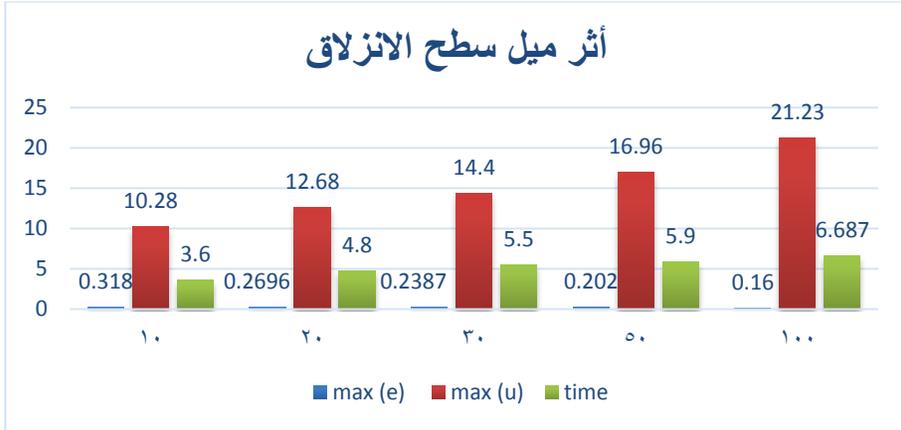
$K$ : ثابت نابض

$u$ : إشارة التحكم.

تكون قيم البارامترات المستخدمة في المحاكاة مساوية للقيم الآتية:  $m=2$ ,  $c=0.8$ ,  $k=2$  وزمن المحاكاة  $t=30$  ثانية و زمن أخذ العينات المستخدم 0.0001 ثانية. الإشارة المرغوبة التي نريد الحصول عليها  $x_d(t) = \sin(\frac{\pi}{2})$  [15].

لمعرفة أثر ميل سطح الانزلاق قمنا بتثبيت قيمة  $\alpha = 5$  وقيمة  $\beta = 6$  وغيرنا بقيم الميل.

سنوضح تأثير الميل على قيمة الخطأ وإشارة التحكم وزمن الاستقرار من خلال المخطط الآتي:



الشكل (3): أثر ميل سطح الانزلاق في النظام الخطي

نلاحظ من الشكل (3) أنه كلما زادت قيم الميل تزداد دقة المتحكم لكننا بحاجة لزيادة القيمة بشكل كبير جداً. إن هذا التحسن يكون على حساب مطال إشارة التحكم وزمن الاستقرار الذين ازدادا بشكل كبير مع زيادة الميل. لمعرفة أثر البارامتر ألفا  $\alpha$  ثبتنا الميل على القيمة عشرون ونفس القيمة السابقة بالنسبة للبارامتر بيتا  $\beta$ .

نتيجة الدراسة حصلنا على المخطط التالي:



الشكل (4): أثر البارامتر ألفا على الأداء في النظام الخطي

نلاحظ من الشكل (4) أن قيمة هذا البارامتر ساعدت بشكل كبير في زيادة دقة المتحكم حيث حصلنا على قيمة خطأ صغيرة (0.01). إن زمن الاستقرار يقل بشكل كبير عند زيادة هذا البارامتر ولكن هذا على حساب إشارة التحكم التي أصبحت ذات مطال كبير. سنوضح أثر البارامتر بيتا على الأداء من خلال الجدول (1).

الجدول (1): أثر البارامتر  $\beta$  على الأداء في النظام الخطي

$\beta$	Max(e)	Max(u)	Time(seconds)
4	0.244	12.25	4.05
6	0.269	12.68	4.8
8	0.29	13.13	5.4
15	0.36	14.7	16.8

نلاحظ من الجدول (1) أن هذا البارامتر مهمته فقط تحسين مواصفات إشارة التحكم من حيث المطال والاهتزاز. إن ازدياد قيمة هذا الحد تسبب زيادة مطال واهتزاز إشارة التحكم. يكون تأثير البارامتر بيتا على الخطأ طفيف. لكي نتأكد من أن تأثير البارامترات غير مرتبط بنوع النظام قمنا بإجراء نفس دراسة على نظام لاخطي وحصلنا على النتائج الموضحة في الآتي.

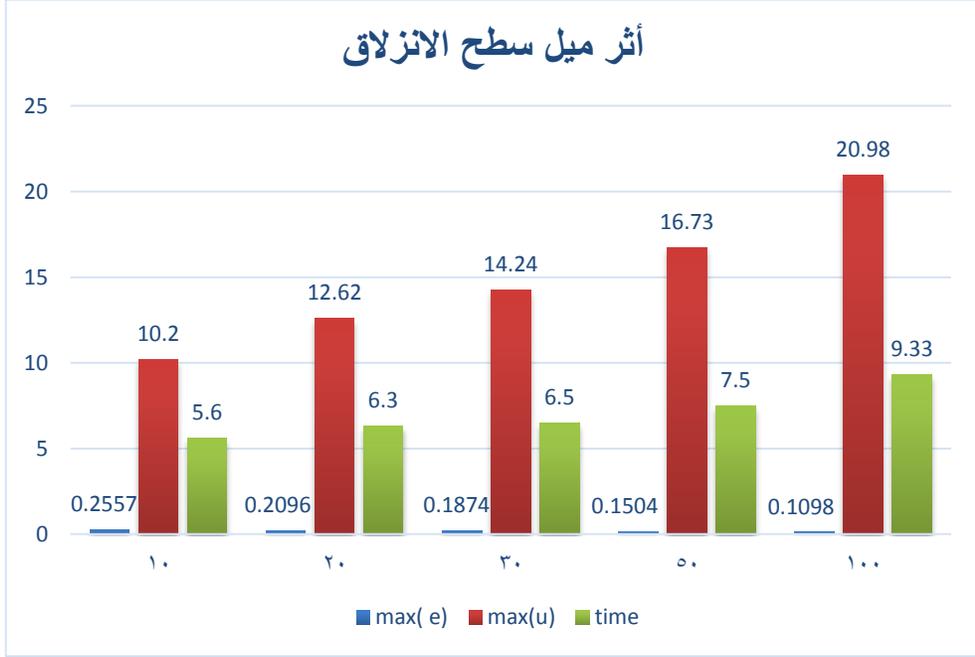
## 2.6. نظام لاخطي من الدرجة الثانية

تم اختبار تأثير البارامترات على التحكم بنظام لاخطي معرف بالمعادلة (8):

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx^2 = u \quad (8)$$

استخدمنا نفس القيم التي استخدمت في النظام الخطي السابق.

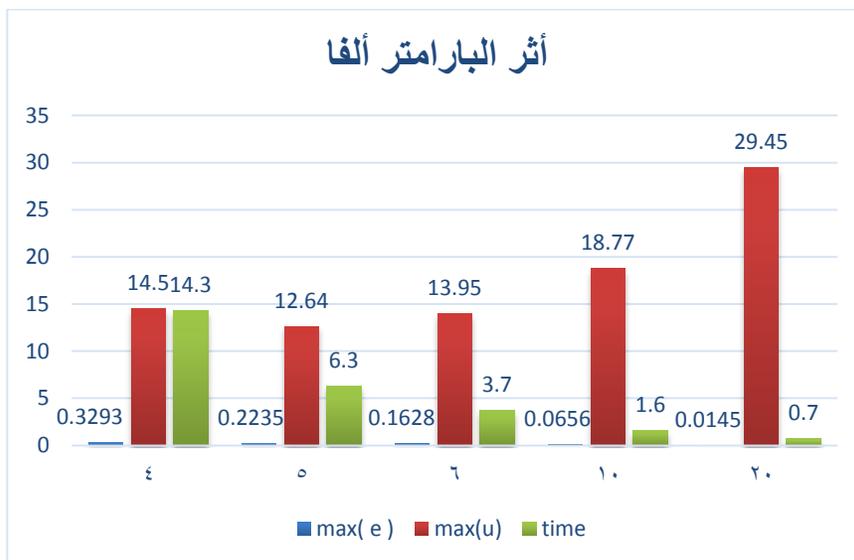
باتباع نفس الخطوات التي تم تطبيقها على النظام الخطي حيث تم في البداية دراسة أثر الميل على الأداء.



الشكل (5): أثر ميل سطح الانزلاق على الأداء في النظام الملاحظي

نلاحظ من الشكل (5) أن زيادة قيمة الميل يساعد في زيادة دقة المتحكم وبنفس الوقت زيادة مطال واهتزازات إشارة التحكم. يحتاج النظام لوقت أكبر حتى يستقر وذلك عند زيادة الميل ويقل زمن الاستقرار بإنقاص قيمة الميل.

لمعرفة أثر البارامتر ألفا قمنا بتنصيب الميل والبارامتر بيتا حيث حصلنا على المخطط الآتي:



الشكل (6): أثر البارامتر ألفا على الأداء في النظام اللاخطي

إن البارامتر ألفا يساعد بشكل كبير بزيادة دقة المتحكم حيث حصلنا على دقة تساوي (0.01) ولم يستغرق النظام الكثير من الوقت لكي يستقر. ازداد مطال إشارة التحكم عند زيادة قيمة هذا البارامتر ولكن دون اهتزاز. لدراسة أثر البارامتر بيتا ثبتنا الميل والبارامتر ألفا فحصلنا على الجدول (2).

الجدول (2): أثر البارامتر بيتا على الأداء في النظام اللاخطي

$\beta$	Max (e)	Max (u)	Time(seconds)
4	0.203	12.205	4.5
5	0.2133	12.4	5.4
6	0.2235	12.64	6.5
10	0.261	16.3	11.3

نلاحظ من الجدول (2) أن تأثير البارامتر بيتا على الخطأ يكون طفيف حيث ينحصر دوره فقط في التحكم بمواصفات إشارة التحكم. عند زيادة هذا البارامتر يزداد مطال واهتزاز إشارة التحكم. مما سبق يمكننا وضع الجدول (3) الذي يوضح أثر ازدياد قيمة البارامترات على الأداء وكيفية توليفها.

الجدول (3): أثر البارامترات على الأداء

البارامتر	الخطأ	الاهتزازات	مطال إشارة التحكم	زمن الاستقرار
الميل	يقل بشكل طفيف	تزداد	يزداد	يزداد
ألفا	يقل بشكل كبير	تقل	يزداد بشكل كبير	يقل
بيتا	لا يتأثر	تزداد	يزداد	يزداد

## 7. الاستنتاجات والتوصيات

نستنتج من هذه الدراسة أنه إذا أردنا زيادة دقة المتحكم يجب أن نزيد قيمة ميل سطح الانزلاق أو نزيد قيمة البارامتر ألفا الذي يجعل الخطأ صغير جداً. إن زيادة قيمة الميل له أثر سلبي على إشارة التحكم حيث أصبحت مهتزة وبمطال كبير. إن زيادة البارامتر ألفا يجعل إشارة التحكم ذات مطال كبير لكن هذا المطال يتناقص مع الزمن ولا يبقى كبير. لتقليل زمن الاستقرار نقوم بزيادة البارامتر ألفا. يكمن دور البارامتر بيتا في ضبط مواصفات إشارة التحكم من حيث المطال والاهتزازات حيث كلما زادت قيمته يزداد مطال إشارة التحكم.

تمكنا من خلال هذه الدراسة معرفة نقاط القوة والضعف التي تتمتع بها خوارزمية التحكم الانزلاقي فائقة الالتواء وهذا سوف يساعدنا على إجراء تعديل على الخوارزمية في أبحاث قادمة.

المراجع:

- [1] ZHIHONG, M, PAPLINSKI, AP and WU, HR 1994, A robust MIMO terminal sliding mode control scheme for rigid robotic manipulators **IEEE transactions on automatic control**, 39(12), pp.2464-2469.
- [2] BRANDTSTADTER, H and BUSS, M 2005, Control of electromechanical systems using sliding mode techniques, **In Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control**, pp. 1947-1952, IEEE.
- [3] EDWARDS, C and SPURGEON, S 1998, **Sliding mode control: theory and applications**, Crc Press.
- [4] EL MAKRINI, I, RODRIGUEZ-GUERRERO, C, LEFEBER, D and VANDERBORGHT, B 2016, the variable boundary layer sliding mode control: A safe and performant control for compliant joint manipulators, **IEEE Robotics and Automation Letters**, 2(1), pp.187-192.
- [5] HARANDI, MRJ, KHALILPOUR, SA, TAGHIRAD, HD and ROMERO, JG 2021, Adaptive control of parallel robots with uncertain kinematics and dynamics, **Mechanical Systems and Signal Processing**, 157, p.107693.
- [6] Kommuri, SK, Han, S and Lee, S 2021 External torque estimation using higher-order sliding mode observer for robot manipulators. **IEEE/ASME Transactions on Mechatronics**.
- [7] Levant, A 2003 Higher-order sliding modes, differentiation and output-feedback control. **International Journal of Control**, vol. 76, No. 9-10, pp. 924–941.
- [8] ZAKERI, E, MOEZI, SA and EGHTEHAD, M 2019, Optimal interval type-2 fuzzy fractional order super twisting algorithm: A second order sliding mode controller for fully-actuated and under-actuated nonlinear systems, **ISA transactions**, 85, pp.13-32.
- [9] HUMAIDI, A J, and HASAN, A F 2019, Particle swarm optimization-based adaptive super-twisting sliding mode control design for 2-degree-of-freedom helicopter, **Measurement and Control**, 52(9-10), 1403-1419.
- [10] AL-DUJAILI, AQ, FALAH, A, HUMAIDI, A J, PEREIRA, D A, & IBRAHEEM, IK 2020, Optimal super-twisting sliding mode control design of robot manipulator: Design and comparison study, **International Journal of Advanced Robotic Systems**, 17(6), 1729881420981524.
- [11] MEKKI, A A, KANSAB, A, MATALLAH, M, BOUDJEMA, Z, &

- FELIACHI, M 2020, Super-twisting sliding mode controllers based on D-PSO optimization for temperature control of an induction cooking system, **International Journal of Power Electronics and Drive Systems**, 11(2), 1055.
- [12] ESFAHANI, HN, and SZŁAPCZYŃSKI, R 2019, Model predictive super-twisting sliding mode control for an autonomous surface vehicle, **Polish Maritime Research**, 26, 163-171.
- [13] PUTRANTI, V W E, & ISMAIL, Z H 2017, Super Twisting Sliding Mode Control with Region Boundary Scheme for an Autonomous Underwater Vehicle, **Recent Developments in Sliding Mode Control: Theory and Applications**, PP. 65-86.
- [14] ALQAISI, W, KALI, Y, and EL-BAYEH, C Z 2021, Modified Fast Terminal Super-Twisting Control for Uncertain Robot Manipulators, **In 2021 18th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)**, pp. 1142-1147, IEEE.
- [15] CRASSIDIS, A, and MIZOV, A 2015, A model-free control algorithm derived using the sliding mode control method, **In Proceedings of the 2nd International Conference of Control, Dynamic Systems, and Robotics**, pp. 1-9.
- [16] Rivera, J, Garcia, L, Mora, C, Raygoza, JJ, and Ortega, S 2011, Super-twisting sliding mode in motion control systems, **Sliding mode control**, 1, 237-254.
- [17] DIAB, J 2010, Elrctronic automatic control /3/, **Al-baath university press**, P.596.
- [18] JANARDHANAN, S 2013, Continuous-Time Sliding Mode Control, **ResearchGate**, pp.14, April.
- [19] YOUNG, K D, UTKIN, V I, and OZGUNER, U 1999, A control engineer's guide to sliding mode control. **IEEE transactions on control systems technology**, 7(3), 328-342.
- [20] SWIKIR, A, and UTKIN, V 2016, Chattering analysis of conventional and super twisting sliding mode control algorithm, **In 2016 14th international workshop on variable structure systems (VSS)**, pp. 98-102, IEEE.
- [21] González-Hernández, I, Salazar, S, Lozano, R, & Ramírez-Ayala, O 2022. Real-Time Improvement of a Trajectory-Tracking Control Based on Super-Twisting Algorithm for a Quadrotor Aircraft. **Drones**, Vol.6, No.2, p.36.

# النمذجة التحليلية ومحاكاة FEM لحساس الضغط السعوي لاستشعار الضغط داخل العين (IOP)

\*الباحثة: م. كندا غسان محمد

## المخلص

تُعدّ حساسات الضغط السعوية من بين أكثر الأنظمة الكهروميكانيكية الصغيرة تُعدّ حساسات الضغط السعوية من بين أكثر الأنظمة الكهروميكانيكية الصغيرة (MEMS) Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) الواعدة في السنوات الأخيرة، وذلك لاستهلاكها المنخفض للطاقة، والموثوقية العالية، ويتم الآن استكشاف حساسات (NEMS) Mano Electro Mechanical Systems على نطاق واسع حيث ظهرت هذه الحساسات من تقنية النظم الكهروميكانيكية المايكروية MEMS وتتمتع بالعديد من المزايا مقارنة بحساسات MEMS التقليدية (بحجم ميكرون)، ودخلت في الكثير من التطبيقات في مجالات متعددة مثل الرعاية الطبية والصحية والسيارات وغيرها كونها تمتلك العديد من السمات التي تجعلها فريدة ومميزة للغاية، مثل: الحجم الصغير، والكتلة المنخفضة، والحساسية العالية، وانخفاض تكلفة الإنتاج. بالإضافة الى انها تعد مناسبة تماماً لتطبيقات استشعار الضغط المنخفض التي تتراوح من عدد قليل من باسكال إلى كيلو باسكال.

انطلاقاً من أهمية حساسات الضغط القائمة على NEMS في مجال الرعاية الطبية نقدم في هذا البحث حساس الضغط السعوي القائم على Nano-MEMS، للاستشعار المستمر لضغط العين الطبيعي وغير الطبيعي (IOP). يتكون الحساس النانوي المقترح من طبقتين (علوية وسفلية) من مادة (Ethylene-ECTFE

Zirconium dioxide chlorotrifluoroethylene وتفصل بينهما طبقة من (ZrO<sub>2</sub>)، تمت مناقشة انحراف الغشاء، وتغير السعة في هذا العمل، باستخدام COMSOL Multiphysics (Software for Multiphasiques Simulation) في المحاكاة التحليلية FEM (Finite Element) و النمذجة ثلاثية الأبعاد للحساس. وقد بلغت قيمة الانحراف الاعظمي عند اقصى ضغط 8KPa حوال 290nm للحساس المقترح، في حين بلغت السعة الأولية للحساس  $F = 1.64 * 10^{-14}$  أما السعة بعد تطبيق الضغط بلغت 2.5pF. وتعدّ هذه النتائج أعلى نتائج تم الحصول عليها باستخدام أبعاد نانوية مقارنةً مع الدراسات السابقة.

الكلمات المفتاحية: حساس الضغط السعوي، الأنظمة الكهروميكانيكية النانوية (NEMS)، COMSOL Multiphysics برمجيات لتحليل العناصر المحدودة والمحاكاة، FEM (Finite Element)

\*مهندسة نظم حاسوبية والكثرونية حاصلة على درجة الماجستير في هندسة تكنولوجيا الالكثرونيات -كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات -جامعة طرطوس

# Analytical modeling and FEM simulation of a capacitive pressure sensor for intraocular pressure (IOP) sensing

## Abstract

Capacitive pressure sensors are among the most promising MEMS systems in recent years, due to their low power consumption and high reliability. Nano-MEMS sensors are now being explored extensively as these sensors emerged from MEMS technology and have many advantages. Compared to traditional MEMS sensors (micron size), it has entered into many applications in various fields such as medical and health care, automobiles, etc., as it possesses many features that make it unique and very distinctive, such as: small size, low mass, high sensitivity, and low production cost. In addition, it is well suited for low pressure sensing applications ranging from a few Pa to kPa. Based on the importance of Nano-MEMS-based pressure sensors in the field of medical care, we present in this paper a Nano-MEMS-based capacitive pressure sensor for continuous sensing of normal and abnormal intraocular pressure (IOP). The proposed nanosensor consists of two layers (upper and lower) of ECTFE (Ethylene-chlorotrifluoroethylene) and separated by a layer of zirconium dioxide ( $ZrO_2$ ). The membrane deflection and capacitance change are discussed in this work, using COMSOL Multiphysics (Software for Multiphasiques Simulation) in analytical simulations and 3D modeling of the sensor.

The value of the maximum deviation at the maximum pressure of 8KPa was about 290nm for the proposed sensor, while the initial capacitance of the sensor was  $1.64 * 10^{-14}$  F, while the capacitance after applying pressure was 2.5pF. These results are the highest results obtained using nanoscales compared to previous studies.

**Keywords:** capacitive pressure sensor, NEMS, COMSOL Multiphysics, FEM (Finite Element).

## 1- المقدمة:

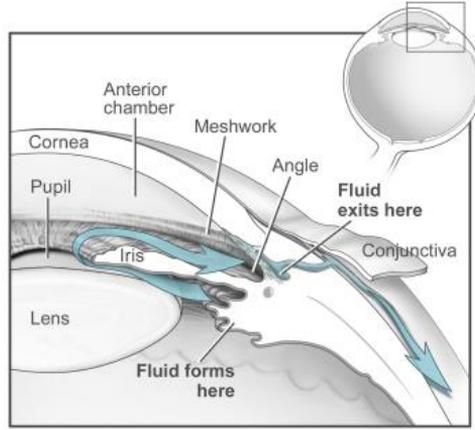
مقارنة بالتقنيات التقليدية لقياس الضغط، يوفر حساس ضغط MEMS العديد من المزايا مثل الحجم الصغير والوزن الأقل واستهلاك الطاقة المنخفض والتكلفة المنخفضة والموثوقية العالية.

في هذه الأيام، يتجه البحث في حساسات الضغط الى النوع المقاوم للضغط والسعوي. توفر الحساسات السعوية العديد من المزايا مثل انخفاض استهلاك الطاقة، وحساسية أعلى للضغط، وحساسية حرارية منخفضة، ونطاق ديناميكي كبير. تُستخدم حساسات الضغط السعوية عموماً في السيارات، والطب الحيوي، وعلوم المحيطات، وتطبيقات الفضاء، والإلكترونيات الاستهلاكية وما إلى ذلك [1 - 2]. ولأن تصغير أجهزة النظم الكهروميكانيكية الصغرى للتطبيقات الطبية الحيوية هو مجال بحث شائع جداً في وقتنا الحالي سندرس في بحثنا هذا حساس الضغط السعوي لقياس الضغط داخل العين.

يعاني الكثير من الناس من مرض العين وفقدان البصر الدائم مثل الجلوكوما. يعتبر ضغط العين الطبيعي 1.6 إلى 2.8 كيلو باسكال و لا يتسبب ضغط العين أكثر من الطبيعي بالتأكد في الإصابة بمرض الجلوكوما، ولكن إذا كان ضغط العين أكثر من ضغط العين الطبيعي ولا توجد علامات على الجلوكوما ، فقد تكون المشكلة هي ارتفاع ضغط الدم في العين.

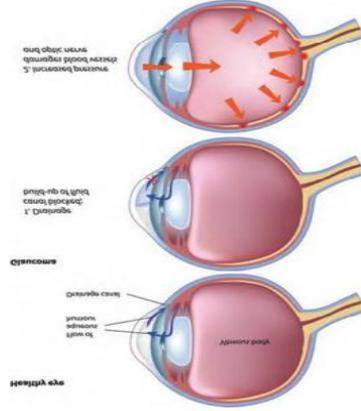
ويعد الضغط المفرط للسائل المائي داخل العين (IOP) هو السبب الرئيسي لتلف الأعصاب البصرية الذي يسبب مرض الجلوكوما وهو الضغط الذي يمارسه السائل العيني المسمى الخلط المائي (السائل الصافي داخل العين) الذي يملأ الحجرة الأمامية للعين.

يدخل الخلط المائي الناتج عن الجسم الهدبي في المحيط الخلفي لغرفة العين إلى الحجرة الأمامية من خلال فتحة الحدقة ويخرج من الحجرة الأمامية من خلال طريقين مختلفتين. معظم الخلط المائي يخرج من العين عبر شبكة التربيق وقناة شليم والأوردة الأسقفية أما المتبقي المائي (حوالي 10-20%) فيخرج عبر مسار uveoscleral حيث يمر الخلط المائي بين حزم العضلات الهدبية. عندما لا يكون هناك توازن بين التدفق المائي إلى داخل وخارج العين، فإنَّ IOP يزيد عن المعدل الطبيعي كما هو موضح في الشكل (1).



الشكل (1): مسار تدفق الخلط المائي في العين الطبيعية

يؤدي ارتفاع IOP إلى تطوُّر الجلوكوما بالتالي فقدان أنسجة العصب البصري وفقدان الرؤية المحيطية والعمى في النهاية كما هو موضح في الشكل (2).



الشكل (2): تطور الجلوكوما

تتسبب الجلوكوما في إتلاف العصب البصري الذي ينقل معلومات الإشارة البصرية من العين إلى الدماغ. المرضى الذين يعانون من الجلوكوما يفقدون الرؤية المحيطية في البداية. إذا تركت دون علاج، فإن المرضى يفقدون بصرهم تماماً. يؤثر الجلوكوما على ما يقدر بنحو 67 مليون شخص في جميع أنحاء العالم، ويُعد السبب الرئيسي الأول للعمى الذي لا يمكن علاجه. ضغط العين الطبيعي في حدود 10-20 mmHg.

تم استخدام مقياس توتر غولدمان التطبيقي لقياس ضغط العين على مدى عدة عقود ماضية، لكن دقة هذه التقنية تعتمد على صلابة القرنية المركزية.

حالياً، ومع تصغير الأجهزة الطبية الحيوية وبالاعتماد على MEMS و IC Technology، قُدمت العديد من حساسات MEMS للكشف المستمر عن IOP، تلعب حساسات MEMS دوراً مهماً يساعد في قياس IOP لتشخيص مرض الجلوكوما ومراقبته بحيث يمكن اتخاذ خطوات إضافية للعلاج الطبي للمرضى [3 - 5].

قام الباحثون مؤخراً بالعديد من الدراسات حول تقنيّة MEMS/NEMS وتأثيرها الكبير في مجال الالكترونيّات وإمكانية استخدامها في مجالات مختلفة مثل الطب الحيوي، السيارات، الدّفاع، الأجهزة المنزليّة .... الخ.

• في 2018 قُدّمت دراسة بعنوان Analytical Modelling and FEM Simulation of Capacitive Pressure Sensor for Intraocular Pressure Sensing.

قُدّمت هذه الدّراسة نمذجة تحليليّة ومحاكاة تعتمد على طريقة العناصر المنتهية ( FEM ) لحساسات الضّغط السّعوية الدّائريّة المثبّثة لقياس ضغط العين ( IOP). (OP) يتكوّن حسّاس الضّغط السّعوي ذو الصفيحة المتوازية من صفيحة خلفيّة ثابتة وغشاء رقيق مثبّت بشكل دائري مصنوع من مادّة السيليكون. تمّ فصل الصّفحتين بوساطة وسط فراغ. تمّ استخدام MATLAB و COVENTORWARE في المحاكاة التّحليليّة ومحاكاة FEM، على التّوالي، وتمّ إجراء مقارنة بين أقصى انحراف في الغشاء، والسّعة والحساسيّة بعد تطبيق الضّغط من 0-60 مم زئبق. بيّنت النّتائج أنّ التّصميم ذو سماكة الغشاء  $6\mu\text{m}$  وفجوة الفصل  $3\mu\text{m}$  ونصف قطر الغشاء  $360\mu\text{m}$  لديه أقصى حساسيّة بين جميع التّصاميم التّلاثة. لذلك، هذا التّصميم هو الأنسب لقياس IOP [6].

• في 2018 نُشرت مقالة بعنوان High Sensitive MEMS Intraocular Capacitive Pressure Sensor (Glaucoma)

تضمّنت تصميم حسّاس الضّغط السّعوي ثلاثي الأبعاد لمحاكاة مراقبة ضغط العين، باستخدام البولي سيليكون كمادّة للغشاء لزيادة حساسيّة الحساس علماً أنّ الضّغط المطبّق  $5\text{kpa}$ . تمّت مقارنة النّتيجة مع نموذج آخر يستخدم السيليكون  $p++$  في مادّة الغشاء،

حيث تم الحصول على زيادة كبيرة في الحساسية عند استخدام البولي سيليكون في الغشاء.

أظهرت النتائج أن السعة الأولية للسيليكون ++ p المنبثت تبلغ حوالي 1.81 pF وتتراوح السعة من 1.81 إلى 2.162 pF للسيليكون ++ p المنبثت وغشاء البولي سيليكون المنبثت. تظهر هذه النتيجة أن استخدام مادة بولي سيليكون في الغشاء يعطي حساسية أعلى من السيليكون ++ p [7].

• في عام 2020 قام باحثون بنشر مقالة بعنوان Diaphragm shape effect on the performance of foil-based capacitive pressure sensors.

قدم الباحثون أيضاً في هذه الدراسة تحليلات مفصلة لشكل الغشاء (القطب العلوي) لمقارنة أداء حساس الضغط السعوي القائمة على رقائق معدنية. بالإضافة إلى إجراء تحليل مفصل لاستخدام المواد الجديدة والانحراف في أغشية مختلفة الشكل لتكون كمؤشر أداء لحساس الضغط السعوي. تم تصنيع وتحليل أغشية من خمسة أشكال مختلفة (دائرة، قطع ناقص، خماسي، مربع، ومستطيل).

تم إجراء الاختبارات الرياضية و FEM، والتجريبية لحساسات الضغط السعوية في خمسة أشكال مختلفة.

من النتائج التي تم الحصول عليها، يحتوي الغشاء ذو الشكل البيضاوي على قدر أقل من الفاقد في المواد مع أداء مشابه مقارنة بالأغشية ذات الشكل الدائري. بالنسبة لتقنيات التصنيع القابلة للتطوير بأقل هدر للمواد، الغشاء ذو الشكل المربع أكثر فائدة. بالإضافة إلى ذلك، تظهر الأغشية ذات الشكل المربع استجابةً خطية. تصبح الاستجابة غير خطية ونحن نتحرك نحو أغشية دائرية الشكل. وبالتالي، يمكن أن تكون هذه المقالة مرجعاً لاختيار الأشكال المناسبة حسب المتطلبات [8].

• في 2020 قُدِّمت دراسة بعنوان Modeling and FEM-based Simulations of Composite Membrane based Circular Capacitive Pressure Sensor

حيث قدم الباحثون في هذه الدراسة تصميم لحساس ضغط سعوي يستخدم لقياس الضغط العين، مكون من غشاء مركب من ثلاث مواد مختلفة (السيليكون وثاني أكسيد السيليكون ونتريد السيليكون) بسماكة  $5.3 \mu\text{m}$  و  $0.6 \mu\text{m}$  و  $0.1 \mu\text{m}$  على التوالي. باستخدام COVENTORWARE في المحاكاة التحليلية ومحاكاة FEM أعطت النتائج سعة وقدراها  $1.16 \text{ pF}$  [9].

• في 2021-6 قُدِّمت دراسة بعنوان Intraocular MEMS Capacitive Pressure Sensor.

قُدِّمت هذه الدراسة ثلاثة تصاميم لحساس الضغط السعوي القائم على MEMS بأشكال مختلفة من الغشاء وهي مربع مموّج، مربع غير مموّج (مسطّح) ودائري غير مموّج. تعتمد جميع التصميمات على أربع فتحات وثمانية فتحات. كان التصميم قائماً على غشاء من البولي سيليكون ذي أربع فتحات مربعة مع صفيحة ذهبية. تم ضبط أبعاد الحساس (الطول والعرض والسماكة) على  $552 \times 550 \times 4.2 \mu\text{m}$  للصفيحة العلوية و  $550 \times 550 \times 2 \mu\text{m}$  للصفيحة الذهبية السفلية وفجوة هواء  $50 \mu\text{m}$  بين الصفائح تم تصميم الحساس لنطاق ضغط (0-8 kPa) حيث يكون هذا هو النطاق النموذجي لضغط العين. أظهرت النتائج أنّ التصميم ذو الغشاء المربع المموّج مع أربع فتحات يعطي أعلى سعة وقدراها  $23.23 \text{ fF}$  [10].

ومع ذلك، فإن النمذجة الرياضية لحساس الضغط السعوي بأبعاد نانوية لقياس ومراقبة الضغط داخل العين مع مناقشة حول الخصائص المختلفة (مثل انحراف الصفيحة، وتغير

السعة) غير متوفرة في الدراسات السابقة وتعتبر هذه الدراسة أول دراسة لحساس ضغط سعوي بأبعاد نانوية وليس ميكروية.

## 2- هدف البحث:

يهدف هذا البحث الى تصغير أبعاد حساس الضغط السعوي ونقله من حجم الميكرن الى الحجم النانوي، بالإضافة الى النمذجة ثلاثية الأبعاد للحساس النانوي المقترح، بهدف الاستفادة منه في التطبيقات الطبية التي تتعامل مع الضغط المنخفض مثل تطبيقات قياس الضغط داخل العين وذلك من خلال:

- اعتماد تقنيّة NEMS للمساعدة في دمج الخصائص الميكانيكيّة والكهربائيّة على شريحة واحدة بحجم النانو.
- الاعتماد على مادة (ECTFE (ethylenechlorotrifluoroethylene للطبقة العلوية والسفلية وتفصل بينهما طبقة من Zirconium dioxide (ZrO<sub>2</sub>)
- الاعتماد على نظريّة الانحراف لدراسة انحناء الطبقة العلويّة للحساس السعوي عند تعرّضه للضغط.
- النمذجة ثلاثيّة الأبعاد للتصميم المقترح باستخدام برنامج COMSOL

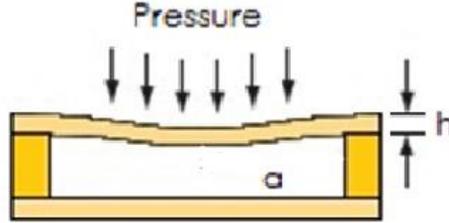
## Multiphysics

## 3- مواد وطرق البحث:

### 1-3 هيكل حساس الضغط

يتم تحديد الضغط في حساسات الضغط عن طريق انحراف الغشاء العلوي للحساس بسبب الضغط المطبق. يوضح الشكل (3) المقطع العرضي لحساس الضغط النموذجي بغشاء مثبت. يبلغ طول جانب الغشاء  $a$ ، وسمكه  $h$ ، وسمكة فجوة الهواء  $d$ . عند تعرضه لضغط موحد خارجي  $P$ ، ينحرف الغشاء العلوي

مما يؤدي إلى انخفاض فجوة الهواء مما يؤدي إلى زيادة السعة بين الطبقة العلوية واللوح السفلية. عندما يتم سحب الضغط، يعود الغشاء إلى موضعه الأصلي مما يؤدي إلى انخفاض في السعة.



الشكل (3) المقطع العرضي لحساس الضغط النموذجي بغشاء مثبت.

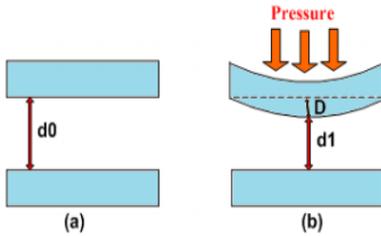
### 2-3 حساس الضغط السعوي

تستخدم الحساسات السعوية عنصراً مرناً لاستشعار الضغط على شكل فجوة مكثف متغيرة بسبب الإزاحة أو الانحراف تحت ضغط غشاء قطب كهربائي متحرك بالنسبة للقطب الثابت. هذا يعني أن تصميم حساسات الضغط السعوي هو مكثف مسطح وأسطواني. يعتمد التشغيل الأساسي لحساسات الضغط هذه على التغيير في سعة المكثف، اعتماداً على الحمل المطبق على أحد الأقطاب [11].

من المعروف أن سعة المكثف المسطح تتناسب طردياً مع الغشاء المربع وتتناسب عكسياً مع المسافة بينهما [12].

$$C_0 = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d_0} \quad (1)$$

حيث  $\epsilon_0$  هي ثابت العازلية للخلاء وتساوي  $8.854 \cdot 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$ ،  $\epsilon_r$  هي السماحية النسبية للمادة العازلة بين أقطاب المكثف،  $A$  هي مساحة التداخل بين الأقطاب الكهربائية ( $m^2$ )،  $d_0$  الفاصل بين الأقطاب الكهربائية ( $m$ ).  
 في حساسات الضغط السعوية القائمة على MEMS، يتم تحقيق تغير السعة عن طريق تقليل فجوة الفصل بين الألواح. حيث يؤدي تطبيق الضغط إلى انحناء صفيحة المكثف بحيث تقل فجوة الفاصلة بين الصفيحتين كما هو موضح في الشكل (4-b). يؤدي تقليل فجوة الفصل إلى زيادة سعة الحساس حسب حجم الضغط المطبق.



الشكل (4) انحناء الصفيحة عند تطبيق الضغط

بعد تطبيق الضغط على الصفيحة العلوية، لا يمكن استخدام المعادلة (1) لتحديد سعة حساس الضغط، حيث تسبب القوة المؤثرة على القطب العلوي انحرافاً وبالتالي تغيرات في المسافة الفاصلة بين القطبين لذلك سوف نقوم بحساب الانحراف حسب نظرية الانحراف.

يمكن أن يكون شكل الغشاء دائرياً أو مربعاً، تتصرف هذه الأشكال بشكل مشابه للضغط المطبق، ويمكن الوصول إلى الانحراف الأعظمي للغشاء المربع مثبت الحواف حسابياً حسب نظرية الانحراف بالعلاقة التالية:

(2)

$$w = 0.00126 \frac{qa^4}{D}$$

حيث  $w$  هي الانحراف الأعظمي للغشاء و  $q$  الضغط المطبق و  $a$  سطح الغشاء و  $D$  هي صلابة الانحناء للصفحة وتكتب بالشكل الآتي:

$$K = D = -\frac{EI}{1-\nu^2} = -\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$$

حيث  $E$  و  $h$  و  $\nu$  هي معامل يونغ وسماكة الغشاء ونسبة بواسون، على التوالي [13].

### 3-3 التّصميم المقترح لحساس الضغط السعوي

#### ❖ شكل الغشاء

قد تكون الحساسات السعوية ذات أشكال هندسية مختلفة: مربعة، مستطيلة، سداسية أو دائرية. يعتبر حساس الضغط ذو الغشاء الدائري هو الأنسب للتطبيقات التي يلعب فيها الانحراف الدور الرئيسي؛ في حين أن الغشاء المربع لديه أعلى إجهاد مقاس، لذلك فهو الشكل الأفضل لحساسات الضغط. بالإضافة إلى ذلك، ولتحسين كفاءة المنطقة وسهولة التصنيع، فإن الغشاء المربع يستخدم في العديد من التطبيقات مثل حساسات اللمس، والتطبيقات الطبية الحيوية. من الممكن أيضاً استخدام الشكل المستطيل. ولكن هناك توزيع ضغط غير منتظم على الغشاء المستطيل بسبب عدم تناسق الهيكل، الذي يؤدي الى تقليل حساسية الحساس [14]. لذلك، تم اعتماد الشكل المربع.

### ❖ المواد المختارة في التصميم

من أجل تحقيق دقة ضغط أكبر تم تصميم صفيحتي الحساس العلوية والسفلية باستخدام مادة ECTFE (ethylenechlorotrifluoroethylene). يعتبر ECTFE (الإيثيلين كلورو ثلاثي فلورو الإيثيلين) أقوى وأكثر صلابة وثباتاً من حيث الأبعاد أكثر من العديد من مواد البوليمر الفلوري الأخرى. يتميز بخصائص كهربائية ممتازة، ومعامل تمدد حراري منخفض. يحتوي ECTFE على أسطح ناعمة بشكل استثنائي مقارنة بالبوليمرات الفلورية الأخرى، مما يجعله خياراً مثالياً للعديد من التطبيقات عالية النقاء في الصناعات الدوائية بالإضافة إلى اعتباره مادة مثالية للتطبيقات الطبية، نظراً لنقاوته العالية ومزيجه الفريد من الخصائص الميكانيكية والكيميائية [15].

بالإضافة إلى استخدام ZrO<sub>2</sub> كمادة عازلة فاصلة بين الصفيحتين حيث يحتوي أكسيد الزركونيوم على العديد من الخصائص المفيدة التي تسمح له بأن يكون مناسباً لمجموعة متنوعة من الأغراض في العديد من الصناعات بالإضافة إلى امتلاكها توافقاً حيوياً جيداً مع جسم الإنسان [16].

### ❖ مواصفات التصميم

يوضح الجدول (1) أبعاد التصميم المقترح. تم تصميم هيكل الحساس ليكون جهازاً مناسباً من حيث التكلفة ويمكن استخدامه لقياس الضغط داخل العين بحيث يكون مجال الضغط لعمل الحساس من 0-60mmHg أي من 0-8kPa وهو النطاق النموذجي لضغط العين. يشتمل تصميم الحساس على طبقتين من مادة PDMS بأبعاد 900\*900 nm وسماكة 5nm للطبقة الواحدة وفجوة فصل من أكسيد الزركونيوم بأبعاد 900\*900nm وسماكة 10nm وقد تم اخذ هذه الأبعاد بشكل تجريبي اعتماداً على COMSOL Multiphysics

برمجيات لتحليل العناصر المحدودة والمحاكاة بحيث لا يحدث تشوه في الحساس  
السعوي عند تطبيق الضغط عليه.

جدول (1): الأبعاد وخصائص المواد

900nm	الطول
900nm	العرض
5nm	السماكة
10nm	الفجوة
1.7Gpa	معامل يونغ ECTFE
0.46	معامل بواسون ECTFE
0-8kpa	الضَّغَط المطبَّق

#### ❖ التحليل الرياضي للتصميم المقترح

##### ○ انحراف الغشاء

سيتم تثبيت الغشاء المربع عند حوافه، وعندما يتم تطبيق الضغط، فإن الغشاء  
سوف ينحرف.

يمكن الوصول إلى الانحراف الأعظمي للغشاء المربع مثبت الحواف حسابياً  
حسب نظرية الانحراف بالعلاقة التالية:

(2)

$$w = 0.00126 \frac{qa^4}{D}$$

بالتعويض ببارامترات التصميم المقترح يكون الانحراف الأعظمي لغشاء الحساس  
النأوي المقترح عند تطبيق ضغط 8kpa:

$$w = 0.00126 \frac{8000 \times 900^4}{22.46 \times 10^{-18}} = 294 \text{nm}$$

علماً أنّ D هي صلابة الانحناء للصفحة وتكتب بالشكل الآتي:

$$K = D = -\frac{EI}{1-\nu^2} = -\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$$

بالتعويض ينتج الآتي:

$$\begin{aligned} D &= Eh^3/12(1-\nu^2) \\ &= 1.7 \text{GPa} \times (5 \text{nm})^3 / 12(1-0.46^2) \\ &= 22.46 \times 10^{-18} \text{N.m} \end{aligned}$$

○ سعة الحساس قبل وبعد تطبيق الضّغط:

المبدأ المستخدم في تصميم حسّاس الضّغط السّعوي هو نفس مبدأ المكثّفة ذات الصفائح المتوازية بالتالي فإنّ السعة قبل تطبيق الضّغط هي نفس سعة المكثّفة وتُعطى بالعلاقة الآتية:

$$\begin{aligned} C_0 &= \epsilon_0 \epsilon_r A/d \\ &= 8.854 \times 10^{-12} * 23 * (900 \text{nm})^2 / (10 \text{nm}) \\ &= 16.48 \times 10^{-15} \text{F} \end{aligned}$$

أما السعة بعد تطبيق الضَّغَط فنُعْطى بالعلاقة التالية [17] :

(3)

$$C = C_0 \left( 1 + \frac{1.25Pa^4}{2015dD} \right)$$

بالتعويض

$$\begin{aligned} &= C_0(1 + 12.5 \times 8000 \times (900\text{nm})^4 / 2015 \times 10\text{nm} \times 22.46 \times 10^{-18}) \\ &= 2.5\text{pF} \end{aligned}$$

### 4-3 نمذجة ومحاكاة التَّصْمِيم المقترح باستخدام COMSOL

#### Multiphysics 5.0

يتم تصميم الحساس بحيث يتراوح الضغط من 0-8kPa من أجل قياس IOP.

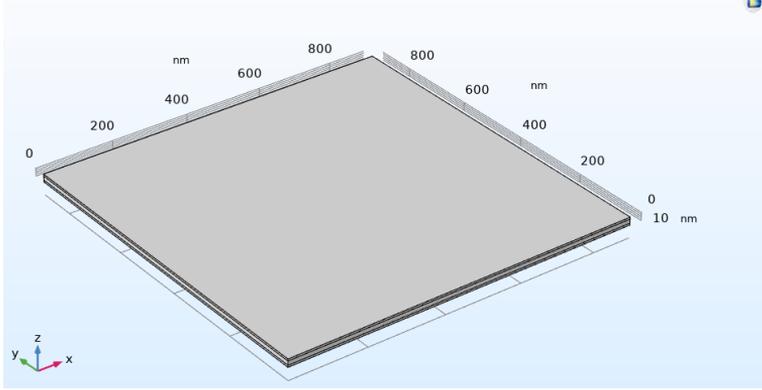
تمَّ تنفيذ عمليَّة FEM 3D-Simulation باستخدام COMSOL

. Multiphysics 5.0

#### ○ تحديد البارامترات الفيزيائية

بعد تعريف وتحديد أبعاد الهيكل لحساس الضغط السعوي، تم تحديد ظروف الحدود للنظام الكهروميكانيكي وإضافتها إلى النموذج. وتشمل قوى الضغط التي

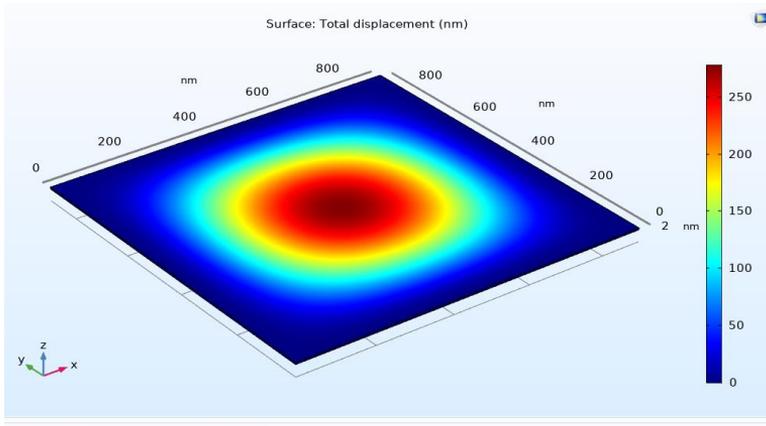
تعمل على الحساس، والجهد المطبق، والظروف الحدية الأخرى. يوضح الشكل (5) الهيكل ثلاثي الأبعاد للتصميم المقترح.



الشكل (5): هيكل ثلاثي الأبعاد للحساس المقترح

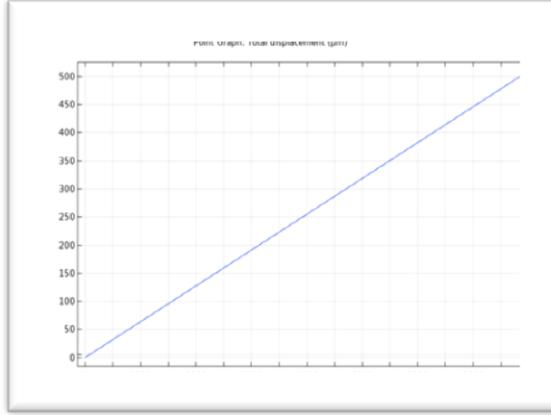
#### ○ انحراف الغشاء

يوضح الشكل (6) إزاحة الهيكل الموزعة بسبب الضغط المطبق وتكون قيمة الانحراف الأعظمي 290nm والتي نلاحظ انها مساوية للقيمة الناتجة عن الحسابات الرياضية.



الشكل (6): الانحراف الأعظمي لغشاء الحساس

أما الشكل (7) فيعرض العلاقة بين الانحراف والضغط المطبق نظرا لأن الضغط يتراوح من 0-8kPa، فإن الانحراف يزداد بازدياد الضغط.

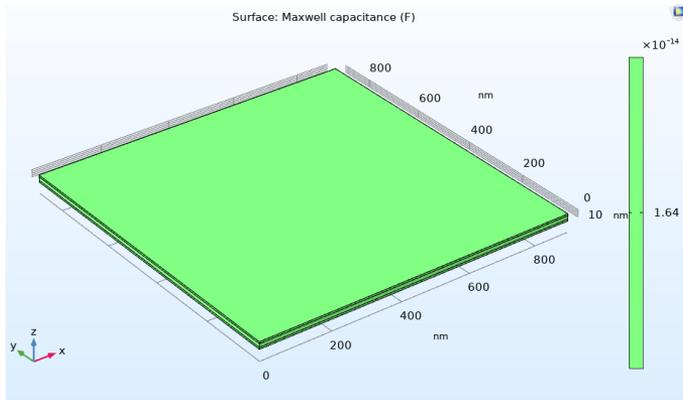


الشكل (7): العلاقة بين الانحراف والضغط المطبق

#### ○ السعة قبل تطبيق الضغط

يوضح الشكل (8) سعة الحساس قبل تطبيق الضغط. نلاحظ من الشكل أنّ السعة مقدارها

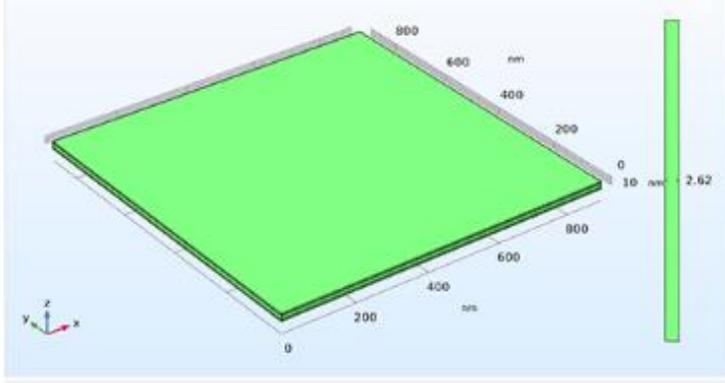
$1.6 \times 10^{-14} \text{F}$ . تظهر نتائج المحاكاة التي تمّ الحصول عليها باستخدام COMSOL انفاقاً وثيقاً مع النتائج الرياضية التي تمّ الحصول عليها.



الشكل (8): سعة الحساس قبل تطبيق الضغط

○ السعة بعد تطبيق الضَّغَط

يوضح الشكل (9) سعة الحساس بعد تطبيق الضغط. نلاحظ من الشكل أن السعة مقدارها  $2.6\text{pF}$ .

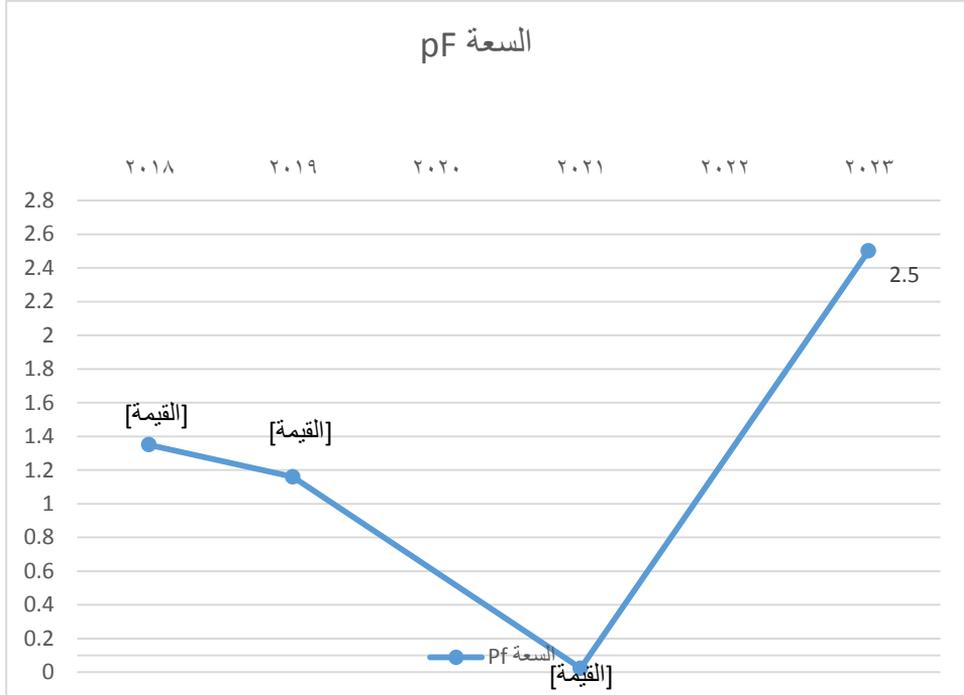


الشكل (9): السعة بعد تطبيق الضَّغَط

#### 4- النتائج ومناقشتها

يوضح الشكل (10) مقارنة نتائج الدراسات السابقة ذات الأبعاد المايكروية لحساس الضغط السعوي المستخدم لقياس الضغط داخل العين مع دراستنا الحالية ذات الأبعاد النانوية لحساس الضغط السعوي، في عام 2018 قدم تصميم للحساس بنصف قطر  $360\mu\text{m}$  وسماكة  $6\mu\text{m}$ ، أعطت نتائج المحاكاة سعة مقدارها  $1.35\text{Pf}$ ، في عام 2019 قُدم تصميم للحساس بثلاث مواد مختلفة للغشاء العلوي بسماكة  $6\mu\text{m}$ ، أعطت نتائج المحاكاة سعة مقدارها  $1.16\text{Pf}$ . بينما قدمت دراسة في 6/2021 ستة تصاميم مختلفة للحساس، أعطى التصميم ذو الأبعاد  $550\times 550\times 4.2\mu\text{m}$  لصفحة العلوية (بولي سيليكون)،  $550\times 550\times 2\mu\text{m}$  للصفحة الذهبية السفلية، فجوة هواء  $50\mu\text{m}$  أعلى سعة وقدرها  $0.023\text{pF}$ . أما دراستنا الحالية أعطت نتائج المحاكاة الموافقة بشكل كبير للنتائج

الرياضية سعة بقيمة  $2.5\text{pF}$  وهي أعلى سعة تم الحصول عليها مقارنة بالدراسات السابقة والسبب في ذلك استخدام مواد جديدة في التصميم.



الشكل (10): مقارنة نتائج الدراسات السابقة لسعة الحساس مع الدراسة الحالية

## 5- الاستنتاجات والتوصيات:

من خلال النتائج التي توصل إليها البحث، تمّ استخلاص الملاحظات والاستنتاجات الآتية:

- اعتمد البحث تقنية NEMS كتقنية جديدة غير مستخدمة في الدراسات السابقة.
- اعتمد البحث تقنية العناصر المحدودة FEM في تحليل انحناء الصفيحة العلوية للحساس.
- تمّ تصميم حساس الضغط السعوي النانوي ثلاثي الأبعاد بالإضافة إلى نمذجة إزاحة الصفيحة العلوية للحساس والتحليل السعوي وتحليل الحساسية للصفيحة مربعة الشكل. لوحظ أنّ أقصى انحراف يحدث في مركز الصفيحة العلوية.

## التوصيات المستقبلية:

- دراسة تأثير درجة الحرارة على عمل حساس الضغط السعوي.
- دراسة إمكانية استخدام هذا الحساس في المراقبة الصحية للطائرات والغوّصات والتطبيقات المدنية نظراً لفوائد استهلاك الطاقة المنخفض، والقدرة العالية على الضغط الزائد، ومعامل درجة الحرارة المنخفضة، وتحسين الاستقرار على المدى الطويل.
- دراسة تأثير تغيير الوسط الفاصل بين الصفيحتين.

## 6- المراجع References

- [1] Kumar S Santosh and Pant B D 2014 - **Design principles and considerations for 'ideal' silicon piezoresistive pressure sensor: a focused review** *Microsystem Technologies* .20 pp 1213 – 124
- [2] Balavelad K, Sheeparamatti B G 2015 -**A Critical Review of MEMS Capacitive Pressure Sensor Sensors and Transducers.** 187 pp120-128
- [3] Katuri K C, Asrani S, and Ramasubramanian M K 2008 - **Intraocular pressure monitoring sensors** .IEEE Sensors 8 pp 12-19
- [4] Asha G K Y M 2015 -**Design and Simulative Analysis of a Batteryless Teflon Coated Capacitive Pressure Sensor for Glaucoma Diagnosis.** 19th Symposium on VLSI Design and Test no.6 pp. 1–5
- [5] Xue N, Chang S P and Lee J B- **A SU-8-based microfabricated implantable inductively coupled passive RF wireless intraocular pressure sensor.** 2012 J. of Microelectromechanical Sy.
- [6] Mishra, R. B., Kumar, S. S., & Mukhiya, R. (2018, August)-**Analytical modelling and FEM simulation of capacitive pressure sensor for intraocular pressure sensing.** In *IOP Conference series: materials science and engineering* (Vol. 404, No. 1, p. 012026). IOP Publishing.
- [7] Abbas, T. M., & Al-Gayem, Q. K. (2018)- **High Sensitive MEMS Intraocular Capacitive Pressure Sensor (Glaucoma).** *Journal of University of Babylon for Engineering Sciences.* 26(7), 150-163.
- [8] Khan, S. M., Mishra, R. B., Qaiser, N., Hussain, A. M., & Hussain, M. M. (2020)- **Diaphragm shape effect on the performance of foil-based capacitive pressure sensors.** *AIP Advances*, 10(1), 015009.
- [9] Mishra, R. B., Santosh Kumar, S., & Mukhiya, R. (2020)-**Modeling and FEM-based Simulations of Composite Membrane based Circular Capacitive Pressure Sensor.** In *Advances in VLSI*,

*Communication, and Signal Processing* (pp. 497-506). Springer, Singapore.

[10] Noor, A. M., Zakaria, Z., & Saad, N. (2021)- **Intraocular MEMS Capacitive Pressure Sensor.** In *Intelligent Manufacturing and Mechatronics* (pp. 493-501). Springer, Singapore.

[11] Zhou MX, Huang QA, Qin M, Zhou W- **A novel capacitive pressure sensor based on sandwich structures.** *J Micro electromech Sys* t 14(6):1272–1282, 2005..

[12] Bolton W., 2006. Capacitance. *Engineering science* (p. 161). Oxford- **Newnes**

[13] **Ganji, B. A., and NATERI M. SHAMS. "Modeling of capacitance and sensitivity of a mems pressure sensor with clamped square diaphragm."** (2013): 1331-1336.

[14] Khan, S. M., Mishra, R. B., Qaiser, N., Hussain, A. M., & Hussain, M. M. (2020)- **Diaphragm shape effect on the performance of foil-based capacitive pressure sensors.** *AIP Advances*, 10(1), 015009.

[15] Bosh, N., Deggelmann, L., Blatter, C., Mozaffari, H., & Müller, C. (2018)- **Synthesis and characterization of Halar® polymer coating deposited on titanium substrate by electrophoretic deposition process.** *Surface and Coatings Technology*, 347, 369-378.

[16] Chevalier, J. (2006)- **What future for zirconia as a biomaterial?.** *Biomaterials*, 27(4), 535-543.

[17] Ramesh, Akhil K., and P. Ramesh-**"Trade-off between sensitivity and dynamic range in designing MEMS capacitive pressure sensor."** *TENCON 2015-2015 IEEE Region 10 Conference*. IEEE, 2015.

## تصميم جناح طائرة ذي أداء أيروديناميكي عالي مستوحى من جناح البوم

① د. م. محمد بشار معيني

② م. محمد رعد

### الملخص:

في هذا البحث، قمنا بإضافة حافة خلفية مسننة إلى جناح طائرة متناظر من نوع NACA0012، و تم العمل على تحديد تأثير تغير سعة الموجة على الخصائص الأيروديناميكية للجناح. تم إجراء البحث عند مجال زوايا هجوم من  $1^\circ$  إلى  $17^\circ$  و عند رقم رينولدز  $Re=6*10^5$ . أظهرت النتائج أنه ينتج عن إضافة حافة خلفية مسننة إلى الجناح خلط أفضل للجريان، حيث ساهم هذا الخلط في نقل كمية من الحركة من التيار الحر إلى الطبقة الحدية المتشكلة على سطح الجناح مما ساعد على تخميد الاضطراب خلف الجناح. أثر الخلط بشكل كبير على حقلي السرعة و الضغط و على القوى الأيروديناميكية الناشئة، كما أثر أيضاً على انفصال الجريان عن الجناح. بيّنت النتائج أيضاً أن السلوك الأيروديناميكي للنماذج المعدلة أفضل من الجناح التقليدي عند زوايا هجوم عالية لكن السلوك الأيروديناميكي للجناح التقليدي يتفوق على الأجنحة البيونيكية عند زوايا هجوم منخفضة. و هذا يفسر سبب قيام البوم بزيادة زاوية الهجوم عند الانقضاض على فريسته.

الكلمات المفتاحية : البوم، تسنين حافة خلفية، معامل الرفع، معامل الجر، رقم رينولدز، طول موجة التسنين، سعة الموجة، ميكانيك الموائع الحسابي.

① دكتور مهندس في هندسة القوى الميكانيكية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة البعث.

② طالب ماجستير في قسم هندسة القوى الميكانيكية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة البعث.

# Designing of an Aircraft Wing with High Aerodynamic Performance Inspired by the Wing of an Owl

① Mohammad Bashar Moainy

② Mohammad raad

## Abstract:

In this paper, we add a serrated trailing edge to a symmetrical wing of the NACA0012 type, and work has been done to determine the effect of changing the wave amplitude on the aerodynamic properties of the wing. The research was carried out at a range of angles of attack from  $1^\circ$  to  $17^\circ$  and at Reynolds number  $Re=6*10^5$ . The results showed that adding a serrated trailing edge to the wing results in better flow mixing, as this mixing contributes to transferring an amount of movement from the free stream to the boundary layer formed on the surface of the wing, which helps dampen the turbulence behind the wing. Mixing greatly affected the fields of velocity and pressure and the emerging aerodynamic forces. It also affected the separation of the flow from the wing. The results also showed that the aerodynamic behavior of the modified models is better than the conventional wing at high angles of attack. But the aerodynamic behavior of a conventional wing is superior to that of a bionic wing at low angles of attack. This explains why owls increase the angle of attack when pouncing on their prey.

**Keywords** : Owl, Trailing edge serrations, Lift coefficient, Drag coefficient, Reynoldes number, serration wavelength, amplitude of serration, Computational Fluid Dynamics.

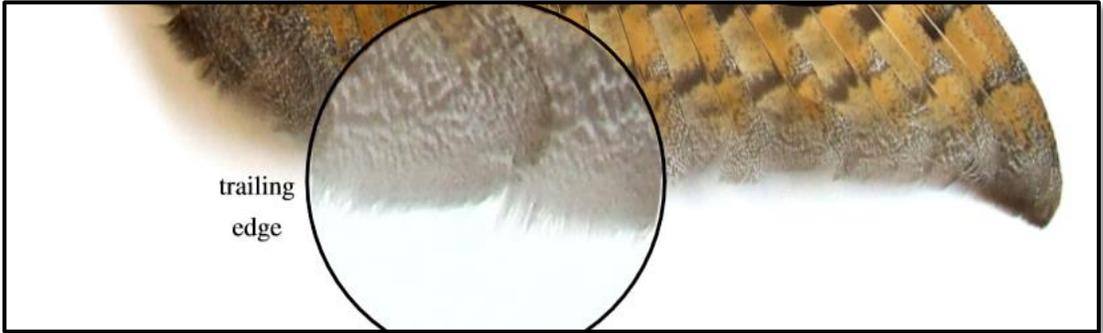
① Professor in the Department of Mechanical Power - Faculty of Mechanical Engineering –Al-Baath University.

② Master's student in the Department of Mechanical Power Engineering -Faculty of Mechanical Engineering- Al-Baath University.

## 1. مقدمة:

يعتبر اليوم OWI أحد أهم الطيور التي يعمل الباحثون على محاكاتها في الوقت الراهن نظراً للخصائص الأيروديناميكية الفريدة التي يمتلكها مثل معامل الرفع و نسبة الرفع إلى الجر المرتفعان [1]. و التي تميزه عن باقي الطيور الأخرى مثل الصقر buzzard و الباشق sparrowhawk.

يذكر Lilley أن الحافة الخلفية لجناح البومة هي حافة مسننة و مهدبة [2] كما في الشكل (1)، وفقاً ل [3] Graham فإن أحد الأغراض المحتملة لهذه الحافة الخلفية هي السماح بخلط جزئي لتيارات الهواء المتدفقة على كل من جانب الامتصاص وجانب الضغط للجناح بالقرب من الحافة الخلفية. و يشير إلى أنه نتيجةً لهذا الخلط لا تتشكل الدوامات المنتجة للضوضاء.



الشكل (1): الحافة الخلفية المسننة و المهدبة لليوم

طبعاً لا يمكن نسخ خصائص جناح اليوم على جميع أنواع أجنحة الطائرات بشكل مباشر، و لكن يمكن أن نستفيد من هذه الخصائص في تصميم ريش العنفات الريحية و الطائرات بدون طيار نظراً لتقارب رقم رينولدز لهذه التطبيقات مع رقم رينولدز لليوم و السبب هو أن سرعة اليوم حين يصطاد تبلغ من عشرة إلى خمسة عشر كيلومترا في

الساعة فقط أي برقم رينولدز  $Re=0.9*10^5$ ، بينما تطير الطائرات بدون طيار (micro MAVs (air vehicle برقم رينولدز من  $10^4$  إلى  $10^5$ ، و تعمل شفرات العنقات الريحية في مجال من  $10^5$  إلى  $10^6$ .

## 2. الهدف من البحث:

يهدف البحث إلى تصميم جناح طائرة مستوحى من جناح البوم ، يتصف هذا الجناح بأداء أيروديناميكي عالي عند أرقام رينولدز منخفضة، عن طريق إضافة حافة خلفية مسننة إلى الجزء الخلفي من الجناح. هذه الحافة تساعد في إعادة خلط الجريان مما يحسن المواصفات الأيروديناميكية للجناح.

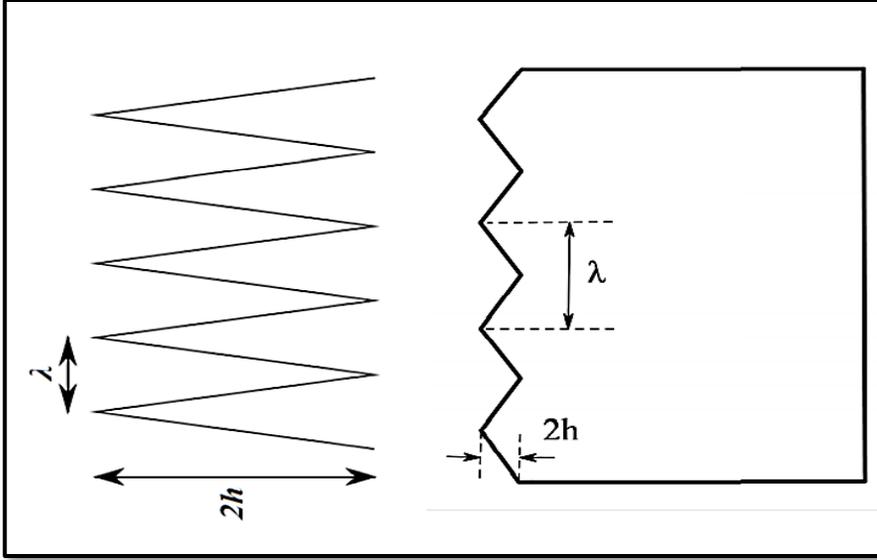
## 3. أهمية البحث:

تكمن أهمية هذا البحث في أنه يحاول إيجاد حلول للمشاكل المتعلقة في النقل الجوي و الطيران، كزيادة استهلاك الوقود و زيادة الانبعاثات الغازية و تلوث المناخ كما سيساعد البحث في تخفيض الضجيج الأيروديناميكي الصادر عن الطائرات [4].

## 4. تعاريف و مصطلحات:

طول الموجة  $\lambda$  : و هي المسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتالين.

سعة الموجة  $2h$  : و هي المسافة بين القمة و القاع، الشكل(2).



الشكل (2): شكل الحافة الخلفية التي سيتم إضافتها إلى الجناح و البارمترات المحددة لها

## 5. القوى المؤثرة على الجناح:

هناك قوتين تؤثران على الجناح :

1.5. الجر Drag:

وهي القوة التي تقاوم حركة الجناح إلى الأمام[5].

و تعطى بالعلاقة التالية:

$$D = \frac{1}{2} * \rho * C_d * U^2 * S \quad (1)$$

و تقسم قوى الجر حسب المنشأ إلى قسمين رئيسيين:

❖ الاحتكاك  $D_{fr}$ :

تنتج قوى الاحتكاك عن احتكاك المائع مع سطح المقطع و ينشأ عنها إجهاداً يسمى إجهاد القص و نحسب الاحتكاك وفق قانون نيوتن التالي :

$$D_{fr} = \mu \cdot \frac{dU}{dx} \cdot S \quad (2)$$

حيث أن :

$\mu$ : اللزوجة التحريكية.

$\frac{dU}{dx}$ : تدرج السرعة في اتجاه الناظم على السطح  $S$ .

❖ قوى جر فرق الضغط  $D_p$ :

يحدث نتيجة فرق الضغط بين أول و آخر الجناح و تتشكل دوامات خلف الجناح، كما يتشكل ما يعرف بالأثر الذيلي ، و كلما كانت الدوامات المتشكلة خلف الجناح أكبر كانت مركبة جر فرق الضغط أكبر.

2.5. معامل الرفع:

و هي قوة متعامدة مع الجريان تعطى قوة الرفع بالعلاقة التالية[6] :

$$L = \frac{1}{2} * \rho * C_L * U^2 * S \quad (3)$$

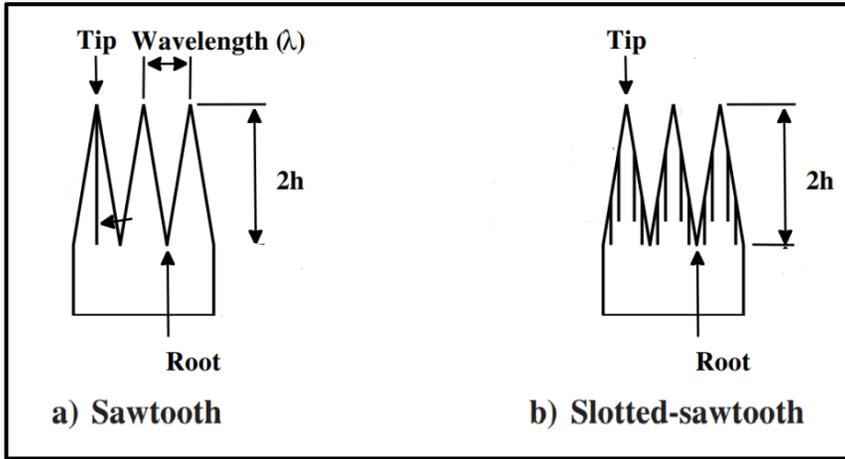
## 6. الدراسات المرجعية :

### الدراسة المرجعية الأولى [7] :

أجرى الباحث Xiao Liu بحثًا بعنوان :

### Aerodynamic Performance and Wake Development of Airfoils with Serrated Trailing-Edges

لمعرفة تأثير إضافة نوعين من الحافات الخلفية: (الأولى مسننة فقط و الثانية مسننة و مشقوفة) كما في الشكل (3) و على نوعين من الأجنحة : الأول متناظر (NACA0012) و الثاني محدب (NACA65(12)-10)، الشكل (4).



الشكل (3): الحافة الخلفية المسننة (Sawtooth) و الحافة الخلفية المسننة و المشقوفة

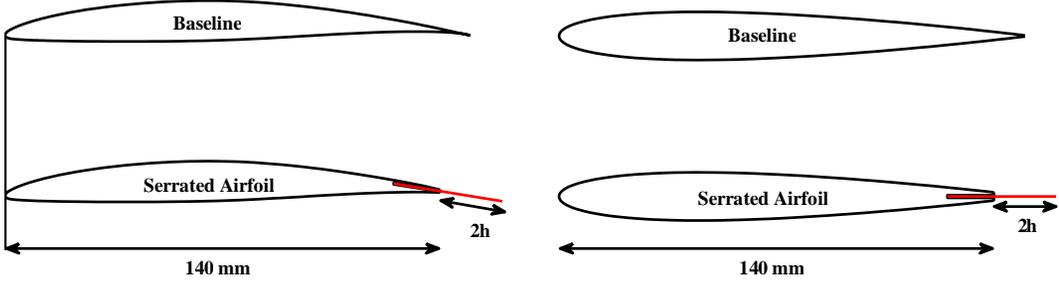
(Slotted-sawtooth) التي تم إضافتها في الدراسة المرجعية الأولى

وننتج عن هذه التعديلات الأجنحة التالية :

الجناح الأصلي

الجناح المضاف إليه حافة خلفية مسننة Sawtooth serration

الجناح المضاف إليه حافة خافية مسننة ومشقوقة Slotted-sawtooth .serration



الشكل (4): نماذج الأجنحة التي تم اختبارها في الدراسة المرجعية الأولى

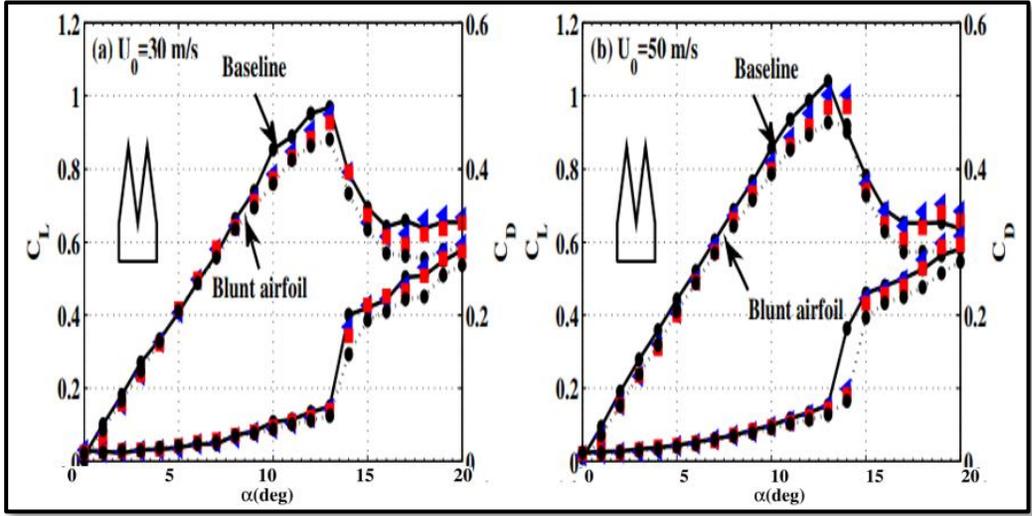
أجرى الباحث الاختبار عند أرقام رينولدز  $Re=6*10^5$  ,  $Re=2*10^5$  ، وأما مجال زوايا الهجوم فكان من  $0^\circ$  إلى  $20^\circ$  للجناح NACA0012، و من  $5^\circ$  إلى  $20^\circ$  للجناح (NACA65(12)-10).

قام الباحث بمقارنة الأجنحة المعدلة مع الجناح الأساسي، و قد أظهرت نتائج الاختبار ما يلي:

الجناح NACA0012 :

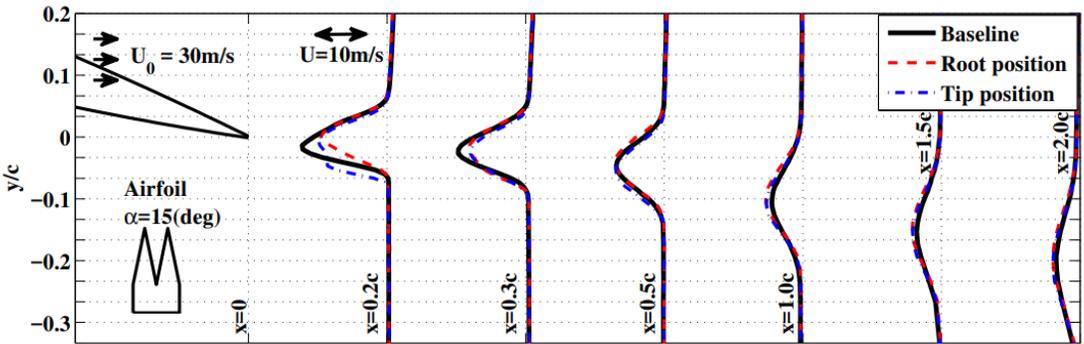
أظهرت النتائج تخفيض في معامل الرفع خارج منطقة الانهيار بنسبة 10% ، و تحسّن في معامل الرفع داخل منطقة الانهيار. كما بيّنت النتائج أيضا تحسن زاوية الانهيار بمقدار  $1^\circ$  .

أظهرت النتائج أيضا أن معامل الجر ينخفض عند زوايا هجوم عالية، فيما يرتفع عند زوايا هجوم صغيرة بسبب زيادة إجهاد القص، الشكل(5).

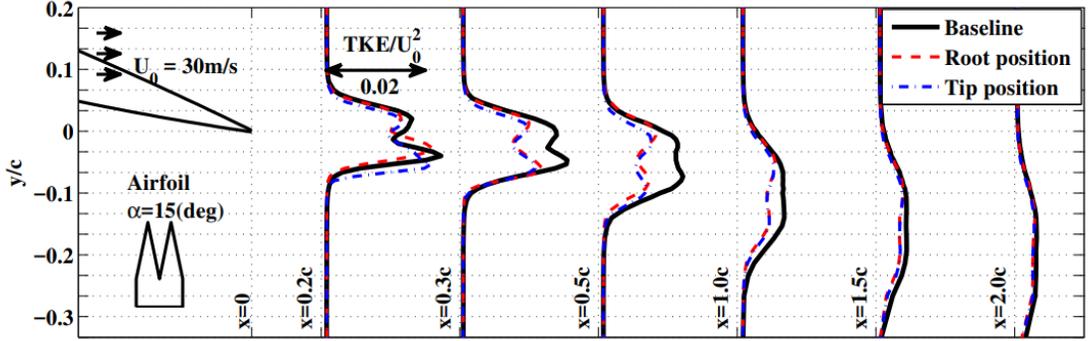


الشكل (5): تغير معاملي الرفع و الجر بتغير زاوية الهجوم للجناح NACA0012 و النمادج المعدلة عند سرعتي  $U_0=30\text{m/sec}$ ،  $U_0=50\text{m/sec}$  حسب الدراسة المرجعية الأولى

بيّنت النتائج اختلاف كبير في مخططات السرعة ومخططات الطاقة الحركية بين الجناح الأساسي من جهة و جذر و رأس السن للجناح المعدل من جهة أخرى نتيجةً لخط الجريان، الشكلان (6) و (7).



الشكل (6): تغير مخططات السرعة بين الجناح التقليدي و جذر و رأس السن للجناح المعدل عند زاوية هجوم  $\alpha=5$



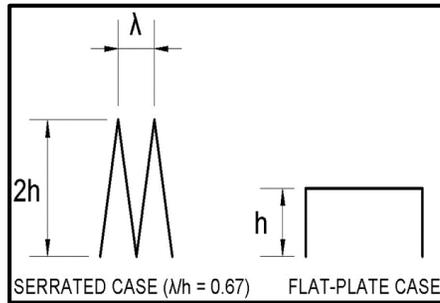
الشكل (7): تغير مخططات الطاقة الحركية بين الجناح التقليدي و جذر و رأس السن للجناح المعدل عند زاوية هجوم  $\alpha=5$

### الدراسة المرجعية الثانية [8]:

قام الباحث Gharali et al بإعداد بحث بعنوان:

## A PIV LOAD AND FLOW STRUCTURE STUDY OF A SERRATED DYNAMIC AIRFOIL

لمعرفة تأثير إضافة نوعين من الحافات الخلفية (الأولى مسننة و الثانية على شكل صفيحة مسطحة) على معامل الرفع، الشكل (8).



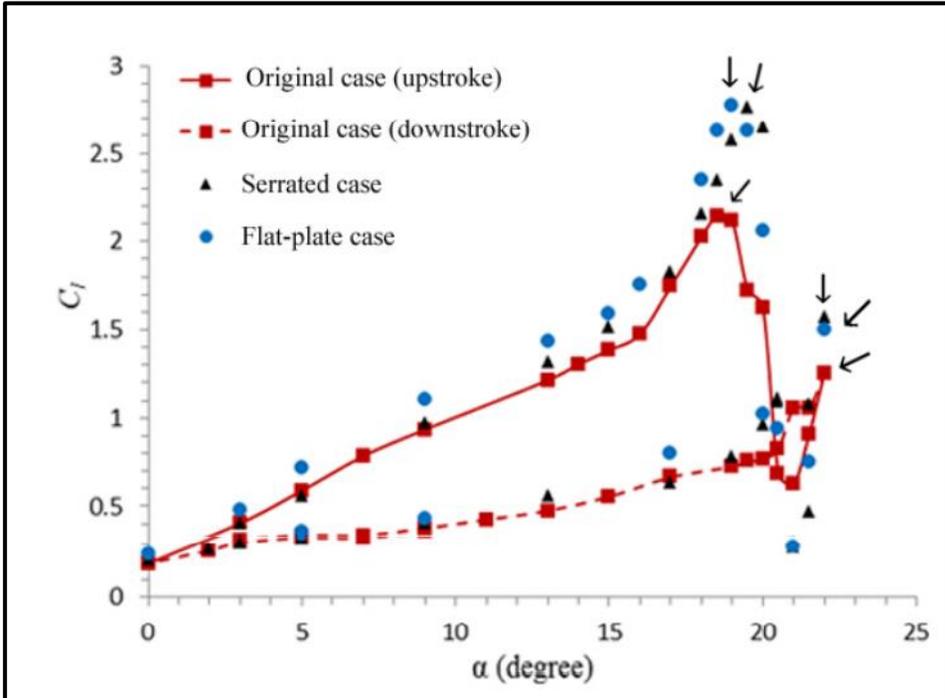
الشكل (8) : الحافة الخلفية المسننة و الحافة الخلفية المسننة التي تم إضافتها في الدراسة المرجعية الثانية

قام الباحث بإجراء الاختبار على جناح SD 7037 aifoil و عند رقم رينولدز  $Re$

$4 \times 10^5 =$  و عند مجال زوايا هجوم من  $0^\circ$  إلى  $22^\circ$ .

أظهرت النتائج أن الحافة الخلفية المسننة تحسن معامل الرفع بمقدار 10% و

الحافة الخلفية المسطحة تحسن معامل الرفع بمقدار 13%، الشكل (9).



الشكل (9) : تغيير معامل الرفع للجناح SD 7037 مع تغيير زاوية الهجوم للنماذج المعدلة حسب الدراسة المرجعية الثانية

الدراسة المرجعية الثالثة [9]:

أعد الباحث T. Sai Teja بحثًا بعنوان :

Reducing aircraft radar cross-section with owl wing type  
serrated trailing edges

تم إجراء البحث في مجال زوايا هجوم من  $0^\circ$  إلى  $90^\circ$ . حاول الباحث تخفيض الضجيج الناتج عن جناح دلتا مسطح (طائرة) عن طريق عدة تصاميم تشبه في تصميمها جناح البوم. تضمن البحث ثلاثة تعديلات على الحافة الخلفية لجناح طائرة من نوع دلتا مسطح، و تم إدراجها في الشكل (10).

هذه الحافات هي :

حافة مسننة بأسنان مثلثية

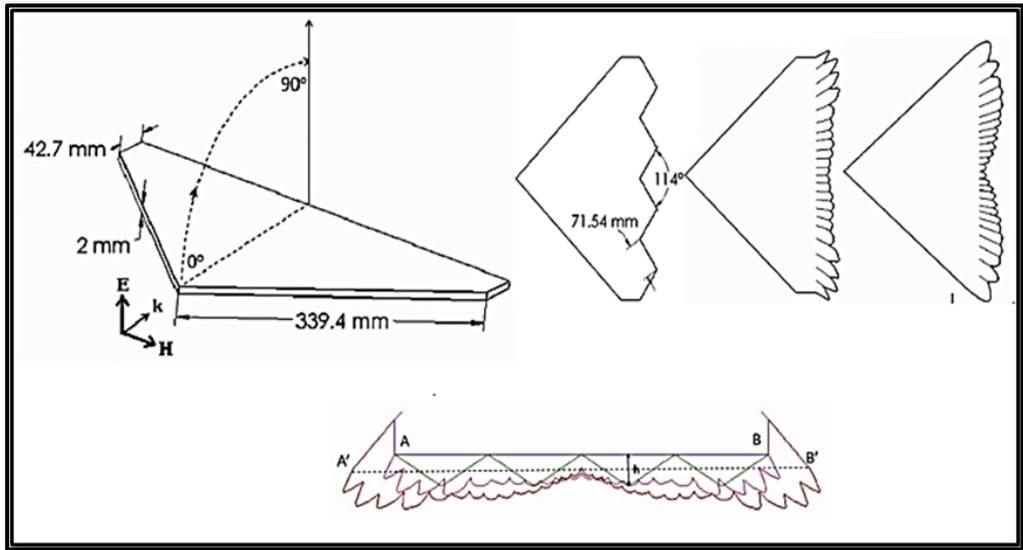
حافة مستوحاة من جناح البوم 1

حافة مستوحاة من جناح البوم 2

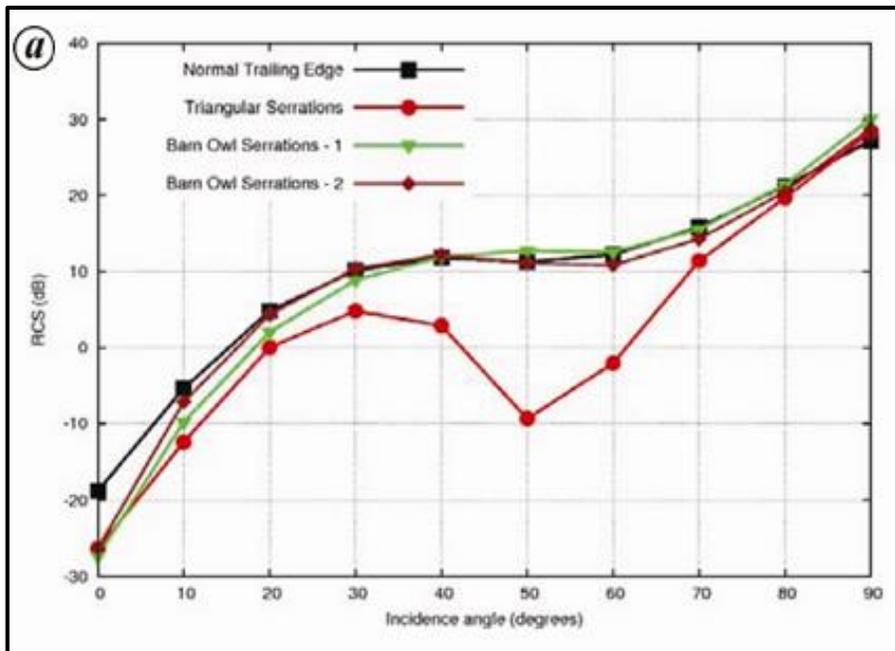
و قارن النتائج مع الطائرة الأصلية.

أظهرت النتائج قدرة الحافات الثلاثة على تخفيض الضجيج و خاصة الحافة

المثلثية، انظر الشكل(11).



الشكل (10): نماذج الأجنحة التي تم اختبارها في الدراسة المرجعية الثالثة



الشكل (11): نتائج الدراسة المرجعية الثالثة

## 7. متغيرات البحث

سنحدد في هذا البحث تأثير تغير سعة الموجة  $2h=H$  على معاملي الرفع و الجر و نسبة الرفع إلى الجر. كما سيتطرق البحث أيضا للتغيرات الحاصلة على حقلي السرعة و الضغط و خطوط التيار إضافة لإجهاد القص.

## 8. منهجية البحث

أن المنهج الذي يقوم عليه البحث هو تصميم نموذج تقليدي مع عدة نماذج بيونيكية على برنامج SolidWorks و اختبارها على برنامج ANSYS FLUENT ثم استخلاص النتائج و تحليلها.

## 9. المجال الحسابي Computational Domain:

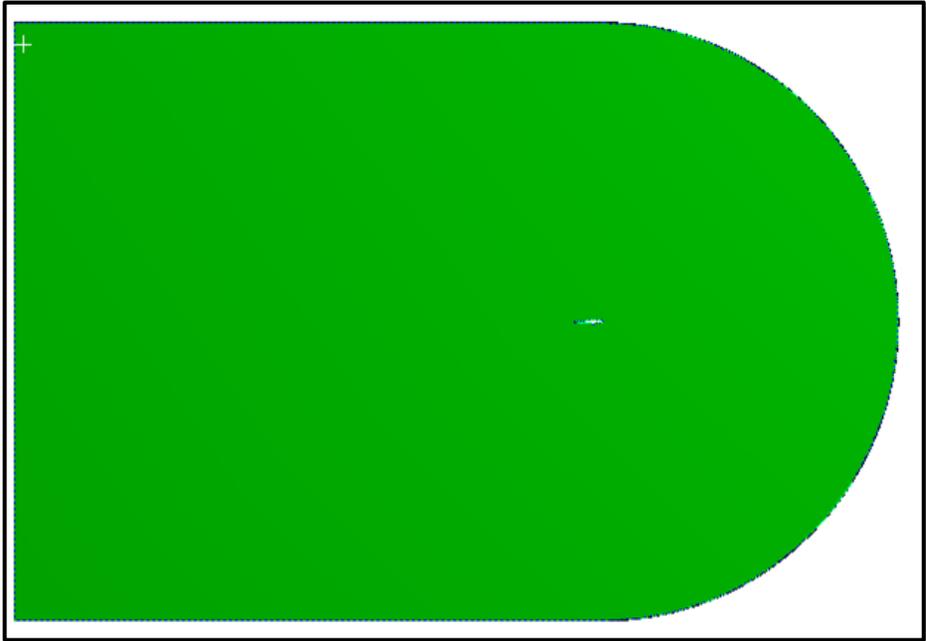
المجال الحسابي Computational Domain عبارة نفق هوائي مطروح منه الجناح المدروس، و تمت عملية التصميم بالطريقة التالية:

### 1.9. تصميم الجناح:

بداية تم الحصول على المقطع العرضي للجناح من الموقع الإلكتروني [www.airfoiltools.com](http://www.airfoiltools.com).

تم تصميم الجناح التقليدي بالإضافة إلى الأجنحة البيونيكية بشكل ثلاثي الأبعاد على برنامج Solidworks و بطول وتر  $C=0.1m$ ، ثم تم تصديرها إلى برنامج Ansys Workbench بصيغة IGS، حيث تم تصميم النفق الهوائي الذي سوف تجري الاختبار فيه.

النفق الهوائي موضَّح في الشكل (12) و هو عبارة عن مقطعين:



الشكل (12): النفق الهوائي الذي تم إجراء الاختبار فيه

المقطع الأمامي: عبارة عن نصف دائرة بقطر  $D=20C$ .

المقطع الخلفي: عبارة عن مربع بأبعاد  $20C * 20C$ .

أما سماكة النفق في الاتجاه الثالث كانت  $0.2C$  للحصول على عدد صحيح من الأسنان.

و يقع الجناح بالقرب من مركز نصف الدائرة، كما تم التحكم بزاوية هجوم التيار إلى الجناح المدروس، عن طريق تدوير الجناح حول المحور العامودي على مقطع الجناح.

### 3.9. الشبكة الحسابية:

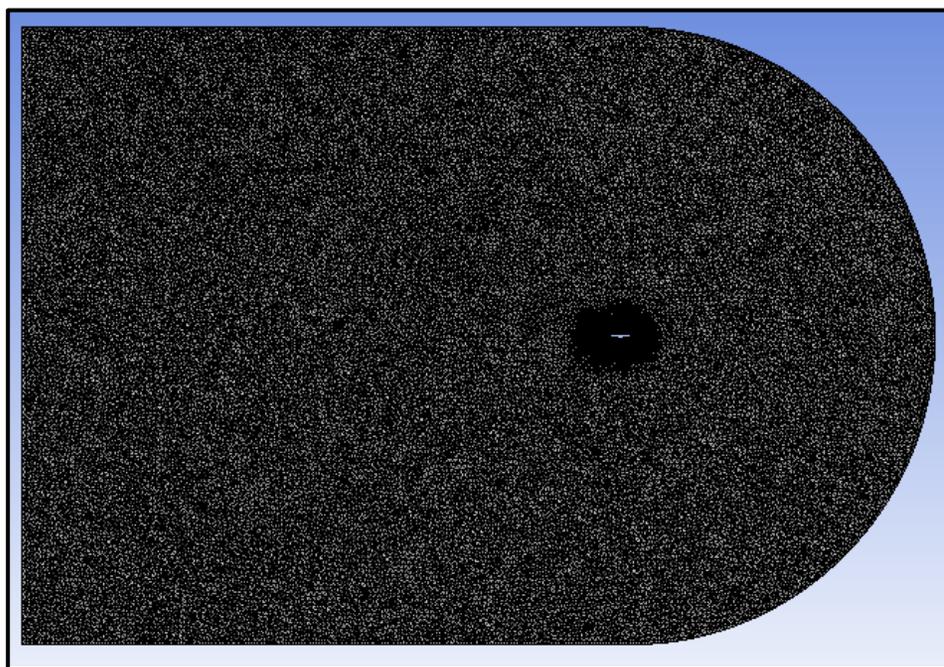
بعد الانتهاء من تصميم المجال الحسابي Computational Domain ، تم العمل على توليد الشبكة Mesh مع الأخذ بالاعتبار زيادة العناصر بالقرب من سطح الجناح، وبما أن إجهاد القص و تدرج السرعة كبير عند سطح الجناح، تمت الاستعانة بميزة inflation التي تقوم بتوليد عدة طبقات تساعد على تغطية الطبقة الحدية المتشكلة حول الجناح و بالتالي الحصول على نتائج أكثر دقة فيما يتعلق بالجر.

و لتحديد ما إذا كان ارتفاع الطبقات مناسب أم لا، نستعين بالمقياس اللابيدي  $y^+$ ، حيث يجب أن تكون قيمة ال  $y^+$  أقل من واحد، و تعتبر النتائج دقيقة إذا كان  $y^+ < 1$ ، أو إذا كان بين  $30 < y^+ < 40$  و لكن بالاستعانة بميزة توابع الجدار [10] wall functions.

يتطلب الحصول على قيمة ل  $y^+$  أقل من 1 اختيار ارتفاع طبقة أولى  $\Delta y_1$  مناسب ،

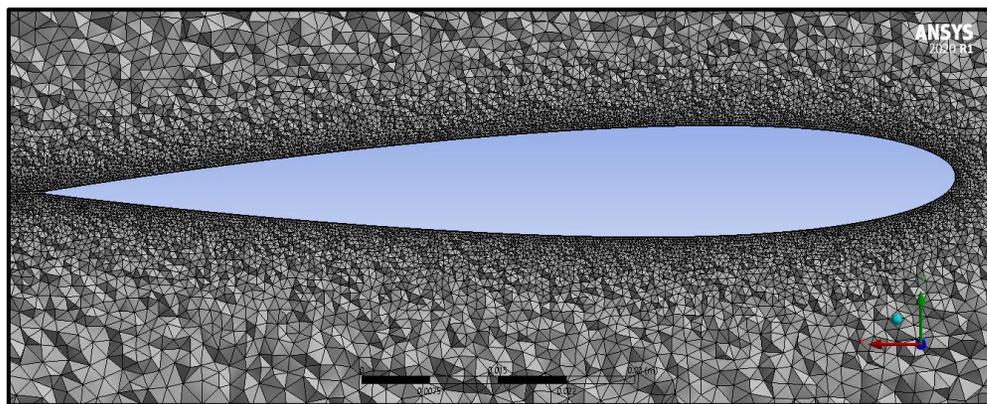
و في حالاتنا فإن ارتفاع الطبقة الأولى هو  $\Delta y_1 = 0.000001 \text{ mm}$ ، و بالتالي فإن  $y^+$  تراوح بين (0.21 إلى 0.68) لجميع النماذج . أما عدد الطبقات التي تم اختيارها فكان 12 طبقة.

يبين الشكل (13) الشبكة الحسابية المولدة.



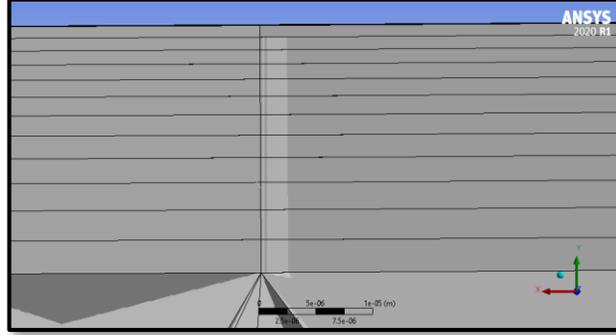
الشكل (13): الشبكة الحسابية MESH

يبين الشكل (14) لقطة مقربة من مقطع الجناح و يتضح من الشكل كثافة العناصر  
الحاصلة في الشبكة بالقرب من الجناح.



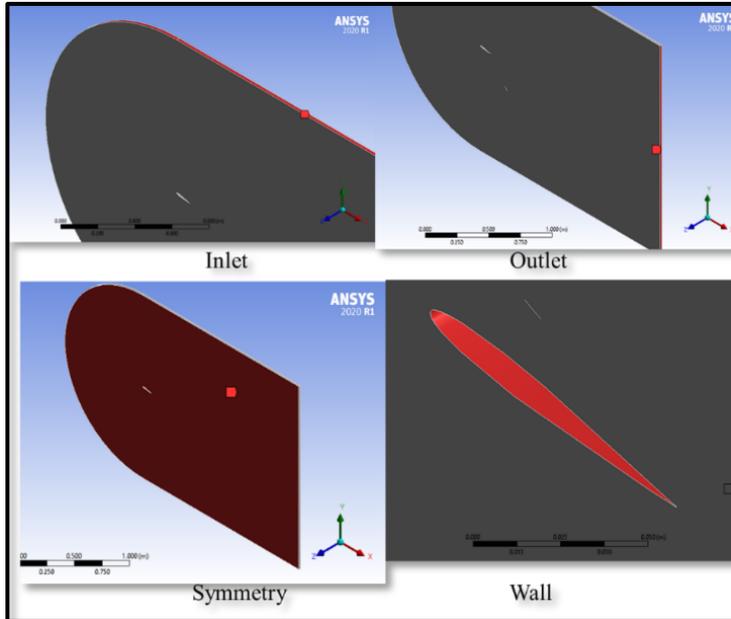
الشكل (14): لقطة مقربة بالقرب من الجناح المدروس

كما يظهر الشكل (15) لقطة مقربة من السطح السفلي لمقطع الجناح بهدف توضيح عدد طبقات الشبكة الناعمة (inflation) بالقرب من سطح الجناح.



الشكل (15): لقطة مقربة بالقرب من السطح السفلي للجناح

أما سطوح المجال الحسابي فقد تم تحديدها كما في الشكل (16):



الشكل (16): تحديد سطوح المجال الحسابي

## 4.9. النموذج الرياضي:

تمت الدراسة بافتراض الهواء هو المائع المحيط بالأجنحة المدروسة، هذا الجريان برقم رينولدز  $Re=6*10^5$  أي بسرعة  $U=87$  m/sec ، و بالنسبة لرقم ماخ فقد كان  $Ma=0.258$  و هذه القيمة أقل من القيمة الحرجة لرقم ماخ ( $Ma_{cr}=0.3$ ) مما يعني أن الجريان غير قابل للانضغاط، و يجب استخدام Pressure based solver ، و تعريف السطح inlet بحسب السرعة velocity inlet و تعريف السطح outlet بحسب الضغط pressure outlet [11].

و بالتالي الحريان المدروس هو جريان خارجي ثلاثي البعد لزج غير قابل للانضغاط، كما تم اعتبار الجريان مستقرًا (steady) و مضطرباً و تم اختيار النموذج k-w SST كنموذج اضطراب [12].

## 5.9. طريقة الحل Solution Methods:

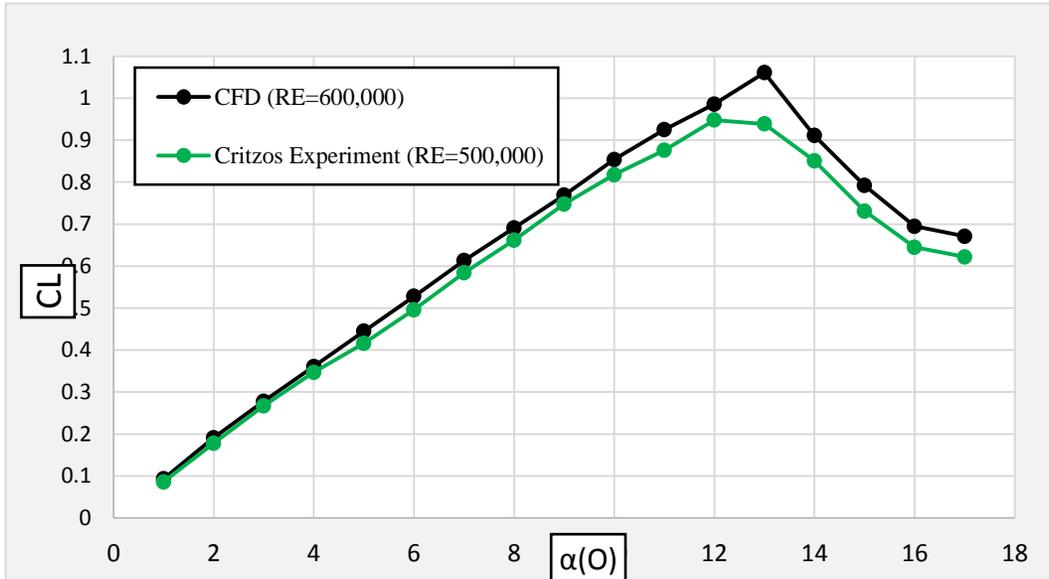
تم في هذه المرحلة اختيار طرق الحل و خوارزميته، حيث يقدم البرنامج خوارزميات متعددة للحل مثل خوارزمية SIMPLE و Coupled و غيرها. تم اختيار خوارزمية Coupled في هذا البحث و التي تقوم بحل معادلات الجريان بشكل متزامن معاً بحيث يساهم في الوصول للتقارب بسرعة أكبر من خوارزمية SIMPLE [13]. و بالنسبة لشروط التقارب أي وصول الرواسب لقيمة أقل من حد معين مسبقاً، فقد كانت  $10^{-4}$  بالنسبة لمعادلة الاستمرار و  $10^{-5}$  لباقي المعادلات، كما تراوحت مدة الحل حوالي خمس ساعات.

## 6.9. التأكد من الحل:

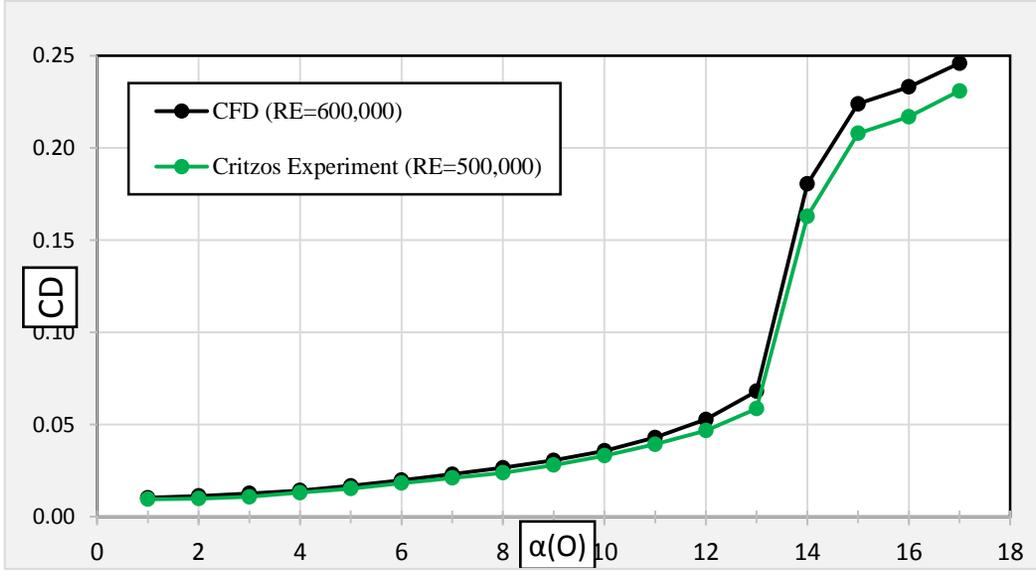
بعد إجراء التحليل العددي للنموذج التقليدي و مقارنة النتائج المستخلصة مع النتائج التجريبية المعروضة في المرجع [14]، لاحظنا أن النتائج قد تطابقت مع Critzos مع وجود بعض الاختلاف. فبالنسبة لمعامل الرفع نلاحظ وجود تطابق جيد خارج منطقة الانهيار مع وجود بعض الفروقات في القيم داخل منطقة الانهيار، كما لاحظنا أيضاً أن زاوية الانهيار هي 12 أما النتائج التي توصل إليها البحث و المدرجة في الشكل (17)

فهي 13 ، و بالنسبة لمعامل الجر فقد كان التطابق أفضل بكثير حيث تطابقت نتائج البحث مع النتائج التجريبية لنفس المرجع مع وجود هامش انحراف بسيط داخل منطقة الانهيار، انظر الشكل(18). و يمكن إرجاع هذه الاختلافات في النتائج للتفاوت في قيمة رقم رينولدز للبحث (RE=600000) و رقم رينولدز ل Critzos (RE=500000)، حيث لم تتوفر دراسة تجريبية عند رقم رينولدز (RE=60000).

تدل نتائج المحاكاة على أن النموذج التقليدي سيعطي قيمةً صحيحةً في حال تطابق رقم رينولدز للبحث مع رقم رينولدز ل Critzos. كما تدل على أن نتائج المحاكاة للنماذج البيونيكية ستكون مقبولة في حال تطبيق نفس الشبكة المستخدمة لاختبار النموذج التقليدي، و بالتالي يمكن متابعة العمل و دراسة أداء النماذج البيونيكية و من ثم مقارنتها مع النموذج التقليدي.



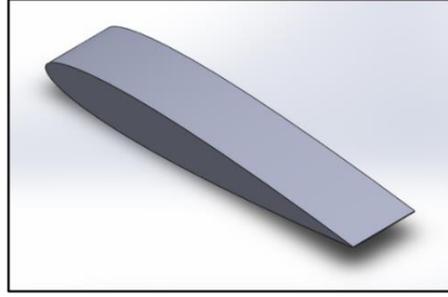
الشكل (17): مقارنة النتائج التجريبية التي توصل إليها Critzos مع النتائج الحسابية (CFD) التي توصل إليها البحث لقيمة معامل الرفع للجناح NACA0012



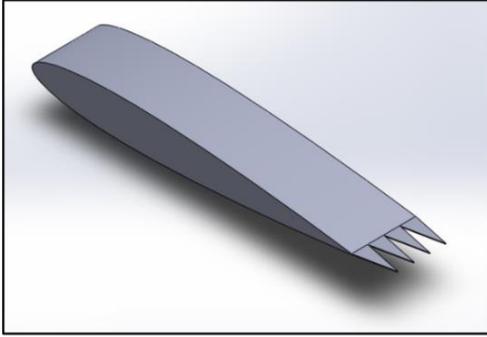
الشكل (18): مقارنة النتائج التجريبية التي توصل إليها Ctrizos مع النتائج الحاسوبية (CFD) التي توصل إليها البحث لقيمة معامل الجر للجناح NACA0012

10. نتائج دراسة تأثير تغير سعة الموجة H على الخصائص الأيروديناميكية: تتضمن هذه الفقرة دراسة عن تأثير تغير سعة موجة الحافة الخلفية H على السمات الأيروديناميكية لعدة نماذج وهي: نموذج تقليدي و نموذج بيونكي H6 و نموذج بيونكي آخر H12. وهي موضحة في الشكل (19).

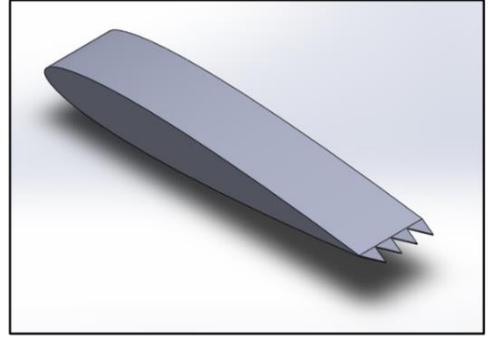
تم اختيار رقم رينولدز  $Re=6*10^5$  و زوايا هجوم (من 1 إلى 17) لإجراء الاختبار.



الجناح التقليدي



الجناح البيونيكي H12



الجناح البيونيكي H6

الشكل (19): النماذج المفروضة لدراسة تأثير تغيير سعة الموجة على الخصائص الأيروديناميكية

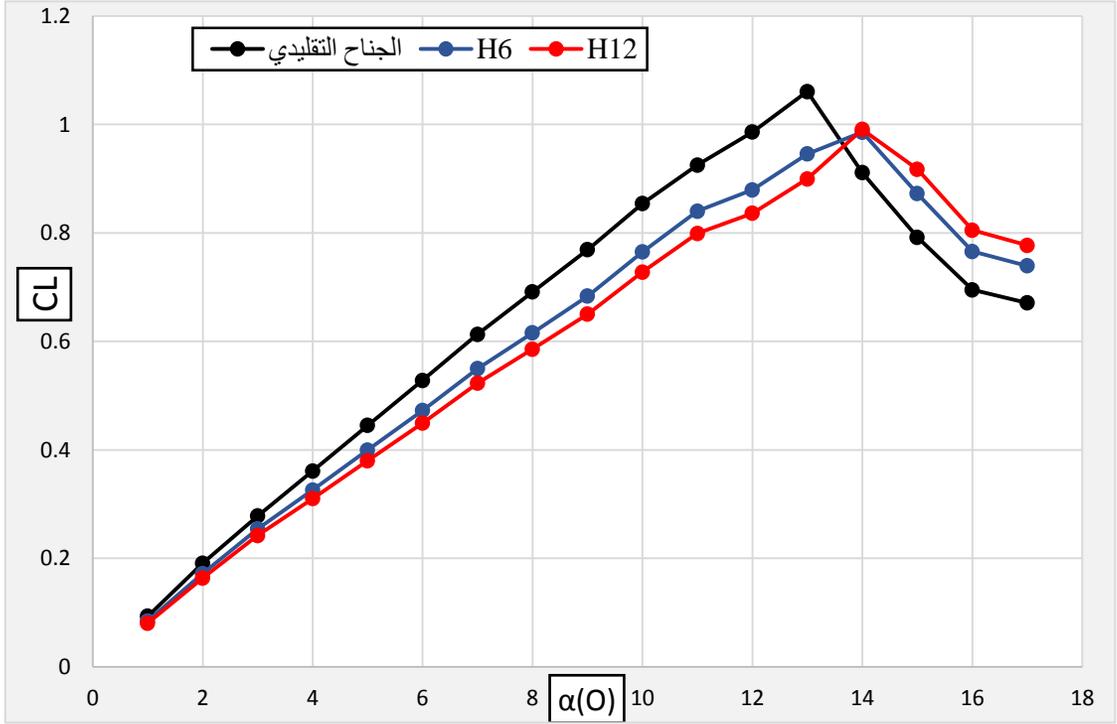
و بالنسبة لمواصفات الأجنحة المدروسة فقد تم إيضاحها في الجدول (1).

الجدول (1): بارامترات الأجنحة المفروضة لدراسة تأثير تغيير سعة الموجة  $H$

اسم الجناح	طول موجة الحافة الخلفية $\lambda$	سعة موجة الحافة الخلفية $H=2h$	ثخانة الحافة الخلفية $TE$ المسننة	زاوية ميل الحافة الخلفية عن الخط الوسطي للجناح $\beta$
الواحدة	[mm]	[mm]	[mm]	[degree]
الجناح التقليدي	-	-	-	-
$\lambda 10$ الجناح البيونيكي	5	12	0.25	0
$\lambda 5$ الجناح البيونيكي	5	6	0.25	0

كما أوردنا صور توضيحية تبرهن على صحة النتائج التي توصلنا لها.

يظهر في الشكل (20) العلاقة بين معاملات الرفع للنماذج الثلاثة المدروسة عند تغير زاوية الهجوم.



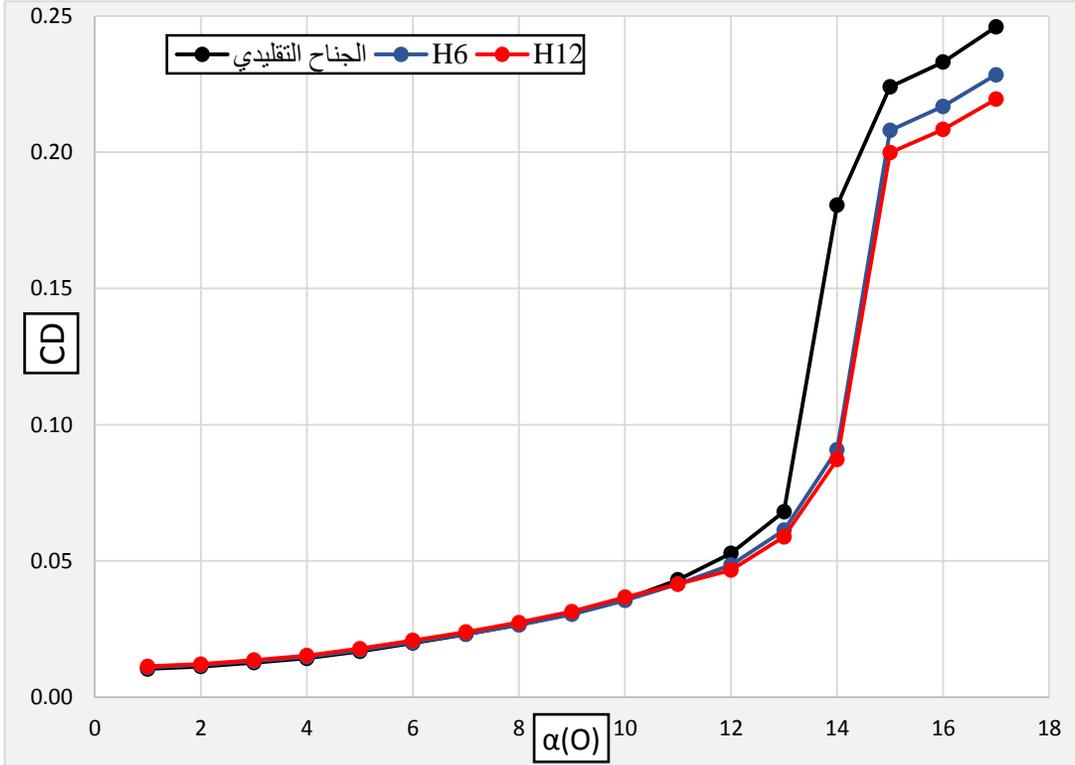
الشكل (20): علاقة معامل الرفع (CL) مع زاوية الهجوم ( $\alpha$ ) عند تغير سعة موجة الحافة الخلفية المسننة (H)

عند النظر إلى الشكل السابق نلاحظ انخفاض في معامل الرفع للأجنحة البيونيكية خارج منطقة الانهيار، في حين لوحظ تحسن معامل الرفع للأجنحة البيونيكية داخل منطقة الانهيار. يتضح من الشكل أيضاً أن النماذج المعدلة تتهاور عند الزاوية 14 في حين ينهار الجناح التقليدي عند الزاوية 13.

يمكن أن نقول أن إضافة حافة خلفية مسننة لعب دوراً في إعادة توزيع حقل الضغط حول النماذج المسننة و الذي أسفر عن تغيرات كبيرة معاملات الرفع لهذه النماذج. و سنشرح لاحقاً أسباب هذه التغيرات.

2.10. معامل الجر :

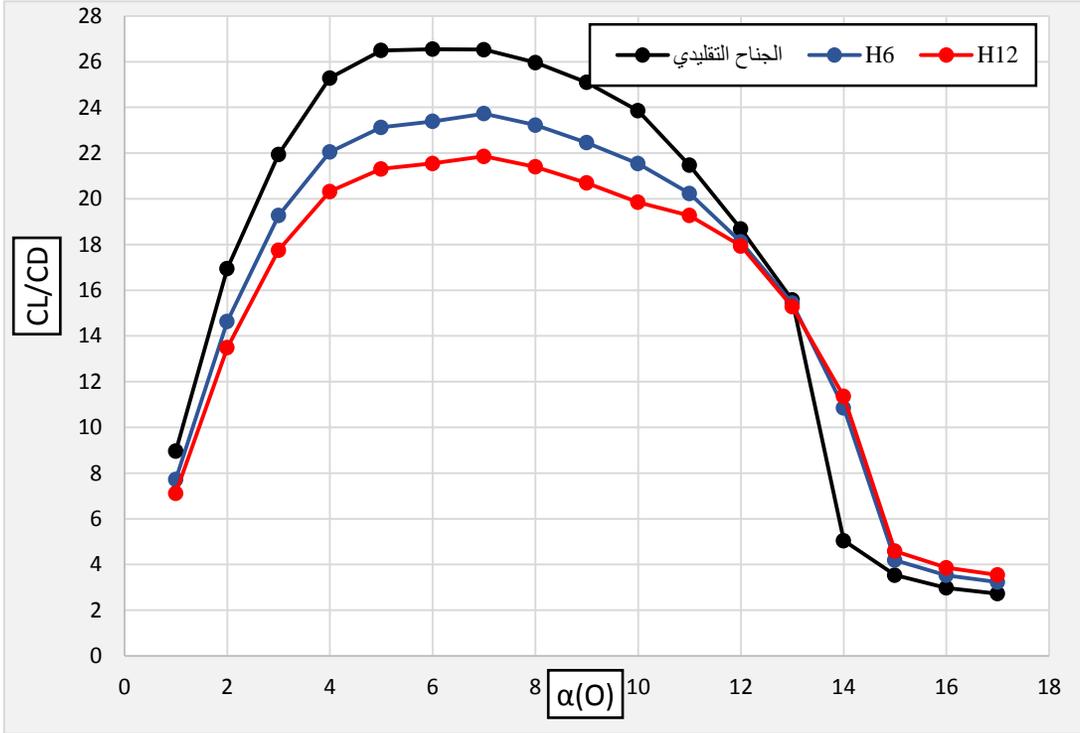
يُوضّح الشكل (21) مقارنة لتغير معاملات الجر بتغيّر زاوية الهجوم للنماذج التي قمنا بتحديدتها سابقاً.



الشكل (21): علاقة معامل الجر (CD) مع زاوية الهجوم ( $\alpha$ ) عند تغير سعة موجة الحافة الخلفية المسننة (H)

بالتمعن في الشكل، نلاحظ أن معامل الجر للحالات البيونيكية مرتفع عند زوايا هجوم صغيرة و يعود السبب لموضوع زيادة إجهاد القص، كما يظهر من الشكل أيضاً أن معامل الجر ينخفض لهذه النماذج عند زوايا هجوم كبيرة بسبب انخفاض مركبة جر فرق الضغط، حيث انخفض معامل الجر للجناح H6 بنسبة 10% عند الزاوية  $13^\circ$ ، بينما انخفض معامل الجر للجناح H12 بنسبة 13.5% عند نفس الزاوية. و سنوضح هذه النتائج بالتفصيل فيما بعد.

يبين الشكل (22) مقارنة لنسبة الرفع إلى الجر بتغير زاوية الهجوم للأجنحة الثلاثة المقرر دراستها.



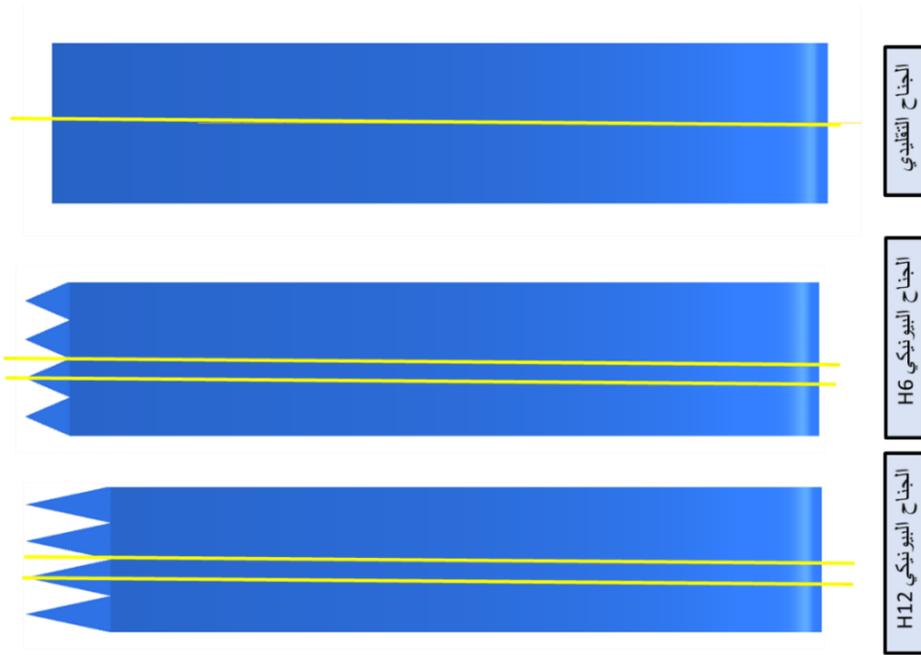
الشكل (22): علاقة نسبة الرفع إلى الجر (CL/CD) مع زاوية الهجوم ( $\alpha$ ) عند تغير سعة موجة الحافة الخلفية المسننة (H)

بالنظر للشكل السابق، يظهر أن نسبة الرفع إلى الجر للنموذج التقليدي أعلى من باقي النماذج عند زوايا هجوم صغيرة، حيث انخفضت نسبة الرفع إلى الجر للجناح H6 بنسبة 13.7% عند الزاوية 1. في حين انخفضت للجناح H12 بنسبة 20% عند نفس الزاوية.

أما عند زوايا هجوم كبيرة نلاحظ ارتفاع نسبة الرفع إلى الجر، حيث ارتفعت للجناح H6 و للجناح H12 بنسبة 18% و بنسبة 29% على الترتيب عند الزاوية 17.

#### 4.10. مناقشة النتائج دراسة تغير سعة الموجة H:

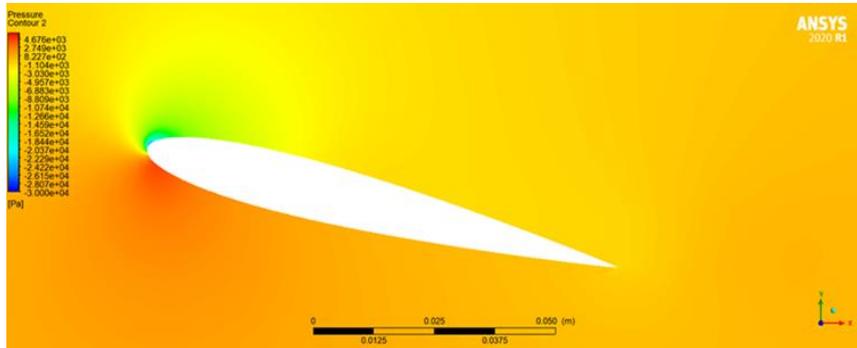
من أجل المقارنة بين النماذج المختلفة و لتقديم تفسير علمي للنتائج التي توصلنا لها سابقاً، سنقوم بتمرير عدة مستويات في الأجنحة المدروسة و الوضحة في الشكل (23).



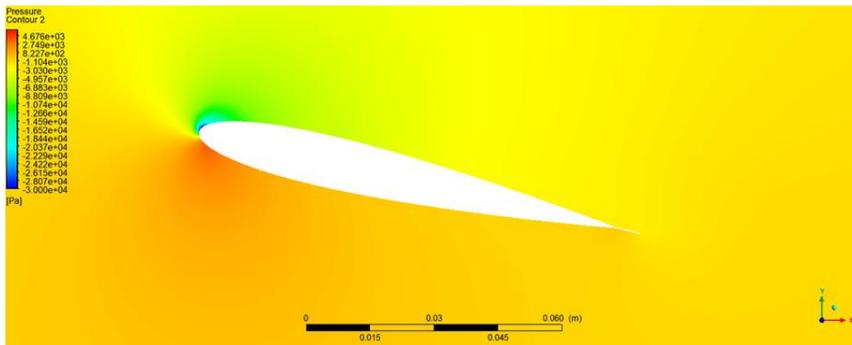
الشكل (23): المستويات التي تم تمريرها في النماذج المدروسة

#### 1.4.10. توزيع الضغط حول الأجنحة المدروسة:

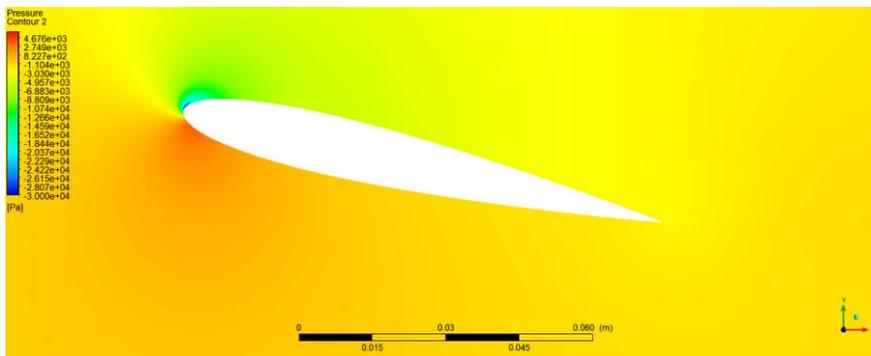
تبيّن الأشكال من (24) إلى (28) توزيع الضغط حول الأجنحة المفروضة. نستنتج من معاينة الأشكال أنه عند إضافة حافة خلفية إلى الجناح يحصل خلط أفضل للجريان. يُسفر هذا الخلط عن توزيع جديد للضغط، حيث نلاحظ أن الضغط حول الأجنحة البيونيكية أكثر انتظاماً من الجناح التقليدي. و هذا يوضّح سبب التغيرات في القوى الأيروديناميكية الناتجة و سبب تأخر انهيار الجناح [15].



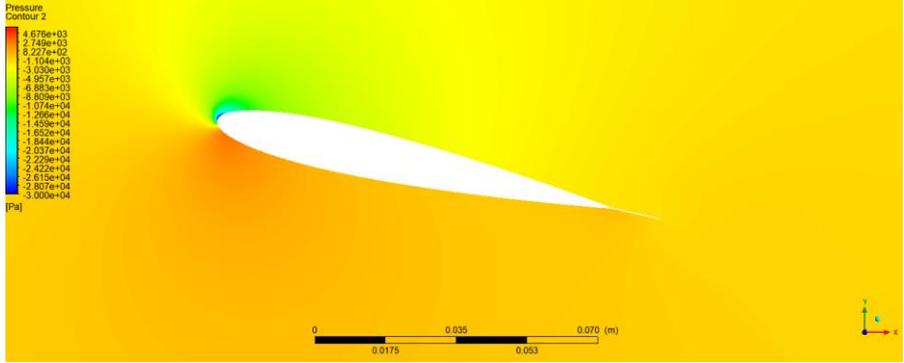
الشكل (24): توزيع الضغط حول الجناح التقليدي



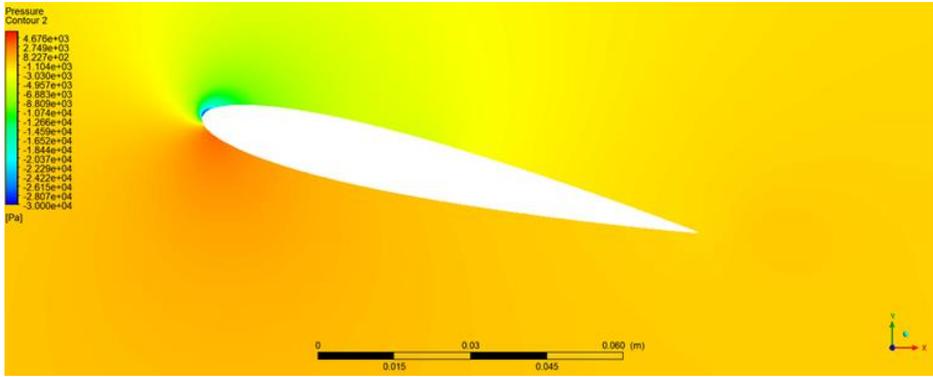
الشكل (25): توزيع الضغط حول الجناح البيونيكي H6 في مستوي يمر من قمة السن عند الزاوية  $13^\circ$



الشكل (26): توزيع الضغط حول الجناح البيونيكي H6 في مستوي يمر من جذر السن عند الزاوية  $13^\circ$



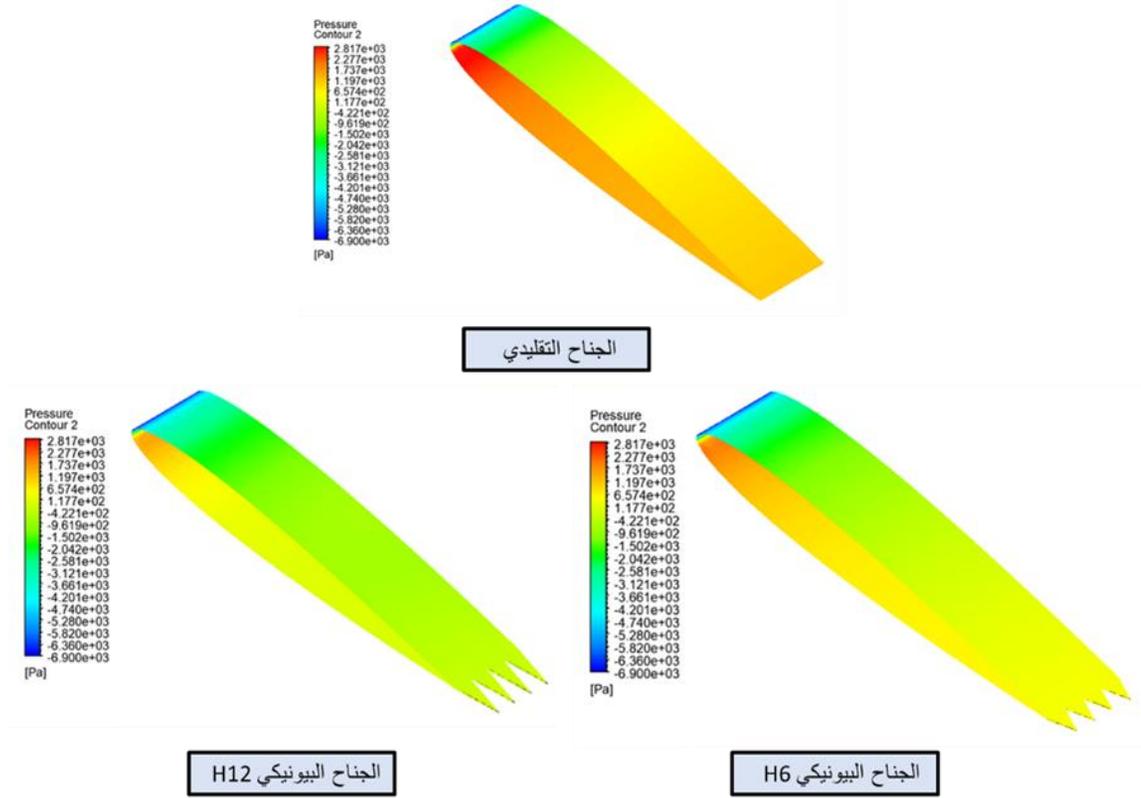
الشكل (27): توزيع الضغط حول الجناح البيونيكي H12 في مستوي يمر من قمة السن عند الزاوية  $13^\circ$



الشكل (28): توزيع الضغط حول الجناح البيونيكي H12 في مستوي يمر من جذر السن عند الزاوية  $13^\circ$

#### 2.4.10. الضغط الواقع على سطح الأجنحة المدروسة:

يُظهِر الشكل (29) أن الضغط الواقع على السطح العلوي للأجنحة المعدلة مختلف عن الضغط الواقع على سطح الجناح التقليدي. يرجع الاختلاف إلى الخلط الناتج عن الحافة الخلفية المسننة و الذي يقوم بنقل كمية من الحركة من التيار الحر إلى الطبقة الحدية، هذا الخلط يعيد توزيع الضغط على أسطح الأجنحة البيونيكية مما ينتج تغيرات في القوى الأيروديناميكية الناشئة و هذا يؤكد النتيجة السابقة [15].

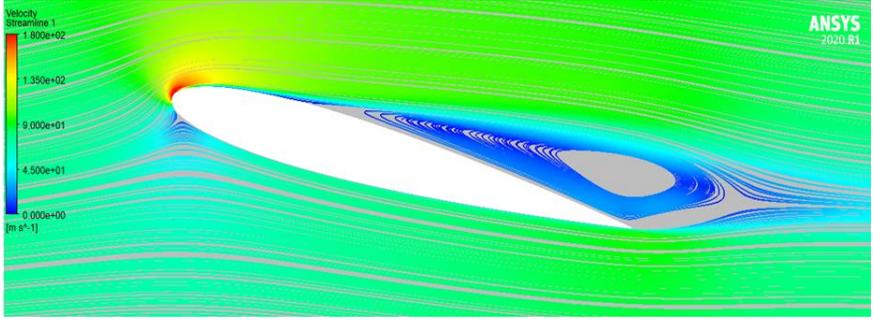


الشكل (29): الضغط المطبق على الأجنحة المروسة عند الزاوية  $13^\circ$

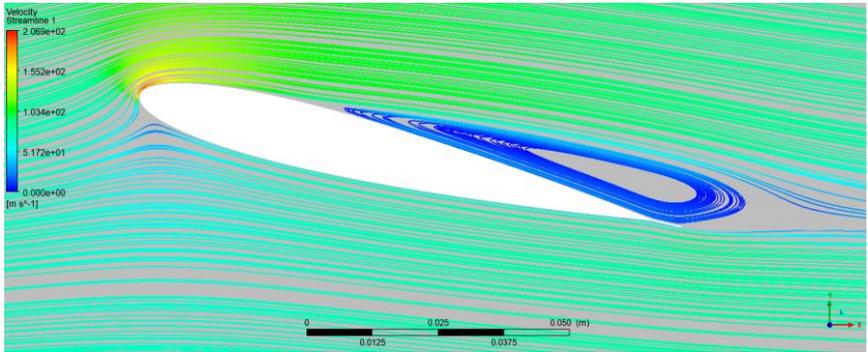
### 3.4.10 خطوط التيار:

تبيّن الأشكال من (30) إلى (34) أن الدوام المنشكل خلف الجناح التقليدي أكبر من الأجنحة البيونيكية، وهذا يفسر سبب انخفاض معامل الجر الإجمالي للجناح التقليدي بالمقارنة مع الأجنحة البيونيكية عند زوايا هجوم كبيرة. [16].  
الأشكال السابقة تُوضّح أيضاً أن الأجنحة البيونيكية تقاوم الانفصال بشكل أفضل، كما تُظهر أن الجناح البيونيك H12 يقاوم الانفصال أكثر من الجناح البيونيك H6.

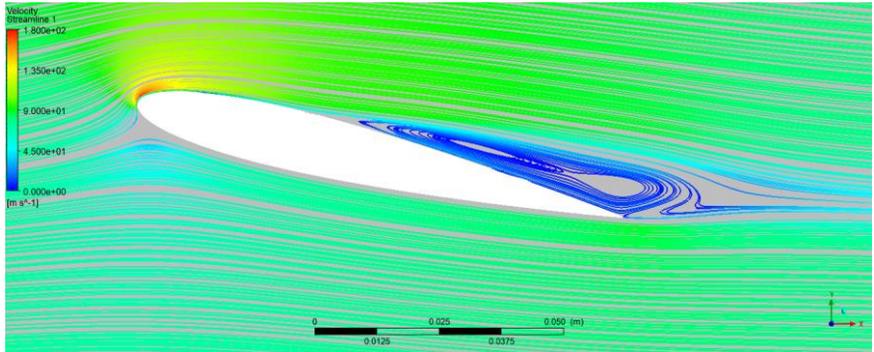
تصميم جناح طائرة ذي أداء إيروديناميكي عالي مستوحى من جناح البوم



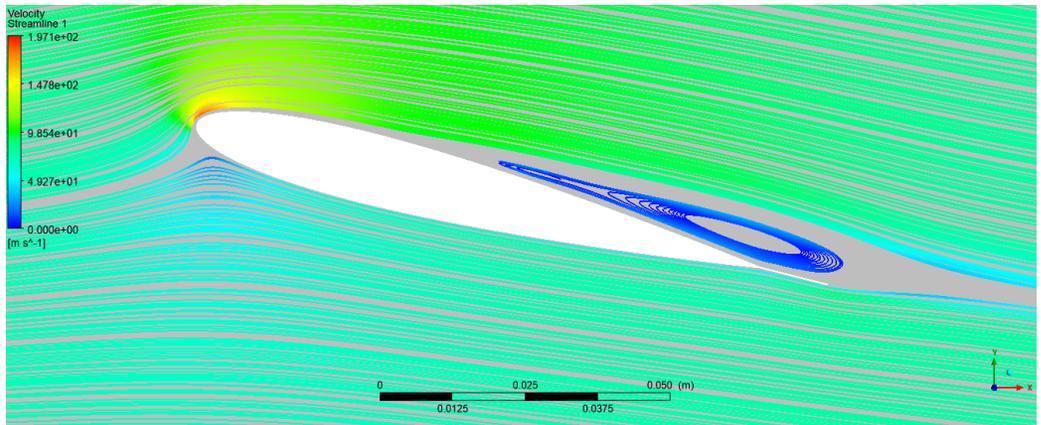
الشكل (30): خطوط التيار حول الجناح عند الزاوية 13°



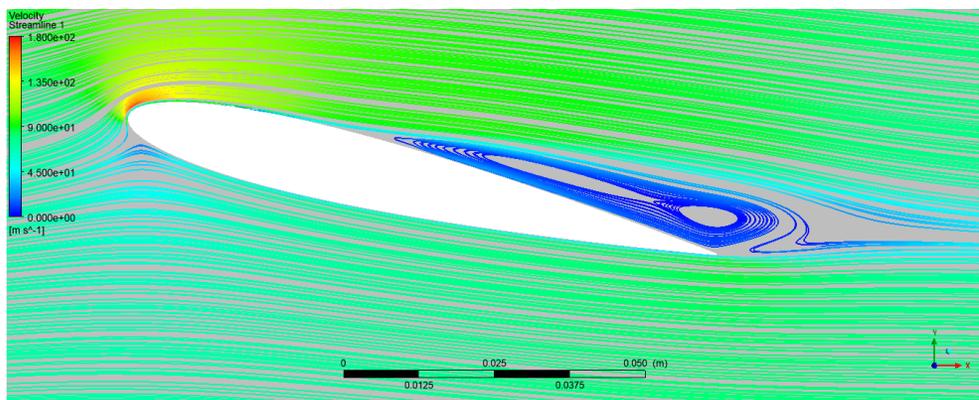
الشكل (31): خطوط التيار حول الجناح البيونيكي H6 في مستوي يمر من قمة السن عند الزاوية 13°



الشكل (32): خطوط التيار حول الجناح البيونيكي H6 في مستوي يمر من جذر السن عند الزاوية 13°



الشكل (33): خطوط التيار حول الجناح البيونيكلي H12 في مستوي يمر من قمة السن عند الزاوية 13°



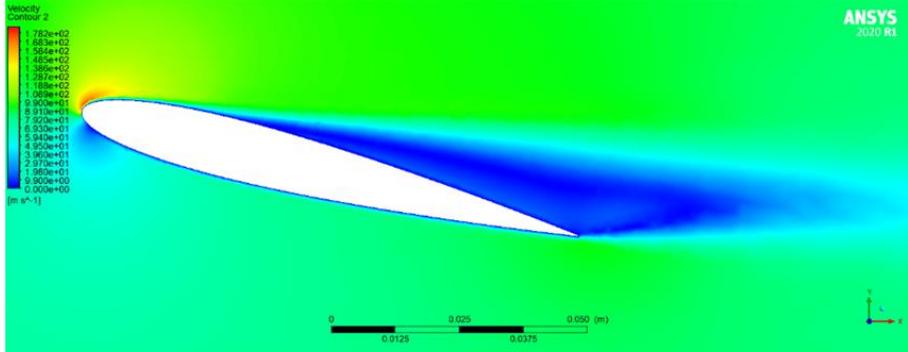
الشكل (34): خطوط التيار حول الجناح البيونيكلي H12 في مستوي يمر من جذر السن عند الزاوية 13°

#### 4.4.10. توزيع السرعة حول الأجنحة المدروسة:

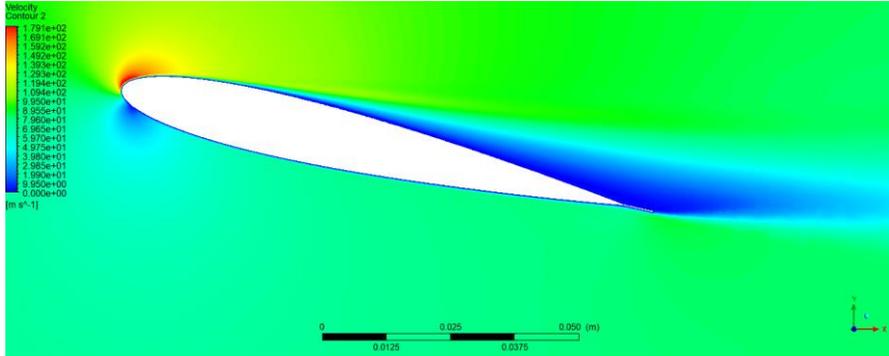
يُظهر في الأشكال من (35) إلى (39) توزيع السرعة حول مقاطع الأجنحة المدروسة. نلاحظ من الشكل أن المنطقة الزرقاء تغطي تقريباً كامل السطح العلوي للجناح التقليدي عدا قسم صغير عند مقدمة الجناح في حين أنها تغطي قسم أقل من الأجنحة البيونيكية،

## تصميم جناح طائرة ذي أداء إيروديناميكي عالي مستوحى من جناح البوم

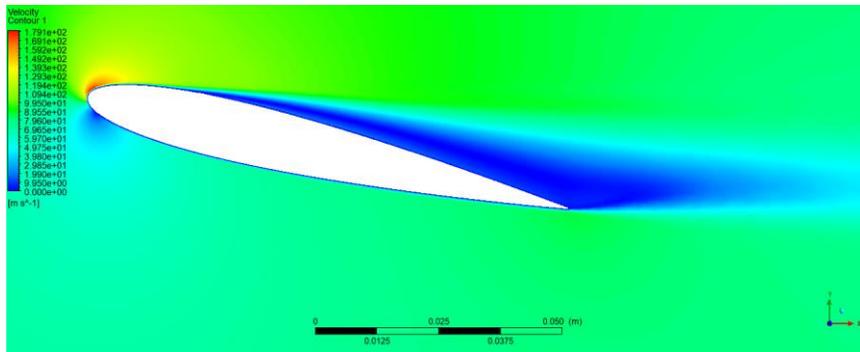
و لهذا نستطيع أن نقول أن كلا النموذجان المعدلان قد أبديا مقاومة أفضل لانفصال التيار من النموذج الأصلي، كما أبدى الجناح H12 مقاومة أكبر .



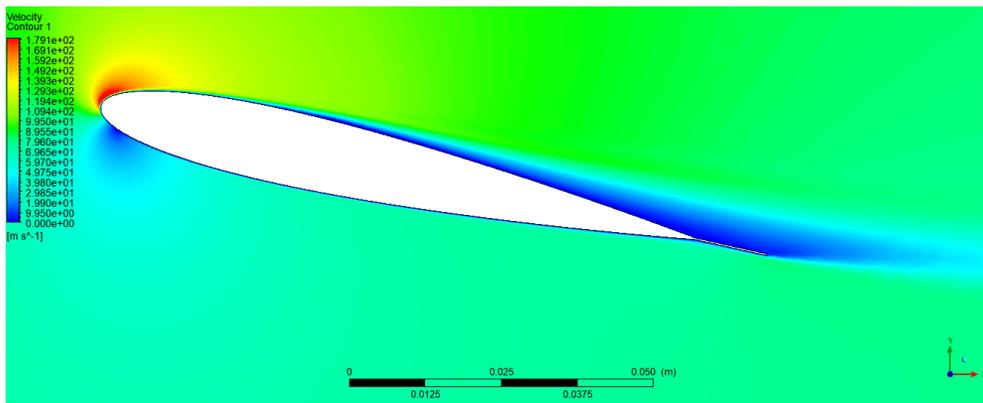
الشكل (35): توزيع السرعة حول الجناح التقليدي عند الزاوية 13°



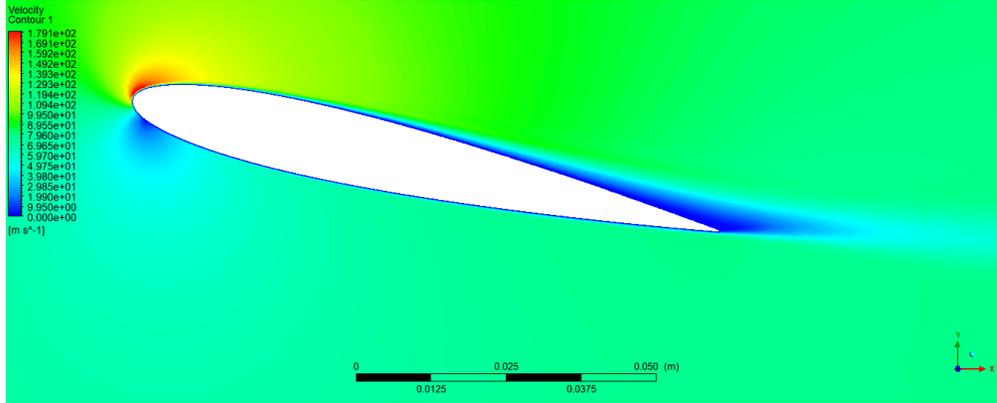
الشكل (36): توزيع السرعة حول الجناح البيونيكي H6 في مستوي يمر من قمة السن عند الزاوية 13°



الشكل (37): توزيع السرعة حول الجناح البيونيكي H6 في مستوي يمر من جذر السن عند الزاوية 13°



الشكل (38): توزيع السرعة حول الجناح البيونيكي H12 في مستوي يمر من قمة السن عند الزاوية 13°

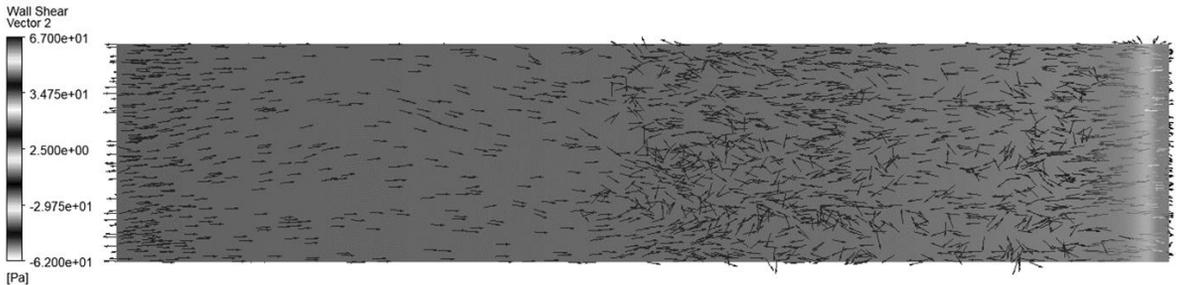


الشكل (39): توزع السرعة حول الجناح البيونيكى H12 في مستوي يمر من جذر السن عند الزاوية  $13^\circ$

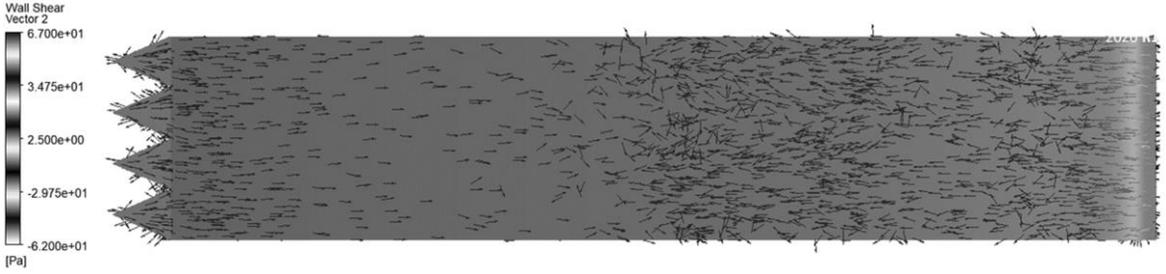
كما تُبيّن الأشكال أن المنطقة الزرقاء خلف الجناح التقليدي أكبر منها خلف الأجنحة البيونيكية مما يدل على أن مركبة جر فرق الضغط للجناح التقليدي أكبر من الأجنحة البيونيكية، وهذا ما توصلنا له سابقاً [16].

#### 5.4.10. أشعة إجهاد القص على السطح العلوي :

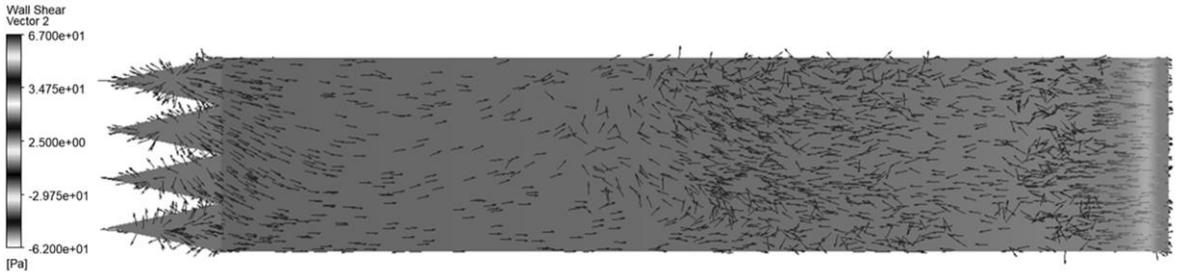
يظهر في الأشكال من (40) إلى (42) أشعة إجهاد القص المتشكلة على السطح العلوي للأجنحة المدروسة. بمعاينة هذه الأشكال نلاحظ تشكل جريانات دورانية و عكسية على السطح العلوي لجميع النماذج المفروضة و من المعروف أن هذه الجريانات هي السبب في انفصال الجريان عن سطح الجناح [16].



الشكل (40): أشعة إجهاد القص على السطح العلوي للجناح التقليدي عند الزاوية  $13^\circ$



الشكل (41): أشعة إجهاد القص على السطح العلوي للجناح البيونيكي H6 عند الزاوية 13°



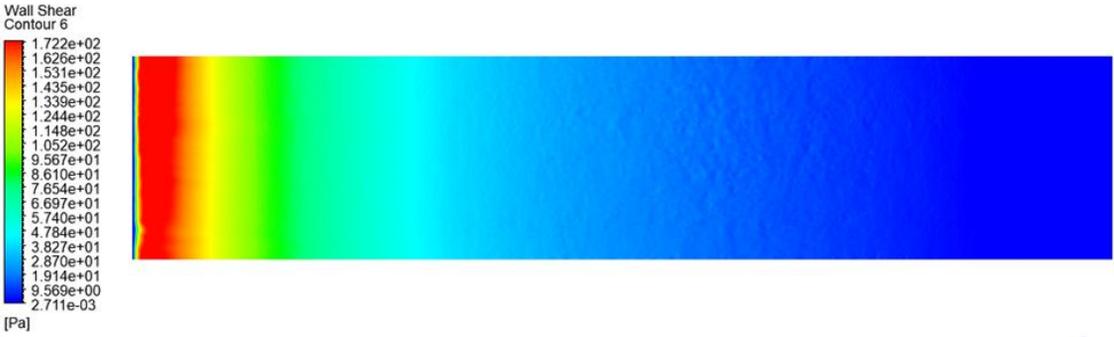
الشكل (42): أشعة إجهاد القص على السطح العلوي للجناح البيونيكي H12 عند الزاوية 13°

نلاحظ أن المساحة التي يشغلها الجريان العكسي و الدوراني على السطح العلوي للنماذج البيونيكية أصغر من المساحة التي يشغلها على السطح العلوي للنموذج التقليدي مما يفسر تأخر انفصال الطبقة الحدية للنماذج البيونيكية مقارنة بالنموذج التقليدي.

#### 6.4.10. إجهاد القص على السطح السفلي :

نستنتج من مقارنة الأشكال من (43) إلى (45) أن المنطقة الحمراء للنماذج المسننة أكبر من المنطقة الحمراء للنموذج التقليدي كما نلاحظ أيضا أن المنطقة الزرقاء للنماذج المسننة أصغر من التقليدي مما يعني أن إجهاد القص في الأجنحة البيونيكية أكبر من التقليدي و هذا يوضح سبب ارتفاع معامل الجر للأجنحة البيونيكية بالمقارنة مع الجناح التقليدي عند زوايا هجوم صغيرة.

تصميم جناح طائرة ذي أداء إيروديناميكي عالي مستوحى من جناح البوم



الشكل (43): إجهاد القص على السطح السفلي للجناح التقليدي عند الزاوية 13°



الشكل (44): إجهاد القص على السطح السفلي للجناح البيونيكي H6 عند الزاوية 13°



الشكل (45): إجهاد القص على السطح السفلي للجناح البيونيكي H12 عند الزاوية 13°

## 11. الاستنتاجات :

من خلال دراسة نمط الجريان حول كافة النماذج المقترحة، تم التوصل للاستنتاجات التالية:

1. عند إضافة حافة خلفية مسننة إلى الجناح NACA 0012 ، يحدث مزج أفضل لقسمي الجريان اللذين كانا قد انفصلا عن بعضهما عند الحافة الأمامية.
2. نتج عن هذا المزج نقل كمية من الحركة من التيار الحر إلى الطبقة الحدية المشكّلة على الجناح مما انعكس على حقلي الضغط و السرعة حول الأجنحة المعدلة.
3. نتج عن الخلط توزع جديد للضغط ، و كان حقل الضغط حول النماذج البيونيكية أكثر انتظاماً من النموذج التقليدي، مما ساعد في تحسّن زاوية الانهيار بمقدار درجة واحدة للنماذج البيونيكية.
4. ينخفض معامل الرفع للأجنحة البيونيكية خارج منطقة الانهيار، أما داخل منطقة الانهيار فيزداد معامل الرفع لهذه الأجنحة.
5. أبدت جميع النماذج المسننة زيادة في معامل الجر عند زوايا هجوم صغيرة بسبب زيادة إجهاد القص، أما عند زوايا هجوم كبيرة فقد أعطت هذه النماذج قيماً أقل لمعامل الجر بسبب انخفاض مركبة جر فرق الضغط.
6. نتج عن إضافة حافة خلفية للجناح تيارات دورانية و عكسية على السطح العلوي لجميع الأجنحة البيونيكية أقل من الجناح التقليدي مما يؤكد أن هذه النماذج تمتلك قدرة أكبر على مقاومة الانفصال.
7. نلاحظ أن السلوك الأيروديناميكي للأجنحة البيونيكية بشكل عام أفضل من الجناح التقليدي في منطقة الانهيار، و لكن خارج منطقة الانهيار كان الجناح التقليدي أفضل و هذا يفسر أن اليوم يعمل على زيادة زاوية الهجوم في المرحلة الأخيرة من عملية الانقراض على فريسته و ذلك بهدف زيادة الرفع و خفض الجر.

## 12. التوصيات:

1. اقتصر هذا البحث على دراسة إضافة حافة خلفية مسننة إلى الأجنحة المتناظرة، بينما لم يتطرق إلى دراسة إضافة حافة خلفية مسننة إلى الأجنحة غير المتناظرة، لذلك يمكن التوسع في البحث أكثر ليشمل الأجنحة غير المتناظرة.
2. للحافة الخلفية تأثير مقاوم للضجيج لذلك يمكن التوسع أكثر في البحث ليشمل دراسة تأثير الحافة الخلفية المسننة على الضجيج حيث يعتبر موضوع الضجيج من المواضيع المهمة بالنسبة للطيران.
3. اتجهت معظم الدراسات في هذا المجال لتطبيق الجناح على الطائرات التي تطير بأرقام رينولدز منخفضة و الطائرات بدون طيار، نظراً لتقارب مجال رينولدز لهذه الطائرات مع رقم رينولدز للبوم، كما يمكن الاتجاه لدراسة تأثير الحافة الخلفية المسننة على العنفات الريحية.
4. لم يتم اختبار الجناح عند أرقام رينولدز مرتفعة و موافقة للطيران المدني و العسكري لذلك بقي السؤال عن إمكانية استخدامه في هذا المجال مفتوحاً.
5. يتميز البوم أيضاً بوجود أهداب على الحافة الخلفية المسننة تعمل أيضاً على زيادة خلط الجريان مما يؤدي إلى تخفيض الضجيج و تحسين الخصائص الأيروديناميكية لجناحه، لذا تعتبر دراسة تأثير الحافة الخلفية المسننة و المهدبة على الضجيج و الخصائص الأيروديناميكية موضوعاً مهماً لأبحاث لاحقة.

## المراجع العلمية :

- [1] Geyer T, Sarradj E, Fritzsche C.,“ **Silent Owl Flight: Comparative Acoustic Wind Tunnel Measurements on Prepared Wings. Acta Acustica united with Acustica**”,2013.
- [2] Lilley GM. ,“**A Study of the Silent Flight of the Owl**”,1998.
- [3] Graham RR. ,“**The Silent Flight of Owls**, 1934.
- [4] عطية بن سعيد الهراني ، “**الاحتباس الحراري و مبادرة المطارات الخضراء**” ، 2021 .
- [5] Dr-Ing. SIG HARDE HOERNER ,“**Fluid-Dynamic Drag**”,1965.
- [6] David Bentely ,“**Lift Mythconceptions,Australian Flying** ”,2015.
- [7] Liu X, , Jawahar H. K. , Azarpeyvand M. and Theunissen R. “**Aerodynamic Performance and Wake Development of Airfoils with Serrated Trailing-Edges**”,2017.
- [8] Gharali K., Tam N., and johnson D.A. ,“ **A PIV LOAD AND FLOW STRUCTURE STUDY OF A SERRATED DYNAMIC AIRFOIL** ”,2014.

[9] T. Sai Teja, Manoj B. Vaghela and Avijit Chatterjee, “**Reducing aircraft radar cross-section with owl wing type serrated trailing edges**”, 10-MARCH-2017.

[10] “**Ansys – Fluent, User guide**”, 2019 .

[11] H.K. Versteeg and W. Malalasekera. , “**An Introduction to Computational Fluid Dynamics – The Finite Volume Method**” ,2007.

[12] F. R. Menter, “**Tow-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Model For Engineering Applications**”, 1994.

[13] Victor Udoewa and Vinod Kumar , “**Computational Fluid Dynamics**”, March-2012.

[14] Jifeng peng, “**Effect of Aerodynamic Interaction of Closely-Placed Vertical Axis Turbine Paris**”, 2018.

[15] م.صلاح الشمالي ، “تأثير مؤشرات الشكل الهندسي لتموجات الحافة القائدة في ريشة عنفة ريحية على الأداء الأيروديناميكي” ، 2019 .

[16] م.صلاح الشمالي ، “الأداء الأيروديناميكي لريشة عنفة ريحية ذات حافة قائدة متموجة” ، 2016 .

## تطبيق طريقة تحليل مخاطر نقاط التحكم الحرجة (HACCP) على خط إنتاج الخيوط البلاستيكية

### في معمل المتين

طالبة الماجستير: هلا احمد العواد

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث

إشراف: الدكتور ماهر الابراهيم - الدكتورة عبير المكايل

#### ملخص :

انطلاقاً من مواكبة عمليات التطوير والاهتمام الكبير من قبل منظمة الصحة العالمية WHO ومنظمة إدارة الغذاء والدواء العالمية FDA بتطبيق أنظمة سلامة الأغذية على عبوات و مغلفات الطعام البلاستيكية للحصول على منتج مثالي أصبح ينظر إلى مورد عبوات التعبئة والتغليف على أنه خطوة حاسمة في العملية الشاملة لضمان سلامة الغذاء، ومن خلال هذه الدراسة قمنا بدراسة تطبيق نظام تحليل المخاطر ونقاط التحكم الحرجة HACCP على خط إنتاج الخيوط البلاستيكية المصنوعة من البولي بروبيلين (PP) التي تستخدم لاحقاً في صناعة الأكياس الملامسة للمواد الغذائية في معمل المتين بحسياء، للتحكم في نقاط التحكم الحرجة (CCPS) على طول خط انتاج.

وبعد القيام بالدراسة والتحليل الميداني وجدنا أن العمال على هذا الخط يعانون من قلة ضبط بارامترات العمل وعدم تطبيق نظام سلامة مطابق لمواصفات الأنظمة العالمية للخيوط البلاستيكي مما شكل صعوبة كبيرة في تلبية طلبات موردي أكياس البلاستيك الخاصة بتعبئة وتغليف المواد الغذائية.

قمنا بإنشاء سلسلة من الخطوات هذه الخطوة تتطلب وضع واضح لنقاط التحكم الحرجة الأمر الذي من المتوقع له أن يقيد المخاطر و يخفف من نسبة الهدر ويجعل هذه الخيوط مطابقة لمواصفات أنظمة الصحة والسلامة لتجنب حالات التسمم.

**الكلمات المفتاحية:** منظمة الصحة العالمية، منظمة إدارة الغذاء والدواء العالمية، سلامة الأغذية، نظام تحليل المخاطر ونقاط التحكم الحرجة، نقاط التحكم الحرجة.

# Applying the Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP) method on the plastic thread production line in Al-Matn factory.

MA student: Hala Ahmad Alawad

Supervised by: Dr:Maher Alebrahem – Dr: Aber Almakaael

## Abstract:

In line with the development processes and the great interest of the World Health Organization (WHO) and the International Food and Drug Administration (FDA) in applying food safety systems on plastic food packaging, the packaging supplier is considered a crucial step in the comprehensive process of ensuring food safety. Through this study, we have examined the application of the Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP) system on the production line of polypropylene (PP) plastic threads used in the manufacture of food-contact bags at the Meteen factory in Hassia, to control critical control points (CCPs) along the production line.

After conducting the study and field analysis, we found that workers on this line suffer from a lack of work parameter control and failure to apply a safety system that complies with global standards for plastic thread, which has posed a significant challenge in meeting the demands of plastic bag suppliers for food packaging.

We have developed a series of steps that require clear identification of critical control points, which are expected to reduce risks, reduce waste, and make these threads compliant with health and safety standards to avoid poisoning cases. Additionally, it is necessary to provide the necessary training for workers filling food products in plastic containers, provide necessary equipment to maintain product safety, conduct periodic laboratory tests to ensure product safety, and ensure that all products comply with local and international health regulations and laws.

**Key words:** World Health Organization, Food and Drug Administration, Food safety, Hazard Analysis Critical Control Points, Critical Control Points

## 1-مقدمة:

يستخدم مفهوم تحليل المخاطر ونقاط التحكم الحرجة (HACCP) في صناعة الأغذية للتحكم في المخاطر المرتبطة بالأغذية ومعالجتها وكان تطبيق هذا النظام يقتصر على مخاطر عملية تصنيع الأغذية إلا انه في الآونة الأخيرة بدأت منظمات صحة وسلامة الأغذية العالمية تُلزم بتطبيقه على عمليات تصنيع أكياس وعبوات التعبئة البلاستيكية الملامسة للغذاء من خلال إنشاء سلسلة من الخطوات لضمان الحفاظ على سلامة الأغذية، هذه الخطوة تتطلب وضع واضح لنقاط التحكم الحرجة حيث يمكن التحكم في المخاطر والقضاء عليها أو التخفيف من أثرها الى مستويات مقبولة وبالتالي ضمان سلامة أفضل للعملاء،

## 2-أهمية البحث

- 1- إن وضع خطة متكاملة للتحكم ولضبط نقاط التحكم الحرجة (CCP) وحدود بارامترات تصنيع الخيط سوف يؤدي إلى إنتاج خيوط بالمواصفات المطلوبة وبالتالي تقليل الهدر.
- 2- إن وضع تعليمات تخص برامج الاشتراطية التشغيلية (PRP) تحسن من كفاءة الخيط ويجعله مطابقاً للمواصفات المطلوبة لأنظمة الأغذية العالمية.
- 3- إن نجاح تطبيق طريقة HACCP على خط إنتاج بلاستيكي سوف يفتح المجال لتطبيق هذه الطريقة على العديد من خطوط إنتاج المواد البلاستيكية الأخرى مما يساهم في رفع كفاءة المنتجات البلاستيكية الوطنية.

## 3-أهداف البحث:

- 1- بحث إمكانية تطبيق نظام HACCP على خطوط إنتاج المنتجات البلاستيكية.
- 2- وضع خطة تحكم وضبط لجودة الخيوط البلاستيكية المُصنعة في المعمل بهدف تخفيض نسبة الهدر.

#### 4- مواد وطرق البحث:

تم استخدام المنهج الوصفي التحليلي في هذا البحث، حيث قمنا بجمع المعلومات والبيانات المتعلقة بعملية إنتاج خيوط البلاستيك من خلال الزيارات الميدانية لمعمل المتين، كما قمنا بعمل مقابلات شخصية مع المختصين على خط الإنتاج لجمع المزيد من المعلومات والبيانات. ومن بمساعدة النماذج HACCP التي فرضتها منظمات الصحة العالمية وجدنا أن تطبيق نظام HACCP على خط إنتاج خيوط البلاستيكية المستخدمة في صناعة أكياس تغليف المواد الغذائية سيكون من الواجب تطبيقه على الصناعة الغذائية في سوريا، وسيساعد على تحسين جودة المنتج وسلامته الغذائية، وضمان توفير الأغذية الآمنة والصحية للمستهلكين.

#### 5- الدراسات السابقة:

أقيمت هذه الدراسة [5] في فيتنام لتلبية جودة إنتاج العبوات البلاستيكية المغلفة للمواد الغذائية وفق معيار نظام HACCP وعلى الرغم من أن استخدام هذا النظام قد يزيد من تكاليف التعبئة والتغليف إلا أنه له مواصفات عالية مثل ضمان صحة الغذاء والحد من الشكاوي ورفع قيمة العلامة التجارية للمنتج ويساعد الشركات على تطبيق نهج تنظيمي يرفع من كفاءة المنتج ويخفف نسبة الهدر.

في دراسة [6] قام معمل للصناعات البلاستيكية بتحديد نموذج استراتيجي يطبق معايير الجودة التي وضعتها السلطات لضمان الجودة وسلامة الغذاء مثل HACCP , GMP تم وضع خطة وعلى أساس ذلك تم تحديد CCP الأمر الذي أدى لزيادة نسبة المبيعات بنسبة تصل الى 19% سنوياً وزاد الاهتمام بالمظهر الأكثر قوة ومثانة للتغليف وزيادة الطلب على التغليف الذكي الذي يقلل من تكاليف التعبئة.

في الدراسة [7] قامت وزارة الصحة في اليابان بإلزام مصنعي منتجات التعبئة والتغليف بتطبيق نظام HACCP والعمل بشكل وثيق لضمان التنفيذ السليم لتدابير سلامة الأغذية

لتجنب حوادث التسمم الغذائي الناتج عن عدم تطبيق التدابير الوقائية اللازمة والتي تتمثل بوضع نظام التحكم الحرجة والمخاطر على طول خط الإنتاج من استخدام المواد الخام وحتى التخزين للتحكم في نظافة وسلامة العبوات ووضع المواصفات والمعايير لهذه المنتجات وقدمت قائمة بالنظام والمواصفات التي تضمن أن هذه الأكياس أو العبوات أو المغلفات البلاستيكية صالحة للاستهلاك البشري بأقل خسائر.

وفي الدراسة [8] قام المعهد الدولي لإدارة الجودة والتفتيش في أمريكا بوضع نماذج لضبط منتجات التعبئة والتغليف البلاستيكية للحصول على منتج آمن وفق خطة نظام HACCP خوفاً من المخاطر التي تهدد الغذاء المغلف بواسطة هذه المنتجات تم تطوير وثيقة توضح المخاطر والضوابط المحتملة لمواد تغليف الغذاء لجميع أنواع مواد التعبئة بما في ذلك الألياف والملصقات وقد تم التحكم في العديد من المخاطر وفق خطة HACCP التي تحمي المنتجات النهائية من الملوثات المحتملة التي تشكل خطراً على الصحة بوضع وحدات الكشف عنها وتخفيف المخاطر يجب القيام بعمليات الصيانة هذه البرامج ويجب أن تتضمن برامج لتغيير الفلاتر بشكل روتيني ليضمن أن مرشح الهواء يعمل بشكل فعال كذلك يجب تحديد المواد المسببة للحساسية في عبوات ومغلفات البلاستيكية وفق لائحة الضوابط الوقائية.

## 6-تعريف نظام تحليل المخاطر و نقاط التحكم الحرجة Hazard Analysis

### :Critical Control Points

تعريف نظام HACCP: هو نهج منظم لتحليل مخاطر ونقاط التحكم الحرجة الكيميائية والفيزيائية والمكروبيولوجية التي يمكن ان تظهر في العملية الإنتاجية ابتداءً من التوريد مروراً بالتخزين والتصنيع والإنتاج وصولاً الى التوزيع لكل من المواد الأولية أو المكونات أو المنتج النهائي وتحديد وتقييم ومراقبة مخاطر سلامة الأغذية. [1]

## 6-1- فوائد تطبيق نظام HACCP:

- ❖ نظام وقائي.
  - ❖ طريقة منظمة ومتابعة جيدة للمنتج خلال جميع مراحل الانتاج والتداول والتوزيع
  - ❖ زيادة ثقة المستهلك في المنتج
  - ❖ مدرج تحت مظلة النظم العالمية
  - ❖ سهولة اجراء الافعال التصحيحية
  - ❖ برنامج مكمل لنظم ادارة الجودة الأخرى مثل ISO 22000
  - ❖ يظهر دور اللجان التشريعية في سلامة الغذاء
  - ❖ يعتبر دعاية جيدة للمنتج.
- بعض التعاريف الهامة التي وردت ضمن الدراسة:
- **نقطة التحكم الحرجة ((CCP) Critical control point):**  
هي خطوة يمكن من خلالها تطبيق التحكم وهي ضرورية لمنع أو القضاء على مخاطر سلامة الغذاء أو تقليلها الى المستوى المقبول.
  - **نظام إدارة سلامة الأغذية ( Food Safety Management system ) ((FSMS):**  
هي برامج المتطلبات الأساسية مدعومة بتدابير الرقابة الواردة في CCP والتي تضمن مُجتمعاً ان الغذاء آمن ومناسب للاستخدام المقصود، ويعتبر نظام FSMS مزيج من تدابير الرقابة وانشطة التي تضمن سلامة العملية ويهدف لتقديم دليل على ان تدابير الرقابة تعمل بشكل صحيح كالتحقق والتوثيق وحفظ السجلات.
  - **ممارسات النظافة الجيدة ((GHP) Good Hygiene Practices):**  
وهي التدابير والشروط الأساسية المطبقة في أي خطوة داخل سلسلة التصنيع لتوفير منتج آمن ومناسب.

### - تحليل المخاطر (Hazard analysis):

عملية جمع وتقييم معلومات عن الأخطار المرتبطة بالتعبئة وتحديد أي منها قد يكون مهم أو أي منها قد يجب أن نتناول دراسته في خطة تحليل المخاطر ونقاط التحكم الحرجة وبالإضافة الى ذلك يجب وضع قائمة بالمخاطر المرتبطة بالمواد الخام وبعدها يتم تجميع كل خطوة من خطوات العملية وتقييم كل خطر عند الدراسة.

### - برامج المتطلبات التشغيلية (Operational prerequisite (OPRPS)) :programs)

هي برامج المتطلبات التشغيلية المسبقة وهي مقياس تحكم أو مجموعة من تدابير التحكم المطبقة لمنع أو تقليل خطر كبير وهي ضرورية من اجل التحكم في احتمالية ادخال أو إبقاء أو انتشار مخاطر سلامة الأغذية في المنتج.

### - برامج المتطلبات الأساسية ((PRPS) Prerequisite programs):

الممارسات والظروف الوقائية بما في ذلك جميع الممارسات الصحية العالمية، فضلا عن الممارسات والإجراءات الأخرى مثل التدريب وإمكانية التتبع التي تحدد الظروف البيئية والتشغيلية الأساسية التي تضع الأساس لتنفيذ الإجراءات القائمة على نظام تحليل المخاطر ونقاط التحكم الحرجة.[3]

**6-2-تعريف مصفوفة تقييم المخاطر:** هي المصفوفة التي يمكن من خلالها وضع قيمة عددية للخطر وتصنيفه إما ضمن برامج الاشتراطات الأولية التشغيلية (PRP) إذا كانت القيمة منخفضة أو ضمن نقاط التحكم الحرجة (CCP) إذا كانت القيمة عالية، ويعتمد مستوى الخطورة على كل من احتمالية الخطر - شدة الخطر.

ويعرف مستوى تقييم الخطر بأنه حاصل ضرب احتمالية الخطر في شدة الخطر

ويحدد مستوى الخطر وفق التالي:

تطبيق طريقة تحليل مخاطر نقاط التحكم الحرجة (HACCP) على خط إنتاج الخيوط البلاستيكية في معمل المتين

إذا كان مجال الخطر (0-15) فهذا يعني أن الخطر ضمن مجموعة برامج الاشتراطات المسبقة OPRP

وإذا كان مجال الخطر (16-25) فهذا يعني أنها نقطة تحكم حرجة. CCP [2]

الجدول (1): مصفوفة المخاطر

الشدة					الاحتمالية	
5	4	3	2	1		
عالي الخطورة	خطير	هام	طفيف	غير مؤثر		
عالي	متوسط	متوسط	منخفض	منخفض	نادر	1
عالي	متوسط	متوسط	منخفض	منخفض	غير ممكن	2
عالي	عالي	عالي	متوسط	منخفض	ممكن	3
عالي جداً	عالي	عالي	متوسط	متوسط	محتمل	4
عالي جداً	عالي جداً	عالي	عالي	متوسط	أكيد	5

#### 7-لمحة تعريفية عن المعمل:

يعرف باسم مجموعة المتين للتجارة والصناعة وهي شركة خاصة رائدة في الصناعات البلاستيكية تأسست عام 1976 في مدينة حمص - المدينة الصناعية بحسب تضم مجموعة من المصانع منها مصنع لإنتاج أكياس البلاستيكية المخصصة لتغليف الأغذية.

#### 7-1-المخطط الصندوقي لخط الإنتاج:

يتكون خط إنتاج الخيوط البلاستيكية من: {الخلاط . البائق . الفلتر . المبادل . سكين التقطيع . الفرن . اسطوانات الزيت الساخنة واسطوانات الماء الباردة . مكوك اللف . التخزين}.

## تتم عملية الإنتاج على الشكل التالي:

يتم تفرغ حبيبات المواد الداخلة في الخلية والتي تتكون من:

UV: 0-2.5% - Color: 1-5 % - CaCo3: 3-5 % - PP: 87-96 %

وتم تدفع هذه المواد إلى الخلاط المتصل بالبائق وتخلط جيداً عند دخولها حجرة البائق والذي يتوزع على طوله 8 سخانات ذات درجة حرارة  $268^{\circ}\text{C}$  عندها تتصهر هذه الخليطة حتى التجانس بواسطة لولب البائق، تتحرك الخليطة للأمام باتجاه الفلتر ويطبق عليها ضغط بقيمة 174 bar ليحقق عبور المادة المرشحة الخالية من الشوائب والتكتلات وتدفع باتجاه رأس القالب الذي يكون عبارة صفيحتين معدنيتين تعطي للمصهور الشكل والسماكة المطلوبة، يتم سحب الشريحة باتجاه المبادل الحراري ذو درجة حرارة  $33^{\circ}\text{C}$  لتبريدها، يحافظ المبادل بدوره على درجة الحرارة بمساعدة صمام ميكانيكي يتوضع بجانبه ويقوم بضخ الماء البارد إلى الحوض، تسحب الشريحة باتجاه الأعلى بواسطة عدد من رولات السحب ثم تدخل إلى المجفف ليتم تجفيفها بالكامل من أي نقطة ماء تؤثر على المواصفات الميكانيكية للخيوط في مراحل لاحقة، تمر الشريحة بمرحلة التقطيع بواسطة شفرات التقطيع التي تصطف بجانب بعضها البعض ببعد دقيق يقدر ب 0.3mm، تدخل الشريحة المقطعة إلى قطع عمل إلى الفرن وتعرض لدرجة حرارة  $165^{\circ}\text{C}$  لتأخذ طول جديد أطول من السابق ثم تخرج من الفرن ليتم إمرارها على 4 اسطوانات للزيت الساخن ذو درجة حرارة  $100^{\circ}\text{C}$  ثم تمر بأسطوانتين باردة بدرجة حرارة  $13^{\circ}\text{C}$ .

تخرج الخيوط بعد أن اخذت الطول النهائي وتركيز مواصفاته الميكانيكية وتنقسم باتجاهين لف (يميني ويساري) حيث تتوضع عدد من مكوكات اللف على لوحين متقابلين أحدهما لللف اليميني والآخر لللف اليساري حيث يتم لف الخيط المبتوق عليها.

## 7-2- تحضيرات تطبيق خطة تحليل المخاطر ووضع نقاط التحكم الحرجة:

### الخطوة الأولى: تجميع فريق HACCP

يتعين علينا أولاً تشكيل فريق هاسب متخصص وذو خبرة عالية في مجال السلامة والصحة المهنية، والذي يتمتع بالقدرة على تحليل وتقييم المخاطر المحتملة وتطوير الإجراءات اللازمة للحد منها والتعامل معها بشكل فعال، ويتكون فريق هاسب من قائد الفريق والأعضاء ويتم تنظيم أسماء الفريق ومساهمهم الوظيفي وسجل تدريبهم بعدد من الوثائق وتسمية هذه الوثائق وترقيمها وفق التالي:

- الوثيقة رقم (1) تتضمن مرفق فريق HACCP يتضمن اسم العضو ومساهمه الوظيفي.
- الوثيقة رقم (2) تتضمن ميثاق المنشأة المطبق عليها النظام بين الأعضاء والإدارة
- الوثيقة رقم (3) تتضمن اعتماد والتوقيع وهي موافقة وتعاون الطرفين على الالتزام بتطبيق النظام.
- الوثيقة رقم (4) تتضمن سجل تدريب الفريق على نظام تحليل المخاطر.

### الخطوة الثانية: كتابة وصف المنتج ضمن الوثيقة رقم (5) لتحديد خصائص الخيط

البلاستيكي وفئته، وتوضح المعايير والمواصفات التي يجب تحقيقها لتصنيع الخيط بجودة عالية وبطريقة آمنة وصحية، مثال على أحد معطيات هذه الوثيقة:

الجدول (2) المخاطر الكيميائية للمواد الأولية

رقم الوثيقة: 5	
وصف فئة المنتج/ المنتج	
التاريخ: 2022-8-23	اسم المنشأة: خط إنتاج الخيوط البلاستيكية ، معمل المتين
خيوط بلاستيكية تستخدم لتصنيع الاكياس المخصصة لتعبئة المواد الغذائية	فئة المنتج/المنتج:
عملية صهر للمواد الأولية وبقها على شكل فيلم ثم تقطيعها ثم تمريرها ضمن فرن خاص لتأخذ طولها النهائي وبعدها تمرر على أسطوانات زيت ساخنة وباردة وأخيرا يتم لفها على البكرة.	العملية

الخطوة الثالثة: إجراء تحليل المخاطر وفق التالي:

- البحث عن مخاطر الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للمواد الأولية وتنظيمها بوثائق
- البحث عن مخاطر الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية على طول خط الإنتاج وتنظيمها بوثائق [4]
- نموذج الأخطار الكيميائية للمواد الأولية: قمنا أولاً بتنظيم الوثيقة رقم (6) التي تطرح مخاطر الكيميائية للمواد الأولية وتحليلها التي يمكن أن تؤثر على جودة المنتج وسلامته الصحية، وتقييم الخطر وفق مصفوفة المخاطر المذكورة سابقاً، مثال على أحد هذه المخاطر الكيميائية المنظمة وفق الوثيقة (6)

تطبيق طريقة تحليل مخاطر نقاط التحكم الحرجة (HACCP) على خط إنتاج الخيوط البلاستيكية  
في معمل المتين

الجدول (3) المخاطر الكيميائية للمواد الأولية

رقم الوثيقة: 6					
المادة الأولية	المخاطر الكيميائية	الشدة	الاحتمالية	تقييم الخطر	الاجراء الموصى به للحد من الخطر
بولي بروبيلين PP	يتسبب في التحسس الجلدي والتهابات الجهاز التنفسي عند التعرض له لفترات طويلة	3	3	9	-توفير معدات الحماية الشخصية للعاملين مثل القفازات والنظارات الواقية وأقنعة التنفس، توفير نظام جيد للتهوية في المنطقة التي يتم فيها استخدام هذه المادة، تدريب العاملين على الطرق الصحيحة للتعامل مع هذه المادة والتخلص منها بشكل آمن.

- نموذج المخاطر الفيزيائية للمواد الأولية: قمنا ثانياً بتنظيم الوثيقة رقم (7) التي تطرح مخاطر الفيزيائية للمواد الأولية الخاصة بعملية إنتاج الخيط البلاستيكي وتحليل هذه المخاطر التي يمكن أن تؤثر على جودة المنتج وسلامته الصحية ومثال على احد هذه المخاطر:

الجدول (4): المخاطر الفيزيائية للمواد الأولية

رقم الوثيقة: 7					
المخاطر الفيزيائية	سبب الخطر	الشدة	الاحتمالية	تقييم الخطر	الاجراء الموصى به للحد من الخطر
التعرض للرطوبة	قد يؤدي تخزين المواد الأولية في أماكن رطبة الى فقدانها خواصها الميكانيكية	3	4	15	تخزين في أماكن جافة

- المخاطر البيولوجية لمواد الأولية: لا يوجد مخاطر بيولوجية للمواد الأولية لأنها تتعرض في مراحل لاحقة لدرجات حرارة عالية تجعلها.
- نموذج ضبط الأخطار الكيميائية للعملية: تم تنظيم الوثيقة رقم (8) التي أجرينا فيها وصف للمخاطر الكيميائية على طول خط الإنتاج وتحديد وتقييم المخاطر التي قد تواجه العاملين على الخط، مثال على احد المخاطر الكيميائية

الجدول (5): نموذج ضبط الأخطار الكيميائية للعملية

رقم الوثيقة: 8				
المخاطر الكيميائية	الشدة	الاحتمالية	تقييم الخطر	الاجراء الموصى به للحد من الخطر
مخاطر التلوث	3	3	9	يجب استخدام أدوات الحماية الشخصية مثل القفازات والنظارات الواقية، وتنظيف المنطقة بعد انتهاء العملية.

- نموذج ضبط الأخطار الفيزيائية للعملية: قمنا بتنظيم الوثيقة رقم (9) وتبين أنه لا يوجد مخاطر فيزيائية كبيرة على طول الخط، ولكن هناك بعض العوامل التي يجب مراقبتها بشكل دقيق لتحسين جودة المنتج النهائي وتجنب الأخطاء التي وجدناها على خط إنتاج الخيوط البلاستيكية. مثال على احد المخاطر الفيزيائية للعملية

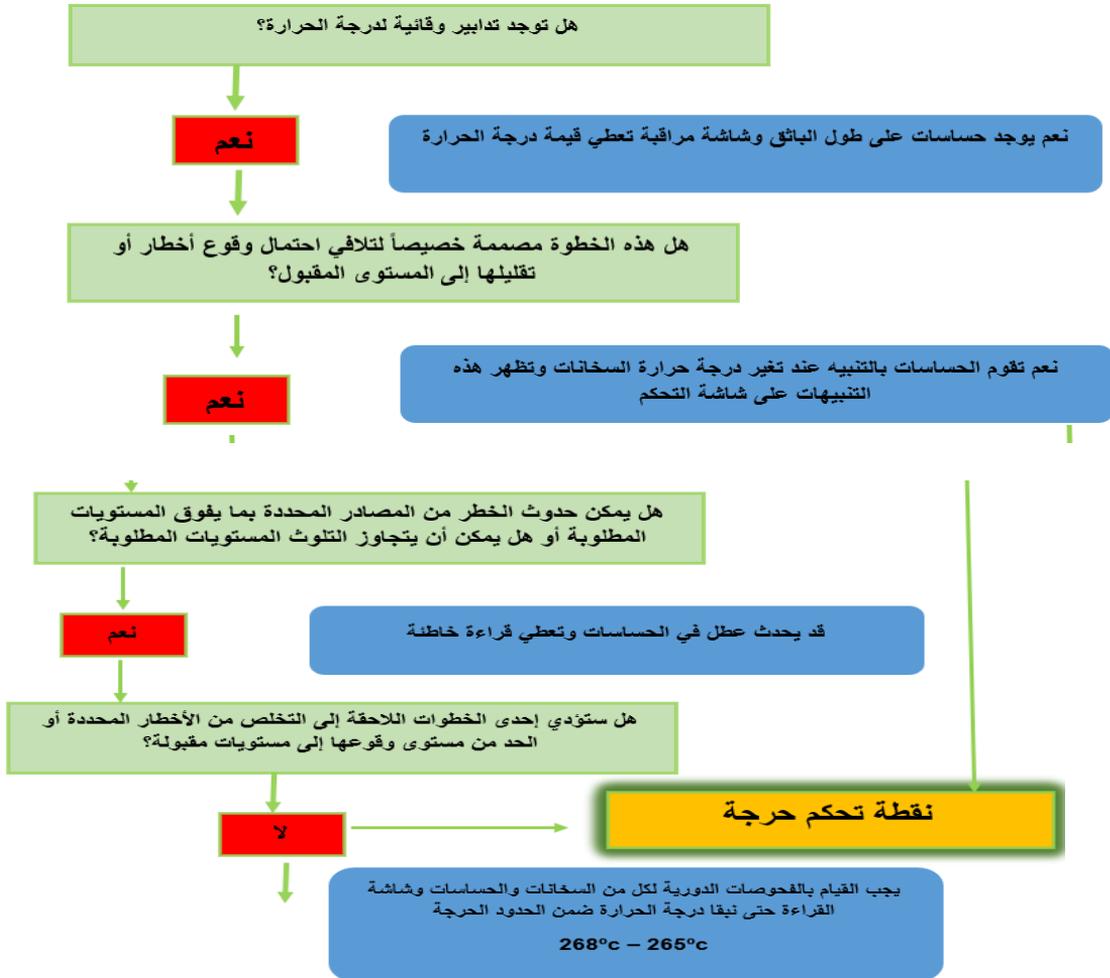
الجدول (6): نموذج ضبط الأخطار الفيزيائية للعملية

رقم الوثيقة: 9					
خطوات التصنيع	المخاطر الفيزيائية	الشدة	الاحتمالية	تقييم الخطر	طرق الحد من الخطر
الفلتر	-خطر الانسداد	4	3	12	يمكن الحد من هذا الخطر عن طريق تغييره الفلتر بشكل دوري

➤ تطلب منا إعداد هذا الجداول خبرة متخصصة في مجال السلامة والصحة المهنية، ويجب تحديثها بشكل دوري لضمان تغطية جميع المخاطر المحتملة للمواد الأولية والعملية على طول خط الإنتاج، بحيث تكون هذه الوثائق سهلة الاستخدام وواضحة ليسهل استخدامه من قبل الإدارة وأعضاء فريق الهاسب المدربين على كيفية استخدامه واتباع الإجراءات الوقائية الموصى بها.

➤ وبما أن قيمة مجال الخطر في الأمثلة السابقة كانت ضمن المجال (0-15) فهذا يعني وحسب مصفوفة تقييم المخاطر أن جميع هذه المخاطر تصنف لمجموعة برامج الاشتراطات المسبقة PRP.

**الخطوة الرابعة:** دراسة المخاطر وفق شجرة القرار التي تحدد نقاط التحكم الحرجة CCPs وشجرة القرار هي أداة تحليلية تستخدم لاتخاذ القرارات في الظروف غير المؤكدة أو المعقدة. وتتألف شجرة القرار من عدة مستويات من القرارات والتحليلات، وقمنا بتحديد المخاطر الواردة على خط الإنتاج المدروس وتحليلها بناءً على المعايير المختلفة والأولويات المحددة [2]



الشكل (1) مثال على مخطط شجرة القرار

- بعد أن قمنا بتحليل المخاطر بأشكالها الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للمواد الأولية والعملية الإنتاجية، ودراسة المخاطر وإمرارها ضمن مخطط شجرة القرار فإنه يجب علينا القيام بتنظيم سجل شامل والذي يضم:

تطبيق طريقة تحليل مخاطر نقاط التحكم الحرجة (HACCP) على خط إنتاج الخيوط البلاستيكية  
في معمل المتين

- معلومات الخطر الأساسية وتضم: (وصف الخطر - المسؤول عن الخطر من فريق HACCP - تاريخ تسجيل الخطر وهو تاريخ الزيارة الميدانية للمعمل) .
  - معلومات تقييم الخطر قبل عملية التخفيف والتي تضم: (شرح الخطر - تقييم الخطر قبل تطبيق نظام HACCP - الزمن اللازم للقيام بالفعل التصحيحي - الأفعال التصحيحية المقترحة) .
  - معلومات تقييم الخطر بعد عملية التخفيف والتي تضم: (وصف الخطر الذي قمنا بمراقبته سابقا - تقييم الخطر بعد إجراء تحليل المخاطر) .
  - عملية المراقبة والتحكم وتضم: (موعد التحقق الدوري لإجراء ضبط الخطر - المسؤول عن تنظيم جدول الفحوصات الدورية لإبقاء هذه المخاطر تحت السيطرة) . يتم إضافة الخطوتين السابقتين لجدول المخاطر عند التطبيق الفعلي للنظام على أرض الواقع.
- تم تنظيم هذا الجدول بعد القيام بعدة زيارات ميدانية لمعمل المتين للصناعات البلاستيكية ودراسة خط الإنتاج وملاحقة المراحل الإنتاجية خطوة بخطوة حتى أمكننا الإلمام بجميع هذه المخاطر التشغيلية وتوجب الاستعانة بمصفوفة المخاطر التقييم الخطر قبل وبعد تطبيق إجراءات HACCP على خط إنتاج الخيوط البلاستيكية المخصصة لصناعة الأكياس المغلفة للأغذية ونظم هذا العمل وفق الوثيقة رقم (10) ومثال على عدد من هذه المخاطر .

الجدول (7): تحليل المخاطر للخيط البلاستيكي ومعالجتها

رقم الوثيقة: 10							
معلومات تقييم الخطر قبل عملية التخفيف				المعلومات الأساسية للخطر			
رقم الخطر	وصف الخطر	المسؤول عن الخطر	تصنيف الخطر	وصف التأثير	التأثير * الاحتمالية	مجال الخطر	الأفعال المقترحة للتخفيف
R1	عدم كفاءة أجهزة التهوية وسحب الغازات السامة	تشغيلي	مدير الصيانة - مدير سلامة الغذاء	تلوث الهواء تسمم العاملين	3*4	5	القيام بالصيانة الدورية
R2	عدم مطابقة درجة حرارة البائث للدرجة المطلوبة	تشغيلي	مدير الإنتاج - مدير الصحة والسلامة	عدم تجانس الخليطة احتراق الخليطة	5*4	20	إجراء فحص دوري لدرجة الحرارة على الشاشة وللحساسات على طول البائث
R3	عدم تبديلي الفلتر في الوقت المناسب	تشغيلي	مدير الإنتاج - مدير الصحة والسلامة	شوائب في الفيلم الميثوق	5*5	25	تبديل الفلتر عند وصوله للنهاية الصفيحة

➤ بعد تحليل المخاطر وجدنا أن:

○ تقييم الخطر ضمن المجال (0 - 15) يجعله تحت اجراءات برامج المتطلبات

الأساسية PRP.

○ تقييم الخطر ضمن المجال (16 - 25) جعلها تُصنف ضمن مجموعة نقاط

التحكم الحرجة CCP .

وقمنا بإجراء توصيف دقيق لكل من هذه المخاطر وتنظيم كل منها في وثيقة خاصة بنوع

الخطر سواء أكان ضمن برامج الاشتراطات الأولية او حتا ضمن نقاط التحكم الحرجة.

➤ قبل الانتقال الى مرحلة تحليل المخاطر والحدود الحرجة توجب علينا ذكر نقاط برامج

المتطلبات الأساسية (PRP) قمنا بتنظيم الوثيقة رقم (11) ضمن جدول يتضمن

تطبيق طريقة تحليل مخاطر نقاط التحكم الحرجة (HACCP) على خط إنتاج الخيوط البلاستيكية  
في معمل المتين

تفاصيل إجراءات السلامة والوقاية من المخاطر في مراحل الإنتاج التي تسبق نقاط التحكم الحرجة (CCP). تم تحليل هذه النقاط وتحديد الإجراءات اللازمة للحد من المخاطر المحتملة وضمان سلامة المنتج النهائي، ويجب على جميع العاملين في الإنتاج اتباع هذه الإجراءات بدقة للحفاظ على جودة المنتجات وسلامة المستهلكين، وفيما يلي بعض الأمثلة لهذه المخاطر:

الجدول (8) : سجل تفتيش نقاط PRP للخيوط البلاستيكية

رقم الوثيقة: 11					
سجل تفتيش نقاط PRP للخيوط البلاستيكية					
رقم الخطر	تسمية الخطر	تأثيره على العملية	الإجراءات اللازمة	الفعل التصحيحي اللازم	الملاحظات
1	استلام مواد أولية PP بدون وجود شهادة تحليل من المورد	عدم مطابقة المنتج للمواصفات المطلوبة	مطالبة المصنع المورد للمواد بشهادات التحليل	التواصل مع المورد لضرورة تقديم شهادة التحليل – رفض المواد	-----
2	عدم تخزين المواد الأولية في مستودع خاص بها	تلف المواد الأولية – هدر كبير – خسارة مالية كبيرة	تجهيز المستودع والقيام بالفحوصات الدورية لها	انشاء مستودع خاص بالمواد والمحافظة على شروط التخزين	-----
3	عدم وجود صيانة دورية للألات	خسارة مالية كبيرة	احضار ورشة الصيانة	اجراء الصيانة الدورية وفق الخطط المتبعة	----

**الخطوة الخامسة:** إنشاء مخطط تدفق العملية (PFD) الذي يتضمن مراحل العملية

الإنتاجية مع النقاط التحكم الحرجة لكل مرحلة.

**الخطوة السادسة:** التحقق من مخطط تدفق العملية [4]

هنا قمنا بالدراسة بشكل أدق وتبين أن نقاط التحكم الحرجة تقسم الى قسمين:

- نقطة التحكم الحرجة ((CCPS) Critical control point) :

هي نقطة تحكم حرجة لها قيمة حقيقية صغرى وكبرى قابلة للقياس.

- برامج المتطلبات التشغيلية ( Operational prerequisite ) (OPRPS)  
:(programs)

وهي نقطة تحكم حرجة لكن تقاس بالنظر وليس لها قيمة حقيقية.

و كمثال من الوثيقة رقم (11) التي تضم سجل المخاطر ذات مجال خطر (16-25)

ولشرح آلية تنظيم مخطط تدفق العملية ندرس مثلاً المرحلة التصنيعية الخاصة بالفلتر:

○ تبديل الفلتر هو نقطة تحكم حرجة بنسبة تقييم خطر (25) ولكن لا يوجد مدة

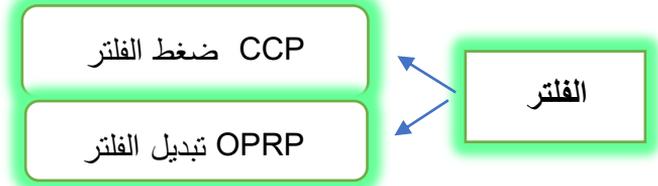
زمنية محددة لتبديله فهذه العملية تتم عند وصول شريحة الفلتر المتموضعة عند

رأس القالب لنهايتها وتبدل عند امتلائها بالشوائب والمواد المتكتلة عند مرور

الخليطة منه ويدفع من ضغط الفلتر وبهذا نقيم هذه النقطة على أنها OPRP.

○ ضغط الفلتر هو نقطة تحكم حرجة بنسبة تقييم خطر (25) له حدود عظمى

وصغرى تتراوح بين (170-174 bar) إذاً هو CCP .



الخطوة السابعة: تحديد الحدود الحرجة لنقاط التحكم الحرجة بحيث:

○ تكون الحدود الحرجة حقيقية وقابلة لقياس.

○ إذا كانت النقطة OPRP يجب تحديد قيمها التقريبية المقاسة بالنظر

الخطوة الثامنة: وضع الاجراءات اللازمة لمراقبة نقاط التحكم الحرجة وفق مايلي:

○ تحديد مدى خطورة نقطة التحكم الحرجة على العملية.

○ ماهي الإجراءات اللازم اتخاذها عند تجاوز النقطة لحدودها الحرجة

الخطوة التاسعة: تحديد الإجراءات التصحيحية لنقاط التحكم الحرجة وفق التالي:

- نحدد الفعل التصحيحي الذي يجب القيام به وتدريب فريق HACCP عليه حتى لا تتجاوز النقطة حدودها الحرجة وتبقى ضمن السيطرة للحفاظ على سير العملية الإنتاجية بشكل آمن.

الخطوة العاشرة: التحقق من خطة HACCP:

- بعد تطبيق نظام HACCP ما هو مدى حالة المطابقة المرجوة نتيجة تطبيق هذا النظام على خط إنتاج الخيوط البلاستيكية (عند تطبيق النظام بشكل حقيقي نقوم بملء هذا الجزء من الوثيقة)

- ماهي الملاحظات والتوصيات التي حصلنا عليها بعد تطبيق هذا النظام.

- توثيق تاريخ الحصول على نتيجة الخطوات السابقة.[2]

يتم إضافة الخطوة العاشرة للوثيقة رقم 12 عند التطبيق الفعلي للنظام على أرض الواقع.

➤ قمنا بدمج الخطوات السابعة والثامنة والتاسعة بالوثيقة رقم (12) ضمن جدول واحد

يتضمن هذا الجدول تفاصيل الحدود الحرجة لنقاط التحكم الحرجة (CCP) التي تم تحليلها وتحديدها سابقاً تم وضع هذه النقاط بعناية لتحديد المخاطر المحتملة والإجراءات اللازمة للسيطرة عليها وضمان سلامة المنتج النهائي، ويجب على جميع العاملين على خط الإنتاج اتباع هذه الإجراءات بدقة للحفاظ على جودة المنتجات وسلامة المستهلكين

الجدول (9): سجل تفتيش نقاط التحكم الحرجة CCP

رقم الوثيقة: 12						
الخطوة التاسعة	الخطوة الثامنة		الخطوة السابعة	الخطوة السادسة		
الفعل التصحيحي المتخذ إن تطلب الأمر	الإجراءات اللازمة	تأثيره على العملية	الحدود الحرجة Max- Min	المرحلة التصنيعية	تسمية نقطة التحكم الحرجة	OPRP / CCP
-الفحص الدوري للحساسات -الفحص الدوري لقراءة درجة الحرارة على الشاشة	إيقاف العملية والوصول بالسخانات لدرجة الحرارة المطلوبة	زيادة احتراق المواد الأولية. نقصان: المزج الغير متجانس	268-265 °C	الباتق	درجة الحرارة	CCP1
الفحص الدوري للضاغط	ضبط قيمة الضغط	زيادة: عبور الشوائب نقصان: عدم عبور المواد من شبكة الفلتر	174-170 bar	الفلتر	ضغط قبل الفلتر	CCP4
تبدال الفلتر	إيقاف العملية وتبدال الفلتر	خيط يحوي على شوائب	كل يومين تقريباً	الفلتر	تبدال الفلتر	OPRP1

بعد الانتهاء من عملية تحليل المخاطر وجدنا أنه يوجد على طول الخط 16 نقطة تحكم حرجة ونقطتان لبرامج الاشتراطات المسبقة على طول الخط  
**الخطوة الحادية عشر:** حفظ الوثائق والسجلات إذ لا بد من الاحتفاظ بكل الوثائق والسجلات الخاصة بنظام الهاسب وتطبيقه وهي الوثائق التي ذكرناها سابقاً (من 1 - إلى 12).

7-3-مراجعة خطة الهاسب:

لا بد من مراجعة الخطة بشكل مستمر بشكل خطة مدروسة للتأكد من مدى توافق الخطة مع أي تعديلات قد تطرأ على كل من:

- ❖ أي أبحاث أو دراسات حديثة.
- ❖ المواد الخام وخصائصها.
- ❖ العملية التصنيعية. [2]

## 8- النتائج ومناقشتها:

1. وجدنا انه من الضروري تطبيق نظام الهاسب وليس (دراسة إمكانية تطبيقه).
2. تم تحديد نقاط التحكم الحرجة (CCP) في عملية الإنتاج والمراحل التي تسبقها وتحليل المخاطر المحتملة في كل نقطة. وتم وضع إجراءات صارمة للسيطرة على هذه المخاطر وضمان سلامة المنتج النهائي
3. إن تطبيق هذا النظام بشكل دقيق على خط الإنتاج المدروس قد يحسن كفاءة الإنتاج وتقليل نسبة النفايات والأخطاء في الإنتاج بشكل كبير كما أنه يعمل على تحسين جودة المنتج النهائي وزيادة مدة صلاحيته
4. لا يوجد على خط الإنتاج المدروس تطبيق لبرامج الاشتراطات الأساسية والذي يشكل الحد الأدنى لضمان سلامة المنتجات البلاستيكية المغلفة للأغذية.
5. بعد تحديد المخاطر قمنا بتصنيفها حسب مخطط شجرة القرار ومصنوفة تقييم المخاطر الى:

- مخاطر فيزيائية وكيميائية وبيولوجية.
- برامج اشتراطات أولية يجب اتباعها ضمان الحفاظ على سير صحيح للعملية الإنتاجية.
- نقاط تحكم حرجة وحدودها الحرجة ويجب اتباع إجراءات التخلص منها أو التخفيف من تأثيرها لأنها تلحق ضرر بالمنتج وتؤثر على سير العملية الإنتاجية.

## 9-التوصيات والمقترحات:

1. إن تطبيق نظام هاسب يخفف من نسبة الهدر نتيجة ضبط البارامترات ووضع خطة لضمان عدم التعرض لمخاطر أثناء العملية الإنتاجية وكذلك يفتح الباب أمام تطبيقه على منتجات بلاستيكية أخرى
2. قد يمكن عند تطبيق هذا النظام زيادة عدد نقاط التحكم الحرجة في عملية الإنتاج، وتحديد مخاطر جديدة وإضافتها إلى النظام الحالي وفق الوثائق التي قمنا بتنظيمها.
3. والعمل تدريب العاملين في الإنتاج على نظام هاسب واعتماد جهات خارجية للتدريب ، وإدخال برامج تدريبية وتوسيع نطاق تطبيق نظام هاسب ليشمل جميع مراحل الإنتاج، من الخامات إلى المنتج النهائي، وذلك لضمان سلامة المنتج بشكل كامل
4. تعزيز التواصل مع العملاء وجمع ملاحظاتهم ومقترحاتهم حول جودة المنتج النهائي، والعمل على تطبيق هذه الملاحظات في عملية الإنتاج. كذلك توسيع نطاق تطبيق نظام هاسب ليشمل الموردين والشركاء في الإنتاج.

المراجع الإنكليزية: References

[3] European Commission. (2016). **Commission Notice on the implementation of food safety management systems covering prerequisite programs (PRPs) and procedures based on the HACCP principles, including the facilitation/flexibility of the implementation in certain food businesses.** *Official Journal of the European Communities..*

<https://eur-lex.europa.eu/legal>

<content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52022XC0916%2801%29>

[4] Foods, C., Containers, S., & Mills, G. HACCP-(2010) ‘**Food Safety Alliance for Packaging (FSAP)** :

[https://ajng3zwwtrj9.wpcdn.shift8cdn.com/wp-](https://ajng3zwwtrj9.wpcdn.shift8cdn.com/wp-content/uploads/2020/04/drawn-ironedsteelcan_apr-8_201_-haacp.pdf)

[content/uploads/2020/04/drawn-ironedsteelcan\\_apr-8\\_201\\_-haacp.pdf](content/uploads/2020/04/drawn-ironedsteelcan_apr-8_201_-haacp.pdf)

[5] Thanh, K, (2022) ,**BENEFITS OF USING HACCP CERTIFIED PACKAGING PRODUCTS**, HOUSE OF PACKAGING:

<https://khangthanh.com/en/Other-news/Benefits-of-using-HACCP-certified-packaging-products-2699.html>

[6] Bahri, K. N. (2022). **Equality of Strategy and Resources in Plastic Packaging Industry Companies Case Study: PT. Sinergi Inti Plastindo Tbk.** *International Journal Of Humanities Education and Social Sciences (IJHESS)*, 1(4).

<http://ijhess.com/index.php/ijhess/article/view/90>

[7] Kasumigaseki, (2019)‘ **Measures to Ensure Food Safety**, Policy Planning Division for Environmental Health and Food Safety Pharmaceutical Safety and Environmental Health Bureau, JAPAN:

<https://www.mhlw.go.jp/english/policy/health-medical/food/dl/pamphlet.pdf>

[8] Stier, R,(2018)‘**How Should Packaging Be Addressed in Your Food Safety Program**, Foodsafety magazine, America:

<https://www.food-safety.com/articles/5727-how-should-packaging-be-addressed-in-your-food-safety-program>

**المراجع العربية:**

[1] د.م. الابراهيم، ماهر ، د.م. المكايل، عبيد، (2008)، أساسيات إدارة

الجودة للمهندسين، جامعة البعث، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية.

[2] د. حسين، طه، (2017) - الدليل الفني لتدريب مفتشي السلامة والصحة

المهنية، المستوى النوعي، وزارة القوى العاملة، منظمة العمل الدولية، من:

<https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---africa/---ro->

[abidjan/---sro-cairo/documents/publication/wcms\\_720977.pdf](abidjan/---sro-cairo/documents/publication/wcms_720977.pdf)



## تقنيات التعلم الآلي لاكتشاف النسل

### في الشبكات المعرفة برمجياً

المهندسة هند محمد<sup>1</sup> إشراف: الدكتور أكرم مرعي<sup>2</sup> الدكتور رامت الخطيب<sup>3</sup>

#### الملخص

في الوقت الحاضر ، تواجه الشبكات والبيانات هجمات عديدة من أنواع مختلفة تعرض بياناتها للخطر. لذلك ، فإن سلامة المعلومات داخل الشبكة هي أمر مهم جداً. من أجل منع فقدان المعلومات القيمة ، تم تطوير نظام كشف التسلل (IDS) للتعرف على التسللات والاختراقات من وإخطار مسؤول نظام الشبكة الذي يوفر أمان الشبكة. IDS هو نموذج يستخدم لاكتشاف حركة مرور الشبكة على أنها طبيعية أو هجومية. تعد الشبكات المعرفة برمجياً (SDN) نموذجاً عصبياً يعزل مستوى التحكم عن مستوى البيانات. من خلال فصل هذه البيانات عن مستوى التحكم ، يمنح SDN الفرصة لإنشاء شبكة قابلة للإدارة وقابلة للبرمجة، مما يسمح للتطبيقات في المستوى الأعلى بالوصول إلى الأجهزة المادية عبر وحدة التحكم. تقوم وحدة التحكم التي تعمل داخل مستوى التحكم بتنفيذ وحدات الشبكة وتعيين قواعد التدفق لإعادة توجيه الحزم عند المحولات في مستوى البيانات. وقد تنوعت أساليب كشف التسلل في الشبكات المعرفة برمجياً بدءاً من الأساليب القائمة على التوقيع ووصولاً إلى التعلم الآلي .

لذلك وبناء على ماسبق سيتم في هذا البحث دراسة نظام كشف التسلل وطرائقه مع التركيز على طرائق التعلم الآلي من خلال دراسة أربع خوارزميات تعلم آلي وهي KNN,RNN,DT,RF على مجموعة بيانات SDN المعيارية بالإضافة إلى تقييم فعالية خوارزميات اختيار الميزات وهي Correlation,Information gain ومدى تأثير دمج ميزات Information gain مع Correlation على خوارزميات التعلم الآلي وقد أثبتت التجارب في هذا البحث أن استخدام خوارزمية أقرب جار مع دمج ميزات خوارزمتي Information gain و Correlation كانت أفضل من باقي الخوارزميات حيث حصلت على أكثر من 99 بالمئة من الدقة على مجموعة البيانات

الكلمات المفتاحية: الشبكات المعرفة برمجياً، نظام كشف التسلل، التعلم الآلي، اختيار الميزات، التصنيف.

<sup>1</sup> طالبة ماجستير - قسم هندسة الشبكات والنظم الحاسوبية - كلية الهندسة المعلوماتية - جامعة البعث - حمص - سوريا

<sup>2</sup> أستاذ دكتور - قسم هندسة الشبكات والنظم الحاسوبية - كلية الهندسة المعلوماتية - جامعة البعث - حمص - سوريا

<sup>3</sup> دكتور مشارك - قسم تقنيات الحاسوب - الكلية التطبيقية - جامعة حماة - حماة - سوريا

# Machine Learning Techniques for Intrusion Detection in Software Defined Networks (SDN)

Eng. Hind Mohammed, Dr. Akram Almorei, Dr. Ramez Al-Khatib

## Abstract

Nowadays, networks and data are facing numerous attacks of different types that put their data at risk. Therefore, the safety of information within the network is very important. In order to prevent the loss of valuable information, an Intrusion Detection System (IDS) is developed to identify intrusions and intrusions from and notify the network system administrator who provides network security. IDS is a model used to detect network traffic as normal or offensive. Software Defined Networking (SDN) is a modern paradigm that isolates the control plane from the data plane, transforming the concept of a software-driven network. By separating this data from the control plane, SDN gives the opportunity to create a manageable, programmable network, allowing applications at a higher level to access physical hardware via the controller. A controller operating within the control plane implements network modules and sets flow rules for forwarding packets at switches in the data plane. Intrusion detection methods have varied in programmatically defined networks, starting from signature-based methods to machine learning. Therefore, based on the above, in this research, the intrusion detection system and its methods will be studied, with a focus on machine learning methods, by studying four machine learning algorithms on standard SDN data set in addition to evaluating the effectiveness of the algorithms. The selection of features and the effect of features on machine learning algorithms. Experiments in this research have proven that the use of the k-nearest-neighbor algorithm with the features of the correlation algorithm and information gain was better than the rest of the algorithms, as it obtained more than 99 percent of accuracy on the data set.

**Keywords:** Software Defined Networks, Intrusion Detection System, Machine Learning, Feature Selection, Classification.

## 1- مقدمة

## 1-1 مقدمة

يعد أمن الشبكات الآن أحد أهم الاهتمامات المتعلقة بالتطور المتسارع للشبكة لأنه يؤثر بشكل مباشر على مصالح المؤسسات والشركات والأفراد. تحتاج أنظمة IDS الحديثة [1] في الشبكة إلى التعامل مع كمية كبيرة من البيانات التي يتم إنشاؤها كل ثانية بسبب التوسع السريع لتكنولوجيا المعلومات. يؤدي تقدم الإنترنت والتبادل السريع للبيانات إلى خطر تزايد الهجمات الإلكترونية التي تستهدف الأشخاص والمؤسسات التجارية في جميع أنحاء العالم بمعدل سريع. استجابة لهذا التهديد، تم تطوير وتكثيف الحاجة إلى تطوير نظام لكشف التسلل. تراقب IDS الشبكة باستمرار عن طريق إنشاء نمط حركة مرور يمكن نفسه من اكتشاف سلوك حركة المرور أو الأنماط التي تنحرف عن النمط العادي.

تعتبر حركة المرور المستمرة غير النظامية تهديداً يمكن أن يتحول في النهاية إلى هجوم. يفحص نظام كشف البيانات (IDS) سجلات حركة مرور الشبكة على شبكات الكمبيوتر لتحديد الأحداث والإجراءات المحفوفة بالمخاطر ويحذر عند تحديد مثل هذا النشاط. كما تساعد IDS من خلال الكشف عن الهجمات الخارجية في الشبكة.

وفقاً لـ [2]، يُقدر أن حجم السوق العالمي لـ SDN سيرتفع من 13.7 مليار دولار أمريكي في عام 2020 إلى 32.7 مليار دولار أمريكي بحلول عام 2025. توفر بنية SDN العرضية [3] مرونة وتحكماً أكبر من بنية الشبكة التقليدية عن طريق تقسيم مستوى البيانات ومستوى التحكم في SDN، مما يوفر مزيداً من قابلية البرمجة والمرونة. يتمثل الاختلاف الكبير في شبكات SDN مع النموذج القياسي للشبكة ذات الأجهزة الثابتة في وظائفها التي تختلف وفقاً لبنيتها. في الشبكة التقليدية القائمة على الأجهزة، من الصعب نشر بروتوكولات جديدة وخدمات مطلوبة حيث يلزم تحديث العديد من المحولات أو تغييرها باستخدام التكوين اليدوي، وهو عرضة للخطأ وبطيء. في المقابل، في SDN، يتم تكوينه تلقائياً جنباً إلى جنب مع عملية مصادقة مركزية. يعتمد أداء SDN المحسن على التحكم العالمي الديناميكي والمعلومات عبر الطبقات، في حين أن

الشبكة التقليدية ثابتة مع معلومات محدودة بداخلها [4]. ومع ذلك، من الضروري الحفاظ على مستوى أمان مُرضٍ مع تعدد استخدامات بنية SDN وإمكانية إدارتها. بالإضافة إلى نظام IDS الكلاسيكي ونظام منع التطفل (IPS) ، يوفر IDS، المدمج مع نموذج SDN مستوى أمان إضافياً بسبب ميزة البرمجة الفريدة لـ SDN.

## 1-2 أهداف البحث

يهدف البحث بشكل رئيسي إلى اكتشاف التسلل في الشبكات المعرفة برمجياً من خلال استخدام تقنيات ومصنفات التعلم الآلي وذلك من خلال إجراء مقارنة بين مصنفات التعلم الآلي المختلفة لمعرفة الأنسب في مجال كشف التسلل في الشبكات المعرفة برمجيات بالإضافة إلى تقييم فعالية اختيار الميزات على مصنفات التعلم الآلي من ناحية الدقة في اكتشاف التسلل في الشبكة.

## 2- الدراسة النظرية

### 1-2 التعلم الآلي

وفقاً لـ Arthur Samuel ، يُعرّف التعلم الآلي بأنه مجال الدراسة الذي يمنح أجهزة الكمبيوتر القدرة على التعلم دون أن تتم برمجتها بشكل صريح.. يُستخدم التعلم الآلي (ML) لتعليم الآلات كيفية التعامل مع البيانات بشكل أكثر كفاءة. في بعض الأحيان بعد عرض البيانات، لا يمكن تفسير معلومات الاستخراج من البيانات. في هذه الحالة، يتم تطبيق التعلم الآلي. مع وفرة مجموعات البيانات المتاحة، يزداد الطلب على التعلم الآلي حيث تطبق العديد من الصناعات التعلم الآلي لاستخراج البيانات ذات الصلة [6].

الغرض من التعلم الآلي هو التعلم من البيانات، تم إجراء العديد من الدراسات حول كيفية جعل الآلات تتعلم من تلقاء نفسها دون أن تتم برمجتها بشكل صريح. يطبق العديد من علماء الرياضيات والمبرمجين عدة طرق لإيجاد حل لهذه المشكلة التي تحتوي على مجموعات بيانات ضخمة.

## 2-1-2 تحديات التعلم الآلي

فيما يلي أبرز التحديات التي تواجه عملية التعلم الآلي:

1. تدني جودة البيانات:

تلعب البيانات دوراً مهماً في عملية التعلم الآلي. إحدى المشكلات المهمة التي يواجهها متخصصو التعلم الآلي هي عدم وجود بيانات جيدة النوعية. يمكن للبيانات غير النظيفة والصاخبة أن تجعل العملية برمتها مرهقة للغاية.

2. سوء تجهيز بيانات التدريب Underfitting:

تحدث هذه العملية عندما تكون البيانات غير قادرة على إنشاء علاقة دقيقة بين متغيرات الإدخال والإخراج. إنه يعني ببساطة محاولة ارتداء الجينز الأصغر حجماً. يشير إلى أن البيانات بسيطة للغاية لإنشاء علاقة دقيقة.

3. Overfitting :

يشير Overfitting إلى نموذج التعلم الآلي المدرب بكمية هائلة من البيانات التي تؤثر سلباً على أدائه. هذا يعني أن الخوارزمية يتم تدريبها باستخدام بيانات صاخبة ومنحازة، مما سيؤثر على أدائها العام.

4. التعلم الآلي هو عملية معقدة:

صناعة التعلم الآلي هي صناعة حديثة ومتغيرة باستمرار. يتم إجراء تجارب سريعة وتجارب. تتحول العملية، وبالتالي هناك فرص كبيرة للخطأ مما يجعل التعلم معقداً. يتضمن تحليل البيانات، وإزالة تحيز البيانات، وبيانات التدريب، وتطبيق الحسابات الرياضية المعقدة، وغير ذلك الكثير. ومن ثم فهي عملية معقدة حقاً وهي تحد كبير آخر لمحترفي التعلم الآلي.

5. بطء التنفيذ:

هذه إحدى المشكلات الشائعة التي يواجهها متخصصو التعلم الآلي. تتميز نماذج التعلم الآلي بالكفاءة العالية في تقديم نتائج دقيقة ، ولكنها تستغرق وقتاً طويلاً. عادةً ما تستغرق البرامج البطيئة والحمل الزائد للبيانات والمتطلبات المفرطة وقتاً طويلاً لتقديم نتائج دقيقة.

6. عيوب الخوارزمية عندما تنمو البيانات:

قد يصبح النموذج عديم الفائدة في المستقبل مع نمو البيانات. قد يصبح أفضل نموذج للحاضر غير دقيق في المستقبل القادم ويتطلب مزيداً من إعادة الترتيب.

2-2 مناهج التعلم الآلي تصنيف التعلم الآلي

يمكن تقسيم التعلم الآلي وفقاً لطبيعة تصنيف البيانات إلى خاضع للإشراف وغير خاضع للإشراف وشبه خاضع للإشراف [5] كما هو موضح في الشكل 1. يستخدم التعلم الخاضع للإشراف لتقدير تعيين غير معروف (المدخلات والمخرجات) من عينات (المدخلات والمخرجات) المعروفة، حيث يتم تسمية المخرجات (على سبيل المثال ، التصنيف والانحدار).

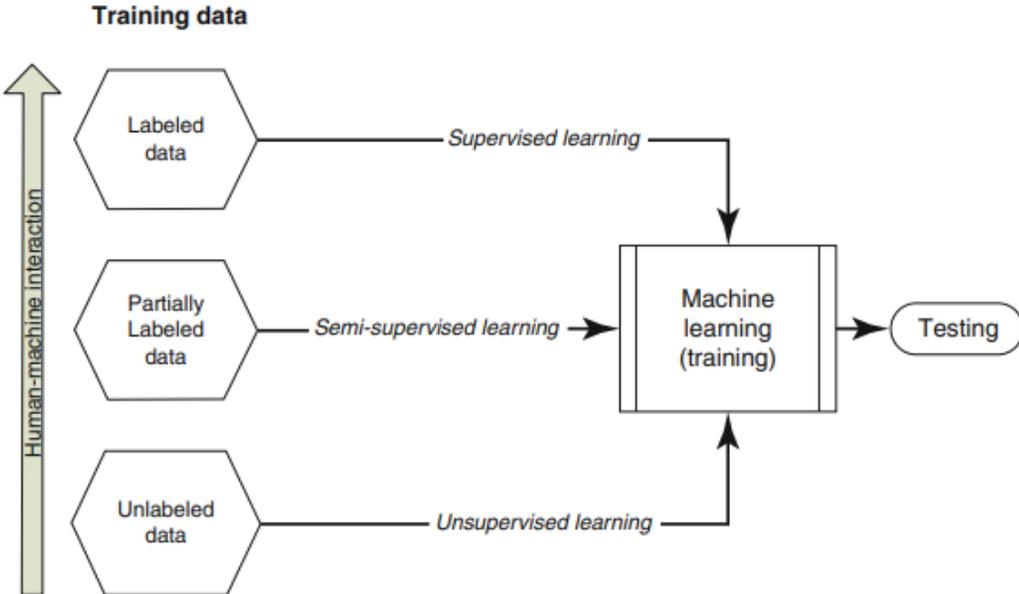
في التعلم غير الخاضع للإشراف، يتم إعطاء عينات المدخلات فقط لنظام التعلم (على سبيل المثال، التجميع وتقدير دالة كثافة الاحتمال). التعلم شبه الخاضع للإشراف هو مزيج من كل من الخاضعين للإشراف وغير الخاضع للإشراف حيث يتم تصنيف جزء من البيانات جزئياً ويتم استخدام الجزء المصنف لاستنتاج الجزء غير المسمى (على سبيل المثال، أنظمة استرجاع النصوص / الصور). من منظور التعلم المفهومي، يمكن تصنيف التعلم الآلي إلى التعلم الاستقرائي والاستقرائي .

يتضمن التعلم التحويلي الاستدلال من حالات التدريب المحددة إلى حالات الاختبار المحددة باستخدام الملصقات المنفصلة كما هو الحال في التجميع أو استخدام

التسميات المستمرة كما هو الحال في التعلم المتنوع. من ناحية أخرى، يهدف التعلم الاستقرائي إلى التنبؤ بمخرجات المدخلات التي لم يواجهها المتعلم من قبل.

من منظور احتمالي، يمكن تقسيم خوارزميات التعلم الآلي إلى نماذج تمييزية أو توليدية. يقيس النموذج المميز الاحتمال الشرطي لمخرج معين معطى مدخلات حتمية نموذجية، مثل الشبكات العصبية أو آلة المتجه الداعمة SVM. يعتبر النموذج التوليدي احتمالياً تماماً سواء كان يستخدم تقنية نمذجة الرسم البياني مثل شبكات بايز BN، أو لا كما في حالة بايز الساذجة NB.

فئة أخرى مثيرة للاهتمام من خوارزميات التعلم الآلي التي تحاول التحكم في التعلم من خلال استيعاب نظام التغذية المرتدة هي التعلم المعزز، حيث يحاول الوكيل اتخاذ سلسلة من الإجراءات التي قد تزيد من المكافأة التراكمية مثل الفوز بلعبة الداما، على سبيل المثال . هذا النوع من النهج مفيد بشكل خاص لتطبيقات التعلم عبر الإنترنت.



الشكل 1 تصنيف خوارزميات التعلم الآلي وفقاً لطبيعة بيانات التدريب

المصدر [5]

## 2-3 الشبكات المعرفة برمجياً:

تمت صياغة مصطلح SDN في الأصل لتمثيل الأفكار والعمل حول OpenFlow في جامعة ستانفورد في الولايات المتحدة الأمريكية . كما تم تعريفه في الأصل، يشير SDN إلى بنية الشبكة حيث تتم إدارة حالة إعادة التوجيه في مستوى البيانات بواسطة مستوى يتم التحكم فيه عن بُعد ومنفصل عن السابق. لقد تحولت صناعة الشبكات في العديد من المناسبات من هذه النظرة الأصلية لـ SDN بالإشارة إلى أي شيء يتضمن البرنامج على أنه SDN. لذلك نحاول ، في هذا القسم ، تقديم تعريف أقل غموضاً لمصطلح SDN [11].

يتم تحديد SDN على أنها بنية شبكة ذات أربع ركائز وهي:

(1) يتم فصل طبقة التحكم والبيانات. تتم إزالة وظيفة التحكم من أجهزة الشبكة التي ستصبح عناصر إعادة توجيه بسيطة (حزمة).

(2) تعتمد قرارات إعادة التوجيه على التدفق، بدلاً من أن تستند إلى الوجهة يتم تعريف التدفق على نطاق واسع من خلال مجموعة من قيم حقل الحزمة تعمل كمييار مطابقة (مرشح) ومجموعة من الإجراءات (التعليمات).

في سياق SDN / OpenFlow ، يكون التدفق عبارة عن سلسلة من الحزم بين المصدر والوجهة. تتلقى جميع حزم التدفق سياسات خدمة متطابقة في أجهزة إعادة التوجيه. يسمح تجريد التدفق بتوحيد سلوك أنواع مختلفة من أجهزة الشبكة ، بما في ذلك أجهزة التوجيه والمحولات والجدران النارية والصناديق الوسطى. تتيح برمجة التدفق مرونة غير مسبوقة ، تقتصر فقط على إمكانيات جداول التدفق المنفذة .

(3) يتم نقل منطق التحكم إلى كيان خارجي ، يسمى وحدة تحكم SDN أو NOS. NOS عبارة عن منصة برمجية تعمل على تقنية خادم السلع وتوفر الموارد الأساسية والتجريدية لتسهيل برمجة أجهزة إعادة التوجيه بناءً على عرض شبكة مجردة ومركزي منطقياً. لذلك فإن الغرض منه مشابه لنظام التشغيل التقليدي.

4) الشبكة قابلة للبرمجة من خلال تطبيقات برمجية تعمل أعلى NOS والتي تتفاعل مع أجهزة مستوى البيانات الأساسية. هذه سمة أساسية لـ SDN ، وتعتبر عرض القيمة الرئيسي.

## 2-3-1 المصطلحات الأساسية في الشبكات المعرفة برمجياً

1) أجهزة إعادة التوجيه (FD): هي أجهزة مستوى بيانات قائمة على الأجهزة أو البرامج وتقوم بمجموعة من العمليات الأولية. تحتوي أجهزة إعادة التوجيه على مجموعات تعليمات محددة جيداً (على سبيل المثال، قواعد التدفق) تُستخدم لاتخاذ إجراءات بشأن الحزم الواردة (على سبيل المثال، إعادة التوجيه إلى منافذ محددة، والإفلات، وإعادة التوجيه إلى وحدة التحكم، وإعادة كتابة بعض الرؤوس). يتم تحديد هذه التعليمات بواسطة واجهات متجهة جنوباً (على سبيل المثال، OpenFlow و POF) ويتم تثبيتها في أجهزة إعادة التوجيه بواسطة وحدات تحكم SDN التي تنفذ البروتوكولات المتجه جنوباً.

2) مستوى البيانات (DP): أجهزة إعادة التوجيه مترابطة من خلال قنوات الراديو اللاسلكية أو الكابلات السلكية. تتكون البنية التحتية للشبكة من أجهزة إعادة التوجيه المترابطة، والتي تمثل مستوى البيانات.

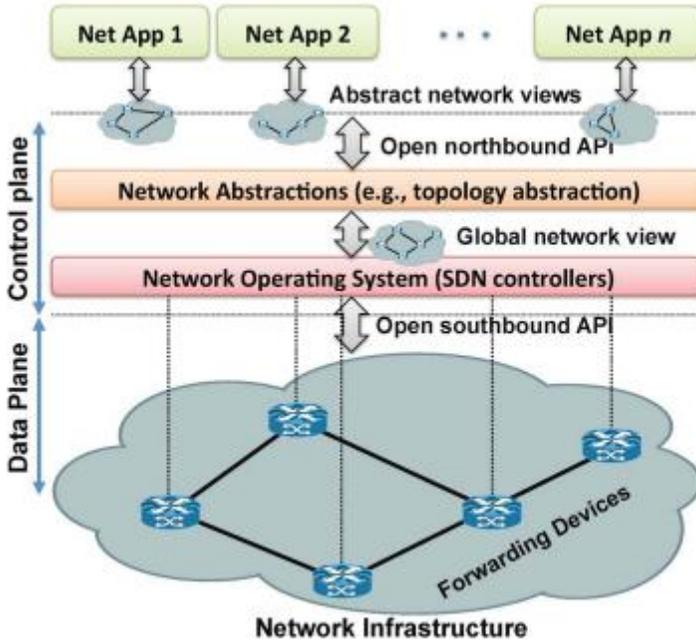
3) الواجهة الجنوبية (SI): يتم تحديد مجموعة التعليمات الخاصة بأجهزة إعادة التوجيه بواسطة واجهة برمجة التطبيقات (API) المتجهة جنوبياً ، والتي تعد جزءاً من الواجهة الجنوبية. علاوة على ذلك، تحدد SI أيضاً بروتوكول الاتصال بين أجهزة إعادة التوجيه وعناصر مستوى التحكم. يضيف هذا البروتوكول الطابع الرسمي على الطريقة التي تتفاعل بها عناصر مستوى التحكم والبيانات.

4) مستوى التحكم (CP): تتم برمجة أجهزة إعادة التوجيه بواسطة عناصر مستوى التحكم من خلال تجسيديات SI محددة جيداً. لذلك يمكن النظر إلى مستوى التحكم على أنه "عقل الشبكة". يقع منطق التحكم في التطبيقات وأجهزة التحكم ، التي تشكل مستوى التحكم.

5) الواجهة الشمالية (NI): يمكن أن تقدم NOS واجهة برمجة تطبيقات لمطوري التطبيقات. تمثل واجهة برمجة التطبيقات هذه واجهة متجهة شمالاً، أي واجهة مشتركة لتطوير التطبيقات. عادةً ما تلخص الواجهة الشمالية مجموعات التعليمات ذات المستوى المنخفض المستخدمة بواسطة الواجهات المتجهة جنوبياً لبرمجة أجهزة إعادة التوجيه.

6) مستوى الإدارة (MP): مستوى الإدارة هو مجموعة التطبيقات التي تستفيد من الوظائف التي توفرها NI لتنفيذ التحكم في الشبكة ومنطق التشغيل. يتضمن ذلك تطبيقات مثل التوجيه وجدران الحماية وموازنات التحميل والمراقبة وما إلى ذلك. بشكل أساسي، يحدد تطبيق الإدارة السياسات، والتي يتم ترجمتها في النهاية إلى تعليمات خاصة بالاتجاه الجنوبي والتي تبرمج سلوك أجهزة إعادة التوجيه.

يوضح الشكل 2 بنية الشبكات المعرفة برمجياً.



الشكل 2 بنية الشبكات المعرفة برمجياً

## 2-3-2 فوائد الشبكات المعرفة برمجياً

توفر SDN، مع فصلها المتأصل لمستوى التحكم عن مستوى البيانات، تحكماً أكبر في الشبكة من خلال البرمجة. ستجلب هذه الميزة المدمجة فوائد محتملة للتهيئة المحسنة والأداء المحسن وتشجيع الابتكار في بنية الشبكة وعملياتها، كما هو مُلخص في الجدول الأول. على سبيل المثال، قد لا يشمل عنصر التحكم الذي يتبناه SDN إعادة توجيه الحزمة عند مستوى التحويل فحسب، بل يشمل أيضاً الارتباط الضبط على مستوى ارتباط البيانات، وكسر حاجز الطبقات. علاوة على ذلك، مع القدرة على الحصول على حالة الشبكة الفورية، يسمح SDN بالتحكم المركزي في الوقت الفعلي للشبكة بناءً على حالة الشبكة الآتية والسياسات المحددة من قبل المستخدم. يؤدي هذا أيضاً إلى فوائد في تحسين تكوينات الشبكة وتحسين أداء الشبكة. تتضح الفوائد المحتملة لـ SDN من خلال حقيقة أن SDN توفر منصة ملائمة لتجارب التقنيات الجديدة وتشجع تصميمات الشبكة الجديدة، والتي تُعزى إلى قابلية برمجة الشبكة والقدرة على تحديد الشبكات الافتراضية المعزولة عبر مستوى التحكم.

## (1) تحسين التكوين

في إدارة الشبكة، يعد التكوين أحد أهم الوظائف. على وجه التحديد، عند إضافة معدات جديدة إلى شبكة موجودة، يلزم التكوينات المناسبة لتحقيق عملية شبكة متماسكة ككل. ومع ذلك، نظراً لعدم التجانس بين الشركات المصنعة لأجهزة الشبكة وواجهات التكوين، فإن تكوين الشبكة الحالي يتضمن عادةً مستوى معيناً من المعالجة اليدوية.

## (2) تحسين الأداء

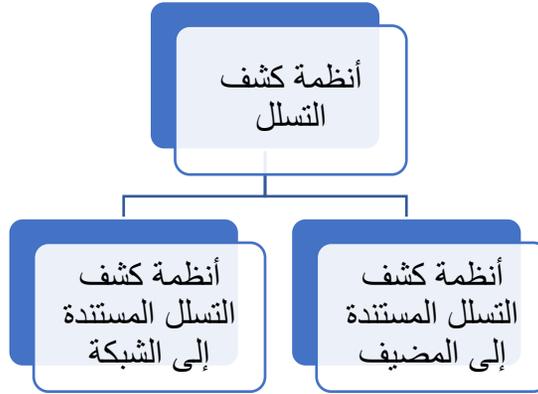
يوفر إدخال SDN فرصة لتحسين أداء الشبكة على مستوى العالم. على وجه التحديد، يسمح SDN بالتحكم المركزي مع عرض الشبكة العالمية والتحكم في التعليقات مع المعلومات المتبادلة بين الطبقات المختلفة في بنية الشبكة.

## 2-4 أنظمة كشف التسلل

يمكن تعريف التطفل على أنه أي نوع من الأنشطة غير المصرح بها التي تسبب ضرراً لنظام المعلومات. هذا يعني أن أي هجوم يمكن أن يشكل تهديداً محتملاً لسرية المعلومات أو سلامتها أو توفرها سيعتبر تدخلاً. على سبيل المثال، تعتبر الأنشطة التي من شأنها أن تجعل خدمات الكمبيوتر غير مستجيبة للمستخدمين الشرعيين تدخلاً [12].

IDS هو نظام برمجي أو جهاز يحدد الإجراءات الضارة على أنظمة الكمبيوتر من أجل السماح بالحفاظ على أمان النظام. الهدف من IDS هو تحديد أنواع مختلفة من حركة مرور الشبكة الضارة واستخدام الكمبيوتر، والتي لا يمكن تحديدها بواسطة جدار الحماية التقليدي. يعد هذا أمراً حيوياً لتحقيق حماية عالية ضد الإجراءات التي تهدد توافر أنظمة الكمبيوتر أو تكاملها أو سريتها.

يوضح الشكل 3 تصنيف أنظمة كشف التسلل.



الشكل 3 تصنيف أنظمة كشف التسلل

- IDS المستند إلى المضيف (HIDS):

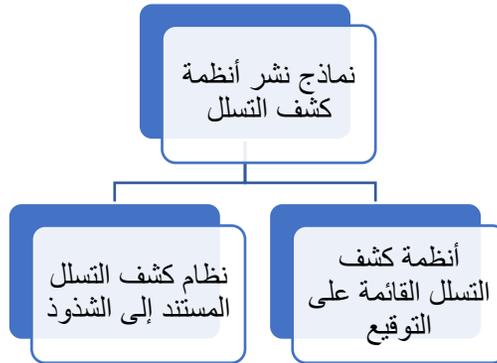
يتم نشر IDS المستند إلى المضيف على نقطة نهاية معينة ومصممة لحمايتها من التهديدات الداخلية والخارجية. قد يكون لمثل هذا IDS القدرة على مراقبة حركة مرور الشبكة من وإلى الجهاز ، ومراقبة العمليات الجارية ، وفحص سجلات النظام. تقتصر رؤية IDS القائم على المضيف على الجهاز المضيف ، مما يقلل من السياق المتاح لاتخاذ القرار ، ولكن لديه رؤية عميقة في الأجزاء الداخلية للكمبيوتر المضيف.

- IDS المستند إلى الشبكة (NIDS)

تم تصميم حل IDS المستند إلى الشبكة لمراقبة شبكة محمية بالكامل. لديها رؤية في جميع حركة المرور المتدفقة عبر الشبكة وتتخذ قرارات تستند إلى بيانات وصفية للحزم ومحتوياتها. توفر وجهة النظر الأوسع سياقاً أكثر وقدرة على اكتشاف التهديدات المنتشرة ؛ ومع ذلك ، فإن هذه الأنظمة تفتقر إلى الرؤية في الأجزاء الداخلية لنقاط النهاية التي تحميها.

## 2-5 نماذج نشر أنظمة كشف التسلل

يوضح الشكل 4 نماذج نشر أنظمة كشف التسلل:



الشكل 4 نماذج نشر أنظمة كشف التسلل

## 2-5-1 أنظمة كشف التسلل القائمة على التوقيع (SIDS)

تعتمد أنظمة الكشف عن اقتحام التوقيع (SIDS) على تقنيات مطابقة الأنماط للعثور على هجوم معروف؛ تُعرف هذه أيضاً باسم الاكتشاف القائم على المعرفة أو اكتشاف إساءة الاستخدام. في SIDS تُستخدم طرق المطابقة للعثور على تدخل سابق.

بمعنى آخر عندما يتطابق توقيع التطفل مع توقيع اقتحام سابق موجود بالفعل في قاعدة بيانات التوقيع يتم تشغيل إشارة إنذار. بالنسبة إلى SIDS، يتم فحص سجلات المضيف للعثور على تسلسل من الأوامر أو الإجراءات التي تم تحديدها مسبقاً على أنها برامج ضارة. تم تصنيف SIDS أيضاً في الأدبيات على أنها اكتشاف قائم على المعرفة أو اكتشاف إساءة الاستخدام.

الفكرة الرئيسية هي بناء قاعدة بيانات لتوقعات الاقتحام ومقارنة مجموعة الأنشطة الحالية بالتوقعات الحالية وإطلاق إنذار إذا تم العثور على تطابق. على سبيل المثال، قد تؤدي القاعدة التي تتخذ شكل "if: antecedent -then: due" إلى "if (عنوان IP المصدر = عنوان IP الوجهة) ثم تسميه كهجوم".

تقدم SIDS عادةً دقة اكتشاف ممتازة لعمليات الاقتحام المعروفة. ومع ذلك، تواجه SIDS صعوبة في اكتشاف هجمات يوم الصفر (zero day) لسبب عدم وجود توقيع مطابق في قاعدة البيانات حتى يتم استخراج توقيع الهجوم الجديد وتخزينه. يتم استخدام SIDS في العديد من الأدوات الشائعة، على سبيل المثال، Snort، NetSTAT 1999.

تقوم الأساليب التقليدية لـ SIDS بفحص حزم الشبكة ومحاولة المطابقة مع قاعدة بيانات للتوقعات. لكن هذه الأساليب غير قادرة على تحديد الهجمات التي تمتد عبر عدة حزم. نظراً لأن البرامج الضارة الحديثة أكثر تعقيداً، فقد يكون من الضروري استخراج معلومات التوقيع عبر حزم متعددة. هذا يتطلب من IDS استدعاء محتويات الحزم السابقة. فيما يتعلق بإنشاء توقيع لـ SIDS بشكل عام كان هناك عدد من الطرق

حيث يتم إنشاء التوقعات كآلات حالة، أو أنماط سلاسل اللغة الرسمية أو الشروط الدلالية.

## 2-5-2 نظام كشف التسلل المستند إلى الشذوذ (AIDS)

لقد جذب كشف التسلل المستند إلى الشذوذ اهتمام الكثير من العلماء بسبب قدرته على التغلب على محدودية SIDS. في هذا النمط، يتم إنشاء نموذج طبيعي لسلوك نظام الكمبيوتر باستخدام التعلم الآلي أو الأساليب القائمة على الإحصاء أو القائمة على المعرفة. يعتبر أي انحراف كبير بين السلوك المرصود والنموذج شذوذاً يمكن تفسيره على أنه تدخل. الافتراض لهذه المجموعة من التقنيات هو أن السلوك الضار يختلف عن سلوك المستخدم العادي. تصنف سلوكيات المستخدمين غير الطبيعيين والتي تختلف عن السلوكيات القياسية على أنها تدخلات. يتألف تطوير مرض الإيدز من مرحلتين: مرحلة التدريب ومرحلة الاختبار. في مرحلة التدريب، يتم استخدام ملف تعريف حركة المرور العادي لتعلم نموذج للسلوك الطبيعي، ثم في مرحلة الاختبار، يتم استخدام مجموعة بيانات جديدة لتأسيس قدرة النظام على التعميم على التدخلات غير المرئية من قبل. يمكن تصنيف الإيدز إلى عدد من الفئات بناءً على الطريقة المستخدمة في التدريب، على سبيل المثال، القائم على الإحصاء والقائم على المعرفة والتعلم الآلي.

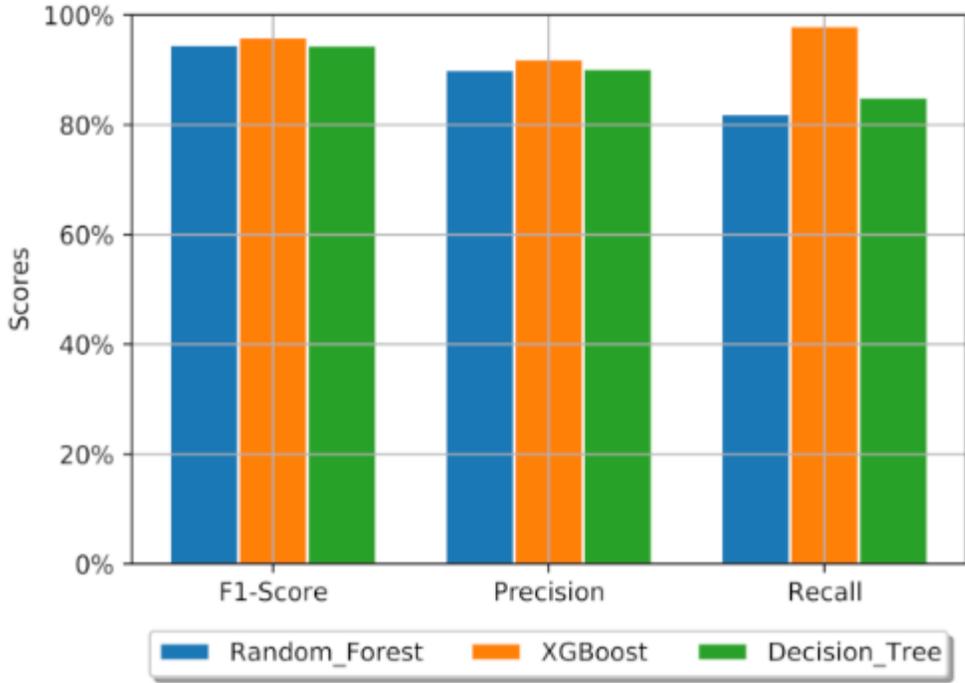
الميزة الرئيسية عن AIDS هي القدرة على تحديد هجمات يوم الصفر نظراً لحقيقة أن التعرف على نشاط المستخدم غير الطبيعي لا يعتمد على قاعدة بيانات التوقيع. يطلق الإيدز إشارة خطر عندما يختلف السلوك الذي تم فحصه عن السلوك المعتاد.

علاوة على ذلك، لكشف التسلل المستند على الشذوذ فوائد مختلفة. أولاً، لديهم القدرة على اكتشاف الأنشطة الخبيثة الداخلية. إذا بدأ متطفل في إجراء معاملات في حساب مسروق لم يتم تحديده في نشاط المستخدم المعتاد، فإنه ينشئ إنذاراً. ثانياً، من الصعب جداً على مجرمي الإنترنت التعرف على سلوك المستخدم العادي دون إصدار تنبيه لأن النظام مبني من ملفات تعريف مخصصة.

### 3- الدراسات المرجعية

تنوعت أساليب الأبحاث ودراسة اكتشاف التسلل في الشبكات المعرفة برمجياً حيث تتضمن الدراسات مجموعة واسعة من التقنيات لمعالجة مشكلة اكتشاف التسلل في الشبكات الحاسوبية وخاصة الشبكات المعرفة برمجياً فتتبع الطرائق لهذه الغاية فمنها الأساليب الإحصائية التقليدية والطرائق القائمة على التوقيع signature based ووصولاً إلى التعلم الآلي.

تم في [18] التأكيد على أن توسيع خوارزميات التعلم الآلي الذكية في نظام اكتشاف اختراق الشبكة (NIDS) من خلال شبكة محددة بالبرمجيات (SDN) قد جذب اهتماماً كبيراً في العقد الماضي. يتيح توافر البيانات الضخمة وتنوع تقنيات تحليل البيانات والتحسين الهائل في خوارزميات التعلم الآلي بناء نظام فعال وموثوق ويمكن الاعتماد عليه لاكتشاف أنواع مختلفة من الهجمات التي تستهدف الشبكات بشكل متكرر. من أجل ذلك توضح هذه الدراسة استخدام خوارزميات التعلم الآلي لمراقبة حركة المرور لاكتشاف السلوك الضار في الشبكة كجزء من NIDS في وحدة تحكم SDN. تم اختيار تقنيات تعلم الآلة الكلاسيكية والمتقدمة القائمة على الأشجار، وشجرة القرار، والغابة العشوائية، و XGBoost لإثبات اكتشاف الهجوم. تُستخدم مجموعة بيانات NSL-KDD للتدريب واختبار الطرق المقترحة ؛ تعتبر مجموعة بيانات معيارية للعديد من الأساليب الحديثة في NIDS. يتم تنفيذ العديد من تقنيات المعالجة المسبقة المتقدمة على مجموعة البيانات من أجل استخراج أفضل شكل من البيانات ، مما ينتج عنه نتائج رائعة مقارنة بالأنظمة الأخرى. باستخدام أربع ميزات فقط من أصل 41 من ميزات NSL-KDD ، يتم إجراء مهمة تصنيف متعددة الفئات من خلال اكتشاف ما إذا كان هناك هجوم وتصنيف نوع الهجوم (DDoS و PROBE و R2L و U2R)، وتحقيق دقة 95.95%. يوضح الشكل 5 نتائج هذه الدراسة.



الشكل 5 نتائج البحث [18]

في [20] ، تم التحقيق في تورط المتسللين في ثلاث مستويات IDPS فيما يتعلق بالتحقق من صحة المستخدم والتحقق من صحة الحزمة والتحقق من صحة التدفق. لا يمكن أن يكون جميع مستخدمي المصادقة شرعيين، حيث تم اختراقهم، لذا فإن المساهمة الرئيسية هي تحديد جميع الأجهزة المخترقة عن طريق تحليل الركبة للحزم. الموجبات هي الأجهزة الطرفية المستخدمة في المستوى الأول والمسؤولة عن التحقق من صحة مستخدم إنترنت الأشياء باستخدام علامة RFID والتوقيع المشفر. ثم يتم إرسال حزم المستخدم المصادق عليه إلى المستوى الثاني مع مفاتيح التبديل التي تتحقق من صحة الحزم باستخدام تصفية ضبابية من النوع الثاني. ثم يتم استخراج الميزات الرئيسية من الحزم وتصنيفها إلى عادية ومشبوهة وخبيثة. يتم تحليل الحزم غير المتطابقة في وحدات التحكم التي تحتفظ بقائمتين من قوائم الانتظار على أنها مرية وطبيعية. ثم يتم تصنيف حزم الطابور المشبوهة والتنبؤ بها باستخدام طريقة التعلم

العميق. تم اختبار العمل المقترح في بيئة OMNeT ++ وتقييم الأداء من حيث معدل اكتشاف الدخيل intruder Detection Rate ومعدل الفشل والتأخير والإنتاجية وحمل المرور.

يوضح الشكل 6 نتائج البحث [20].

Mbps	SVM (%)	SOM (%)	SAE (%)	ANN (%)	Three-Tier IDPS (%)	
					Type-2 Fuzzy	Deep Learning
100	94.56	96.85	97.98	98.30	98.50	99
200	94.23	96.67	97.67	98.12	98	99.20
300	94.12	96.78	96.90	97.85	99	99

الشكل 6 نتائج البحث [20]

في الدراسة [26]، تم تحليل أنظمة الكشف القائمة على SDN المطورة لهجمات DDoS باستخدام أنظمة التعلم الآلي. في النهج الأول المقترح، من خلال تحليل بيانات التدفق، تضمن الخوارزميات بدقة 98.3% اكتشاف الهجمات دون تمييز نوع حركة المرور. من بين الأنظمة المقترحة، يستمر النهج الثاني عن طريق تصنيف هجمات DDoS على أنها حركة مرور عادية وحركة هجوم. مع حساسية 97.7%، يمكن لخوارزميات KNN إجراء هذا التحكم عن طريق تخفيف عبء وحدة التحكم.

باستخدام طرق اختيار الميزات المستخدمة في الدراسة، تم تحديد 12 ميزة مبدئياً وتم تدريب المجموعة الفرعية المحددة من الميزات باستخدام المصنفات. تم تحديد عدد الميزات المحددة إما عن طريق الخوارزمية نفسها أو من خلال قيمة العتبة المعطاة

للخوارزمية. من خلال تغيير قيمة العتبة هذه، يمكن تحديد أعداد مختلفة من الميزات وتدريبها بواسطة المصنف. يمكن لعدد مختلف من الميزات تغيير الدقة. بشكل عام، تم ملاحظة أن معدل أداء جميع النماذج أعلى من 80% وأن الخوارزميات المستخدمة لمجموعة البيانات هذه ناجحة. في الوقت نفسه، يمكن اكتشاف تصفح الشبكة والهجمات بين الطبقات والبرامج الضارة على SDN باستخدام هذا النهج. لحماية وتحسين هيكل SDN، يمكن استخدام النهج الثاني.

يقدم البحث [29] اكتشاف وتخفيف رفض الخدمة الموزعة (DDoS) في الشبكات المعرفة بالبرمجيات (SDN). تتكون الطريقة المقترحة من ثلاث وحدات: وحدة المصنف، وحدة التخفيف، والوحدة التعاونية. يمكن لمصنف مجموعة يسمى V-NKDE اكتشاف هجمات DDoS بدقة. تحظر وحدة التخفيف عمليات الاتجار الضارة وتزيل إداخلات حركة المرور الضارة من جدول تدفق التبديل. تشارك الوحدة التعاونية قواعد اكتشاف DDoS والتخفيف من حدتها بين وحدات تحكم SDN متعددة باستخدام آلية Redis Simple Message Queue. التحقق من صحة أداء المصنف المقترح على مجموعات البيانات InSDN2020 و CICIDS2017 و NSL-KDD و UNSW-15. علاوة على ذلك، تم تقييم المصنف المقترح في حركة المرور الحقيقية على محاكاة SDN التي تم اختبارها. أظهرت النتائج أن الطريقة المقترحة يمكنها اكتشاف هجمات DDoS بدقة عالية باستخدام مصنف المجموعات، والذي يؤدي بشكل أفضل من المصنفات الفردية. والأهم من ذلك، أن المعدل الإيجابي الخاطئ قد انخفض بشكل كبير، مما يُظهر الكشف عن هجمات DDoS والتخفيف من حدتها عبر نطاقات تحكم متعددة مع ضغط منخفض للتحكم.

#### 4- الخوارزميات المستخدمة

##### 4-1 خوارزميات التعلم الآلي

فيما يلي خوارزميات التعلم الآلي التي تم استخدامها.

##### 4-1-1 شجرة القرار

شجرة القرار عبارة عن رسم بياني يمثل الخيارات ونتائجها في شكل شجرة. تمثل العقد في الرسم البياني حدثاً أو اختياراً وتمثل حواف الرسم البياني قواعد أو شروط القرار. تتكون كل شجرة من عقد وفروع. تمثل كل عقدة سمات في مجموعة سيتم تصنيفها ويمثل كل فرع قيمة يمكن أن تأخذها العقدة.

##### 4-1-2 الغابة العشوائية random forest

Random Forest هي خوارزمية تعلم آلي شائعة تنتمي إلى تقنية التعلم الخاضع للإشراف. يمكن استخدامه لكل من مشاكل التصنيف والانحدار في ML. يعتمد على مفهوم التعلم الجماعي ، وهو عملية الجمع بين عدة مصنفات لحل مشكلة معقدة وتحسين أداء النموذج.

كما يوحي الاسم ، Random Forest هو مصنف يحتوي على عدد من أشجار القرار على مجموعات فرعية مختلفة من مجموعة البيانات المحددة ويأخذ المتوسط لتحسين الدقة التنبؤية لمجموعة البيانات هذه. بدلاً من الاعتماد على شجرة قرار واحدة ، تأخذ الغابة العشوائية التنبؤ من كل شجرة وتعتمد على أغلبية أصوات التنبؤات ، وتتوقع الناتج النهائي. يؤدي العدد الأكبر من الأشجار في الغابة إلى دقة أعلى ويمنع مشكلة التجهيز الزائد.

##### 4-1-3 خوارزمية أقرب جار

هي خوارزمية بسيطة للتعلم الآلي (ML) خاضعة للإشراف يمكن استخدامها لمهام التصنيف أو الانحدار - كما أنها تستخدم بشكل متكرر لحساب القيمة المفقودة. يعتمد على فكرة أن الملاحظات الأقرب إلى نقطة بيانات معينة هي أكثر الملاحظات

تشابهاً في مجموعة البيانات ، وبالتالي يمكن تصنيف النقاط غير المتوقعة بناءً على قيم أقرب النقاط الموجودة.

K هو عدد أقرب الجيران لاستخدامه. بالنسبة للتصنيف ، يتم استخدام تصويت الأغلبية لتحديد الفئة التي يجب أن تندرج فيها الملاحظة الجديدة. غالباً ما تكون القيم الأكبر لـ K أكثر قوة بالنسبة للقيم المتطرفة وتنتج حدود قرار أكثر استقراراً من القيم الصغيرة جداً ( K ) 3 = ستكون أفضل من  $K = 1$  ، مما قد يؤدي إلى نتائج غير مرغوب فيها.

#### 4-1-4 الشبكة العصبية المتكررة RNN

الشبكة العصبية المتكررة هي نوع من الشبكات العصبية الاصطناعية الأكثر ملاءمة للتعرف على الأنماط في تسلسل البيانات ، مثل النص والفيديو والكلام واللغة والجنوم وبيانات السلاسل الزمنية. RNN هي خوارزمية قوية للغاية يمكنها تصنيف البيانات وتجميعها وعمل تنبؤات حولها ، لا سيما السلاسل الزمنية والنص [7].

الشبكة العصبية المتكررة هي نوع من الخوارزمية الموجهة نحو التعلم العميق ، والتي تتبع نهجاً تسلسلياً. في الشبكات العصبية ، نفترض دائماً أن كل مدخلات ومخرجات تعتمد على جميع الطبقات الأخرى. تسمى هذه الأنواع من الشبكات العصبية المتكررة لأنها تؤدي عمليات حسابية رياضية بشكل متسلسل.

#### 4-2 خوارزميات اختيار الميزات

فيما يلي شرح لخوارزميات اختيار الميزات التي تم استخدامها.

#### 4-2-1 نهج قائم على الارتباط Correlation based feature selection:

الفرضية المركزية هي أن مجموعات الميزات الجيدة تحتوي على ميزات ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالفئة ، ولكنها غير مرتبطة ببعضها البعض. توفر صيغة تقييم الميزات ، بناءً على أفكار من نظرية الاختبار ، تعريفاً تشغيلياً لهذه الفرضية. CFS (اختيار الميزات المستند إلى الارتباط) عبارة عن خوارزمية تجمع بين صيغة التقييم هذه مع مقياس ارتباط مناسب واستراتيجية بحث إرشادية [9].

"الميزات ذات صلة إذا كانت قيمها تختلف بشكل منهجي مع عضوية الفئة."

بمعنى آخر ، تكون الميزة مفيدة إذا كانت مرتبطة أو تنبؤية إذا كان الارتباط بين كل مكون من المكونات في الاختبار والمتغير الخارجي معروفاً ، وتم إعطاء الارتباط المتبادل بين كل زوج من المكونات ، فيمكن عندئذٍ التنبؤ بالعلاقة بين الاختبار المركب المكون من المكونات المجمعة والمتغير الخارجي ، توضح المعادلة 2 الارتباط.

$$r_{zc} = \frac{k\bar{r}_{zi}}{\sqrt{k + k(k - 1)\bar{r}_{ii}}}, \quad \dots(2)$$

حيث  $r_{zc}$  هو الارتباط بين المكونات المجمعة والمتغير الخارجي ،  $k$  هو عدد المكونات ،  $r_{zi}$  هو متوسط الارتباطات بين المكونات والمتغير الخارجي ، و  $r_{ii}$  هو متوسط الترابط بين المكونات.

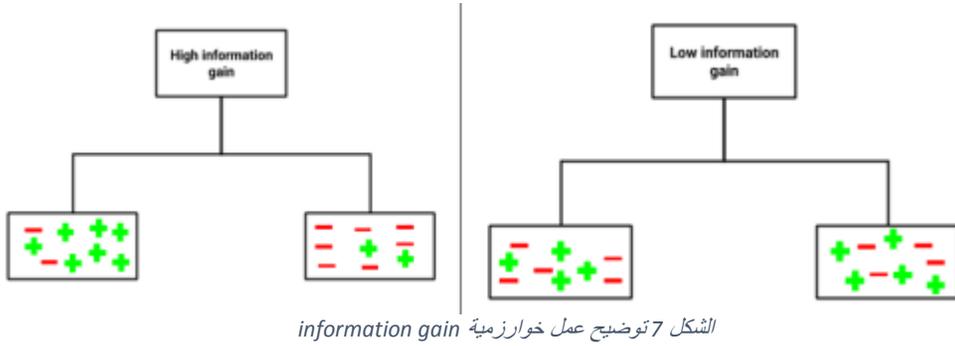
• كلما زادت الارتباطات بين المكونات والمتغير الخارجي composite ، زاد الارتباط بين المتغير المركب والمتغير الخارجي.

• كلما انخفض الارتباط المتبادل بين المكونات ، زاد الارتباط بين المتغير المركب والمتغير الخارجي.

• مع زيادة عدد المكونات في المركب (بافتراض أن المكونات الإضافية هي نفس المكونات الأصلية من حيث متوسط ارتباطها مع المكونات الأخرى والمتغير الخارجي) ، يزداد الارتباط بين المتغير المركب والمتغير الخارجي.

## 4-2-2 كسب المعلومات (Information Gain)

كسب المعلومات (Information gain) هي خاصية إحصائية تقوم بقياس مدى قوة سمة (attribute) معينة في فصل أمثلة التدريب الى صنف معين. كلما كان مقدار كسب المعلومات اقل كانت إمكانية التصنيف للبيانات اقل والعكس صحيح كما يوضح الشكل 7

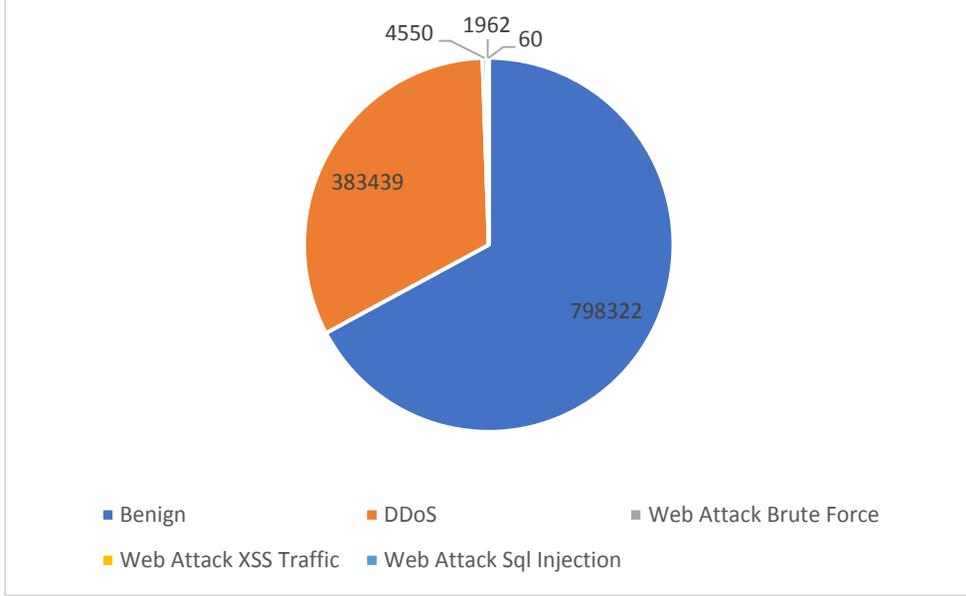


## 5- النتائج ومناقشتها

## 5-1 توصيف مجموعة البيانات المستخدمة

تم في هذا البحث استخدام مجموعة البيانات المعيارية في مجال الشبكات المعرفة برمجياً المأخوذة من موقع Kaggle [33] التي تتضمن أكثر من مليون سجل من البيانات تم التقاطها بشكل يومي بهدف تحليلها وكشف الهجمات في الشبكات المعرفة برمجياً. يتكون كل سجل اتصال من 79 ميزة مع عنوان يوضح هل هذا الاتصال هو اتصال اعتيادي أو نوع من أنواع الهجمات.

تم جمع البيانات على عدة مراحل، واختيار بيانات محددة تحتوي على سجلات طبيعية وهجمات (DDoS, Brute Force, XSS Traffic, Sql Injection)، يبين الشكل 8 توزيع البيانات الطبيعية والهجمات في مجموعة البيانات



الشكل 8 توزيع البيانات الطبيعية والهجمات في مجموعة البيانات

## 2-5 مقاييس الأداء

### 1-2-5 دقة التصنيف accuracy

دقة التصنيف هي ما نعنيه عادةً عندما نستخدم مصطلح الدقة. إنها نسبة عدد التنبؤات الصحيحة إلى العدد الإجمالي لعينات الإدخال.

إنه يعمل بشكل جيد فقط إذا كان هناك عدد متساوٍ من العينات التي تنتمي إلى كل فئة. على سبيل المثال، لنضع في الاعتبار أن هناك 98% عينات من الفئة "أ" و 2% عينات من الفئة "ب" في مجموعة التدريب الخاصة بنا. بعد ذلك، يمكن أن يحصل نموذجنا بسهولة على 98% من دقة التدريب عن طريق التنبؤ بكل عينة تدريب تنتمي إلى الفئة أ. عندما يتم اختبار نفس النموذج على مجموعة اختبار مع 60% عينات من الفئة أ و

40% عينات من الفئة ب، فإن دقة الاختبار تتخفف إلى 60%. دقة التصنيف رائعة، لكنها تعطي إحساساً زائفاً بتحقيق الدقة العالية. تبرز المشكلة الحقيقية، عندما تكون تكلفة التصنيف الخاطئ لعينات الصنف الثانوي عالية جداً. إذا تعاملنا مع مرض نادر ولكنه قاتل، فإن تكلفة الفشل في تشخيص مرض شخص مريض أعلى بكثير من تكلفة إرسال شخص سليم لمزيد من الفحوصات.

وتعطي الدقة بالمعادلة 3:

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{number of correct predictions}}{\text{total number of predictions}} \dots (3)$$

### Confusion Matrix 2-2-5

مصفوفة الارتباك كما يوحي الاسم تعطي مصفوفة كإخراج وتصنف الأداء الكامل للنموذج.

لنفترض أن لدينا مشكلة تصنيف ثنائي. لدينا بعض العينات التي تنتمي إلى فئتين: نعم أو لا. أيضاً، لدينا المصنف الخاص بنا والذي يتوقع فئة لعينة إدخال معينة يوضح الشكل 9 مصفوفة الارتباك:

		Predicted	
		Negative	Positive
Actual	Negative	True Negative	False Positive
	Positive	False Negative	True Positive

الشكل 9 مصفوفة الارتباك

المصدر [66]

هناك 4 مصطلحات مهمة وهي:

- الإيجابيات الحقيقية TP: الحالات التي توقعنا فيها نعم وكان الناتج الفعلي نعم أيضاً.
- سلبيات حقيقية TN: الحالات التي توقعنا فيها لا وكان الناتج الفعلي لا.

- الإيجابيات الكاذبة FP: الحالات التي توقعنا فيها نعم وكان الناتج الفعلي لا.
- السلبيات الكاذبة FN : الحالات التي توقعنا فيها لا والفعلي كان الإخراج نعم.

يمكن حساب دقة المصفوفة بأخذ متوسط القيم الموجودة عبر "القطر الرئيسي" كما هو موضح بالمعادلة 4:

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{TruePositive} + \text{TrueNegative}}{\text{TotalSample}} \dots(4)$$

### 3-2-5 Precision الدقة

هي عدد النتائج الإيجابية الصحيحة مقسوماً على عدد النتائج الإيجابية التي تتبأ بها المصنف كما هو موضح في المعادلة 5:

$$\text{Precision} = \frac{\text{TruePositive}}{\text{TotalPredicted Positive}} \dots(5)$$

بعبارة أبسط، الدقة هي النسبة بين الإيجابيات الحقيقية وجميع الإيجابيات.

### 4-2-5 Recall الاسترجاع

هو عدد النتائج الإيجابية الصحيحة مقسوماً على عدد جميع العينات ذات الصلة (جميع العينات التي كان ينبغي تحديدها على أنها إيجابية).

الاسترجاع هو مقياس النموذج الذي يحدد الإيجابيات الحقيقية بشكل صحيح. رياضياً موضح بالمعادلة 6:

$$\text{Recall} = \frac{\text{TruePositive}}{\text{TruePositive} + \text{FalseNegative}} \dots(6)$$

**F1 Score 5-2-5**

F1 Score هو المتوسط التوافقي بين الدقة والاسترجاع. نطاق نقاط F1 هو [0, 1]. يخبر بمدى دقة المصنف (عدد الحالات التي يصنفها بشكل صحيح)، بالإضافة إلى مدى قوته.

يمنح الدقة العالية ولكن الاسترجاع الأقل دقة بالغة، ولكنها تقوت بعد ذلك عدداً كبيراً من الحالات التي يصعب تصنيفها. كلما زادت درجة F1، كان أداء النموذج أفضل. تحاول F1 Score إيجاد التوازن بين الدقة والاستدعاء، رياضياً موضح بالمعادلة 7.

$$F1\ score = \frac{2 * Precision * Recall}{Precision + Recall} \dots (7)$$

**3-5 التجارب**

سيتم تطبيق خوارزمتي اختيار ميزات كل واحدة على حدى بالإضافة إلى دمج ميزات Correlation مع Information gain ثم سيتم استخدام هذه الميزات لبناء أربعة نماذج التعلم الآلي كل واحدة على حدى وهي KNN, RNN, DT, RF بحيث يتم تطبيق هذه التجارب على مجموعة البيانات التي تم ذكرها سابقا. من أجل ذلك سيتم تقسيم مجموعة البيانات إلى 80% للتدريب وماتبقى لاختبار نماذج التعلم الآلي على بيانات لم يتم رؤيتها والتدريب عليها ولمنع عملية الملاءمة الزائدة overfitting.

• تحليل البيانات الاستكشافية exploratory data analysis على مجموعة البيانات

يوضح الشكل 10 وصف لمجموعة البيانات الأولى.

```
data.describe()
```

	Unnamed: 0	Destination Port	Flow Duration	Total Fwd Packets	Total Backward Packets	Total Length of Fwd Packets	Total Length of Bwd Packets	Fwd Packet Length Max	Fwd Packet Length Min	Fwd Packet Length Mean	...	act_
count	1.188333e+06	1.188333e+06	1.188333e+06	1.188333e+06	1.188333e+06	1.188333e+06	1.188333e+06	1.188333e+06	1.188333e+06	1.188333e+06	...	
mean	5.941680e+05	4.840243e+03	1.482180e+07	9.598210e+00	1.078102e+01	7.843011e+02	1.796263e+04	3.814859e+02	2.582180e+01	1.154389e+02	...	
std	3.430423e+05	1.915082e+04	3.176010e+07	7.448225e+02	9.898083e+02	5.758152e+03	2.292589e+06	1.456863e+03	1.267389e+02	3.919215e+02	...	
min	0.000000e+00	0.000000e+00	-1.000000e+00	1.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	...	
25%	2.970830e+05	5.300000e+01	1.879800e+04	2.000000e+00	1.000000e+00	2.600000e+01	6.000000e+00	6.000000e+00	0.000000e+00	6.000000e+00	...	
50%	5.941680e+05	8.000000e+01	2.791840e+05	3.000000e+00	2.000000e+00	4.800000e+01	1.410000e+02	2.000000e+01	6.000000e+00	8.800000e+00	...	
75%	8.912490e+05	4.430000e+02	6.103837e+06	5.000000e+00	5.000000e+00	9.000000e+01	5.522000e+03	4.800000e+01	3.200000e+01	4.500000e+01	...	
max	1.188332e+06	6.553200e+04	1.200000e+08	2.007550e+05	2.706880e+05	1.197199e+06	6.270000e+08	2.336000e+04	1.729000e+03	4.183057e+03	...	

8 rows x 79 columns

الشكل 10 وصف مجموعة البيانات الأولى

تطبيع (تقييس) البيانات باستخدام minmax

يوضح الشكل 11 وصف لمجموعة البيانات بعد عملية التقييس.

	Unnamed: 0	Destination Port	Flow Duration	Total Fwd Packets	Total Backward Packets	Total Length of Fwd Packets	Total Length of Bwd Packets	Fwd Packet Length Max	Fwd Packet Length Min	Fwd Packet Length Mean	...	act_data_pkt_fwd	min_seg_size
0	0.000000e+00	0.001221	8.221603e-02	0.000020	0.000000	0.000025	0.000000e+00	0.000257	0.003470	0.001434	...	0.000021	
1	8.415157e-07	0.006780	1.320200e-03	0.000115	0.000081	0.000587	3.917703e-05	0.019392	0.000000	0.007002	...	0.000026	
2	1.883031e-06	0.006780	5.098992e-01	0.000086	0.000044	0.000829	5.494418e-06	0.028541	0.000000	0.018956	...	0.000068	
3	2.524547e-06	0.006780	9.212004e-01	0.000085	0.000086	0.001013	6.724083e-06	0.034760	0.000000	0.016110	...	0.000083	
4	3.368083e-06	0.000809	1.550000e-06	0.000005	0.000007	0.000087	2.169059e-07	0.002226	0.030075	0.012431	...	0.000005	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1187777	9.999966e-01	0.002106	2.000000e-07	0.000080	0.000000	0.002530	0.000000e+00	0.009974	0.134760	0.055701	...	0.000062	
1187778	9.999975e-01	0.776889	5.990749e-02	0.000000	0.000018	0.000005	4.784689e-08	0.000257	0.003470	0.001434	...	0.000000	
1187779	9.999983e-01	0.000809	1.283333e-06	0.000005	0.000007	0.000038	7.338523e-08	0.000985	0.013302	0.005498	...	0.000005	
1187780	9.999992e-01	0.001221	1.557463e-02	0.000025	0.000000	0.000030	0.000000e+00	0.000257	0.003470	0.001434	...	0.000026	
1187781	1.000000e+00	0.001221	9.145803e-01	0.000020	0.000011	0.000127	2.580542e-06	0.005736	0.000000	0.007287	...	0.000021	

1187782 rows x 79 columns

الشكل 15 مجموعة البيانات بعد عملية التقييس

### 5-3-1 التجارب على مجموعة البيانات

#### ✚ التجربة الأولى باستخدام خوارزمية correlation based feature selection

سيتم استخدام خوارزمية الارتباط correlation لاختيار الميزات ثم بناء أربع نماذج للتعلم الآلي كما هو موضح بالشكل 20 حيث أعطت الخوارزمية الميزات التالية:

' Destination Port',' Bwd Packet Length Min',' Min Packet Length',  
min\_seg\_size\_forward',' Packet Length Variance',' Max Packet  
Length' , ' Average Packet Size',' Packet Length Mean',' Packet  
Length Std','Bwd Packet Length Max',' Bwd Packet Length Std','  
Avg Bwd Segment Size',' Bwd Packet Length Mean'

#### • تطبيق DT مع correlation:

تم تطبيق شجرة القرار وفق البارامترات الموضحة بالجدول 1.

جدول 1 بارامترات شجرة القرار

parameter	value
max_depth	5
random_state	10
criterion	'gini'
min_samples_leaf	30

• تطبيق KNN مع correlation

تم تطبيق خوارزمية أقرب جار وفق البارامترات الموضحة بالجدول 2.

جدول 2 بارامترات خوارزمية أقرب جار

parameter	value
n_neighbo	3
metric	minkowski
P	2

• تطبيق RF مع correlation

تم تطبيق الغابة العشوائية وفق البارامترات الموضحة بالجدول 3.

جدول 3 بارامترات الغابة العشوائية

parameter	value
n_estimators	100
random_state	0
min_samples_spli	20

• تطبيق RNN مع correlation

تم تطبيق RNN وفق البارامترات الموضحة بالجدول 4.

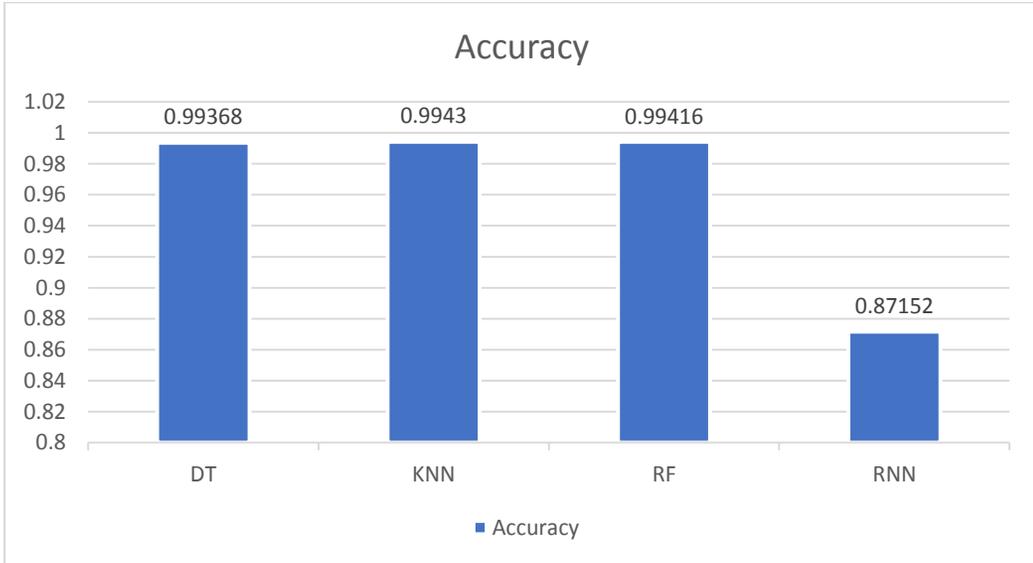
جدول 4 بارامترات RNN

parameter	value
Layers	4
epochs	50
batch_si	512

يتم تقييم مجموعة التجارب والخوارزميات وفق بارامترات تقييم الأداء التي تم ذكرها في بداية الفصل.

## 1. معيار الدقة

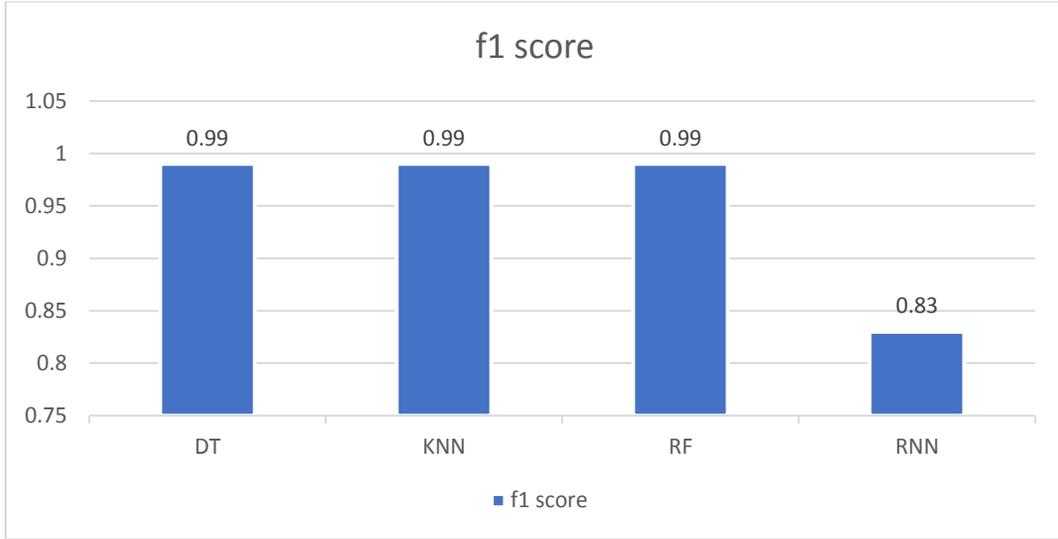
يوضح الشكل 12 معيار الدقة لمجموعة البيانات الأولى عند استخدام ميزات *correlation*. أعطت خوارزمية RNN أقل دقة في حين كانت أفضل أداء ل خوارزمية أقرب جار.



الشكل 12 معيار الدقة لمجموعة البيانات الأولى عند استخدام ميزات *correlation*

## 2. معيار f1 score

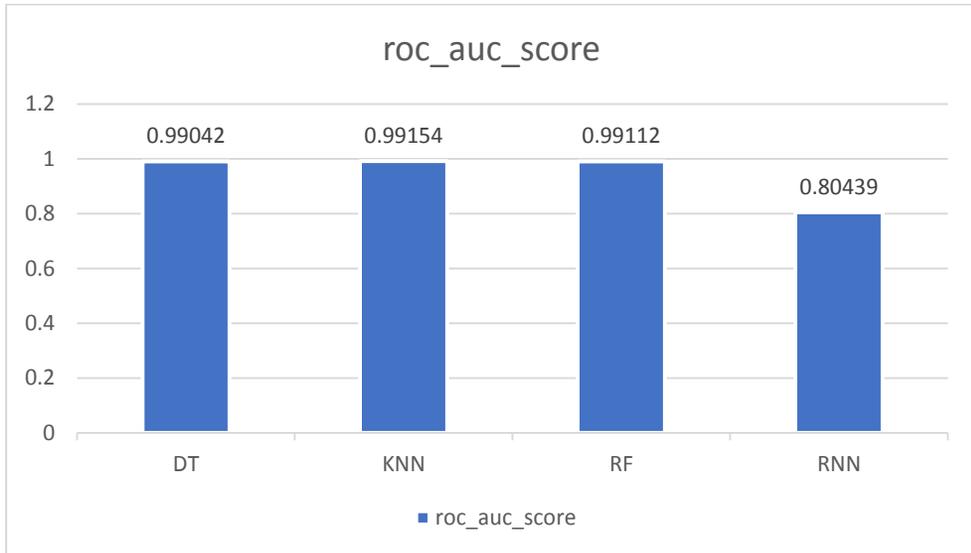
يوضح الشكل 13 معيار *f1score* لمجموعة البيانات الأولى عند استخدام ميزات *correlation*. أعطت خوارزمية RNN أقل نتيجة في حين كانت النتائج متساوية لبقية الخوارزميات.



الشكل 13 معيار  $f1score$  لمجموعة البيانات الأولى عند استخدام ميزات  $correlation$

### 3. معيار $roc\_auc\_score$

يوضح الشكل 14 معيار  $roc\_auc$  لمجموعة البيانات الأولى عند استخدام ميزات  $correlation$ . أعطت خوارزمية RNN أقل نتيجة في حين كانت النتائج متقاربة لبقية الخوارزميات.



الشكل 14 معيار  $roc\_auc$  لمجموعة البيانات الأولى عند استخدام ميزات  $correlation$

بعد تحليل النتائج من الواضح ان استخدام RNN غير مناسب عند استخدام ميزات correlation أما بالنسبة لباقي الخوارزميات قد أعطت نتائج جيدة ومقاربة مع تفوق بسيط لخوارزمية أقرب جار .

### ✚ التجربة الثانية باستخدام information gain

سيتم اسخدام خوارزمية information gain لاختيار الميزات ثم بناء أربع نماذج للتعلم الآلي كما هو موضح بالشكل 20 حيث أعطت الخوارزمية الميزات التالية

'Total Length of Fwd Packets',' Average Packet Size',' Fwd IAT Mean',' Flow Duration','Fwd IAT Total', ' Fwd IAT Max', ' Fwd IAT Std'

### • تطبيق DT مع information gain:

تم تطبيق شجرة القرار وفق البارامترات الموضحة بالجدول 5.

جدول 5 بارامترات شجرة القرار

parameter	value
max_depth	5
random_state	10
criterion	'gini'
min_samples_leaf	30

• تطبيق KNN مع information gain

تم تطبيق خوارزمية أقرب جار وفق البارامترات الموضحة بالجدول 6.

جدول 6 بارامترات خوارزمية أقرب جار

parameter	value
n_neighbo	3
metric	minkowski
P	2

• تطبيق RF مع information gain

تم تطبيق الغابة العشوائية وفق البارامترات الموضحة بالجدول 7.

جدول 7 بارامترات الغابة العشوائية

parameter	value
n_estimators	100
random_state	0
min_samples_spli	20

• تطبيق RNN مع information gain

تم تطبيق RNN وفق البارامترات الموضحة بالجدول 8.

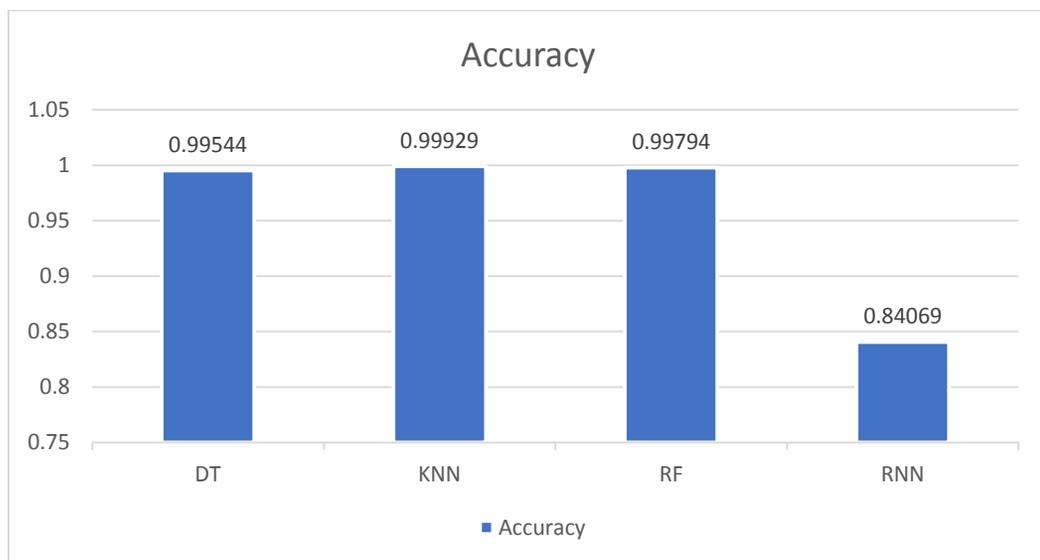
جدول 81 بارامترات RNN

parameter	value
Layers	4
epochs	50
batch_si	512

يتم تقييم مجموعة التجارب والخوارزميات وفق بارامترات تقييم الأداء التي تم ذكرها في بداية الفصل.

## 1. معيار الدقة

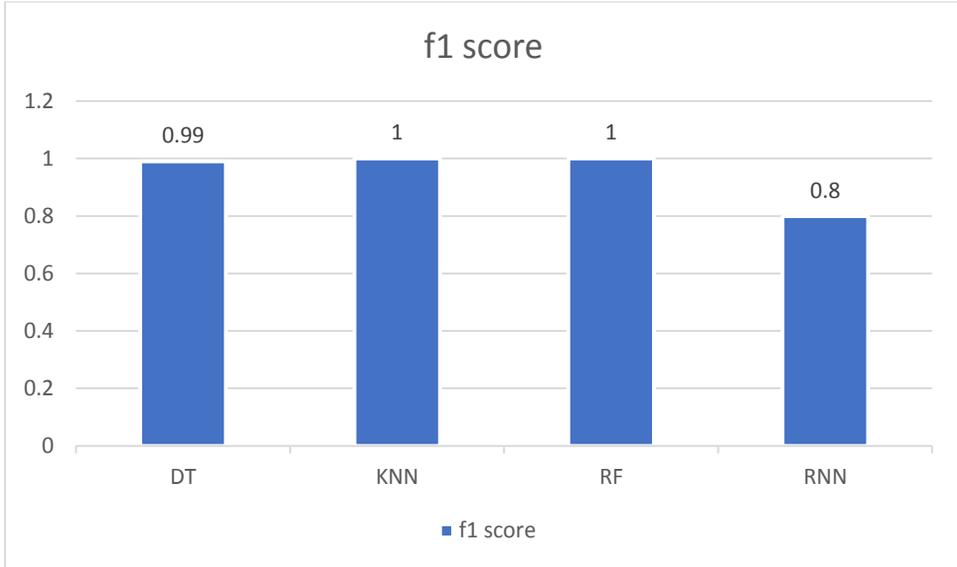
يوضح الشكل 15 معيار الدقة لمجموعة البيانات الأولى عند استخدام ميزات information gain. أعطت خوارزمية أقرب جار أفضل أداء في حين أعطت خوارزمية خوارزمية RNN أقل أداء.



الشكل 15 معيار الدقة لمجموعة البيانات الثانية عند استخدام ميزات information gain

## 2. معيار f1 score

يوضح الشكل 16 معيار f1score لمجموعة البيانات الأولى عند استخدام ميزات information gain. أعطت خوارزمية RNN أقل نتيجة في حين كانت النتائج متساوية لبقية الخوارزميات.

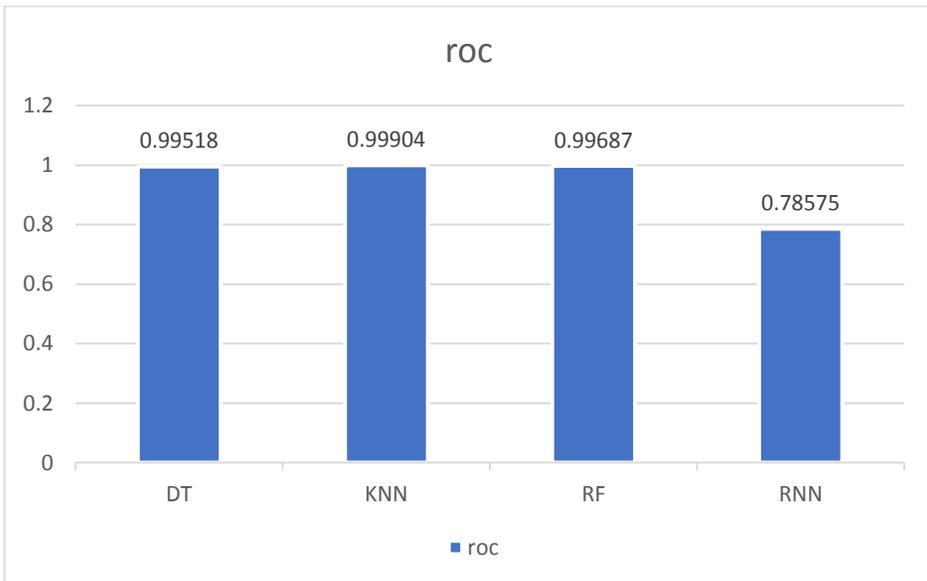


الشكل 16 معيار f1score لمجموعة البيانات الثانية عند استخدام ميزات information gain

### 3. معيار roc\_auc\_score

يوضح الشكل 17 معيار الدقة لمجموعة البيانات الأولى عند استخدام ميزات information gain.

أعطت خوارزمية أقرب جار أفضل أداء في حين كان أداء خوارزمية RNN منخفض



الشكل 17 معيار roc\_auc لمجموعة البيانات الأولى عند استخدام ميزات information gain

نلاحظ من النتائج التي تم الحصول عليها أن استخدام RNN غير مناسب عند استخدام ميزات information gain.

### ✚ التجربة الثالثة باستخدام correlation و information gain

سيتم استخدام خوارزمتي information gain و correlation لاختيار الميزات ثم بناء أربع نماذج للتعلم الآلي كما هو موضح بالشكل 20 حيث أعطت الخوارزميات الميزات التالية

' Destination Port',' Bwd Packet Length Min',' Min Packet Length',' min\_seg\_size\_forward',' Packet Length Variance',' Max Packet Length',' Average Packet Size',' Packet Length Mean',' Packet Length Std','Bwd Packet Length Max',' Bwd Packet Length Std',' Avg Bwd Segment Size',' Bwd Packet Length Mean', 'Total Length of Fwd Packets',' Fwd IAT Mean',' Flow Duration','Fwd IAT Total', ' Fwd IAT Max', ' Fwd IAT Std'

### • تطبيق DT مع correlation و information gain

تم تطبيق شجرة القرار وفق البارامترات الموضحة بالجدول 9.

جدول 9 بارامترات شجرة القرار

parameter	value
max_depth	5
random_state	10
criterion	'gini'
min_samples_leaf	30

• تطبيق KNN مع **information gain** و **correlation**

تم تطبيق خوارزمية أقرب جار وفق البارامترات الموضحة بالجدول 10.

جدول 10 بارامترات خوارزمية أقرب جار

parameter	value
n_neighbo	3
metric	minkowski
P	2

• تطبيق RF مع **information gain** و **correlation**

تم تطبيق الغابة العشوائية وفق البارامترات الموضحة بالجدول 11.

جدول 2 بارامترات الغابة العشوائية

parameter	value
n_estimators	100
random_state	0
min_samples_spli	20

• تطبيق RNN مع **information gain** و **correlation**

تم تطبيق RNN وفق البارامترات الموضحة بالجدول 12.

جدول 12 بارامترات RNN

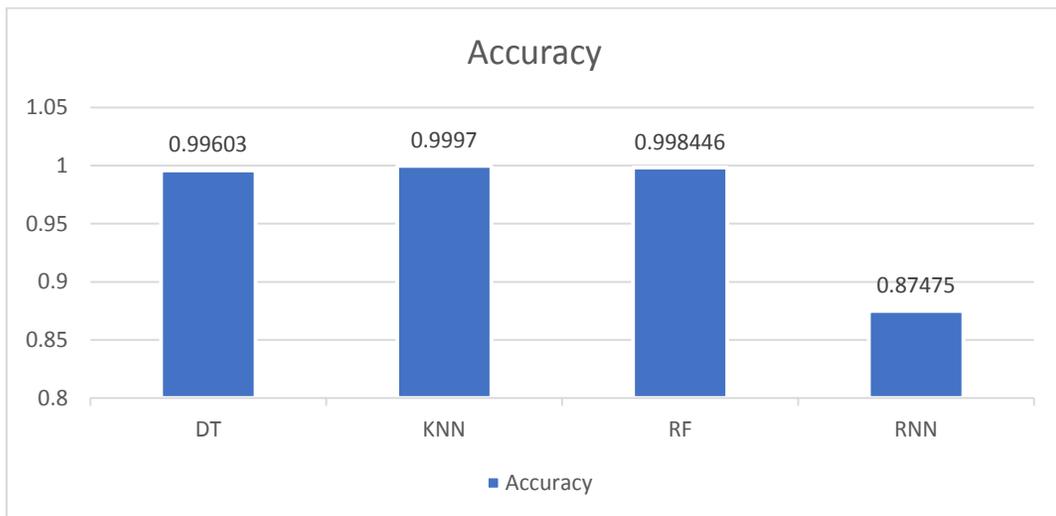
parameter	value
Layers	4
epochs	50
batch_si	512

يتم تقييم مجموعة التجارب والخوارزميات وفق بارامترات تقييم الأداء التي تم ذكرها في بداية الفصل.

### 1. معيار الدقة

يوضح الشكل 18 معيار الدقة لمجموعة البيانات الأولى عند استخدام ميزات و information gain

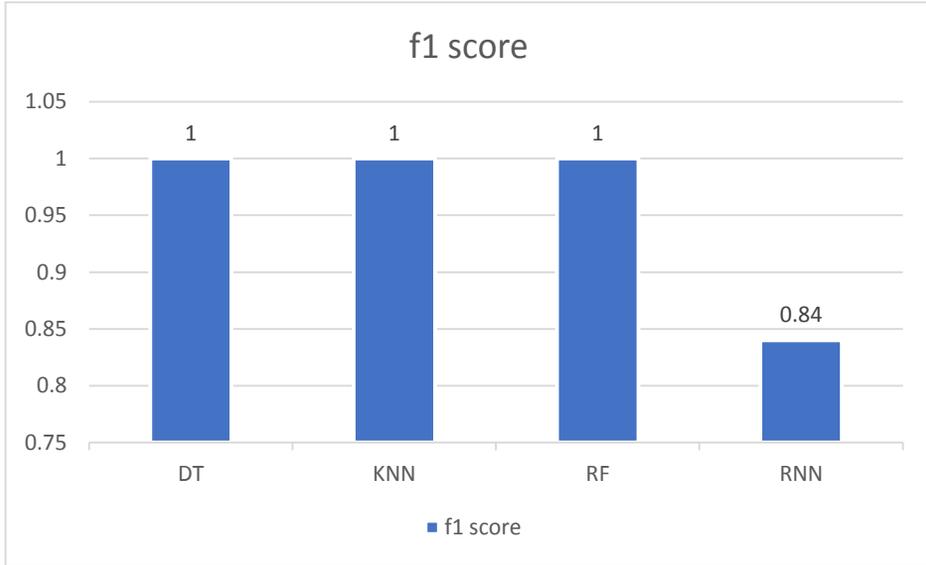
correlation. أعطت خوارزمية أقرب جار أفضل أداء في حين أعطت خوارزمية RNN أقل أداء.



الشكل 18 معيار الدقة لمجموعة البيانات الأولى عند استخدام ميزات correlation و information gain

## 2. معيار f1 score

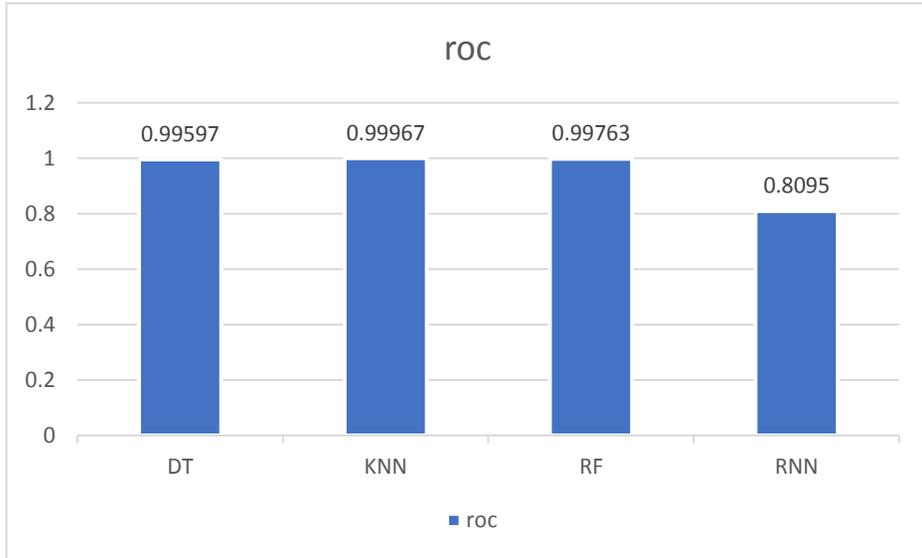
يوضح الشكل 19 معيار f1score لمجموعة البيانات الأولى عند استخدام ميزات information gain و correlation. أعطت خوارزمية RNN أقل نتيجة في حين كانت النتائج متساوية لبقية الخوارزميات.



الشكل 6 معيار f1score لمجموعة البيانات الأولى عند استخدام ميزات information gain و correlation

## 3. معيار roc\_auc\_score

يوضح الشكل 20 معيار الدقة لمجموعة البيانات الأولى عند استخدام ميزات informa tion gain و correlation. أعطت خوارزمية أقرب جار أفضل أداء في حين أعطت خوارزمية RNN أقل أداء



الشكل 20 معيار roc\_auc لمجموعة البيانات الأولى عند استخدام ميزات correlation و information gain

نلاحظ من النتائج التي تم الحصول عليها أن استخدام RNN غير مناسب عند استخدام ميزات information gain مع correlation في حين أعطت خوارزمية أقرب جار أفضل أداء.

- ملخص لجميع نتائج مجموعة البيانات الأولى.
- يوضح الجدول 13 الدقة لجميع نتائج مجموعة البيانات الأولى  
جدول 13 ملخص الدقة لجميع نتائج مجموعة البيانات

Info-gain_Corr	Info-gain	Correlation	
0.99603	0.99544	0.99368	DT
0.9997	0.99929	0.9943	KNN
0.998446	0.99794	0.99416	RF
0.87475	0.84069	0.87152	RNN

- يوضح الجدول 14 f1score لجميع نتائج مجموعة البيانات الأولى  
جدول f1score14 لجميع نتائج مجموعة البيانات

Info-gain_Corr	Info-gain	Correlation	
1	0.99	0.99	DT
1	1	0.99	KNN
1	1	0.99	RF
0.84	0.8	0.83	RNN

- يوضح الجدول 15 roc لجميع نتائج مجموعة البيانات الأولى.  
جدول roc15 لجميع نتائج مجموعة البيانات

Info-gain_Corr	Info-gain	Correlation	
0.99597	0.99518	0.99042	DT
0.99967	0.99904	0.99154	KNN
0.99763	0.99687	0.99112	RF
0.8095	0.78575	0.80439	RNN

## 6- الاستنتاجات والتوصيات

تم في هذا البحث دراسة الشبكات المعرفة برمجياً والفوائد التي قدمتها هذه النقلة النوعية في عالم الشبكات وكما تم المرور على الأخطار التي يمكن أن تتعرض لها الشبكات المعرفة برمجياً ومنها برزت أهمية أنظمة كشف التسلل لاكتشاف الخطر والتهديدات والهجمات على هذه الشبكات وكيفية تطور هذه الأنظمة وصولاً لاستخدام تقنيات التعلم الآلي التي تفردت عن غيرها من الطرق نظراً لقدرتها على اكتشاف الأنماط والتنبؤ بالهجمات الجديدة ومن أجل ذلك تم دراسة تقنيات التعلم الآلي في مجال أنظمة كشف التسلل حيث تم دراسة تأثير استخدام الميزات على مصنفات التعلم الآلي من خلال استخدام خوارزميات اختيار الميزات وهي *Correlation* و *Information gain* وخوارزميات التعلم الآلي وهي شجرة القرار والغابة العشوائية وخوارزمية أقرب جار و خوارزمية RNN ودراسة تأثير دمج ميزات خوارزمية *Information gain* مع خوارزمية *Correlation* على خوارزميات التعلم الآلي حيث أثبتت التجارب أن خوارزمية أقرب جار باستخدام ميزات *Correlation* مع *Information gain* هي الأفضل من باقي الخوارزميات على الرغم من تقارب أداء الخوارزميات.

بالنسبة للتطلعات المستقبلية من الممكن دراسة خوارزميات تعلم آلي وعميق أخرى في مجال كشف التسلل و استخدام *tunning* لبارامترات التعلم العميق لزيادة الدقة في اكتشاف التسلل بالإضافة إلى دراسة زمن تدريب وزمن كشف التسلل لكل خوارزمية لمعرفة المتطلبات الحاسوبية الخاصة لكل مصنف في بناء نموذج لكشف التسلل.

## المراجع references

- [1] H. J. Liao, C. H. Richard Lin, Y. C. Lin, and K. Y. Tung, "Intrusion detection system: A comprehensive review," *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 36, no. 1, pp. 16–24, 2013.
- [2] "Software Defined Networking Market Size, Share and Global Market Forecast to 2025 | COVID-19 Impact Analysis," *Marketsandmarkets.com*, 2020. [Online]. Available: 14 Feb 2021.
- [3] D. Kreutz, F. M. V. Ramos, P. E. Verissimo, C. E. Rothenberg, S. Azodolmolky, and S. Uhlig, "Software-defined networking: A comprehensive survey," *Proc. IEEE*, vol. 103, no. 1, pp. 14–76, 2015.
- [4] W. Xia, Y. Wen, C. H. Foh, D. Niyato, and H. Xie, "A Survey on Software-Defined Networking," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 17, no. 1, pp. 27–51, 2015.
- [5] El Naqa, I., & Murphy, M. J. (2015). What Is Machine Learning? *Machine Learning in Radiation Oncology*, 3–11. doi:10.1007/978-3-319-18305-3\_1
- [6] Mahesh, B. (2020). Machine learning algorithms-a review. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. [Internet], 9, 381-386.
- [7] Manaswi, N. K. (2018). RNN and LSTM. *Deep Learning with Applications Using Python*, 115–126. doi:10.1007/978-1-4842-3516-4\_9
- [8] Sumaiya Thaseen, I., & Aswani Kumar, C. (2017). Intrusion detection model using fusion of chi-square feature selection and multi class SVM. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 29(4), 462–472. doi:10.1016/j.jksuci.2015.12.004

- [9] Correlation-based feature selection for machine learning, Mark A., The University of Waikato, 1999
- [10] W. Xia, Y. Wen, C. H. Foh, D. Niyato and H. Xie, "A Survey on Software-Defined Networking," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 17, no. 1, pp. 27-51, Firstquarter 2015, doi: 10.1109/COMST.2014.2330903.
- [11] Kreutz, D., Ramos, F. M. V., Esteves Verissimo, P., Esteve Rothenberg, C., Azodolmolky, S., & Uhlig, S. (2015). Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey. Proceedings of the IEEE, 103(1), 14–76. doi:10.1109/jproc.2014.2371999
- [12] Khraisat, A., Gondal, I., Vamplew, P. et al. Survey of intrusion detection systems: techniques, datasets and challenges. Cybersecur 2, 20 (2019). <https://doi.org/10.1186/s42400-019-0038-7>
- [13] Latah, M., Toker, L. An efficient flow-based multi-level hybrid intrusion detection system for software-defined networks. CCF Trans. Netw. 3, 261–271 (2020). <https://doi.org/10.1007/s42045-020-00040-z>
- [14] Dey SK, Rahman MM. Effects of Machine Learning Approach in Flow-Based Anomaly Detection on Software-Defined Networking. Symmetry. 2020; 12(1):7. <https://doi.org/10.3390/sym12010007>
- [15] Jayasri, P., et al. "Intrusion detection system in software defined networks using machine learning approach." International Journal of Advanced Engineering Research and Science 8.4 (2021): 241-247.
- [16] Tang, T. A., Mhamdi, L., McLernon, D., Zaidi, S. A. R., Ghogho, M., & El Moussa, F. (2020). DeepIDS: Deep learning

approach for intrusion detection in software defined networking. *Electronics*, 9(9), 1533.

[17] Celyn Birkinshaw, Elpida Rouka, Vassilios G. Vassilakis, Implementing an intrusion detection and prevention system using software-defined networking: Defending against port-scanning and denial-of-service attacks, *Journal of Network and Computer Applications*, Volume 136, 2019,

[18] Alzahrani AO, Alenazi MJF. Designing a Network Intrusion Detection System Based on Machine Learning for Software Defined Networks. *Future Internet*. 2021; 13(5):111. <https://doi.org/10.3390/fi13050111>

[19] Abbas Yazdinejadna, Reza M. Parizi, Ali Dehghantanha, Mohammad S. Khan, A kangaroo-based intrusion detection system on software-defined networks, *Computer Networks*, Volume 184, 2021, 107688,

[20] Ali, A., & Yousaf, M. M. (2020). Novel Three-Tier Intrusion Detection and Prevention System in Software Defined Network. *IEEE Access*, 8, 109662–109676. doi:10.1109/access.2020.3002333

[21] Thomas Girdler, Vassilios G. Vassilakis, Implementing an intrusion detection and prevention system using Software-Defined Networking: Defending against ARP spoofing attacks and Blacklisted MAC Addresses, *Computers & Electrical Engineering*, Volume 90, 2021.

[22] Makuva, A., Jat, D.S. & Gamundani, A.M. Deep Neural Network (DNN) Solution for Real-time Detection of Distributed Denial of Service (DDoS) Attacks in Software Defined Networks (SDNs). *SN COMPUT. SCI.* 2, 107 (2021). <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00467-1>

- [23] Sampath, Nithya & Jerlin, Asha & Lb, Krithika & A, Anitha. (2020). Intrusion Detection in Software Defined Networking using Genetic Algorithm. 1-5. 10.1109/ic-ETITE47903.2020.464.
- [24] Sen, S., Gupta, K.D., Manjurul Ahsan, M. (2020). Leveraging Machine Learning Approach to Setup Software-Defined Network(SDN) Controller Rules During DDoS Attack. In: Uddin, M., Bansal, J. (eds) Proceedings of International Joint Conference on Computational Intelligence. Algorithms for Intelligent Systems. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-7564-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-13-7564-4_5)
- [25] Marcos V.O. Assis, Luiz F. Carvalho, Jaime Lloret, Mario L. Proença, A GRU deep learning system against attacks in software defined networks, Journal of Network and Computer Applications, Volume 177, 2021,
- [26] Polat H, Polat O, Cetin A. Detecting DDoS Attacks in Software-Defined Networks Through Feature Selection Methods and Machine Learning Models. *Sustainability*. 2020; 12(3):1035. <https://doi.org/10.3390/su12031035>
- [27] Qin, Y., Wei, J., & Yang, W. (2019). Deep Learning Based Anomaly Detection Scheme in Software-Defined Networking. 2019 20th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS). doi:10.23919/apnoms.2019.8892873
- [28] Rawat, S., Srinivasan, A., Ravi, V., & Ghosh, U. (2020). Intrusion detection systems using classical machine learning techniques vs integrated unsupervised feature learning and deep neural network. Internet Technology Letters. doi:10.1002/itl2.232
- [29] Tayfour, O.E., Marsono, M.N. Collaborative detection and mitigation of DDoS in software-defined networks. J Supercomput 77, 13166–13190 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11227-021-03782-9>

- [30] S. Dong and M. Sarem, "DDoS Attack Detection Method Based on Improved KNN With the Degree of DDoS Attack in Software-Defined Networks," in IEEE Access, vol. 8, pp. 5039-5048, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2963077.
- [31] Kamolphiwong, Sinchai, Kamolphiwong, Thossaporn, Vasupongayya, Sangsuree, Advanced Support Vector Machine-(ASVM-) Based Detection for Distributed Denial of Service (DDoS) Attack on Software Defined Networking(SDN), Journal of Computer Networks and Communications, 2019.
- [32] <https://towardsdatascience.com/accuracy-precision-recall-or-f1-331fb37c5cb9>
- [33] [https://www.kaggle.com/datasets/subhajournal/sdn-intrusion-detection?resource=download&select=SDN\\_Intrusion.csv](https://www.kaggle.com/datasets/subhajournal/sdn-intrusion-detection?resource=download&select=SDN_Intrusion.csv)