

# مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية  
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 46 . العدد 6

1445 هـ - 2024 م

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

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

مدير مكتب مجلة جامعة البعث  
د. إبراهيم عبد الرحمن

عضو هيئة التحرير	د. محمد هلال
عضو هيئة التحرير	د. فهد شريباتي
عضو هيئة التحرير	د. معن سلامة
عضو هيئة التحرير	د. جمال العلي
عضو هيئة التحرير	د. عباد كاسوحة
عضو هيئة التحرير	د. محمود عامر
عضو هيئة التحرير	د. أحمد الحسن
عضو هيئة التحرير	د. سونيا عطية
عضو هيئة التحرير	د. ريم ديب
عضو هيئة التحرير	د. حسن 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
30-11	م. احمد إبراهيم عمران د. بسيم عمران	تحسين النموذج YOLOv4 واستخدامه في التعرف على الأشخاص
62-31	م. أيهم الحسن د. أكرم مرعي	دراسة تحليلية لتقنيات تخزين البيانات ضمن الذاكرة في البيئات الموزعة
98-63	علا سعد الله جوهرة	تحليل وتقييم أداء دائرة جامع Carry Select Adder متسامح العطل لبث واحد مصنعة وفق تقنية Static CMOS وتقنية GDI.
138-99	م. عبدالقادر الابراهيم د. يوسف رزوق د. محمد دالي	دراسة وتحليل أداء محرك التيار المستمر من دون مسفرات باستخدام خوارزمية التحكم الشعاعي بالحقل المغناطيسي
160-139	د. مهيب النفري	تحليل البيانات في التعليم العالي باستخدام أدوات التنقيب في البيانات وكفاءة الأعمال - دراسة حالة الجامعة السورية الخاصة





# تحسين النموذج YOLOv4 واستخدامه في التعرف على الأشخاص

\*م. احمد إبراهيم عمران \*\*د.م. بسيم عمران

## ملخص

تستخدم تقنية الرؤية الحاسوبية للتعرف على الأشخاص وهي أحد أهم وظائف المركبات ذاتية القيادة من أجل اكتشاف حركة الأشخاص ضمن المسارات المخصصة لها، لمنع الحوادث وتجنب المركبات المتحركة والعقبات. وكذلك في المجالات الأمنية حيث من المهم التعرف على الجاني ومطاردته ضمن حشد من الناس بسرعة وكفاءة عالية مناسبة للتطبيقات المحمولة ضمن الزمن الحقيقي. تُستخدم الشبكة العصبونية التلافيفية CNN من أجل تصميم خوارزميات تؤدي هذه المهمة بدقة عالية. تُعتبر عائلة You Only Look Once (YOLO) من أهم الخوارزميات في وقتنا الحالي التي تُستخدم لمهام التعرف والتي تحقق أداء جيد من حيث الدقة، ولكن النماذج ذات الدقة العالية تملك عدد عمليات فاصلة عائمة في الثانية Floating-point Operations per Seconds FLOPS كبير وحجم كبير نسبياً لا يناسب التطبيقات المحمولة. في هذا البحث تم تعديل نموذج YOLOv4 الأساسي كونه نموذج يعمل بكفاءة عالية ولكنه يعاني من زيادة عدد عمليات الفاصلة العائمة، لمعالجة هذه المشكلة تم استخدام نموذج

\*طالب دكتوراه في قسم هندسة التحكم الآلي والحواسيب

\*\*أستاذ مساعد في قسم هندسة التحكم الآلي والحواسيب

Efficientnet-B0 لتخفيض حجم النموذج مع اجراء بعض التعديلات عليه كما تم استخدام شبكة (CSP) Cross Stage Partial بعد تعديلها من أجل زيادة الدقة. تم بناء خوارزمية CspEffYolo لتحقيق الهدف المطلوب، وتم تدريبها باستخدام قاعدة بيانات Google Images ومن ثم اختبارها والحصول على النتائج، ومقارنتها مع النتائج المماثلة لنموذج YOLOv4 الأساسي و Efficientnet-B0. حقق النموذج متوسط معدل الدقة  $mAP=90.4\%$ ، مقارنة بـ  $88\%$  و  $85.9\%$  للنموذج YOLOv4 الأساسي و Efficientnet-B0 على التوالي. بالإضافة إلى تخفيض عدد عمليات الفاصلة العائمة وكذلك حجم النموذج.

**كلمات مفتاحية:** الرؤية الحاسوبية، التطبيقات المحمولة، الشبكة العصبونية التلافيفية.

## Improved YOLOv4 model for people detection

### Abstract

Computer vision technology is used for detect people, which is one of the most important functions of self-driving vehicles, in order to detect the movement of people within their designated paths, to prevent accidents and avoid moving vehicles and obstacles. As well as in security fields, where it is important to identify the offender and chase him within a crowd of people quickly and efficiency, that suitable for mobile applications in real time. convolutional neural network (CNN) is used to perform this task with high accuracy. The You Only Look Once (YOLO) family is considered one of the most important algorithms currently used for detection tasks, which achieves good performance in terms of accuracy, but high-accuracy models have a large number of floating-point operations per second FLOPS and a relatively large size which not suitable for mobile applications.

In this research, the basic YOLOv4 model was modified as it is a model that works very efficiently, but it suffers from an increase in the number of floating point operations. To solve this problem, the Efficientnet-B0 model was used to reduce the size of the model with some modifications to it. The Cross Stage Partial (CSP) network was also used after modified in order to increase accuracy.

In this research, the CspEffYolo algorithm was built to achieve the desired goal. It was trained using the Google Images database and then tested and obtained results. These results were compared with similar results YOLOv4 Basic and Efficientnet-B0. The model achieved a mean average percision mAP=90.4%, compared with 88% and 85.9% for the standard YOLOv4 and Efficientnet-B0 models, respectively. In addition it reduces the number of floating point operations as well as the size of the model.

### Keywords:

object detection, YOLO, Efficientnet-B0, floating-point operations.

## 1- مقدمة البحث:

يتضمن التعرف على الأشياء مهمتين أساسيتين هما: الأولى هي تحديد موقع الشيء (localization) ضمن الصورة، والثانية هي تصنيفه (classification) أي تحديد الفئة التي ينتمي إليها. وهي أحد المهام الأساسية في مجال الرؤية الحاسوبية، وتستخدم على نطاق واسع في العديد من التطبيقات والمجالات العسكرية والمدنية، مثل المراقبة الذكية [1]، القيادة الذاتية للسيارات الحديثة [2] وأنظمة النقل الذكي، حيث يُعد التعرف على الأشخاص جزءاً أساسياً منها، وكلما كانت كل من دقة وسرعة النظام اعلى؛ كلما كان النظام يعمل بشكل افضل، وهي عوامل تؤثر بشكل كبير على استجابة النظام، وطريقة تعامله مع المشاة والآليات من حوله [3].

إن أنظمة التعرف على الأشخاص أو كاشفات الأشخاص لا بد أن تكون ذات كفاءة عالية من حيث الدقة والسرعة لتحقيق متطلبات الزمن الحقيقي، وان تكون قابلة للاستخدام على الأجهزة المحمولة وهذا يتطلب تخفيض حجم النموذج وعدد البارامترات لتخفيض التعقيد الحسابي والكلفة المادية.

يتكون كاشف الأشخاص عادةً من جزأين، **العمود الفقري** الذي يستخدم لتشكيل خرائط الميزة (Feature maps)، ورأس يستخدم للتنبؤ بفئات الكائنات والصناديق المحيطة بها. عادةً يتم استخدام طبقات لتجميع خرائط المعالم من مراحل مختلفة تربط العمود الفقري بالرأس يتم تسميها الرقبة. حققت عائلة (YOLO) رواجاً كبيراً بسبب أدائها الجيد وخصوصاً دقتها وسرعتها المقبولتين وعدد الإطارات التي يمكن معالجتها في الثانية، يتم تطوير النماذج بشكل دائم من أجل زيادة سرعتها وتخفيض حجمها مع الحفاظ على دقتها.

**2- مشكلة البحث:**

أصبحت أنظمة التعرف على الأشخاص ذات شعبية كبيرة وذات أهمية للعديد من التطبيقات التي تتطلب استجابة سريعة، واستخدام GPUs ضمن موقع العمل يعتبر خيار غير جيد بسبب الظروف التشغيلية الخاصة بها، وبالتالي من المهم نقل هذه الأنظمة إلى الأجهزة المحمولة. إن أهم معوقات هذا النقل هو حجم النموذج الكبير وعدد البارامترات الكبير، لذلك لا بد من السعي لتقليل الحجم مع الحفاظ على دقة النموذج وسرعته.

**3- أهمية البحث:**

تكمن أهمية أنظمة التعرف على الأشخاص في تطبيقات السلامة على الطرقات والتعرف على المشاة وأنظمة مساعدة السائق المتقدمة Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) وصولاً إلى تطبيقات السيارات ذاتية القيادة، وكذلك أنظمة الحماية والأمن والتعرف على الجناة بكفاءة وسرعة.

**4- هدف البحث:**

يهدف البحث إلى تحسين نظام التعرف على الأشخاص المعتمد على خوارزمية YOLOv4، وتخفيض عدد البارامترات وحجم النموذج لتتناسب تطبيقات الأجهزة المحمولة مع زيادة الدقة والحفاظ على سرعة مناسبة لتطبيقات الزمن الحقيقي.

**5- معايير تقييم نموذج التعرف على الأشياء:**

إن معايير التقييم تعتمد على مصفوفة الالتباس Confusion matrix، تم استخدام 4 معايير لتقييم نتائج هذا البحث وهي:

**5-1- الدقة Precision:**

يتم حساب الدقة وفق المعادلة (1):

$$P = TP / (TP + FP) \dots \dots \dots (1)$$

## 5-2- الاسترجاع (Recall):

يتم حساب الاسترجاع وفق المعادلة (2):

$$R = TP / (TP + FN) \dots \dots \dots (2)$$

## 5-3- معدل الدقة ومتوسط معدل الدقة Average Precision (AP) & mean AP

يتم حساب معدل الدقة ومتوسط معدل الدقة من أجل n فئة وفق المعادلتين (3) و(4).

$$AP = \int_0^1 P(R) / dr \dots \dots \dots (3)$$

$$mAP = \frac{\sum_{i=0}^n AP}{n} \dots \dots \dots (4)$$

## 5-4- عدد عمليات الفاصلة العائمة في الثانية ( Floating-point Operations per Seconds)

يتم حساب FLOPS لكل طبقة وفق المعادلة (5):

$$bflops = \frac{2.0 * l.n * l.size * l.size * l.c * l.out_h * l.out_w}{10^9} \dots \dots (5)$$

حيث:  $l.n$  عدد فلاتر الخرج،  $l.size$  حجم نواة الفلتر،  $l.c$  عدد قنوات صورة الدخل،  $l.out_h$  ارتفاع صورة الدخل،  $l.out_w$  عرض صورة الدخل.

## 6- الدراسات المرجعية السابقة حول تحسين YOLOv4 للتعرف على الأشخاص:

قدم Xinchao Liu وآخرون في العام 2021م [4] تحسناً لنموذج YOLOv4 من أجل التعرف على المشاة في أنظمة المرور التي تعتمد على المركبات ذاتية القيادة. حيث اعتبر انه لا يمكن لخوارزمية اكتشاف الهدف استخراج معلومات الميزات بشكل

كامل، مما يجعلها أمام تحديات كبيرة للتعرف على المشاة في السيارات بدون سائق. اعتمد على YOLOv4 بسبب أدائها الممتاز في اكتشاف الكائنات، ولكنها ليست مثالية في تحديد المشاة الغير كاملة المعالم -أي أنها تعاني من الانسداد-. تمت إضافة كتلة تجميع الهرم المكاني Spatial Pyramid Pooling SPP قبل وحدة الرأس الثالثة لتحسين استخراج ميزات الشبكة العميقة، وتسمية النموذج YOLOv4-SPP1، ثم دراسة تأثير تغيير دقة صورة الإدخال من  $416 \times 416$  إلى  $864 \times 864$  على دقة النموذج والاسترجاع وكذلك زمن الاستدلال. وبين أن زيادة دقة الصورة يزيد متوسط معدل الدقة والاسترجاع ولكنها تؤدي إلى زيادة عدد عمليات الفاصلة العائمة بنسبة كبيرة جداً تعادل 4 أضعاف مقارنة بالدقة الأقل. وبمقارنة YOLOv4-SPP1 مع النموذج الأساسي فإن معدل الدقة ومتوسط معدل الدقة تزداد وكذلك تزداد عدد عمليات الفاصلة العائمة ويزداد زمن الاستدلال، ويملك عدد بارامترات كبير وكذلك حجم نموذج أكبر من النموذج الأساسي.

قدم XiuJun Zhu وآخرون في العام 2021م [5] طريقة لحل مشكلة تفويت المشاة المستهدفين الصغار عند استخدام شبكة YOLOV4، أي تحسين قيم الدقة ومتوسط معدل الدقة (mAP). حيث تم إضافة طبقة استخراج ميزة رابعة إلى طبقات استخراج الميزات الثلاث الأساسية لشبكة YOLOV4 الأساسية. وتم إضافة طبقتين لتجميع الهرم المكاني SPP وذلك لتوسيع المجال الاستقبالي. وإضافة وحدة آلية انتباه القناة Channel Attention Mechanism Module (CAMM) وحذف بعض الطبقات التلافيفية للشبكة الأساسية، ثم تم استخدام أسلوب التعلم بالنقل (Transfer Learning) وهو أسلوب يستخدم أوزان النموذج المدرب للمهمة "أ" باعتباره الوزن الأولي للمهمة "ب". عادةً يتم الحصول على أوزان نموذج المهمة "أ" من التدريب على كمية كبيرة البيانات، والمهمة "ب" تشبه المهمة "أ" ولكن ليست هي نفسها تماماً. وبالتالي يمكن استخدام نقل التعلم في

عملية التدريب للمهمة "ب". حيث يوفر في وقت التدريب، وفي معظم الحالات لا يتطلب الكثير من عينات التدريب للحصول على أداء أفضل.

تم اعتماد ثلاثة تجارب: الأولى تم استخدام نموذج YOLOv4 الأساسي، والثانية تم استخدام أسلوب نقل التعليم واستخدام الأوزان الناتجة عن قاعدة بيانات COCO ثم تدريب النموذج، والثالثة تم استخدام الهيكل المحسن واستخدام نقل التعليم. عند التدريب على قاعدة بيانات VOC: حققت التجربة الثانية انخفاض الدقة بمقدار 0.31% وزيادة متوسط الدقة بمقدار 10.73%، بينما في التجربة الثالثة تزداد الدقة 6.94% ويزداد متوسط الدقة بمقدار 12.61%. عند التدريب على قاعدة بيانات INRIA: في التجربة الثانية تنخفض الدقة بمقدار 5.89% وينخفض متوسط الدقة 0.6%، بينما في التجربة الثالثة تزداد الدقة 4.82% ويزداد متوسط الدقة 2.94%.

إن النموذج النهائي يحسن الدقة بشكل كبير وذلك نتيجة إضافة عدد من الطبقات على العمود الفقري والرقبة وهي تزيد عدد عمليات الفاصلة العائمة بشكل كبير وكذلك زمن الاستدلال وهو ما تطرق إليه الباحث كتوصية نهائية للأعمال المستقبلية بأنه غير مناسب للأجهزة المحمولة mobile devices ولا بد من السعي لتقليل الحجم.

اقترح Ruiqi Hu وآخرون في العام 2022 [6]، طريقة لتحسين YOLOv4 للتعرف على المشاة. وتم تقسيم العمل إلى مرحلتين: في المرحلة الأولى، تم إدخال كتلة RepVGG Block في طبقة استخراج المعالم (العمود الفقري) وطبقة دمج الميزات (الرقبة) لتحسين قدرة استخراج الميزات للشبكة وتقليل فقد معلومات الميزة. وفي المرحلة الثانية، تم تقديم آلية الانتباه SENet لجعل الخوارزمية تركز أكثر على المعلومات المفيدة، وتم إضافة ثلاثة وحدات قبل كل دخل لرأس النموذج.

إن النموذج يحسن متوسط الدقة (mAP) بمقدار 0.5% والدقة (P) بمقدار 4.3%، وهي بسبب زيادة طبقات الالتفاف Convolution وكذلك وحدات SENet، وهذه الزيادة

ستؤثر بشكل واضح على عدد العمليات الفاصلة العائمة وعدد الإطارات التي تتم معالجتها في الثانية وهو الأمر الذي لم يدرسه الباحث ولكنه أشار في توصياته إلى ضرورة تحسين النموذج ليناسب تطبيقات الزمن الحقيقي.

قدم Runjie Liu وآخرون في العام 2022م [7] طريقة لحل مشكلة التعرف على المشاة ضمن نطاق صغير بشكل فعال في الزمن الحقيقي، وكذلك حل مشاكل تعقيد هيكل النموذج، وعدد البارامترات الكبير ومعدل التعرف المنخفض من أجل الأهداف الصغيرة في خوارزميات التعرف على المشاة الحالية، وتم اقتراح خوارزمية YOLO-DSRF المعتمدة على YOLOv4. تم تقديم التقاف فصل العمق (depth separation convolution) لأول مرة لتقليل عدد البارامترات وتخفيض زمن حساب النموذج بشكل كبير، وتم إدخال آلية انتباه القناة (CAMM) في الشبكة لتحسين أدائها، تم تصميم نموذج دمج الميزة (feature fusion module) في العمود الفقري ويتم خلالها دمج الميزات العميقة والضحلة لاستخراج معلومات الهدف الدلالية (semantic information) ومعلومات الموقع (location information) بشكل فعال، وتم إدخال وحدة مجال استقبالي (receptive field) في الرأس لمحاكاة المجال الاستقبالي البشري لتعزيز قدرة استخراج الميزات للأهداف الصغيرة.

تم استخدام قاعدة بيانات Caltech، وحقق النموذج النهائي انخفاض في حجم النموذج وزيادة السرعة حيث زادت عدد الإطارات في الثانية ولكن حدث انخفاض في متوسط الدقة.

قدمت Marsa Mahasin وآخرون في العام 2022م [8] دراسة مقارنة عند تغيير العمود الفقري لنموذج YOLOv4، حيث تم استخدام العمود الفقري الأساسي CSPDarkNet53 ثم استبداله بـ CSPResNeXt-50 و Efficientnet-B0 على التوالي.

إن العمود الفقري CSPResNext50 له قيمة متوسط دقة أعلى عند  $IOU=0.5$ ، يليها CSPDarkNet53 وأخيراً Efficientnet-B0، وتم حساب عدد الإطارات في الثانية (FPS)، وكذلك دراسة حجم النموذج، وحقق Efficientnet-B0 أقل حجم للنموذج ولكنه أقل FPS وكان CSPDarkNet53 هو الأسرع والأكبر حجماً، حيث نلاحظ أن انخفاض حجم النموذج لا يؤدي بالضرورة إلى زيادة عدد الإطارات في الثانية.

#### 7- طرق البحث ومواده:

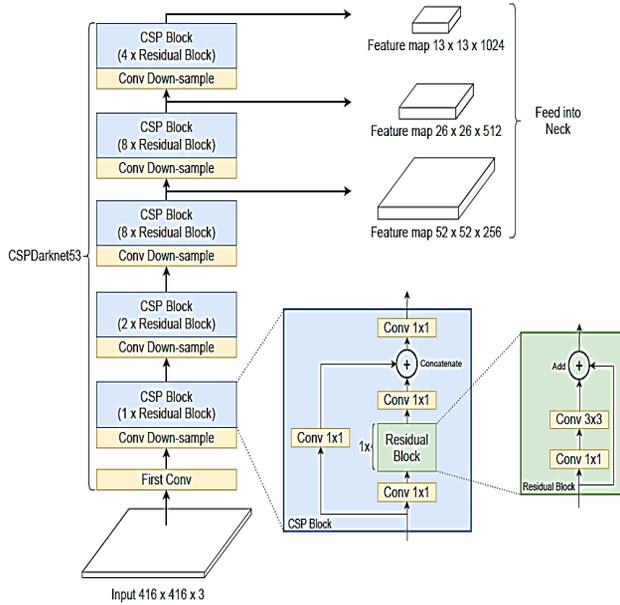
7-5- بنية نموذج YOLOv4 الأساسي:

7-5-1- البنية المعمارية:

تتكون بنية YOLOv4 من ثلاثة أجزاء:

7-5-1- العمود الفقري (backbone)

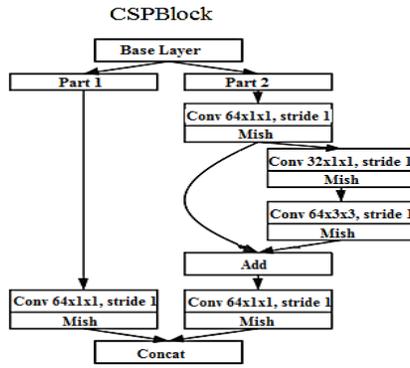
العمود الفقري هو شبكة عصبونية عميقة تتكون من طبقات التفاف. الهدف الرئيسي هو استخراج الميزات الأساسية (essential features)، بنية العمود الفقري المستخدمة هي CSPDarknet53-شبكة مطورة عن Darknet53 وذات دقة أفضل وتملك سرعة قريبة منها-. إن بنية العمود الفقري موضحة في الشكل 1.



الشكل 1 بنية CSPDarknet53 مع كتلة CSP وكتلة Residual

### كتلة Cross Stage Partial CSP

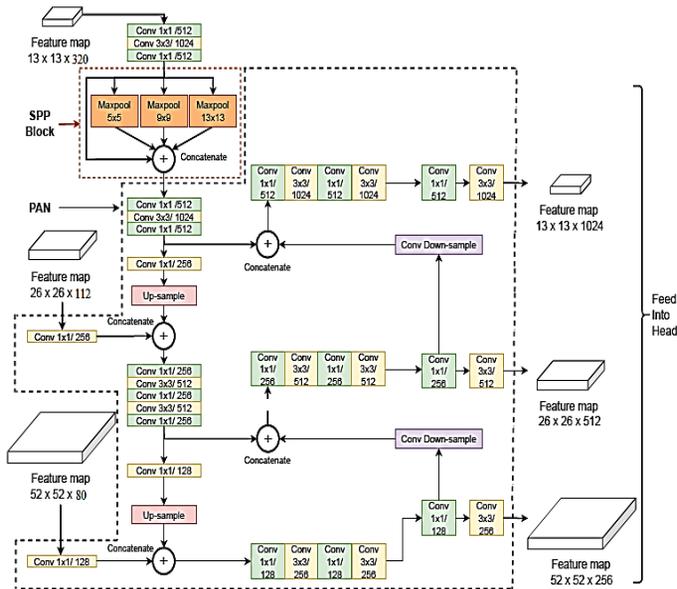
يوضح الشكل 2 البنية الأساسية، حيث يتم تقسيم خريطة الميزة للطبقة الأساسية إلى جزأين حيث:  $x_0 = [x_0', x_0'']$  يرتبط القسم الأول  $x_0'$  ارتباطاً مباشراً بنهاية المرحلة، ويمر القسم الثاني  $x_0''$  عبر كتلة كثيفة. يقلل هذا التصميم من التعقيد الحسابي عن طريق فصل المدخلات إلى جزأين مع مرور جزء واحد فقط عبر الكتلة الكثيفة.



الشكل 2 كتلة CSP

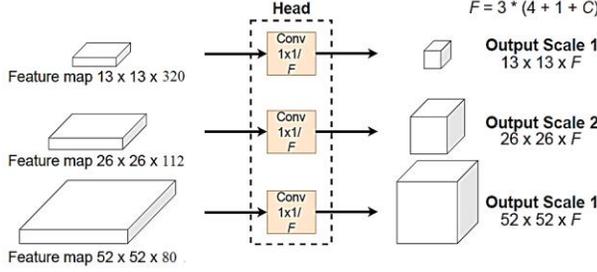
7-5-1-2- الرقبة

تتكون الرقبة من مجموعة من الطبقات التلافيفية وطبقات التجميع إلى الحد الأعلى (max pooling) ويعدى هذا التشكيل شبكة تجميع المسار Path Aggregation Network (PANet) وهي موضحة في الشكل 3.



الشكل 3 رقبة Yolov4

تمر كل خريطة مميزات مُستلمة من الرقبة عبر طبقة متصلة بالكامل يتم تنفيذها بواسطة طبقة تلافيفية أبعادها  $(N_i \times N_i \times F)$ ، كما هو موضح في الشكل 4.



الشكل 4 رأس YOLOv4

### Efficientnet-B0 -2-5-7

أظهرت الدراسة التي قام بها Mingxing Tan وآخرون في العام 2019م [9] أنه من الأهمية بمكان تحقيق التوازن بين عمق الشبكة وعرضها ودقة الصورة، واقترح طريقة تحجيم مركب Compound Scaling بسيطة وفعالة. وتم اقتراح طريقة جديدة للتحجيم المركب، والتي تستخدم معامل مركب لمقياس عرض الشبكة وعمقها ودقتها بشكل موحد بطريقة مبدئية:

$$\begin{aligned} \text{depth: } d &= \alpha^\phi, & \text{width: } w &= \beta^\phi, & \text{resolution: } r &= \gamma^\phi \\ \alpha \cdot \beta^2 \cdot \gamma^2 &\approx 2, & \alpha \geq 1, \beta \geq 1, \gamma \geq 1 & \dots \dots \dots (3) \end{aligned}$$

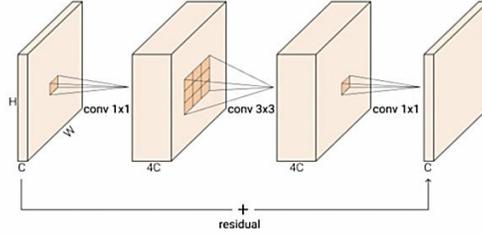
حيث  $\alpha, \beta, \gamma$  هي ثوابت.  $\phi$  هو معامل يحدده المستخدم ويتحكم في عدد الموارد الإضافية المتاحة لتوسيع نطاق النموذج. حيث أن FLOPS تتناسب مع  $d, w^2, r^2$ ، أي أن مضاعفة عمق الشبكة سوف يضاعف FLOPS، لكن مضاعفة عرض الشبكة أو الدقة ستزيد من FLOPS بمقدار أربع مرات.

## 7-1-2-5 Efficientnet-B0 بنية

يوضح الجدول 1 بنية Efficientnet-B0 وهي تتكون من كتل mobile inverted Residual Net (MBConv) bottleneck [10]، وهي احد أنواع الكتلة المتبقية Residual Net (Resnet) التي تستخدم بنية مقلوبة لأسباب تتعلق بالكفاءة، حيث هيكلها ضيق-عريض-ضيق، موضحة في الشكل 5.

الجدول 1 بنية Efficientnet -B0

Stage $i$	Operator $\mathcal{F}_i$	Resolution $\hat{H}_i \times \hat{W}_i$	#Channels $\hat{C}_i$	#Layers $\hat{L}_i$
1	Conv3x3	224 × 224	32	1
2	MBConv1, k3x3	112 × 112	16	1
3	MBConv6, k3x3	112 × 112	24	2
4	MBConv6, k5x5	56 × 56	40	2
5	MBConv6, k3x3	28 × 28	80	3
6	MBConv6, k5x5	14 × 14	112	3
7	MBConv6, k5x5	14 × 14	192	4
8	MBConv6, k3x3	7 × 7	320	1
9	Conv1x1 & Pooling & FC	7 × 7	1280	1



الشكل 5 الكتلة المتبقية المعكوسة

تحقق بنية Efficientnet-B0 تحسن طفيف في الدقة ومتوسط الدقة لا يتعدى 0.2%، مقارنة بنماذج بسيطة مثل Resnet-50 [11] و DenseNet-169 [12]، ولكنها تحقق تخفيض في عدد البارامترات يصل إلى نصف عدد البارامترات وكذلك من أجل عدد FLOPS.

## 7-6-7 تعديل Yolov4 المقترح من الباحث:

بما أن العمود الفقري لأي نموذج للتعرف على الأشياء المعتمد على CNN يحتوي أكبر عدد من الطبقات الالتفافية التي تؤثر على أداء النموذج بشكل كبير، فهي تزيد

الدقة من جهة وكذلك تزيد عدد البارامترات، كما هو الحال بالنسبة لشبكة CSPDarknet53 فهي شبكة بدقة جيدة وعدد بارامترات كبير، وهو عائق أمام استخدامها ضمن الأجهزة المحمولة. لذلك تم استبدالها بشبكة مقترحة تدمج شبكة CSPNet بعد التعديل عليها للاستفادة من خصائصها في زيادة الدقة مع شبكة Efficientnet-B0 التي تملك عدد بارامترات اقل وحجم نموذج اقل ولكنها بدقة اقل.

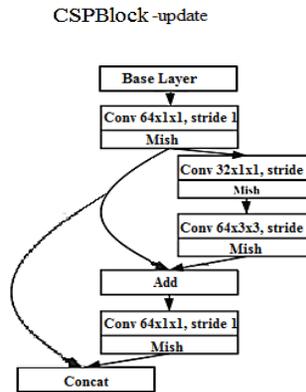
تم استخدام google colab من أجل تدريب النموذج الأساسي والنموذج المعتمد على Efficientnet-B0 كعمود فقري، ثم اختبار الشبكة المقترحة بعد تدريبها على نفس قاعدة البيانات.

## 8- تنفيذ التعديلات المقترحة واستخلاص النتائج:

### 8-1- العمود الفقري CSPMBconv Net

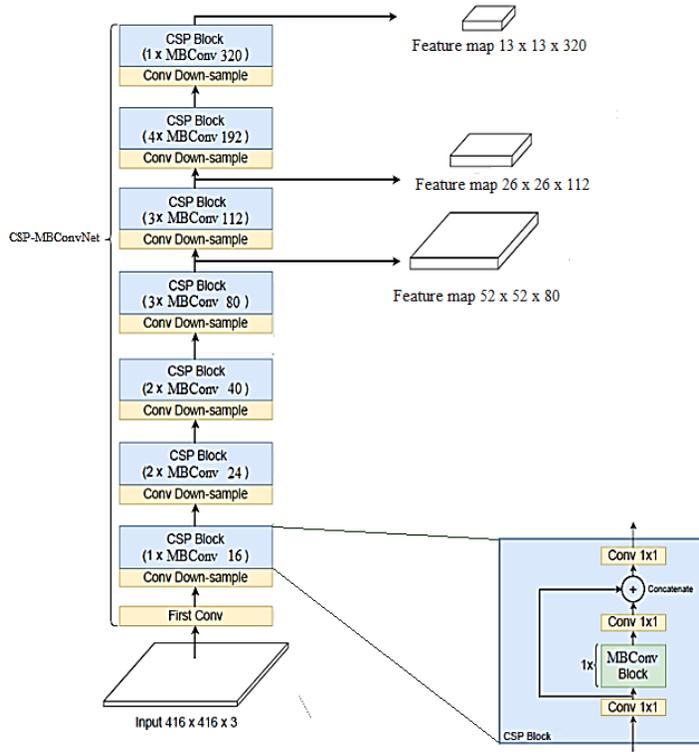
تم تعديل العمود الفقري وفق الاتي:

أولاً: تم تعديل كتلة CSP حيث تم الحفاظ على تجزئة المسار ولكن مع اختصار طبقة تلافيفيه في كل كتلة، الأمر الذي يساهم في تخفيض العمليات الحسابية ويسرع النموذج. يوضح الشكل 6 التعديل مع اختصار جزء من المسار.



الشكل 6 CSPBlock المقترح من قبل الباحث

ثانياً: تم تغيير عدد الطبقات التلافيفية بعد الاستفادة من مفهوم التحجيم المركب وتم الاعتماد على بنية Efficientnet-B0، وتعديل موقع اخذ Feature map الثانية ذات الأبعاد (26x26x112)، لتصبح مع نهاية كتلة CSP أي بعد 3 طبقات MBconv والتي عدد فلاترها 80، لأنه لا يمكن اخذ شعاع الميزة Feature map من منتصف كتلة CSP، بينما بدون استخدام كتلة CSP يمكن أخذها بعد طبقتين MBconv كما تم في المرجع [8]. يوضح الشكل 7 بنية العمود الفقري النهائية.



الشكل 7 العمود الفقري بعد دمج CSP Block مع MBconvNet لشبكة Efficientnet-B0

**8-2- بيئة العمل ومجموعة البيانات**

تم تنفيذ التجارب بلغة بايثون على Google Colab، ومعالج Intel(R) Xeon(R) ثنائي النواة بسرعة 2 جيجا هرتز، بطاقة رسومات: GPU: Tesla T4؛ نظام التشغيل: Ubuntu 22.04.

تتكون مجموعة البيانات المستخدمة من 9000 صورة لأشخاص بوضعيات مختلفة ومقاسات مختلفة وظروف إضاءة مختلفة، تم الحصول عليها من قاعدة بيانات Open Images v6 وهي أكبر مجموعة بيانات، وهي تحتوي 9 ملايين صورة لمجموعة متنوعة من الفئات المختلفة. تم استخدام برنامج LabelImg لرسم صناديق حول الأشخاص، وإنشاء ملف نصي لكل صورة له نفس اسم الصورة وبصيغة TXT، يحتوي مركز صندوق قاعدة الحقائق وعرضه وارتفاعه.

**8-3- تدريب النموذج والاختبار:**

طريقة التدريب: تم تحديد 70% صورة عشوائية من قاعدة البيانات أعلاه كمجموعة تدريب والباقي 20% كمجموعة اختبار و10% للتحقق. تم تدريب الشبكة على 20 ألف تكرار أي 20 فترة (epoch). ومعدل التعلم الأولي 0.001 ومعدل التعلم النهائي 0.0001، ويتم حفظ نماذج الأوزان كل عشر فترات. بعد الانتهاء من عملية التدريب تم الاختبار باستخدام مجموعة من صور بيانات الاختبار للنموذج الأساسي والنموذج المعدل.

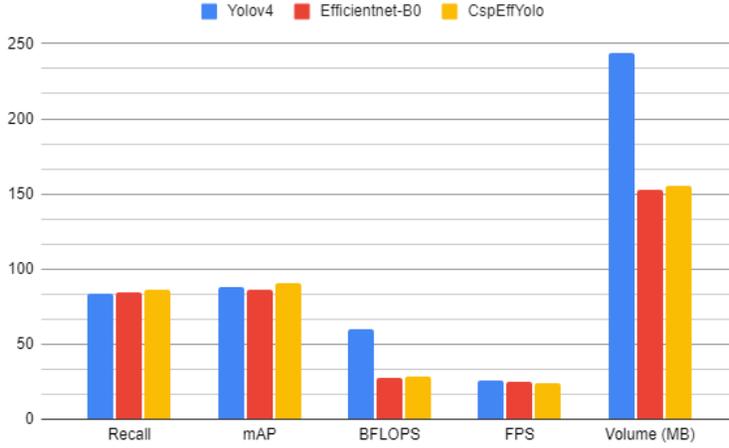
**9- مقارنة نتائج التقنية المقترحة من الباحث مع نتائج التقنيات المماثلة:**

كما هو الحال في الدراسات المرجعية السابقة تم إجراء مقارنة بين Yolov4 الأساسي بعد تدريبه على قاعدة البيانات الخاصة بالبحث، وكذلك النموذج المعتمد على

Efficientnet-B0 كعمود فقري، والنموذج CspEffYolo المقترح، كما هو موضح في الجدول 2 وكذلك الشكل 8.

الجدول 2 مقارنة CspEffYolo مع YOLOv4 الأساسي وشبكة Efficientnet-B0

Algorithm	Input size	Recall%	mAP%	BFLOPS	FPS	Volume (MB)
Yolov4	416x416	83.4	88	59.563	26	244.2
Efficientnet-B0	416x416	84.1	85.7	27.678	24.5	152.8
CspEffYolo	416x416	86	90.4	28.733	24.4	155.4



الشكل 8 مقارنة CspEffYolo مع YOLOv4 الأساسي وشبكة Efficientnet-B0

نلاحظ أن النموذج يحقق زيادة في متوسط معدل الدقة mAP بنسبة 2.4% بدلاً من الانخفاض بمقدار 2.3% عند استخدام Efficientnet-B0 وذلك بسبب خصائص CSPNet في تحسين الدقة، وانخفاض حجم النموذج قليلاً عن حجم Efficientnet-B0، وهي نقطة مهمة جداً من أجل الاستخدام في التطبيقات المحمولة التي تحتاج إلى نماذج بأحجام منخفضة. بالإضافة إلى تخفيض عدد عمليات الفاصلة العائمة في الثانية FLOPS من 59.563 إلى 28.733 وهي أعلى بقليل من نموذج Efficientnet-B0، وكان من المنطقي أن انخفاض عدد FLOPS يجب أن يزيد من عدد الإطارات التي يتم

معالجتها في الثانية ولكنها لم تزداد بسبب استخدام عدد من طبقات ( Global average pooling).

إن حجم Yolov4 الأساسي هو MB 245.8 بينما عند استخدامه للكشف عن فئة واحدة بدلاً من 80 فئة ينخفض قليلاً إلى MB 244.2. وكذلك حجم Efficientnet-B0 هو MB 156.8 وفق المرجع [8]، ولكننا بتغيير موقع اخذ Feature map الثانية ذات الأبعاد (26x26x112) من العمود الفقري فانخفض إلى MB 152.8.

## 10- الاستنتاجات والتوصيات:

نستنتج من الدراسة السابقة أن التعديلات على العمود الفقري للنموذج الأساسي أدى إلى تحسين أداء النموذج من حيث الدقة وتقليل عدد عمليات الفاصلة العائمة وتخفيض حجم النموذج وهذا مفيد للأجهزة المحمولة وتطبيقات الزمن الحقيقي. ويمكن تعميم هذه الدراسة على جميع خوارزميات عائلة YOLO بنسخها المتعددة ودراستها على قاعدة بيانات COCO، وذلك لتوسيعها لتشمل فئات مختلفة تصل حتى 80 فئة.

## -11 المراجع

- [1] Al-Nawashi M, Al-Hazaimh OM, Saraee M. A novel framework for intelligent surveillance system based on abnormal human activity detection in academic environments. *Neural Computing and Applications*. 2017 Dec;28(1):565-72.
- [2] Chen X, Ma H, Wan J, Li B, Xia T. Multi-view 3d object detection network for autonomous driving. In *Proceedings of the IEEE conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2017* (pp. 1907-1915).
- [3] Jin X, Davis CH. Vehicle detection from high-resolution satellite imagery using morphological shared-weight neural networks. *Image and Vision Computing*. 2007 Sep 1;25(9):1422-31.
- [4] Liu X, Yan Y, Gan H. Research on pedestrian detection algorithm in driverless urban traffic environment. In *MATEC Web of Conferences 2021* (Vol. 336, p. 06002). EDP Sciences.
- [5] Zhu X, Bai Y, Pei Y. Improved Pedestrian Detection Algorithm of Yolov4 Network Structure. In *Proceedings of the 5th International Conference on Computer Science and Application Engineering 2021 Oct 19* (pp. 1-6).
- [6] Hu R, Li Y. Research on Improved YOLOv4-based Pedestrian Detection Model. *Highlights in Science, Engineering and Technology*. 2022 Aug 3;7:313-22.
- [7] Liu R, Li S, Duan Y, Shi L. YOLO-DSRF: An Improved Small-Scale Pedestrian Detection Algorithm Based on Yolov4.
- [8] Mahasin M, Dewi IA. Comparison of CSPDarkNet53, CSPResNeXt-50, and EfficientNet-B0 Backbones on YOLO V4 as Object Detector. *International Journal of Engineering, Science and Information Technology*. 2022 Sep 14;2(3):64-72..
- [9] Tan M, Le Q. Efficientnet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks. In *International conference on machine learning 2019 May 24* (pp. 6105-6114). PMLR.
- [10] Sandler M, Howard A, Zhu M, Zhmoginov A, Chen LC. Mobilenetv2: Inverted residuals and linear bottlenecks. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition 2018* (pp. 4510-4520).
- [11] He K, Zhang X, Ren S, Sun J. Deep residual learning for image recognition. *CoRR abs/1512.03385* (2015).
- [12] Huang G, Liu Z, Van Der Maaten L, Weinberger KQ. Densely connected convolutional networks. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition 2017* (pp. 4700-4708).

## دراسة تحليلية لتقنيات تخزين البيانات ضمن

### الذاكرة في البيئات الموزعة

المهندس أيهم الحسن<sup>1</sup>

إشراف: الدكتور أكرم مرعي<sup>2</sup>

#### المخلص

في عالمنا الحالي، تواجه الشركات مثل Google و Yahoo و Amazon و Facebook وغيرها زيادة كبيرة في البيانات. والتي أدت إلى مشكلة النقاط وتخزين وإدارة وتحليل تيرابايت أو بيتابايت من البيانات المخزنة في تطبيقات متعددة من مصادر داخلية وخارجية مختلفة. علاوة على ذلك، تحتاج سيناريوهات التطبيقات الجديدة مثل التنبؤ بالطقس والتداول والذكاء الاصطناعي وما إلى ذلك إلى معالجة بيانات ضخمة في الوقت الفعلي.

تتجاوز هذه المتطلبات قدرة المعالجة التقليدية على أنظمة إدارة قواعد بيانات القرص لإدارة هذه البيانات ولإعطاء نتائج سريعة في الوقت الفعلي. لذلك، تحتاج إدارة البيانات إلى حلول جديدة للتعامل مع تحديات أحجام البيانات ومعالجة البيانات في الوقت الفعلي.

نظام قاعدة البيانات في الذاكرة (IMDS) هو أحدث سلاطة من أنظمة إدارة قواعد البيانات التي قدمت حلولاً على التحديات المذكورة أعلاه، IMDS قادر على معالجة البيانات الضخمة بشكل أسرع.

يهدف هذا البحث إلى تقديم خوارزمية جديدة تعمل على فهرسة العناصر الموجودة ضمن قواعد البيانات في الذاكرة. تم دمج عدة أفكار لخوارزميات أطلقت مؤخراً والتي ساهمت في تحسين سرعة فهرسة قواعد البيانات ضمن الذاكرة. تم إثبات كفاءة الخوارزمية من خلال القيام بالعديد من التجارب التي أظهرت تحسناً في الأداء والسرعة على عمليات ادخال عنصر وحذفه والبحث عنه.

الكلمات المفتاحية: قواعد البيانات ضمن الذاكرة - فهرسة - تطبيقات الزمن الحقيقي

<sup>1</sup> طالب 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

## **Analytical Study of Technologies of Storing In-Memory Databases in Distributed Environments**

**Eng. Ayham Alhasan , Dr. Akram Al-Morei**

### **Abstraction**

In today's world, organizations like Google, Yahoo, Amazon, Facebook etc. are facing drastic increase in data. This leads to the problem of capturing, storing, managing and analyzing terabytes or petabytes of data, stored in multiple formats, from different internal and external sources. Moreover, new applications scenarios like weather forecasting, trading, artificial intelligence etc. need huge data processing in real time.

These requirements exceed the processing capacity of traditional on disk database management systems to manage this data and to give speedy real time results. Therefore, data management needs new solutions for coping with the challenges of data volumes and processing data in real-time. An in-memory database system (IMDS) is a latest breed of database management system which is becoming answer to above challenges, IMDS is capable to process massive data distinctly faster. This research aims to present a new algorithm based on several modern algorithms released recently, where its ideas were collected within a new algorithm that gives better results than its predecessors. The efficiency of the algorithm has been proven by conducting several experiments that showed an improvement in performance and speed on the processes of inserting, deleting, and searching for an element.

**Keywords:** in-memory database – indexing – real time applications

---

## 1- مقدمة:

يغير عصر الانترنت متطلباتنا ويقودنا الى تطوير قواعد البيانات التقليدية وابتكار أفكار جديدة ، بالطبع لم تتغير أي من الأساسيات ، لدينا المزيد من البيانات والمزيد من المستخدمين ونتوجه الى الكثير من البيانات ( البيانات الضخمة ) بالتالي ستواجه شركات الانترنت الضخمة العديد من المشاكل.

ستؤدي حاجة مستخدمي الشركات الى المعالجة التحليلية السريعة الى إعادة ابتكار قواعد البيانات ضمن الذاكرة والاستفادة من اليات التخزين المادية الجديدة لتقديم النتائج لعمليات الاستعلام بأسرع وقت ممكن مع الحفاظ على درجة المتانة التي اعتدنا عليها عند استخدامنا لقواعد البيانات التقليدية.

ان الدافع لاستخدام تقنية التخزين ضمن الذاكرة بسيط: إذا كان من الممكن تقييد متطلبات تخزين البيانات وجعلها على مساحة عناوين واحدة فسيتم تقليل تعقيد مجال المشكلة بشكل كبير (زمن معرفة أي جزء من البيانات هو ميكرو ثانية او حتى نانو ثانية) ليس هنالك حاجة للوصول للبيانات على القرص الصلب (كلها في متناول اليد وجاهزة للمعالجة).

مع ذلك وعلى الرغم من هذه المزايا، كان لقواعد البيانات ضمن الذاكرة اختراق محدود نسبيا للسوق. تعتبر TimesTen من شركة Oracle مثالا على ذلك، حيث تسللت الى عدد محدود من الأسواق المتخصصة، من المحتمل ان يكون هذا بسبب مشكلتين أساسيتين: نقص المتانة (ماذا يحدث عند سحب القابس) - ومشكلة البت الإضافي (ماذا يحدث عندما تصبح قاعدة البيانات أكبر من الذاكرة التي تعمل عليها).

شهدت السنوات الماضية تقديم مجموعة من التقنيات الموزعة التي تعمل على تحسين قواعد البيانات ضمن الذاكرة من خلال استخدام بنية Shared-Nothing

architecture، ان التوزيع يحل كلا من المشكلتين السابقتين حيث تم حل مشكلة البت الإضافي ببساطة عن طريق إضافة المزيد من الأجهزة والمزيد من البتات ضمنا اما مشكلة المتانة فإنها لم تعد مصدرا مقلقا أيضا حيث يمكن توزيع نسخ من البيانات على الاجهزة ضمن العنقود cluster مما يجنبنا ضياع البيانات عند فشل أحد الأجهزة.

في الآونة الأخيرة شهدنا تقنيات متوافقة تماما مع خواص ACID مثل VolteDB المستوحى من Stonebreaker وهي قاعدة بيانات موزعة ضمن الذاكرة تتمتع بقابلية التوسع والتسامح مع الأخطاء، وأيضا مثل قاعدة SAP HANA تم ابتكارها من قبل Hasso Plattner مع أحد مؤسسي SAP.

تتقسم الأبحاث الأخيرة في قواعد البيانات ضمن الذاكرة الى ثلاثة اقسام رئيسية وهي:

#### a- الفهرسة Indexing:

تمكنا الفهرسة من الوصول للبيانات الموجودة ضمن الذاكرة عن طريق تخزين المؤشر فقط على البيانات وليس البيانات لان مجموعات البيانات ستكون مخزنة ضمن الذاكرة الرئيسية.

أظهرت الدراسات الحديثة ان هنالك العديد من تقنيات الفهرسة التي تم استخدامها ضمن قواعد في الذاكرة مثل ( B+ tree , T-tree , DCB-tree , BD-tree , FAST , HHB+ tree , PI )

#### b- التحكم في التزامن Concurrency control :

تزيد العمليات المتعددة على الخوادم وقابلية توسع البيانات من الحاجة الى الية فعالة للتحكم في التزامن . تم استخدام العديد من التقنيات ضمن قواعد البيانات في الذاكرة

مثل Optimistic و Multi-version Concurrency control (MVCC)

و Strict timestamp ordering (STO) و Concurrency control (OCC)

### c- الاستعادة recovery :

ان احتمال تعطل النظام نتيجة توقف احد الخوادم عن العمل آخذ في الازدياد لذلك يجب ان يكون النسخ الاحتياطي مستقر لضمان متانة النظام ، يجب ان تضمن عملية الاسترداد ان النسخ الاحتياطي في حالة تحديث مستمر لضمان استعادة قاعدة البيانات عند الفشل ، كمثال على هذه التقنيات : REWIND و SCM و Single-pass restore و PCM .

يتناول هذا البحث الفلاتر التي تعمل ضمن مجال الفهرسة، حيث تؤمن الفلاتر مجموعة من هياكل البيانات الاحتمالية المفيدة والتي تسمح بدورها للمطورين بالتحكم في دقة النتائج التي يتم ارجاعها مع اكتساب الأداء وتقليل حجم الذاكرة، تعد هياكل البيانات هذه مثالية لتحليل تدفق البيانات وتحليل مجموعات البيانات الكبيرة. الفلاتر هي بنية بيانات احتمالية موفرة للمساحة تستخدم لاختبار ما إذا كان العنصر موجودا ضمن قاعدة البيانات ام لا، على سبيل المثال التحقق من ان اسم المستخدم موجود مسبقا ام لا ولكن الثمن الذي يتم دفعه مقابل الكفاءة هو انها احتمالية بطبيعتها وهذا يعني انه قد تكون هنالك بعض النتائج الإيجابية الكاذبة أي انه قد يشير الى ان اسم المستخدم المحدد مأخوذ بالفعل ولكنه بالواقع ليس كذلك، ولكنها لا تعطي نتائج سلبية خاطئة ابدا.

## 2- أهمية وأهداف البحث

تتجلى أهمية البحث في كونه يتناول موضوعاً حديثاً لم يحظ بالاهتمام الكافي في الدراسات المحلية وبشكل نقطة انطلاق للتعريف بتقنيات تخزين البيانات ضمن الذاكرة ودورها الهام بالنسبة للشركات الكبرى والمستخدمين النهائيين لما تقدمه من سرعة وأداء أفضل بالاستعلام وتخزين البيانات متفوقة بذلك على قواعد البيانات التقليدية التي اعتمدت على القرص الصلب في تخزينها.

لتحقيق ذلك يهدف البحث إلى:

1. مناقشة الاتجاهات التكنولوجية الأخيرة في مجال قواعد البيانات ضمن الذاكرة.
2. تسليط الضوء على اخر الخوارزميات انتشاراً في هذا المجال وتحديد المشاكل التي تواجهها.
3. تحسين سرعة بعض هذه الخوارزميات والذي من شأنه أن يساعد على اتخاذ القرار بشكل أكثر دقة وضمن حدوديات الزمن الحقيقي.

## 3- الدراسة المرجعية

اشتملت أدبيات الدراسات على العديد من الخوارزميات الحديثة التي أطلقت مؤخراً ضمن مجال الفلاتر والتي عملت على تحسين سرعتها سواء على عمليات الادخال او التخزين او البحث عن العناصر ضمن الفلتر.

بدايةً لوحظ أن فلاتر بلوم (Bloom filter) وفلتر (Cuckoo filter) من أكثر الفلاتر انتشاراً حالياً كمثال على ذلك:

1. تستخدم Google Bigtable و Apache HBase و Apache Cassandra و PostgreSQL الفلاتر لتقليل عمليات البحث على القرص للصفوف أو

الأعمدة غير الموجودة. يؤدي تجنب عمليات البحث المكلفة عن القرص إلى زيادة أداء عملية استعلام قاعدة البيانات بشكل كبير.

2. استخدم متصفح الويب Google Chrome سابقاً الفلاتر لتحديد عناوين URL الضارة.

3. استخدمت Bitcoin الفلاتر لتسريع مزامنة المحفظة حتى تم اكتشاف نقاط ضعف الخصوصية مع تنفيذ مرشحات

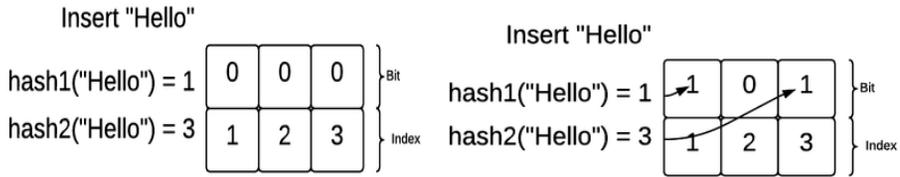
العديد من الدراسات الأخير عملت على تطوير الفلترين السابقين لتحسين الأداء والسرعة وبالتالي الحصول على النتائج بأسرع وقت ممكن لعدم عمليات القرار بشكل أفضل.

### Bloom filter 1-3

قام الباحث Burton Howard Bloom في عام 1970 [6] بتحليل المقايضات بين بعض العوامل الحسابية ضمن عملية تشفير التجزئة، المشكلة التي تم أخذها في الاعتبار هي اختبار عضوية سلسلة من الرسائل واحدة تلو الأخرى في مجموعة معينة من الرسائل، العوامل الحسابية التي تم أخذها في الاعتبار هي حجم منطقة التجزئة (المساحة)، والوقت المطلوب لتحديد الرسالة على أنها ليست عضوًا في المجموعة المحددة (وقت الرفض)، وتكرار الخطأ المسموح به. تهدف الورقة البحثية لتقديم طريقة جديدة تهدف إلى تقليل مقدار المساحة المطلوبة لاحتواء المعلومات المشفرة والتي تم تحقيقها من خلال استغلال إمكانية تحمل جزء صغير من أخطاء في بعض التطبيقات، على وجه الخصوص، التطبيقات التي تتضمن كمية كبيرة من البيانات، توضح الورقة البحثية أن السماح بتحديد عدد صغير من رسائل الاختبار بشكل خاطئ سيسمح باستخدام مساحة تجزئة أصغر بكثير دون زيادة وقت الرفض.

اقترح الباحث تمثيلاً مضغوطاً لمجموعة من البيانات التي تدعم عمليتين فقط (الإدراج والبحث) وبالتالي فإن فلتر Bloom يمثل بنية بيانات احتمالية ذات كفاءة في استخدام المساحة، يشبه مرشح bloom إلى حد كبير جدول التجزئة hash table من حيث أنه سيستخدم وظائف التجزئة hash functions لتعيين دليل العنصر ضمن الجدول. ومع ذلك، فإنه لن يخزن هذا العنصر في الجدول، بل سيضع علامة عليه ببساطة على أنه ممتلئ. لذلك، قد يتم تعيين العديد من العناصر لنفس الدليل المملوء سابقاً، مما يؤدي إلى نتائج إيجابية خاطئة.

يوضح الشكل (1) فلتر bloom الفارغ والذي يتكون من مصفوفة صغيرة من  $m$  بت، وكلها مضبوطة مبدئياً على الصفر. عند القيام بإدراج عنصر فإن الفلتر يستخدم وظائف التجزئة التي تقوم بفهرسة القيم الواردة ضمن المجال من 0 إلى  $m-1$  لتخزينها ضمن المصفوفة ثم يقوم بتخزين العناصر عن طريق تغيير قيمة البت من 0 إلى 1، في حال كانت قيم البتات 1 فإنه سيعتبر أن العنصر موجود سابقاً ولن يقوم بتخزينه.



الشكل (1) مثال على فلتر Bloom

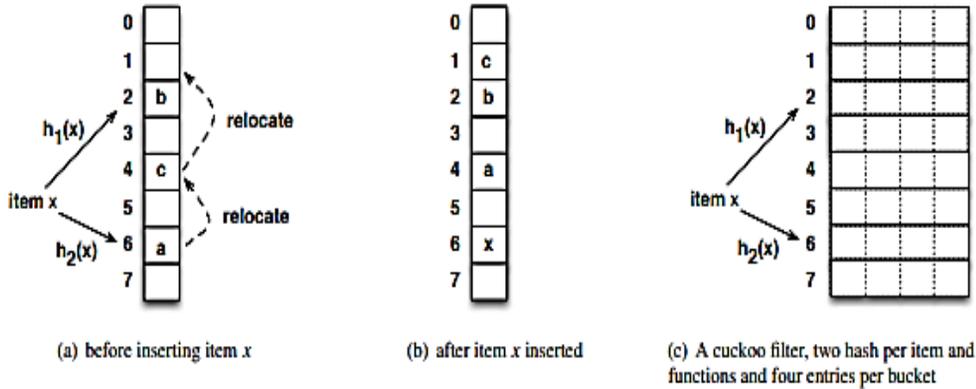
### Cuckoo filter 2-3

فلتر Cuckoo هو بنية بيانات احتمالية تدعم اختبار العضوية ضمن المجموعة. إنه مشابه بشكل كبير لفلتر Bloom من حيث أن كلاهما سريع جداً وفعال من حيث

المساحة، تم وصفه في ورقة بحثية [8] في عام 2014 بواسطة Fan و Andersen و Kaminsky و Mitzenmacher.

تعمل مرشحات Cuckoo على تحسين تصميم فلتر bloom من خلال تقديم الحذف، والعد المحدود، والاحتمال الإيجابي الخاطئ المحدود، مع الحفاظ على تعقيد مساحة مماثل. كما انه يعمل على حل مشكلة التصادمات عند تخزين عنصر.

فلتر Cuckoo هو عبارة عن جدول تجزئة مصغر hash table كما هو موضح بالشكل (2) يعمل على حل مشكلة التصادمات ويقلل من تعقيد المساحة من خلال الاحتفاظ ببصمة fingerprint القيمة المراد تخزينها، البصمة عبارة مجموعة بتات  $f$ -bit يتم تحديد قيمة  $f$  بناء على الاحتمال الإيجابي الخاطئ الذي يريده المبرمج.



الشكل (2) بنية الفلتر Cuckoo

تختلف طريقة حساب فهرس العنصر المراد تخزينه ضمن الفلتر عن سابقه Bloom filter فمثلا لتخزين عنصر  $x$  يتم حساب بصمته أولا ومن ثم حساب دليله كالتالي:

يتم تخزين البصمة في أحد الدليلين، في حال عدم وجود شاغر ضمن أحدهما يتم اخراج القيمة الموجودة سابقا وتخزين لقيمة الجديدة بدلا عنها، ومن ثم يتم تكرار العملية على

$$h_1(x) = \text{hash}(x)$$

$$h_2(x) = h_1(x) \oplus \text{hash}(\text{fingerprint}(x))$$

القيمة المخرجة لتعيين مكان اخر لتخزينها ضمنه وهكذا.

معادلة (1) حساب دليلي عنصر قبل إدخاله الى الفلتر

عرضت الدراسة مقارنة لفلتر cuckoo مع فلتر bloom و d-left Counting Bloom Filter و block bloom filter و Quotient filter من حيث تكلفة المساحة المستهلكة من قبل كل فلتر على حدى وأيضا سرعة بناء كل فلتر من خلال الجدول (1)

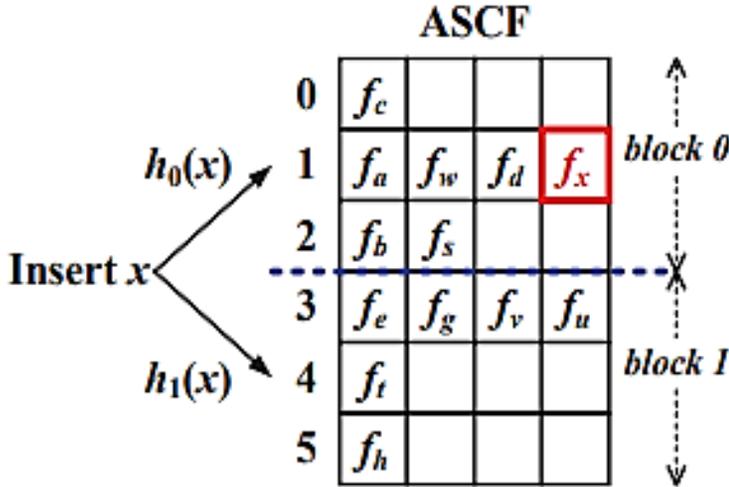
metrics	CF	BF	blk-BF	QF	dl-CBF
# of items (million)	127.78	123.89	123.89	120.80	103.82
bits per item	12.60	13.00	13.00	13.33	15.51
false positive rate	0.19%	0.19%	0.43%	0.18%	0.76%
constr. speed (million keys/sec)	5.00	3.91	<b>7.64</b>	1.91	4.78

التالي:

جدول (1) تكلفة المساحة وسرعة البناء لفلتر CF بالمقارنة مع فلاتر أخرى

## 3-3 Additive and Subtractive Cuckoo Filters

قدم الباحثان Kun Huang و Tong Yang ضمن هذه الورقة البحثية [9] بتقديم فلتر ASCF ، بنيته موضحة بالشكل (3) ، وهو فلتر مطور لفلتر cuckoo لتحسين كفاءة المساحة وسرعة تنفيذ عمليات الإدراج والبحث والحذف مع الحفاظ على الأداء العالي. يستخدم ASCF عمليات الجمع والطرح (ADD / SUB) ، بدلاً من عملية XOR ، لحساب فهرسي بصمة العنصر. لا تعمل عمليات ADD / SUB بسرعة فحسب، بل لا تتطلب أيضاً أن يكون العدد الإجمالي للحاويات ضمن الفلتر مرفوعاً بالقوة اثنين. لذلك، بعد CF ، يحقق ASCF تكلفة مساحة أقل بالإضافة إلى سرعة التنفيذ.



الشكل (3) بنية الفلتر ASCF

يوضح الجدول (2) حجم البصمة المطلوب لتحقيق معدل إيجابي خاطئ مستهدف من قبل الفلتر ASCF بالمقارنة مع سابقاته من الفلاتر الأخرى، نلاحظ ان الفلتر ASCF

مشابه لفلتر CF Cuckoo filter من ناحية حجم البصمة المطلوبة لكل معدل إيجابي خاطئ ولكن هنالك بعض الفلاتر الأخرى والتي تتطلب حجم اقل للبصمة.

False Positive Rate	Fingerprint Size in Bits				
	dICBF	RCBF	CF	CQF	ASCF
$10^{-2}$	12	7	10	7	10
$10^{-3}$	15	10	13	10	13
$10^{-4}$	18	14	17	14	17
$10^{-5}$	22	17	20	17	20
$10^{-6}$	25	20	23	20	23

جدول (2) حجم البصمة ضمن ASCF بالمقارنة مع سابقاته من الفلاتر

يوضح الجدول (3) تكلفة المساحة ضمن فلتر ASCF بالمقارنة مع سابقاته من الفلاتر والذي يبين انخفاضها بشكل ملحوظ والسبب يعود في ذلك لاستخدام عمليات الجمع والطرح بدلا من عمليات الضرب والقسمة والتي تعمل على تحسين سرعة أداء الفلتر وتقدم كفاءة عالية في استخدام المساحة.

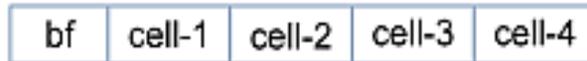
False Positive Rate	Bits Per Item						
	BF	CBF	dICBF	RCBF	CF	CQF	ASCF
$10^{-2}$	9.6	38.3	18.7	13.3	20.0	12.2	10.5
$10^{-3}$	14.4	57.4	22.7	16.3	26.0	16.2	13.7
$10^{-4}$	19.1	76.5	26.7	20.3	34.0	21.5	17.9
$10^{-5}$	23.9	95.7	32.0	23.3	40.0	25.5	21.1
$10^{-6}$	28.7	114.8	36.0	26.3	46.0	29.5	24.2

جدول (3) تكلفة المساحة ضمن ASCF بالمقارنة مع سابقاته من الفلاتر

**Cuckoo filter bloom filter (CFBF) 4-3**

تتميز فلاتر Cuckoo بدعمها لعمليات الحذف وإمكانية تهيئتها بحيث يكون لها معدل ايجابي خاطئ منخفض، ولكنها تعاني من ان عملية الادخال معقدة وقد تتطلب إزاحة العناصر الموجودة مسبقاً وخصوصاً في حالة الاشغال المرتفع.

لذلك ضمن الورقة البحثية [10] المقدمة من قبل الباحثين Pedro Reviriego و Jorge Martinez و Salvatore Pontarelli تم اقتراح الفلتر CFBF والذي عمل على دمج فلتر bloom مع فلتر cuckoo لتحسين قدرته على التعامل مع عمليات الادخال عن طريق إضافة بت إضافي لكل سطر ضمن الجدول بحيث يتكون الآن من أربعة خلايا لتخزين أربع بصمات وبت إضافي كم هو موضح بالشكل (4). وبالتالي يمكن إجراء عمليات الادخال التي تفشل في العثور على خلية فارغة ضمن فلتر cuckoo على فلتر bloom وبالتالي تقليل وقت الإدخال. أظهرت النتائج التجريبية ان التخفيضات على عمليات الادخال قد تصل الى عامل  $\times 10$  بينما يمكن تقليل متوسط الوقت بأكثر من  $\times 10$  في حالة الاشغال العالي، مع دعم إزالة العناصر المدرجة.



الشكل (4) بنية فلتر CFBF

#### 4- مواد وطرائق البحث

##### 4-1 البيانات البحثية

يمكننا استخدام العديد من مجموعات البيانات لتخزينها ضمن الفلاتر واختبارها، وهذه البيانات يمكن ان تكون أي بنية معطيات مثل السلاسل النصية او الاحرف او الأرقام او أي شيء اخر .

##### 4-2 الأسلوب البحثي

تم تطوير خوارزمية تعتمد على الجمع بين أفكار وتطويرات الخوارزميات السابقة وتقييم أدائها والتأكد من قدرتها على التفوق على الخوارزميات السابقة، حيث تم استخدام عدة مقاييس وهي:

#### 1. زمن ادخال العناصر Insertion Time

من اهم المقاييس التي تتم مراقبتها عند تطوير الخوارزمية ، حيث يعبر عن الزمن المستهلك من قبل الفلتر لإدخال وحفظ عنصر ضمن الفلتر ، تشمل عملية ادخال عنصر على حساب بصمته ومن ثم حساب دليليه وبعدها حفظ البصمة في حال توفر شاغر ضمن احد الدليلين ، في حالة الاشغال العالي قد يتم استهلاك المزيد من الوقت لذلك تم التركيز على هذا المقياس ومحاولة تخفيف زيادة الزمن المستهلك في اسوء الأحوال.

#### 2. الاحتمال الإيجابي الخاطئ False positive probability

كما نعلم ان الفلاتر هي هياكل بيانات عالية السرعة وموفرة للمساحة تدعم اختبارات عضوية عنصر ضمن المجموعة مع وجود سلبية واحدة، حيث يمكن ان تدعي هذه

الفلاتر ان عناصرها ما غير موجود تماما في المجموعة او انه قد يكون موجود. أي ان الاستجابات السلبية حاسمة في حين ان الاستجابات الإيجابية قد تتطوي على احتمال إيجابي خاطئ صغير FPP

العديد من الدراسات السابقة اشارت الى انه عند تحديد قيم مختلفة لحجم بصمة العناصر المدخلة فانه يجب ان يتحقق معدل إيجابي خاطئ ضمن حدود معينة مثلا:

- عند تحديد حجم البصمة ب 4 بايت فان قيمة المعدل الإيجابي الخاطئ يجب ان تكون اقل من 0.002.
- اما عند تحديد حجم البصمة ب 2 بايت فان قيمة المعدل الإيجابي الخاطئ ستكون اعلى من 0.002 بسبب زيادة نسبة التطابق بين بصمات العناصر نتيجة صغر حجم البصمة.

##### 5- خوارزمية الفلتر المقترحة للدراسة

الخوارزمية المقترحة تهدف لتحسين سرعة ادخال العناصر الى الفلتر حيث تم العمل على دمج خوارزمية Additive and subtractive cuckoo filter مع خوارزمية cuckoo filter bloom filter.

الشكل (5) يوضح بنية الفلتر المقترح حيث نلاحظ إضافة عامود للجدول مكون من بت 1 والذي يمثل فلتر Bloom، اما بقية الجدول يمثل فلتر Cuckoo.

الخوارزمية الأولى تعمل على استبدال عمليات الضرب والقسمة بعمليات الجمع والطرح والذي من شأنه تقليل زمن عمل البرنامج ككل بينما الخوارزمية الثانية عملت على دمج فلتر bloom مع فلتر cuckoo مع تحديد عتبة T هذه العتبة تفصل بين عملية الادخال على الفلترين ففي البداية تتم عملية الادخال على فلتر cuckoo بشكل طبيعي ولكن عند

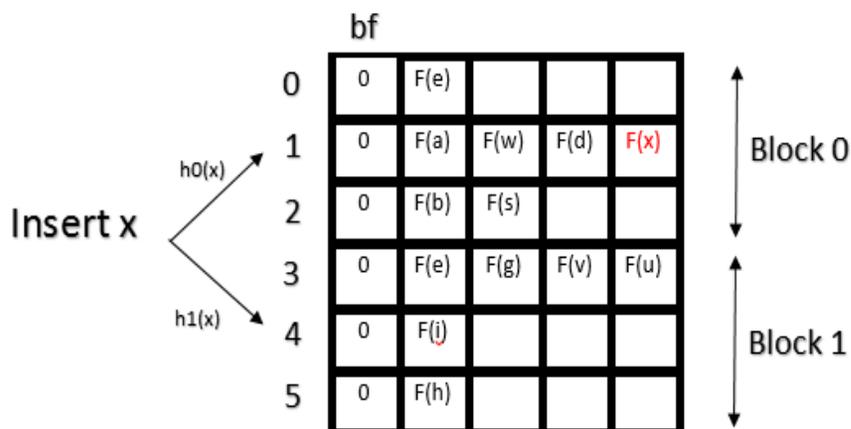
الوصول لقيمة العتبة فان العملية تتحول لاستخدام فلتر bloom للمساعدة بعملية الادخال وبالتالي تقليل الوقت المستهلك.

### 5-1 بنية الخوارزمية المقترحة

تتكون الخوارزمية من ثلاث مراحل وهي: (1) الادخال. (2) البحث (3) حذف عنصر. وتحتاج إلى ثلاث أشياء: حساب بصمة العنصر، حساب تجزئة العنصر hashing، ومن ثم حساب الدليلين لتخزين البصمة او البحث عنها او حذفها.

هنالك مجموعة من البارامترات التي يجب مراعاتها في معمارية الخوارزمية المقترحة:

1. **حجم الفلتر filter size**: يمثل عدد العناصر التي يمكن ان يحتويها الفلتر.
2. **حجم البايت packet size**: يحتوي البايت على بصمة العنصر وبالتالي فهو مطابق لحجمها.
3. **حجم البصمة finger size** : يتم تحديد حجم البصمة بعدد محدد من البتات كلما زاد حجم البصمة فان قيمة المعدل الإيجابي الخاطئ ستخف.
4. **عدد الاسطر ضمن الفلتر number of entry's**: وهوي يمثل طول الفلتر او عدد الاسطر ضمنه
5. **قيمة العتبة T**: العتبة التي سيتم فيمن بعدها اشراك فلتر bloom بعملية الادخال بعد عدد من محاولات الادخال على الفلتر الاساسي



الشكل (5) بنية الفلتر المقترح

## 2-5 الترميز الزائف للخوارزمية

Pseudo Code of Algorithm	
<b>Input:</b>	<p><b>capacity</b> : size of filter</p> <p><b>bucket_size</b> : nr. of entries a bucket can hold</p> <p><b>max_kicks</b> : nr. of times entries are kicked around before deciding the filter is full</p> <p><b>total_items</b> : nr. Of items for insertion</p> <p><b>fingerprint_size</b>: size of the fingerprint in bytes</p> <p><b>size</b> : nr. Of inserted items</p> <p><b>buckets[capacity]</b> : array of the filter cuckoo</p> <p><b>bf[capacity]</b> : array of the bloom filter</p>
<b>Output:</b>	Filter is full or the index where the item has been inserted in
<b>Insert an element</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1: Compute <math>f</math> , <math>g0(x)</math> , <math>g1(f)</math> // fingerprint and hashes</li> <li>2: Compute <math>h0</math> , <math>h1</math> // compute indexes</li> <li>3: Set <math>i = 1</math></li> <li>4: Access buckets <math>h0</math> , <math>h1</math></li> <li>5: if Empty cells then</li> <li>6: Select one empty cell randomly and insert <math>f</math> there</li> </ol>

```

7:      return success
8: end if
9: if (i > t) and both bf bits of h0 , h1 are zero then
10:     Set both bf bits to one
11:     return success
12: end if
13: h = randomly select a bucket from h0 and h1;
14: f2 = the fingerprint for h;
15: Remove f2 and place f on its place
16: if h >= m/2 then {
17:     h2 = (h - H(f2)) mod m/2; }
18: else {
19:     h2 = (h + H(f2)) mod m/2 + m/2; }
20: for i ← 2 to t do
21:     Access bucket h2
22:     if Empty cell then
23:         Insert f2 there
24:         return success
25:     end if
26:     h = randomly select a bucket from h and h2;
27:     f3 = the fingerprint for h;
28:     Remove f3 and place f2 on its place
29:     if h >= m/2 then {
30:         h2 = (h - H(f3)) mod m/2; }
31:     else {
32:         h2 = (h + H(f3)) mod m/2 + m/2; }
33: end for
34: for i ← t + 1 to maxiter do
35:     Access bucket h2
36:     if Empty cell then
37:         Insert f2 there
38:         return success
39:     end if
40:     if both bf bits of h,h2 are zero then
41:         Set both bf bits to one
42:         return success

```

	<pre>43: end if 44: h = randomly select a bucket from h and h2; 45: f3 = the fingerprint for h; 46: Remove f3 and place f2 on its place 47: if h &gt;= m/2 then { 48:     h2 = (h - H(f3)) mod m/2; } 49: else { 50:     h2 = (h + H(f3)) mod m/2 + m/2; } 51: end for 52: return fail</pre>
<b>Lookup</b>	<pre>1: Compute f , g0(x) , g1(f) // fingerprint and hashes 2: Compute h0 , h1 // compute indexes 3: Access buckets h0,h1 4: if f found then 5:     return success 6: end if 7: if both bf bits of a1,a2 are one then 8:     return success 9: end if 10: return fail</pre>
<b>Delete</b>	<pre>1: Compute f , g0(x) , g1(f) // fingerprint and hashes 2: Compute h0 , h1 // compute indexes 3: Access buckets h0,h1 4: if f found then 5:     Remove f 6:     return success 7: end if 8: if both bf bits of a1,a2 are one then 9:     Set both bf bits to zero 10:    return success 11: end if 12: return fail</pre>

## 6- النتائج ومناقشتها

### 6-1 بناء النموذج المقترح

تمَّ بناء التطبيق باستخدام لغة بايثون Python وبالاعتماد على مجموعة من المكاتب البرمجية وأهمها:

- Mmh3: وهي مجموعة من وظائف التجزئة الغير مشفرة السريعة والقوية التي تم اختراعها من قبل Austin Appleby، بالمقارنة مع التقنيات الاحتمالية مثل فلتر bloom و Minhash وغيرها فان mmh3 يتيح تطوير أنظمة عالية الأداء في مجالات مختلفة مثل التنقيب عن البيانات والتعلم الآلي ومعالجة اللغات الطبيعية.
- Random : وهي مكتبة مضمنة ضمن لغة python تستخدم لتوليد ارقام شبه عشوائية. تستخدم هذه المكتبة لتوليد ارقام عشوائية او طباعة قيم عشوائية لقائمة او مصفوفة، تم استخدامها ضمن الفلتر الجديد لتحديد أحد الدليلين لتخزين بصمة العنصر بشكل عشوائي.

### 6-1-1 تطبيق الخوارزمية المقترحة

تم تطبيق الخوارزمية المقترحة ضمن نظام Light Ubuntu وتنقسم مراحل العمل الى:

- 1) تم اختيار العناصر المدخلة على انها مجموعة من الأرقام لاختبار الفلتر الجديد، نختار بشكل تجريبي عدد هذه الاعداد بدءاً من 500,000 ثم 1,000,000 ثم 2,000,000.

(2) اختيار حجم الباكيث وهو مطابق لحجم البصمة التي سيتم تخزينها ضمنه،

العديد من الدراسات السابقة اشارت الى استخدام القيمة الافتراضية 4 بايت لحجم

البصمة وبالتالي الحصول على معدل إيجابي خاطئ اقل من 0.002.

(3) اختيار قيمة العتبة T، نختار بشكل تجريبي قيمة العتبة 5 ثم 10 ثم 15 ثم 20

لتحديد القيمة المثلى لها.

## 2-6 تقييم أداء الخوارزمية

لتقييم أداء الخوارزمية المقترحة ومعرفة التحسن في السرعة والأداء تم تثبيت مكتبة

snakeviz ضمن بيئة Linux والتي تعطي شرحا مفصلا عن الزمن المستهلك بالبرنامج

ككل بالإضافة للزمن المستهلك من قبل كل دالة ضمنه.

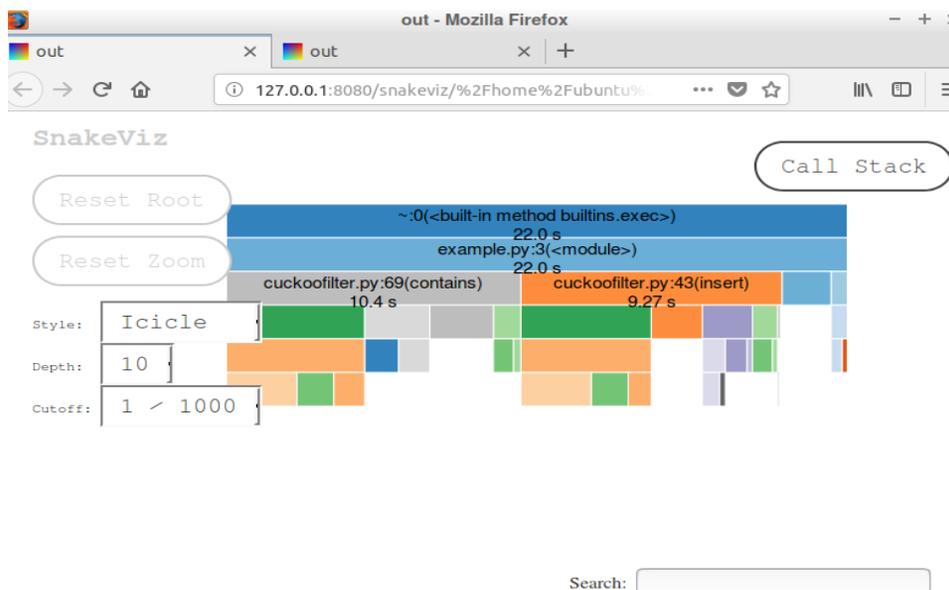
## 1-2-6 زمن ادخال العناصر insertion time

عند اختيار عدد العناصر المدخلة 500.000 وحجم البصمة 4 بايت وقيمة العتبة 5

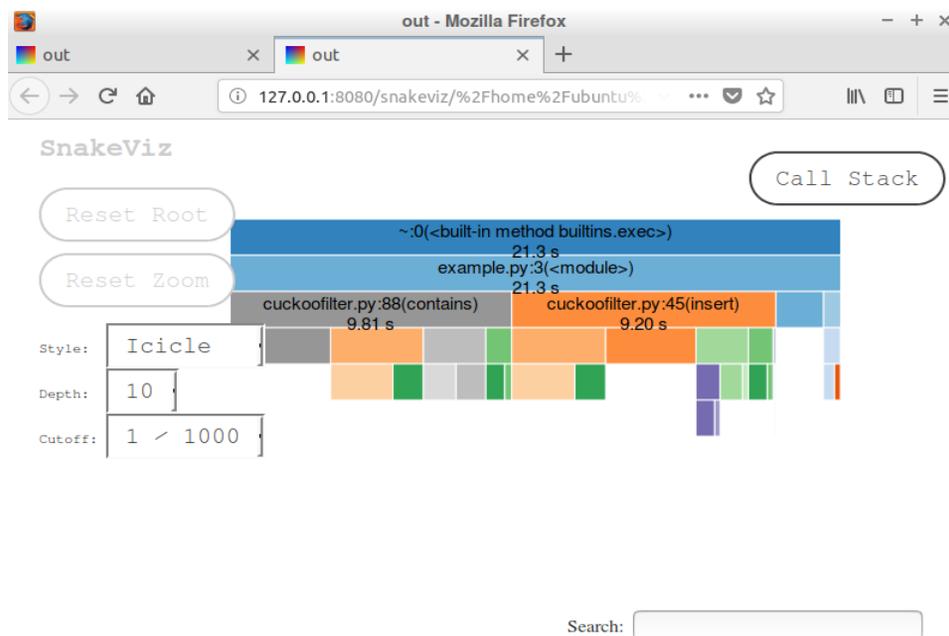
فان الشكلين التاليين يوضحان الفرق بزمن التنفيذ بين الخوارزمية الأساسية cuckoo

filter والخوارزمية المقترحة

## دراسة تحليلية لتقنيات تخزين البيانات ضمن الذاكرة في البيئات الموزعة

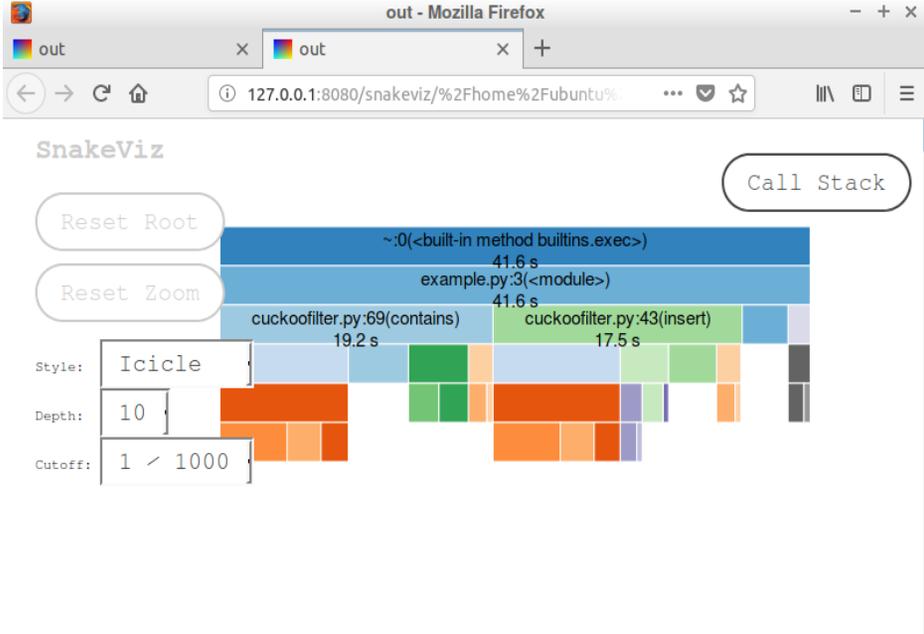


الشكل (6) زمن الادخال (22.0) ثانية على الفلتر القديم

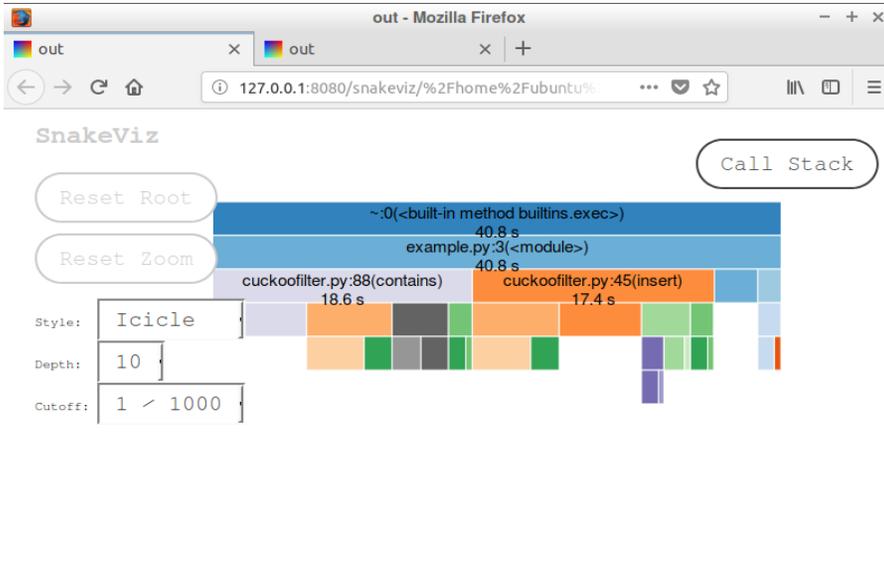


الشكل (7) زمن الادخال (21.3) ثانية على الفلتر المقترح

اما عند اختيار عدد العناصر 1.000.000 وحجم البصمة 4 بايت وقيمة العتبة 5 فان الفرق بالتنفيذ يظهره الشكلين التاليين

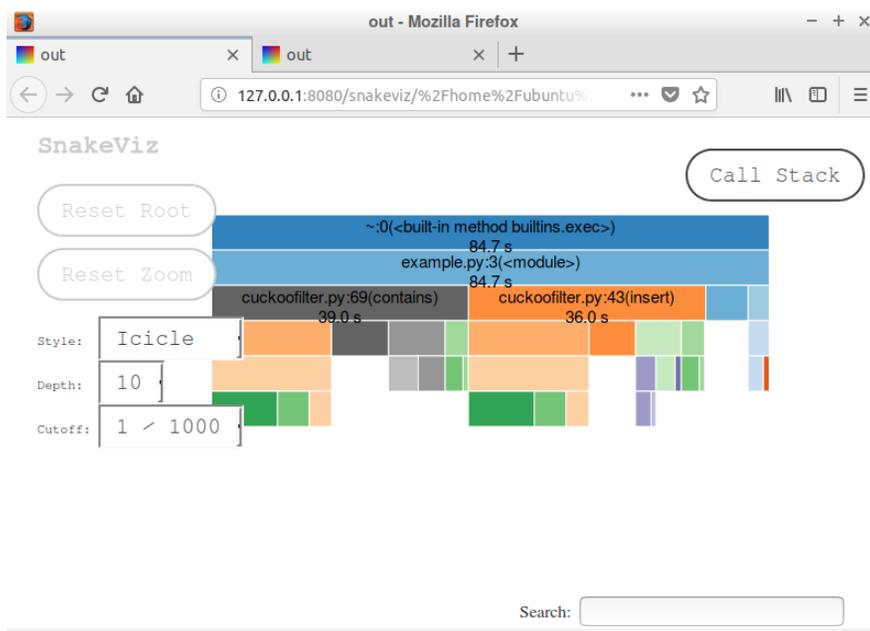


الشكل (8) زمن الادخال (41.6) ثانية على الفلتر القديم

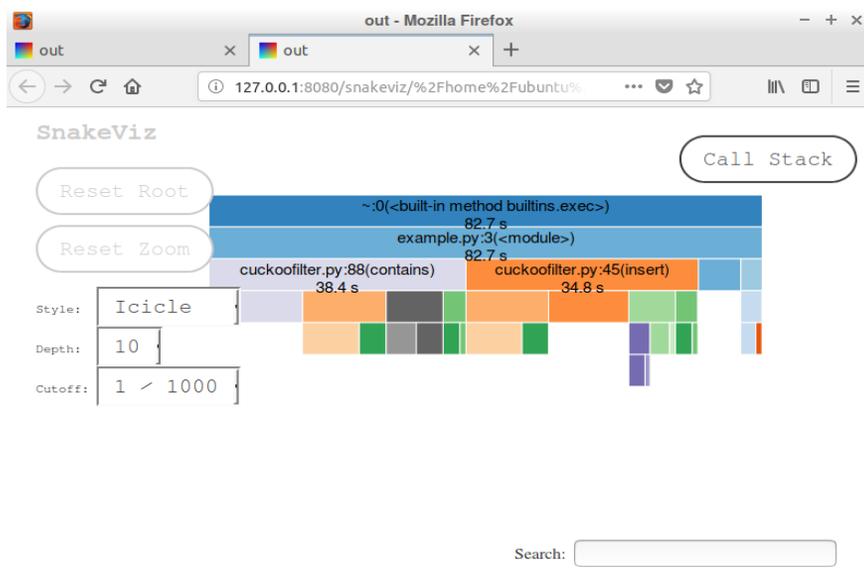


الشكل (9) زمن الادخال (40.8) ثانية على الفلتر المقترح

اما عند اختيار عدد العناصر 2.000.000 وحجم البصمة 4 بايت وقيمة العتبة 5 فان الفرق بالتنفيذ يظهره الشكلين التاليين



الشكل (10) زمن الادخال (84.7) ثانية على الفلتر القديم



الشكل (11) زمن الادخال (82.7) ثانية على الفلتر القترح

نلاحظ من الاشكال السابقة والمقارنة فيما بينها تحسنا في زمن ادخال العناصر وبالتالي  
تفوق الفلتر المقترح بأدائه وسرعته

### 2-2-6 الاحتمال الإيجابي الخاطئ False positive probability

كما ذكرنا سابقا عند اختيار حجم البصمة ب 4 بايت فان الاحتمال الإيجابي الخاطئ  
يجب ان يكون اقل من 0.002 بينما إذا تم اختيار حجم البصمة ب 2 بايت فان  
الاحتمال الإيجابي الخاطئ سيكون اعلى من 0.002

تظهر التجارب تحقق الشرط السابق على الفلتر المقترح كمثل على ذلك الشكل التالي:

4 byte

```
ubuntu@ubuntu:~/local/lib/python3.6/site-packages/cuckoofilter$ python3 -  
m cProfile -o out.profile example.py  
False positive rate is 0.000000%  
ubuntu@ubuntu:~/local/lib/python3.6/site-packages/cuckoofilter$ python3 -  
m cProfile -o out.profile example.py  
False positive rate is 0.004000%  
ubuntu@ubuntu:~/local/lib/python3.6/site-packages/cuckoofilter$
```

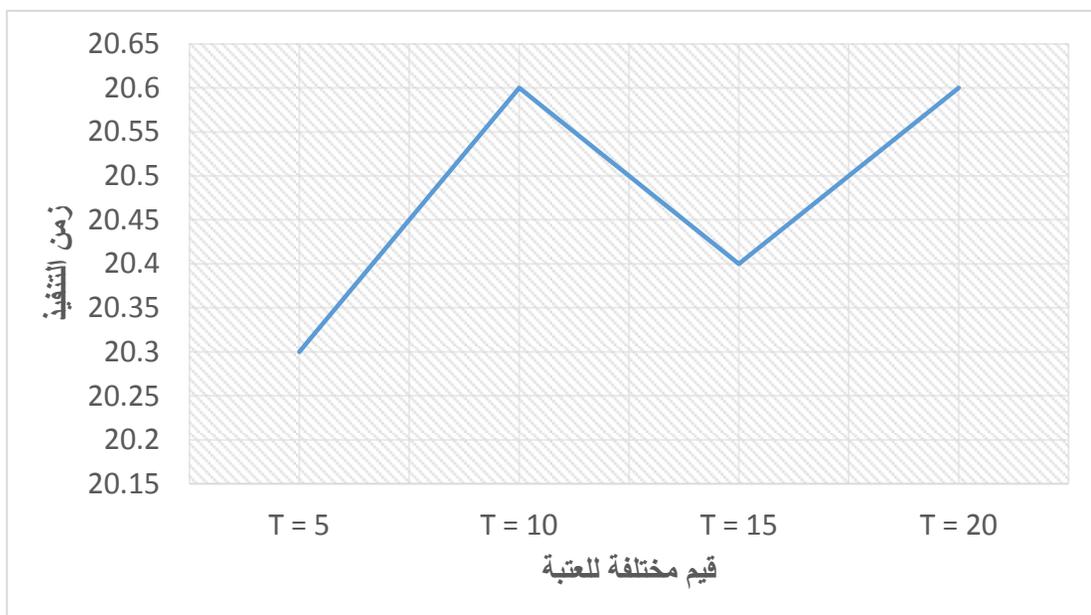
2 byte

الشكل (12) الاحتمال الإيجابي الخاطئ عند قيم مختلفة لحجم البصمة

### 6-2-3 قيمة العتبة T

قيمة العتبة T تمثل نقطة تحول ضمن الكود فيما بعدها يتم استخدام فلتر bloom المدمج ضمن بنية الفلتر في حال فشل الفلتر بإدخال العنصر بعد عدد من المحاولات التي تمثلها العتبة، الورقة البحثية CFBB اشارت لاستخدام القيمة 5 بعد دراسة القيم 5 , 10 , 15 , 20 والتي أظهرت افضل أداء للخوارزمية.

وبالتالي يجب دراسة قيمتها أيضا على الفلتر المقترح لتحديد أفضل قيمة لها، يوضح الشكل التالي (13) الزمن المستهلك من قبل الفلتر المقترح بعد تحديد عدد العناصر 1.000.000 وحجم البصمة 4 بايت ولكن مع تغير قيمة العتبة:



الشكل (13) زمن تنفيذ الفلتر عند قيمة مختلفة للعتبة

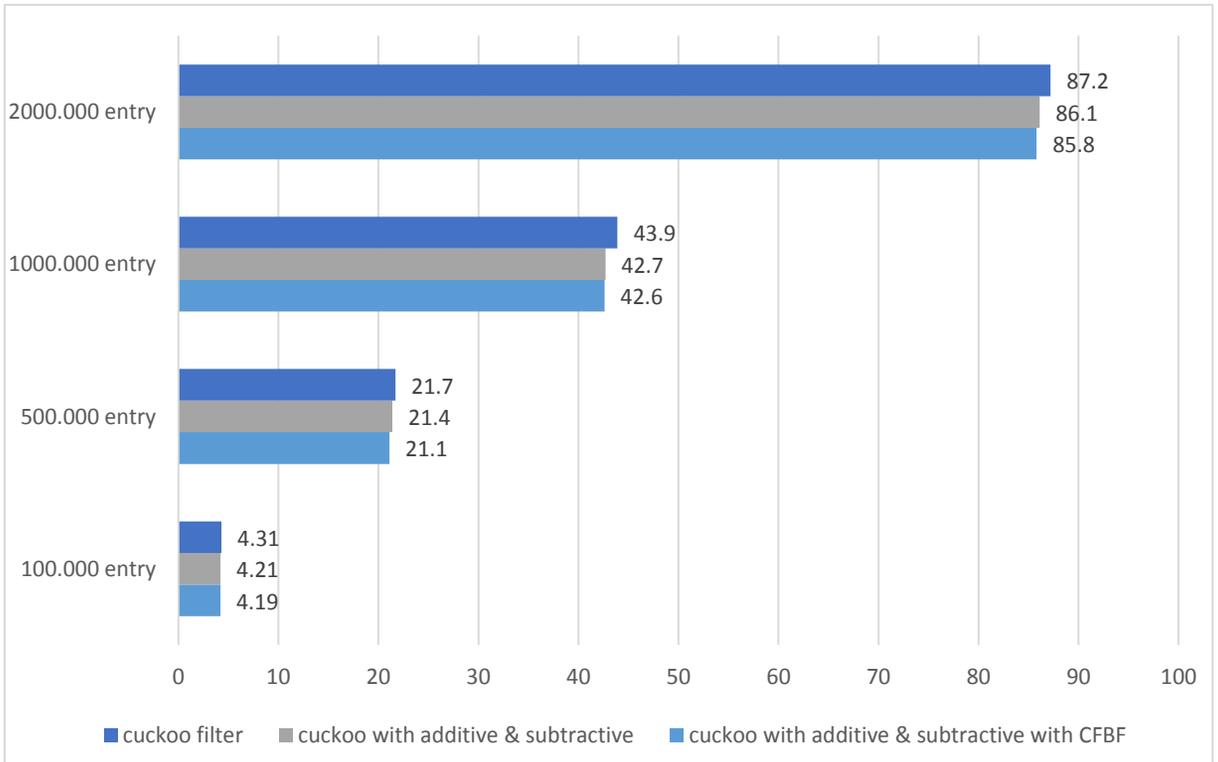
نلاحظ ان قيمة العتبة 5 تعطي أفضل أداء للفلتر المقترح وبالتالي يمكن اعتمادها بناء على ذلك.

### 3-6 مقارنة النتائج

يجب للوقوف على أداء الخوارزمية بشكل أكبر مقارنتها مع خوارزميات أخرى في نفس مجالها واستخدامها، وبالتالي يمكن مقارنة الفلتر المقترح مع سابقاته مثل Cuckoo filter و additive and subtractive Cuckoo filter (ASCF).

قمنا بكتابة الكود البرمجي للخوارزمية الثانية ASCF ومن ثم القيام بالتجارب عليه وعلى الفلتر Cuckoo filter ومن ثم مقارنتها مع الفلتر المقترح.

نستعرض من خلال الرسم البياني التالي مقارنة بين هذه الفلاتر والتي توضح الفرق في زمن تنفيذ لكل منها



الشكل (14) مقارنة زمن التنفيذ بين الفلتر المقترح وسابقاته من الفلاتر

يوضح الرسم البياني (14) السابق زمن تنفيذ كل فلتر على حدى ومقارنته مع الفلاتر الأخرى، فعندما تكون عدد العناصر المدخلة 100.000 فان الفلتر المقترح يستهلك زمنا اقل من البقية، وجميع الاختبارات التالية عند عدد العناصر 500.000 و 1000.000 و 2000.000 فانه أيضا يظهر اداء أفضل.

## 7-الخاتمة والاستنتاجات والتوصيات

تحتاج الشركات اليوم إلى معلومات في الوقت الفعلي -عبارة أخرى، تحتاج إلى معرفة ما يحدث الآن، وليس ما حدث بالأمس أو حتى قبل بضع دقائق. تتوقع الشركات أن تقوم أنظمة الكمبيوتر الخاصة بها أن تفعل ذلك بشكل أسرع من الأنظمة القديمة حتى تتمكن من مواكبة عالم سريع التغير. تعد قاعدة البيانات الموجودة في الذاكرة هي الإجابة الواضحة، ولكن حتى وقت قريب، كانت الذاكرة باهظة الثمن ولم يتم إنشاء أنظمة الكمبيوتر للتعامل بكفاءة مع الكمية الكبيرة من الذاكرة المطلوبة. الآن، كل ذلك تغير. يمكن لقواعد البيانات الحديثة توفير السرعة والاستجابة التي يحتاجها مستخدمو الأعمال اليوم. تتطلب البرامج المكتوبة لبيانات الذاكرة عددًا أقل من الإرشادات التي يتم تنفيذها بسرعة أكبر. تقدم استعلامات المعلومات دون التأخيرات الشائعة في أنظمة قواعد البيانات التقليدية.

تم في هذا البحث تقديم أساليب متطورة تساعد الشركات على اتخاذ القرار بناء على معلومات محدثة باستمرار وبأسرع وقت ممكن حيث قدمت هذه الدراسة خوارزمية جديدة ساعدت على حفظ المعلومات وفهرستها بالإضافة الى الاستعلام عنها بأقل التكاليف الزمنية متفوقة بذلك على الخوارزميات المطلقة مؤخرا استنادا الى العديد من التجارب العملية التي اثبتت ذلك.

وبناء على النتائج التي تم التوصل إليها يمكن أن نقدم بعض التوصيات:

- تطوير الخوارزمية عن طريق المزيد من الإضافات والتحسينات على الفلاتر والتي ستوفر المزيد من الحاجة الى استخدامها مع مرور الوقت
- بنية الخوارزمية كما ذكرنا سابقا سريعة وفعالة ومناسبة تماما لمتطلبات الشبكات والأنظمة الموزعة وغيرها وبالتالي إمكانية تطبيقها في جميع المجالات وتعديلها حسب بيانات كل شركة
- تطبيق الخوارزمية على قواعد بيانات الشركات والمؤسسات السورية.

## المراجع

1. A Study of Index Structures for Main Memory Database Management Systems. Michael J. Carey, Tobin J. Lehman. January 1985.
2. TicToc: Time Traveling Optimistic Concurrency Control. Xiangyao Yu, Andrew Pavlo, Daniel Sanchez, Srinivas Devadas. 26 June 2016
3. Cicada: Dependably Fast Multi-Core In-Memory Transactions. Hyeontaek Lim, Michael Kaminsky, David G. Andersen. 09 May 2017.
4. Reasoning about Two-Phase Locking. David Harver Pollak. June 19, 2017.
5. Recovery In Main Memory Databases. Le Gruenwald, Margaret H: Dunhamy, Jing Huang Jun-Lin Liny, Ashley Chan Peltiery.
6. Space/time trade-offs in hash coding with allowable errors. Communications of the ACM, 13(7):422-426, 1970.
7. L. Fan, P. Cao, J. Almeida, and A. Z. Broder. Summary cache: A scalable wide-area Web cache sharing protocol. In Proc. ACM SIGCOMM, Vancouver, BC, Canada, Sept. 1998.
8. Cuckoo Filter: Practically Better Than Bloom, Bin Fan, David G. Andersen, Michael Kaminsky, Michael D. Mitzenmacher. 02 December 2014.

9. Additive and Subtractive Cuckoo Filters , Kun Huang, Tong Yang. 06 October 2020
- 10.CFBF: Reducing the Insertion Time of Cuckoo Filters with an Integrated Bloom Filter. Pedro Reviriego, Jorge Mart'inez, Salvatore Pontarelli. July 2019.
- 11.Kirsch, M. Mitzenmacher, and U. Wieder "More robust hashing: cuckoo hashing with a stash," SIAM J. Comput., 39:15431561, 2009.
- 12.R. Pagh and F. Rodler "Cuckoo hashing," Journal of Algorithms, pp. 122–144, 2004.
- 13.D. Breslow and N. S. Jayasena, "Morton filters: faster, space-efficient cuckoo filters via biasing, compression, and decoupled logical sparsity," in Proc. VLDB 11, pp. 1041–1055, 2018.
- 14.J. Cui, J. Zhang, H. Zhong and Y. Xu, "SPACF: A secure privacy-preserving authentication scheme for VANET with cuckoo filter," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 66, no. 11, pp. 10283–10295, Nov. 2017.
- 15.J. Grashofer, F. Jacob and H. Hartenstein, "Towards application of cuckoo filters in network security monitoring," in Proc. 14th International Conference in Network and Service Management (CNSM), pp. 373–377, 2018.

16. Broder and M. Mitzenmacher, "Network applications of Bloom filters: a survey," Internet Mathematics, vol. 1 no. 4, pp. 485–509, 2004
17. H. Song, S. Dharmapurikar, J. Turner, and J. Lockwood. Fast hash table lookup using extended bloom filter: an aid to network processing. In ACM SIGCOMM, 2005.
18. Y. Qiao, T. Li, and S. Chen. One memory access bloom filters and their generalization. In IEEE INFOCOM, 2011.
19. M. Bender, M. Farach-Colton, R. Johnson, R. Kraner, B. Kuzmaul, D. Medjedovic, P. Montes, P. Shetty, R. Spillane, and E. Zadok. Don't thrash: how to cache your hash on flash. In PVLDB, 2012.
20. N. Hua, H. Zhao, B. Lin, and J. Xu. Rank-indexed hashing: a compact construction of bloom filters and variants. In IEEE ICNP, 2008.

# تحليل وتقييم أداء دائرة جامع Carry Select Adder متسامح العطل لبِت واحد مصنعة وفق تقنية Static CMOS وتقنية GDI.

إعداد: المهندسة علا سعد الله جوهرة  
باحثة- كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات-جامعة طرطوس

## ملخص

مع التطور الكبير في الأنظمة الإلكترونية الحديثة، توجب على المصممين مراعاة الأعطال الممكن حدوثها ضمن هذه الدارات. وبما أن الجامع Carry Select Adder (CSeA) يعد من أسرع أنواع الجوامع فسيتناول هذا البحث تصميم دائرة جامع Carry Select Adder لبِت واحد (1bit CSeA) متسامح العطل. يستطيع هذا التصميم إصلاح الأعطال المفردة والمزدوجة دون مقاطعة عمل النظام. كذلك تمت مقارنة أداء دائرة الجامع بالاعتماد على تقنيتين مختلفتين: تقنية Static CMOS وتقنية Gate Diffusion Input (GDI). عملية المقارنة تمت بعد رسم الخريطة الفيزيائية Layout للدائرتين بالاعتماد على عدة تقنيات لتكنولوجيا تصنيع الدارات الإلكترونية وهي: CMOS 0.90nm ، CMOS 0.45nm ، CMOS 0.32nm و CMOS 0.22nm. تمت مقارنة مساحة الرقاقة والطاقة المستهلكة لكل تقنية، وذلك من خلال برنامج DSCH3.5 من اجل محاكاة الدارة على مستوى الترانزستور وبرنامج MICROWIND 3.5 من اجل رسم ومحاكاة الخريطة الفيزيائية Layout.

كلمات مفتاحية: جامع CSeA ، تقنية Static CMOS ، تقنية GDI ، برنامج DSCH3.5 ، برنامج MICROWIND 3.5.

# Analysis and performance evaluation of 1-bit Carry Select Adder circuit based on static-CMOS and GDI technology.

## Abstract

In the advanced microelectronics, designers had to take into account possible errors within these circuits . And since the Carry Select Adder (CSeA) is one of the fastest adder. This paper focuses on the design 1BIT fault tolerant Carry select adder (CSeA). This design can repair single and double faults without interrupting the system's work. The Performance evaluation of 1-bit CSeA was done using tow different topologies as Static Conventional CMOS and Gate Diffusion Input (GDI). The comparison of these tow topologies of 1-bit CSeA was done after drawing the the layout of the tow different topologies using several technology models: CMOS 0.90nm, CMOS 0.45nm, CMOS 0.32nm and CMOS 0.22nm. The power consumption and the area were compared with the DSCH3.5 program for transistor level simulation and MICROWIND 3.5 for drawing and simulation of the layout.

## Keywords:

CSLA adder, Static CMOS Technology, GDI Technology, DSCH3.5, MICROWIND 3.5.

## 1. مقدمة

مع ظهور الأنظمة الرقمية الكبيرة جداً (Very Large Scale Integration) VLSI و التي تمتاز بدرجة كثافة عالية (عدد كبير جداً من الترانزستورات ضمن رقاقة صغيرة)، فإن احتمال حدوث الأعطال الفيزيائية (faults) من النوع Stuck at 1 و Stuck at 0 (و التي تنتج عن دارات قصر ما بين أحد الاسلاك في الدارة و أحد منابع التغذية Vdd أو Gnd ) تزداد بشكل كبير مسببة في أغلب الأحيان ظهور الأعطال (errors) في بعض أجزاء النظام و التي بدورها قد تؤدي الى فشل عمل النظام. [1-2]

التسامح مع العطل هو قدرة النظام على أداء وظائفه حتى في حال وجود عطل، ويرتبط هذا بمفهوم الوثوقية والتشغيل الناجح للنظام. التسامح مع العطل ضروري لأنه من المستحيل عملياً بناء نظام مثالي، لذلك تعد عملية تصحيح الأعطال التي تحدث في الانظمة و التطبيقات الحديثة والتي من الصعب أن تتدخل اليد البشرية فيها أثناء عملها جزء أساسي و مهم عند تصميم أي نظام.

تعد دارات الجامع من أهم المكونات في معظم الدارات الرقمية و دارات الحساب المعقدة مثل المعالجات الدقيقة أو معالجات الإشارات الرقمية أو معالجات الصور الرقمية، ووحدة الفاصلة العائمة وذاكرة التخزين المؤقت ووحدة الوصول إلى الذاكرة. كما أنها تعد الدارة الأكثر أهمية عند تصميم وحدة المعالجة المركزية فهي تعتبر بمثابة حجر الأساس في وحدة الحساب والمنطق ALU وهي المسؤولة عن عمليات الجمع والطرح والضرب والقسمة. [3-4]

يمكن استخدام تقنيات مختلفة خارجياً أو داخلياً لتحسين الأداء العام لأي نظام . تتضمن التقنيات الخارجية التعامل مع خصائص بيانات الإدخال بينما تهتم التقنيات الداخلية بتصميم الدارة.[5-9]

على الرغم من أن Static CMOS Logic كان منهج التصميم الأكثر شعبية على مدار العقود الثلاثة الماضية، فقد بذلت العديد من المحاولات لاقتراح بديل أفضل لتحقيق استهلاك أقل للطاقة، ومساحة أصغر وأداء أفضل. من هذه الحلول تم تطبيق تقنية تصميم منخفضة الطاقة تدعى تقنية (GDI) Gate Diffusion Input- حيث تسمح هذه التقنية بتقليل استهلاك الطاقة وتأخير الانتشار ومساحة الرقاقة. اهتم الباحثون بتصميم دارات الجامع الكامل وفق تقنية الـ GDI معتمدين على استخدام بوابات XNOR و دارة ناخب MUX [10-12] ، وقد استطاعت هذه الدراسات الوصول الى الغاية المطلوبة من حيث العدد المنخفض من الترانزستورات والاستهلاك المنخفض للطاقة والمساحة الاصغرية وقيمة تأخير منخفضة.

بناءً على ذلك، تم اقتراح العديد من دارات الجامع (CSeA) المتسامحة العطل و التي تراعي شروط التصميم VLSI مثل استهلاك الطاقة والتأخير والمساحة.

قدم الباحثون في [13] نموذجاً لتصميم جامع (CSeA)متسامح العطل قادر على كشف الاعطال المفردة فقط ولكنه غير قادر على تحديد موقع العطل وكذلك يعاني من مشكلة انتشار العطل عبر الحمل.

قدم الباحثون في [14] نموذجاً لتصميم جامع (CSeA)متسامح العطل قادر على تحديد موقع العطل بالتالي يمكننا استبدال الوحدة المعيبة فقط ، على الرغم من أنه يحتاج مساحة أقل من التصميم السابق و يحتاج تكلفة مادية أقل لكنه ايضا غير قادر على كشف الأعطال المزدوجة.

قام الباحثون في [15] بتصميم نموذج لجامع (CSeA) متسامح العطل قادر على اكتشاف الاعطال واصلاحها ضمن وحدة الجامع الكامل فقط حيث اعتمد الباحثون على مفهوم التصحيح المشترك للأعطال لكل من الحمل والجمع وبالتالي هذا التصميم غير قادر على اكتشاف الاعطال المزدوجة وكذلك غير قادر على اكتشاف الأعطال التي تحدث خارج وحدة الجامع الكامل.

وفي العالم 2021 أيضاً قدم الباحث M. Valinataj [16] تصميماً محسناً للتصميم المقترح في [15]، تمكّن هذا التصميم من تحقيق خاصية الاختبار الذاتي من خلال الاختبار الذاتي لبوابتي AND,NOT بالإضافة لوحدة الجامع الكامل إلا أنه لم يتحكم بدخل الـ MUX,XOR ليشير إلى العطل في حال حدوثه، وكذلك لم يتمكن من تصحيح العطل، وهو غير قادر على اكتشاف العطل عند حدوث عطل مزدوج، بالإضافة لذلك فهو يتطلب زيادة في المكونات المادية مما ينعكس زيادة في المساحة وعدد الترانزستورات.

### هدف البحث

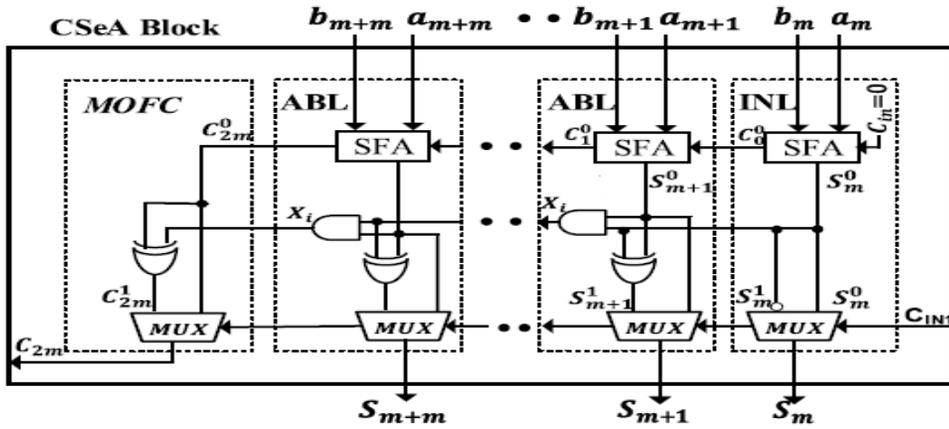
سنقوم في هذا البحث بتصميم دائرة جامع (CSeA) متسامحة العطل وقادرة على الاصلاح بالاعتماد على تقنيتين مختلفتين هما : تقنية Static or Conventional CMOS وتقنية Gate Diffusion Input (GDI). ثم سنقوم برسم الخريطة لفيزيائية Layout للدائرتين بالاعتماد على عدة تقنيات لتكنولوجيا تصنيع الدارات الالكترونية وهي: CMOS 0.90nm ، CMOS 0.45nm ، CMOS 0.32nm و CMOS 0.22nm وسنقوم بمقارنة مساحة الرقاقة والطاقة المستهلكة لكل تقنية.

### 3-1 البنية التقليدية لجامع CSeA:

يتكون جامع CSeA من كتلتين أساسيتين هما الكتلة الاولى (INL) Initial Block وكتلة الجامع (ABL) Adder Block ، كما هو موضح في الشكل (1) والسبب لوجود كتلتين لإنشاء CSeA يعود إلى المبدأ الأساسي المستخدم لإنشاء CSeA معتمدا على جامع Ripple carry adder (RCA) فردي والذي ينص على :

باستثناء البتات الأقل اهمية والتي ستكون دائما متممة لبعضها، فإن بتات المجموع المحسوبة للقيمة المتممة لـ  $C_{in}$  الابتدائية ستكون دائما متممة لبعضها اذا كانت جميع البتات الأقل اهمية تساوي 1 .

تستخدم الكتلة الاولى INL لتوليد بتات المجموع الأقل اهمية عندما  $C_{in}=0$ ، أما بتات المجموع الباقية يتم توليدها باستخدام كتلة الجامع (ABL) حيث تستخدم بوابة ال AND لتميرير حالة بتات المجموع للحالة السابقة المحسوبة عندما  $C_{in}=0$ ، وأما بوابة ال XOR تستخدم لتوليد بتات المجموع عندما  $C_{in}=1$  من خلال النظر في حالة بتات المجموع السابقة. المجموع والحمل الجزئي المتولد يشار اليه بـ  $S_i^j$  و  $C_i^j$  على التوالي حيث الـ  $Z$  تشير الى قيمة الـ  $C_{in}$  و الـ  $i$  تشير الى رتبة البت، أما الـ  $C_{out}$  النهائي فيتم توليده باستخدام الوحدة (MOFC).

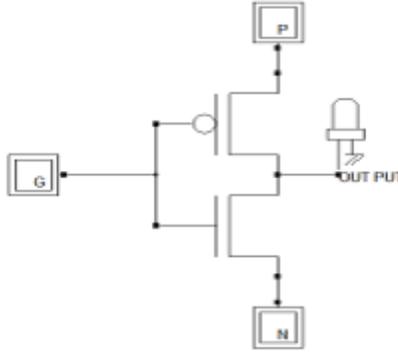


الشكل (1): البنية التقليدية لجامع CSeA [17]

### 2-3 تقنية GDI:

انتشرت في الآونة الأخيرة تقنية (GDI) - Gat Diffusion Input بشكل كبير في عالم تصميم الالكترونيات الرقمية، حيث لجأ معظم مصممين الدارات الرقمية الى هذه التقنية وذلك لبساطتها وقدرتها على الحد من استهلاك الطاقة بسبب قلة عدد الترانزستور اللازمة لتصميم الدارة الرقمية.

تعتمد تقنية GDI على استخدام خلية بسيطة مكونة من ترانزستورين نوع NMOS و PMOS مع أربع نهايات هي: G مدخل البوابة المشتركة للترانزستورات NMOS و PMOS، P مدخل الترانزستور (PMOS)، N مدخل الترانزستور NMOS و OUTPUT وهو مخرج مشترك للترانزستورين. الشكل (2) يبين البنية الاساسية لخلية GDI.



الشكل (2) : البنية الأساسية لخلية GDI [18].

تتشابه خلية GDI من حيث البنية مع الخلية الأساسية لعكاس CMOS القياسي، ولكن هناك بعض الاختلافات الرئيسية والمهمة حيث تتميز خلية GDI بأن المنبع (S) للترانزستور PMOS في غير متصل بقطب التغذية VDD وكذلك المنبع (S) للترانزستور NMOS غير متصل بقطب التغذية GND .

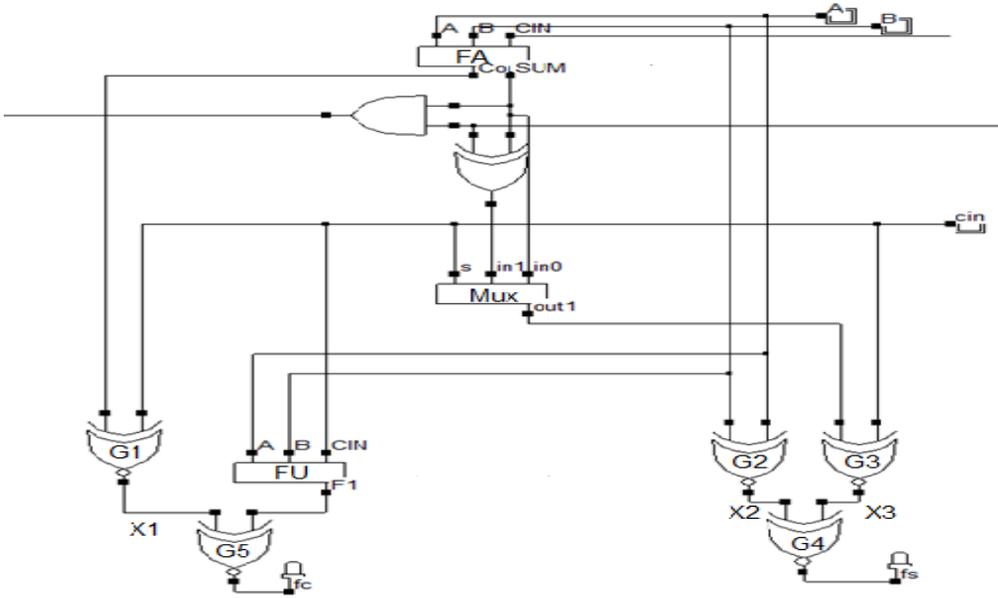
يتم التحكم بعمل هذه الخلية من خلال التحكم بقيم المنافذ (G,P,N)، يبين الجدول (1) كيف يمكن التحكم بعمل خلية الـ GDI من خلال تغيير قيم المدخل.

الجدول(1): الوظائف المنطقية لخلية GDI [18].

N	P	G	OUT	Function
0	B	A	A'B	F1
B	1	A	A'+B	F2
1	B	A	A+B	OR
B	0	A	A.B	AND
C	B	A	A'B+AC	MUX
0	1	A	A'	NOT

### 3-3. النموذج المقترح وقدرته على كشف الأعطال:

قام الباحثون في [14] باختبار جزئي لجامع ال CSeA حيث تم اختبار وحدة الجامع الكامل (FA) فقط، يقوم هذا التصميم باكتشاف الأعطال المفردة فقط، ففي حال حدوث عطل مزدوج على كل من ال Sum وال Cout سيفشل النظام في اكتشاف العطل. وكذلك في حال حدوث عطل خارج وحدة ال FA سيفشل النظام باكتشافه، ولتفادي المشاكل التي واجهت الباحثين في [14] قمنا بتصميم نموذج جديد لجامع CSeA قادر على اكتشاف الأعطال المفردة والمزدوجة اينما حدثت ضمن وحدة CSeA يوضح الشكل (3) بنية التصميم المقترح.



شكل (3): النموذج المقترح لجامع CSLA يكشف الأعطال المفردة والمزدوجة .

اعتمدنا في هذا التصميم على وحدة وظيفية (FU) وخمس بوابات XNOR (G1,G2,G3,G4,G5) بغية اختبار العطل.

حيث لاكتشاف العطل الممكن حدوثه على ناتج قيمة الجمع (SUM) سنعتمد على مبدأ انه في حال كانت قيم الدخل (A,B) متساوية فإن المجموع (SUM) سيساوي الـ Cin، وأما عندما تكون قيم الدخل متممة لبعضها فإن المجموع (SUM) سيكون متمم للـ Cin، وسنستخدم لتحقيق ذلك ثلاث بوابات XNOR (G2,G3,G4)، أما بوابة G2 ستستخدم لمقارنة قيم الدخل (A,B)، بينما G3 ستستخدم لمقارنة الـ Sum و الـ Cin، في حال عدم وجود عطل سيكون خرج البوابتين متماثل. أما عند حدوث عطل سيصبح الخرجين متممين لبعضهما البعض لذلك سنستخدم بوابة G4 لتقوم بمقارنة خرج بوابة G2 مع خرج بوابة G3 يتم التعبير عن خرج بوابة G2، G3، G4 بالرموز X2,X3,Fs على التوالي ويمكن تمثيلها بالعلاقات التالية :

$$X2 = \overline{(A \oplus B)} \quad (1)$$

$$X3 = \overline{(\text{sum} \oplus \text{Cin})} \quad (2)$$

$$Fs = \overline{(X2 \oplus X3)} \quad (3)$$

إذا كانت قيمة X2 مع X3 متطابقتين تكون  $Fs = 1$  وتعبّر عن عدم وجود أعطء والعكس إذا كانت  $Fs = 0$  تعبر عن وجود عطل في ناتج قيمة الجمع.

من أجل اكتشاف العطل الممكن حدوثه على ناتج قيمة الحمل (Cout) سنعتمد على فرضية أن قيمة الـ Cin تساوي قيمة الـ Cout في كل الحالات ما عدا الحالتين التاليتين:

$$Cin = 0, B = 1, A = 1 \quad \text{أو} \quad Cin = 1, B = 0, A = 0$$

وسنستخدم لتحقيق ذلك وحدة وظيفية (FU) وبوابتين XNOR (G1,G5)، الوحدة الوظيفية سيتم تصميمها بحيث تعطي على خرجها 1 عندما  $A = B \neq Cin$  أي في الحالتين التاليتين:

$$Cin = 0, B = 1, A = 1 \text{ أو } Cin = 1, B = 0, A = 0$$

حيث تستخدم بوابة G1 لمقارنة قيمة الـ Cin مع قيمة الـ Cout و أما بوابة G5 تستخدم لمقارنة خرج بوابة G1 مع خرج الوحدة الوظيفية (FU)، يتم التعبير عن خرج بوابة G1 و الوحدة الوظيفية وبوابة G5 بالرموز  $X1, F1, Fc$  على التوالي ويمكن تمثيلها بالعلاقات التالية :

$$X1 = \overline{(Cout \oplus Cin)} \quad (4)$$

$$F1 = \overline{(A'B'C + ABC')} \quad (5)$$

$$Fc = \overline{(X1 \oplus F1)} \quad (6)$$

إذا كانت قيمة  $X1$  مع  $F1$  متطابقتين تكون  $Fc = 1$  وتعبر عن عدم وجود أعطال والعكس إذا كانت  $Fc = 0$  تعبر عن وجود عطل في قيمة الحمل، يوضح جدول الحقيقة (2) طريقة كشف الأعطال في الدارة.

جدول (2): جدول الحقيقة للتصميم المقترح

A	B	Cin	Sum	Cout	X2	X3	Fs	X1	F1	Fc
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1
0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1
0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1
1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1
1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1
1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1



يعتمد التصميم المقترح على اشارات التحكم  $F_s, F_c$  التي يتم الحصول عليها من التصميم المقترح للجامع القادر على الاختبار الذاتي.

حيث نلاحظ أن بتات المجموع والحمل ستكون إما 0 أو 1 اعتمادا على دخل الجامع .

- إذا كانت اشارة  $F_s$  تشير الى وجود عطل في بتات المجموع وبالتالي سيتم اختيار القيمة المعاكسة لبتات المجموع من خلال ناخب يتم التحكم به بواسطة اشارة التحكم  $F_s$
- وكذلك بالنسبة لبتات الحمل اذا كانت اشارة  $F_c$  تشير الى وجود عطل في بتات الحمل وبالتالي سيتم اختيار القيمة المعاكسة لبتات الحمل من خلال ناخب يتم التحكم به بواسطة اشارة التحكم  $F_c$ .

سنناقش حالة الجامع كما يلي :

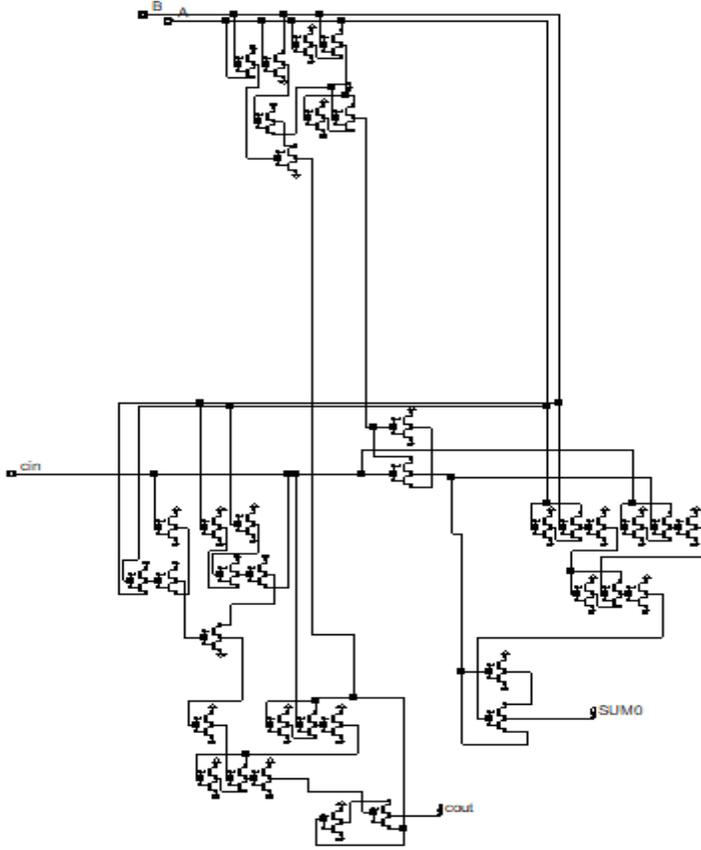
- عندما  $F_s=1 \& F_c=1$  اذا الجامع خالي من الأعطال وسيتم اختيار الخرج لبتات الناتج والحمل من الجامع مباشرة بواسطة الناخب.
- عندما  $F_s=0 \& F_c=1$  اذا يوجد عطل في بتات المجموع لإصلاح هذا العطل سيقوم الناخب باختيار عكس بتات المجموع أما بتات الحمل سيتم اختيارها بشكل مباشر من الجامع.
- عندما  $F_s=1 \& F_c=0$  اذا يوجد عطل في بتات الحمل لإصلاح هذا العطل سيقوم الناخب باختيار عكس بتات الحمل أما بتات المجموع سيتم اختيارها بشكل مباشر من الجامع.

➤ عندما  $F_s=0$  و  $F_c=0$  اذا يوجد عطل في بتات الحمل والمجموع لإصلاح هذا العطل سيقوم الناخب باختيار عكس بتات الحمل والمجموع .

يضمن النموذج المقترح اصلاح جميع الأعطال المؤقتة والدائمة بنسبة 100% ويجعل الجامع خالي من الأعطال، وكذلك يستهلك مساحة أقل بالمقارنة مع التصميم المقترح في [15].

### 3-4. النموذج المقترح بتقنية GDI:

نظراً للعدد الكبير من الترانزستورات الذي احتاجه التصميم المقترح والذي انعكس زيادةً في مساحة الرقاقة والطاقة المستهلكة، فقد تمت إعادة تنفيذ التصميم المتسامح العطل اعتماداً على تقنية الـ GDI. حيث يوضح الشكل (5) النموذج المقترح لجامع CSeA يصحح الأعطال المفردة والمزدوجة بتقنية GDI.



الشكل (5): النموذج المقترح لجامع CSeA يصحح الأعطال المفردة والمزدوجة بتقنية GDI.

#### 4 النتائج والمحاكاة

##### 4-1. مرحلة محاكاة واختبار التصميم :

بعد أن استعرضنا بنية دارة جامع CSeA متسامح العطل بالاعتماد على تقنيتين مختلفتين هما تقنية Static or Conventional CMOS وتقنية Gate Diffusion Input (GDI) من أجل مقارنة مساحة الرقاقة والطاقة المستهلكة والتأخير الزمني لكل تقنية.

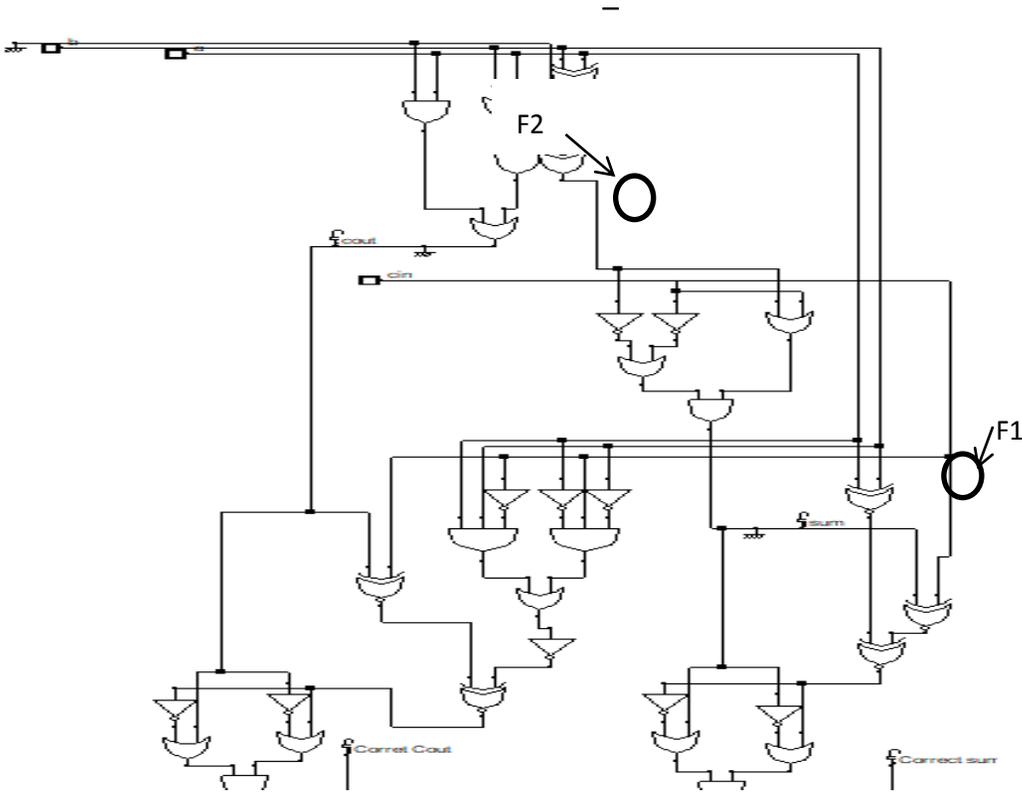
تم الاعتماد على برنامج DSCH3.5 من اجل عملية المحاكاة وتم حشر مجموعة من الأعطال المفردة و المزدوجة و المتعددة.

يبين الشكل (6) النموذج المقترح لدائرة جامع CSeA متسامح العطل وفق تقنية

CMOS مع حشر عطلين:

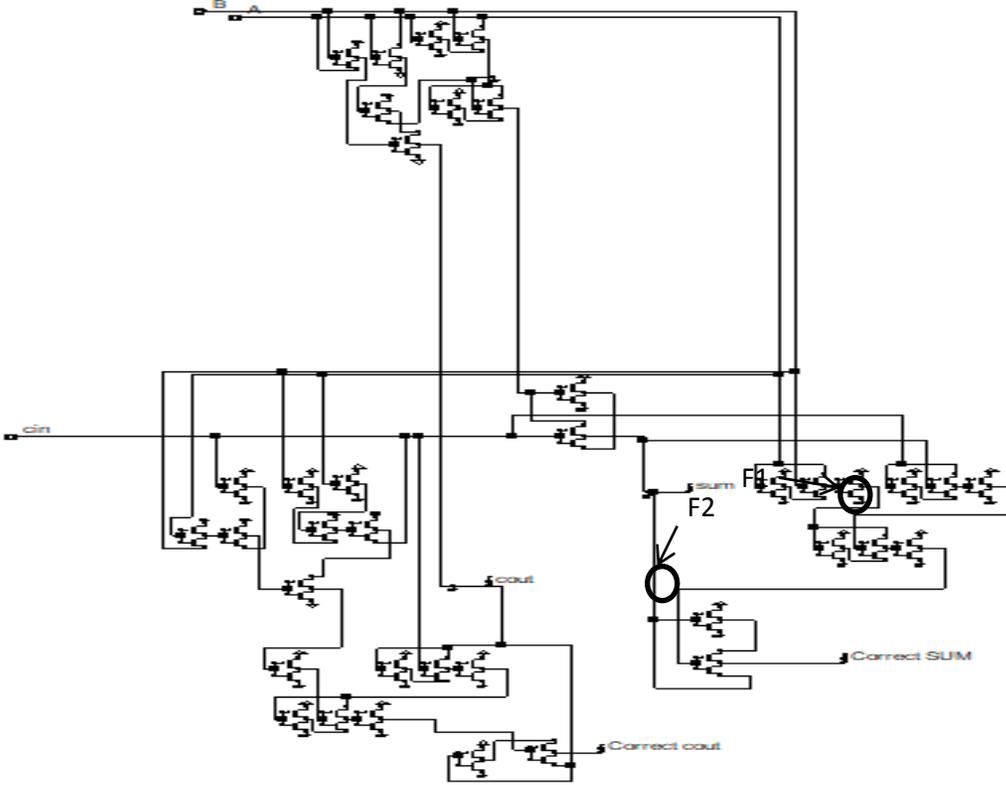
- العطل F1 على إشارة ناتج الجمع sum للجامع

- العطل F2 على إشارة الحمل Cout للجامع



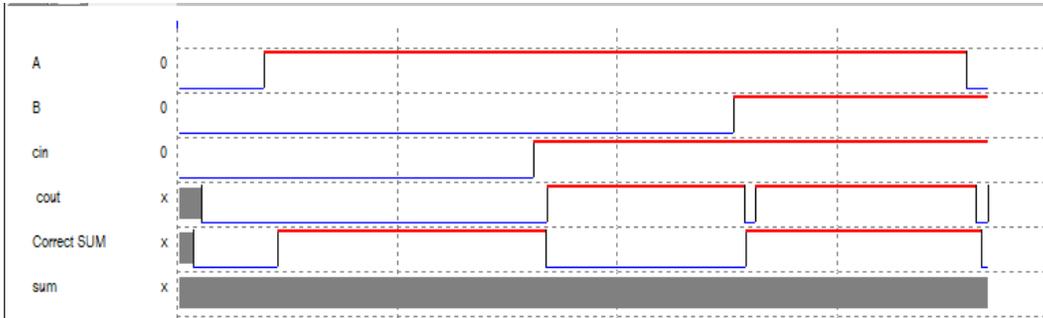
شكل (6): حشر عطلين على ناتج الحمل والجمع

و يبين الشكل (7) النموذج المقترح لدارة جامع CSeA متسامح العطل وفق تقنية GDI على مستوى الترانزستورات مع حشر نفس العطلين:

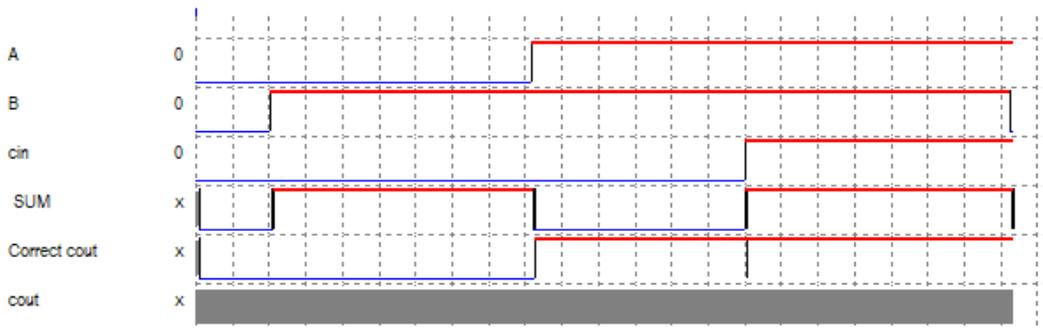


شكل (7): حشر عطلين على ناتج الحمل والجمع

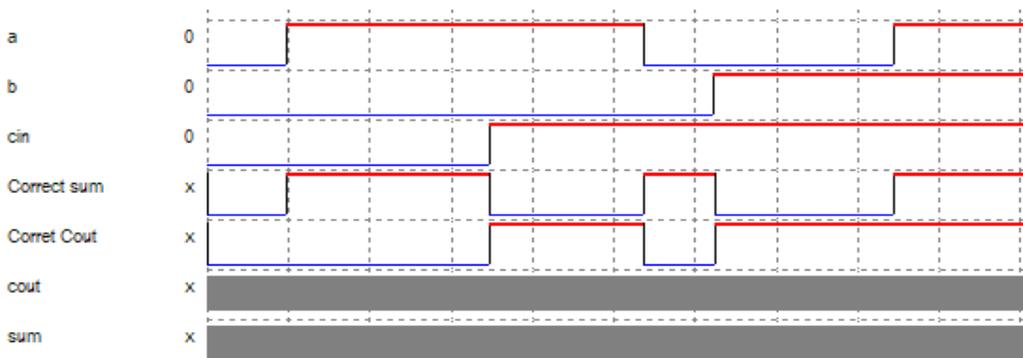
نتائج المحاكاة للتأكد من صحة عمل هذه الدارة مبينة بالشكل (8) في حالة العطل المفرد على بتات الجموع و بالشكل (9) في حالة العطل المفرد على بتات الحمل و بالشكل (10) في حالة العطل المزدوج.



شكل (8): نتائج المحاكاة بحشر عطل مفرد على بتات المجموع.



شكل (9): نتائج المحاكاة بحشر عطل مفرد على بتات الحمل.



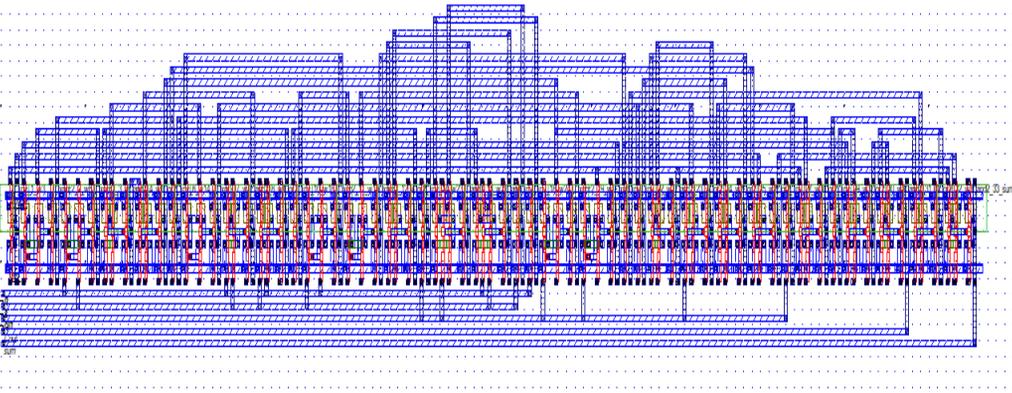
شكل (10): نتائج المحاكاة بحشر عطل مزدوج.

نلاحظ أنه بالرغم من وجود العطل المفرد و العطل المزدوج فإن التصميم المقترح قد أعطى نتائج صحيحة على المخرجين correct Sum و Correct Cout في كلا الحالتين أي أنه استطاع كشف العطل و تصحيحه.

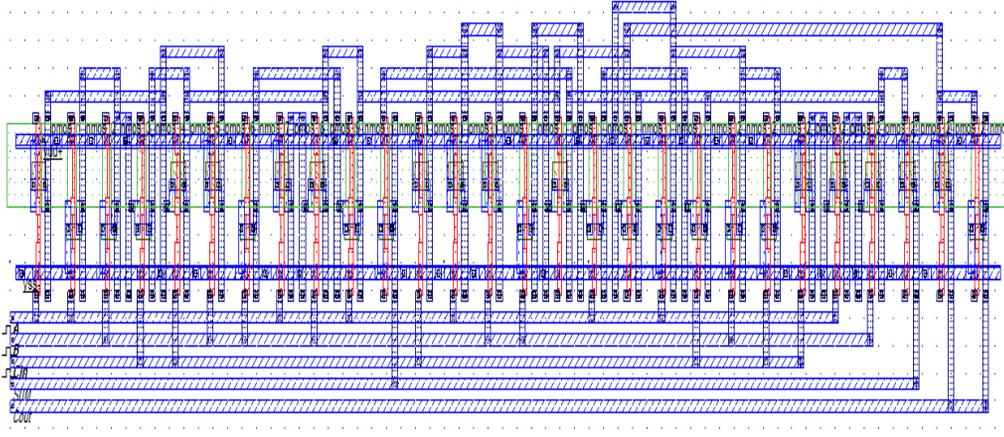
بعد التأكد من نتائج المحاكاة للدائرتين السابقتين، قمنا بتوليد ملف الوصف البنوي بلغة Verilog لكلا الدائرتين من أجل عملية رسم الخريطة الفيزيائية Layout.

من اجل رسم ومحاكاة الخريطة الفيزيائية Layout تم الاعتماد على برنامج MICROWIND 3.1 وعلى ملف الوصف البنوي بلغة Verilog من المحاكاة السابقة .

الشكل (11) يبين الخريطة الفيزيائية "layout" لدارة جامع CSeA لبت واحد بتقنية Static CMOS و الشكل (12) يبين الخريطة الفيزيائية "layout" لدارة جامع CSeA لبت واحد بتقنية GDI.



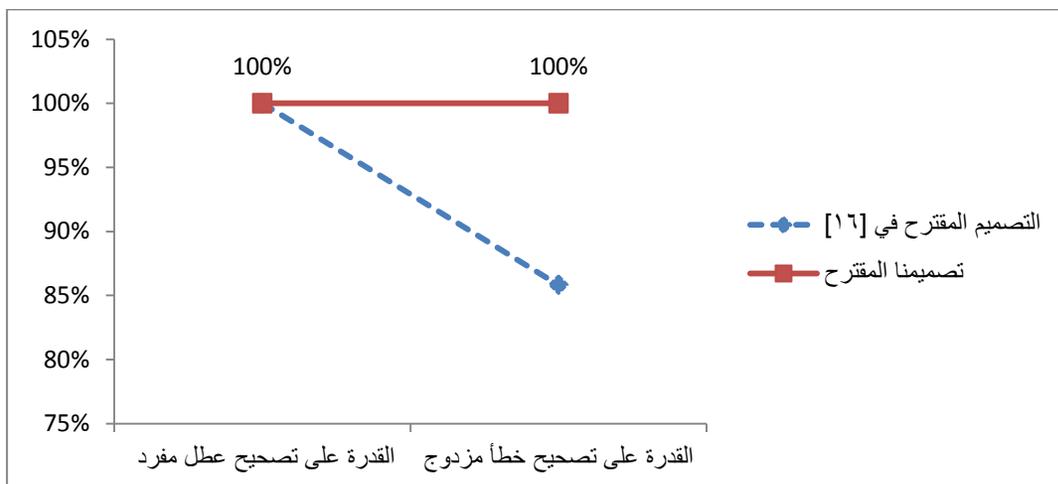
الشكل (11) : الخريطة الفيزيائية دارة جامع CSeA لبت واحد بتقنية Static CMOS



الشكل (12) : الخريطة الفيزيائية دائرة جامع CSeA لبث واحد بتقنية GDI

## 5- النتائج والمناقشة :

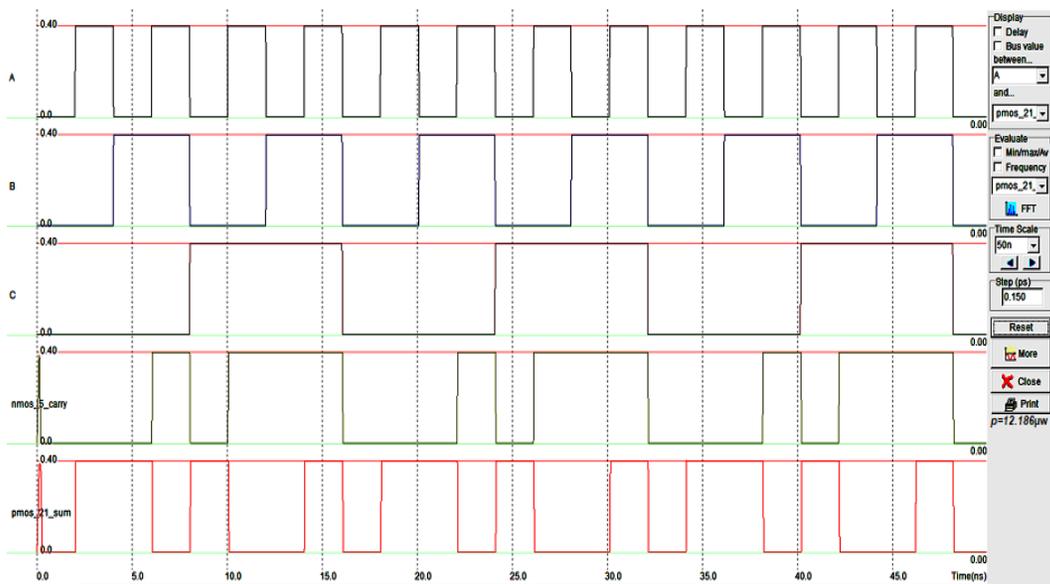
بعد التأكد من كفاءة التصميم المقترح وقدرته على اصلاح الأعطال المفردة والمزدوجة سنقوم بالمقارنة مع التصميم المقترح في [16] ، نلاحظ أن قدرة التصميم المقترح في [16] على تصحيح عطل مفرد ستكون 100% ، أما في حال حدوث عطلين في نفس الوقت فإن قدرة التصميم على تصحيح العطل ستخف إلى 85.82% كما يظهر في الشكل (13) وذلك بسبب عدم قدرة التصميم على اكتشاف واصلاح العطل المزدوج اذا حدث في نفس الوقت، أما تصميمنا المقترح فقد تمكن من حل المشكلة واصلاح الأعطال المفردة والمزدوجة التي تحدث في نفس الوقت وبالتالي فإن قدرة هذا التصميم على تصحيح الخطأ ستكون 100% عند حدوث عطل مفرد أو مزدوج.



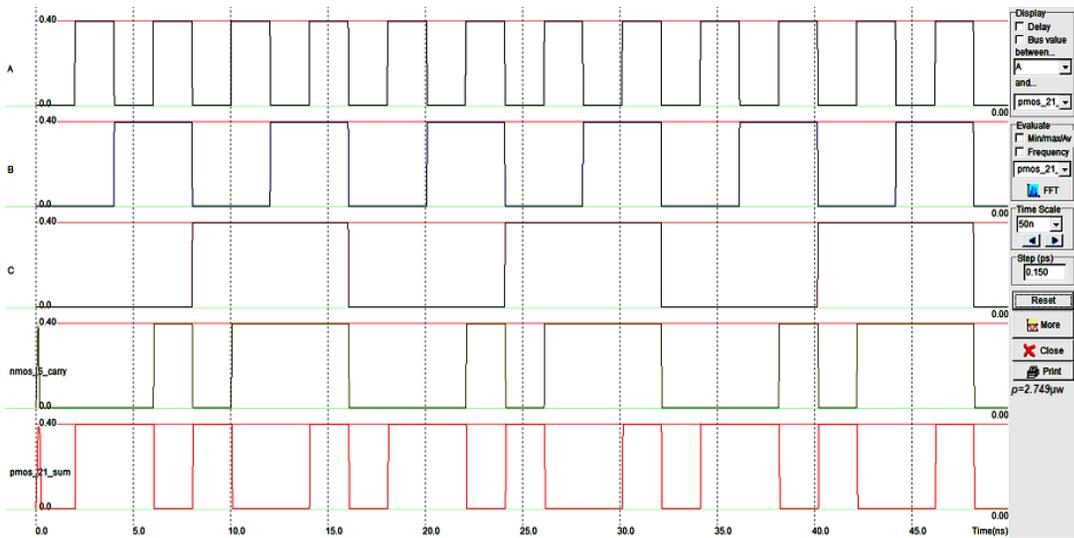
الشكل(13): القدرة على تصحيح عطل مفرد ومزدوج بالمقارنة مع تصميم مقترح سابقا لجامع CSeA

من أجل عمليات مقارنة الأداء من حيث مساحة الرقاقة والطاقة المستهلكة وعدد الترانزستورات لكلا الدارتين، فإن رسم الخريطة لفيزيائية Layout للدارتين سيتم بالاعتماد على عدة تقنيات لتكنولوجيا تصنيع الدارات الالكترونية وهي: CMOS 0.90nm ، CMOS 0.45nm ، CMOS 0.32nm و CMOS 0.22nm. الشكل (14) يبين نتائج محاكاة الخريطة الفيزيائية "layout" لدارة جامع CSeA لبت واحد بتقنية Static CMOS بالاعتماد على التقنيات المستخدمة.

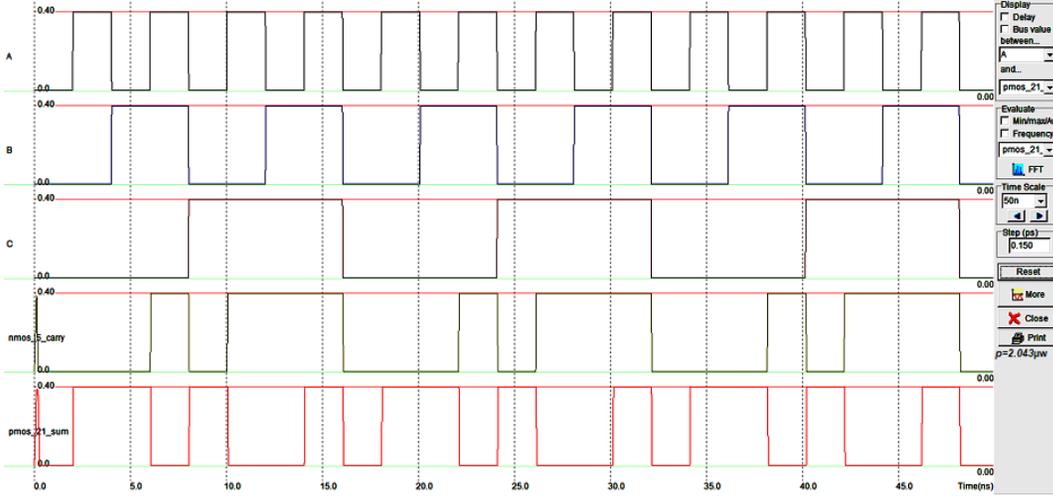
تحليل وتقييم أداء دائرة جامع Carry Select Adder متسامح العطل لبت واحد مصنعة وفق تقنية Static CMOS وتقنية GDI.



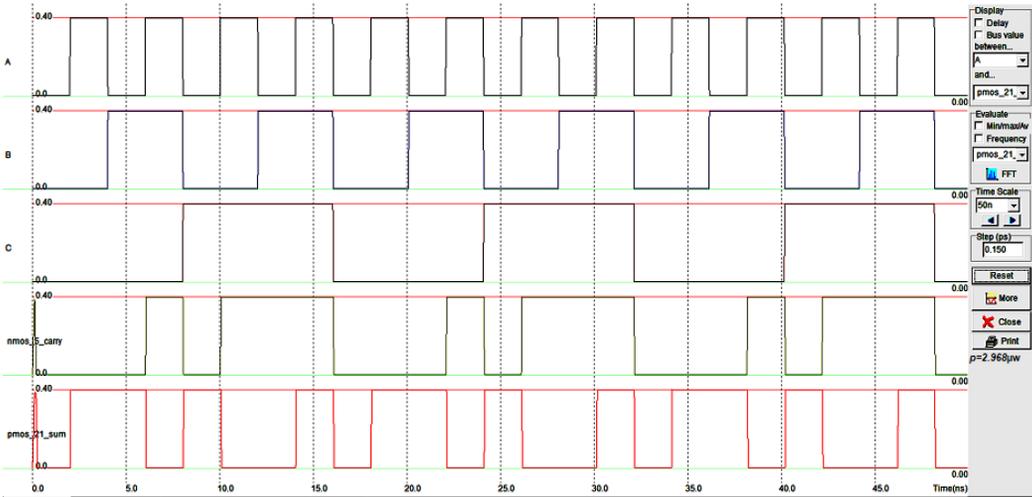
(a): CMOS 0.90nm



(b): CMOS 0.45nm



(c): CMOS 0.32nm



(d): CMOS 0.22nm

الشكل (14): نتائج محاكاة الخريطة الفيزيائية لدارة جامع CSeA لبث واحد بتقنية Static CMOS بالاعتماد على التقنيات المستخدمة.

يبين الجدول (3) مساحة الرقاقة والطاقة المستهلكة لكل تقنية من التقنيات السابقة من

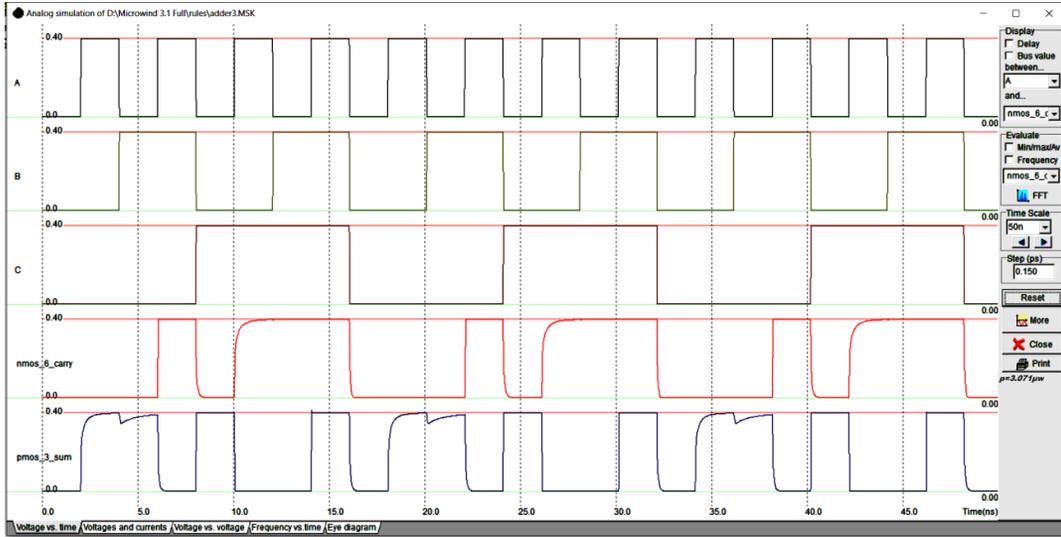
أجل دارة جامع CSeA لبث واحد بتقنية Static CMOS .

الجدول(3): مساحة الرقاقة والطاقة المستهلكة

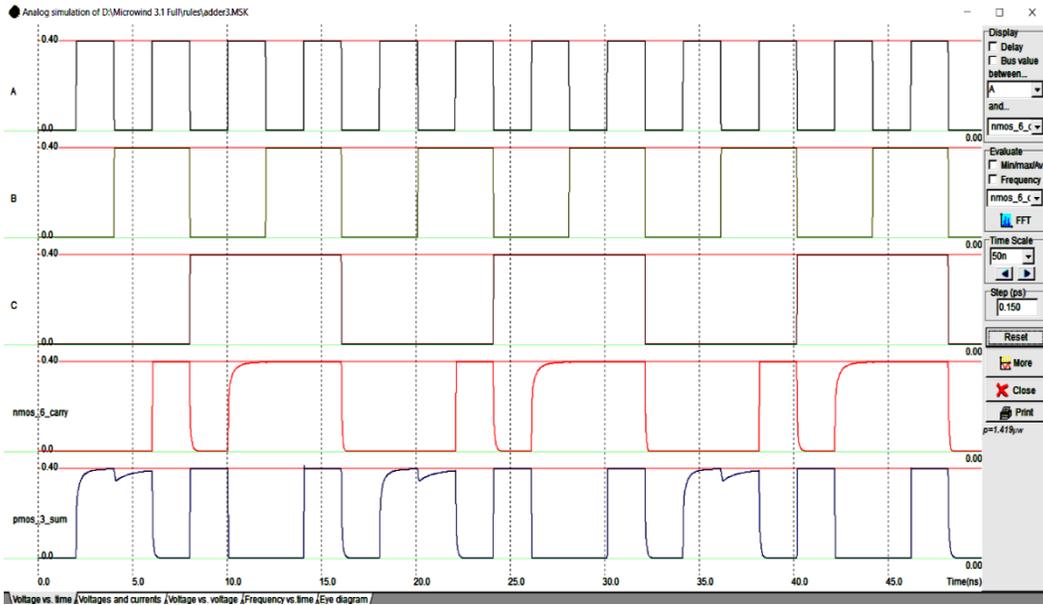
التقنية المستخدمة (nm)	0.90	0.45	0.32	0.22
مساحة الرقاقة ( $\mu\text{m}^2$ )	657.4	241.5	113.8	98.4
الطاقة المستهلكة ( $\mu\text{w}$ )	12.186	2.745	2.043	2.968
عدد الترانزستورات اللازمة	390			

نلاحظ من الجدول السابق أن مساحة الرقاقة قد انخفضت بمقدار 52% عند الانتقال من تقنية CMOS 0.45nm إلى تقنية CMOS 0.32% و بمقدار 59% عند الانتقال إلى تقنية CMOS 0.22nm .

فيما يخص الطاقة المستهلكة نلاحظ أن الطاقة المستهلكة انخفضت بمقدار 25.5% عند الانتقال من تقنية CMOS 0.45nm إلى تقنية CMOS 0.32% بينما نلاحظ زيادة استهلاك الطاقة بمقدار 7.5% عند الانتقال إلى تقنية CMOS 0.22nm ويعود سبب هذه الزيادة إلى زيادة جهد التغذية المستخدم في التقنية CMOS 0.22nm حيث  $VDD=1[V]$  بينما في تقنية CMOS 0.45nm فإن  $VDD=0.4[V]$ . الشكل (15) يبين نتائج محاكاة الخريطة الفيزيائية "layout" لدائرة جامع كامل لبت واحد بتقنية GDI بالاعتماد على التقنيات ( CMOS 0.90nm ، CMOS 0.45nm ، CMOS 0.32nm و CMOS 0.22nm).

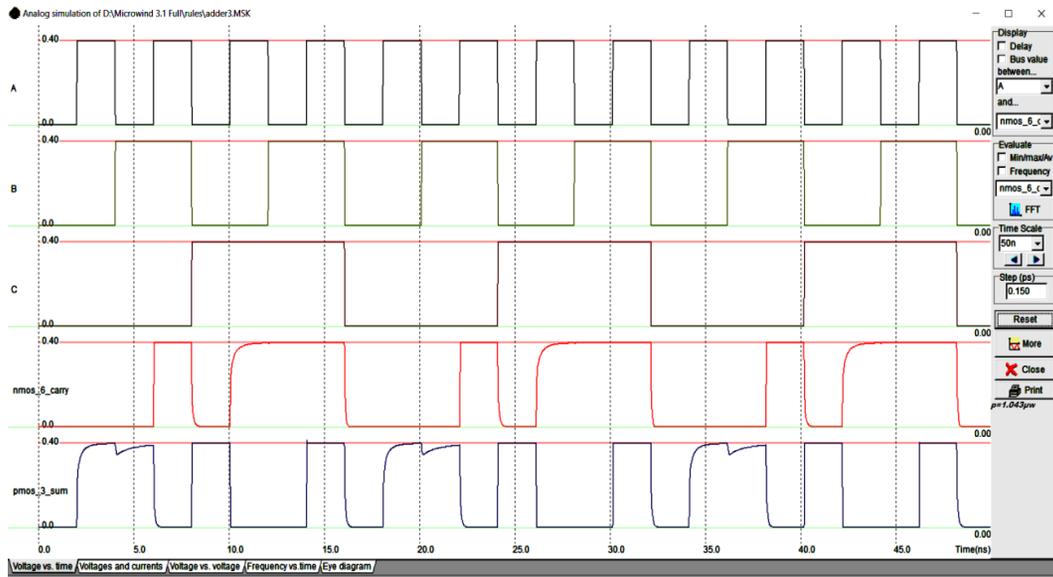


(a): CMOS 0.90nm

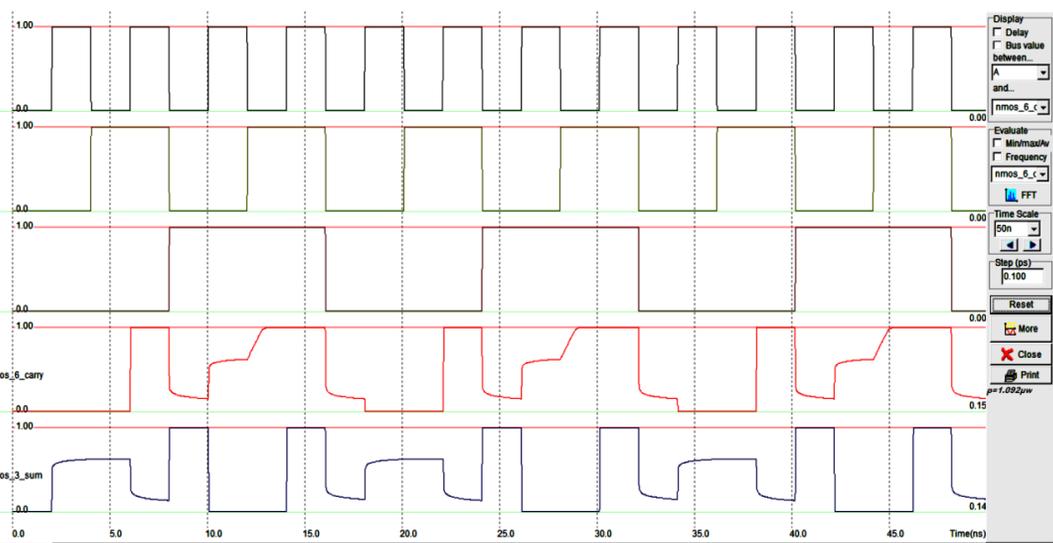


(b): CMOS 0.45nm

تحليل وتقييم أداء دائرة جامع Carry Select Adder متسامح العطل لبث واحد مصنعة وفق تقنية Static CMOS وتقنية GDI.



(c): CMOS 0.32nm



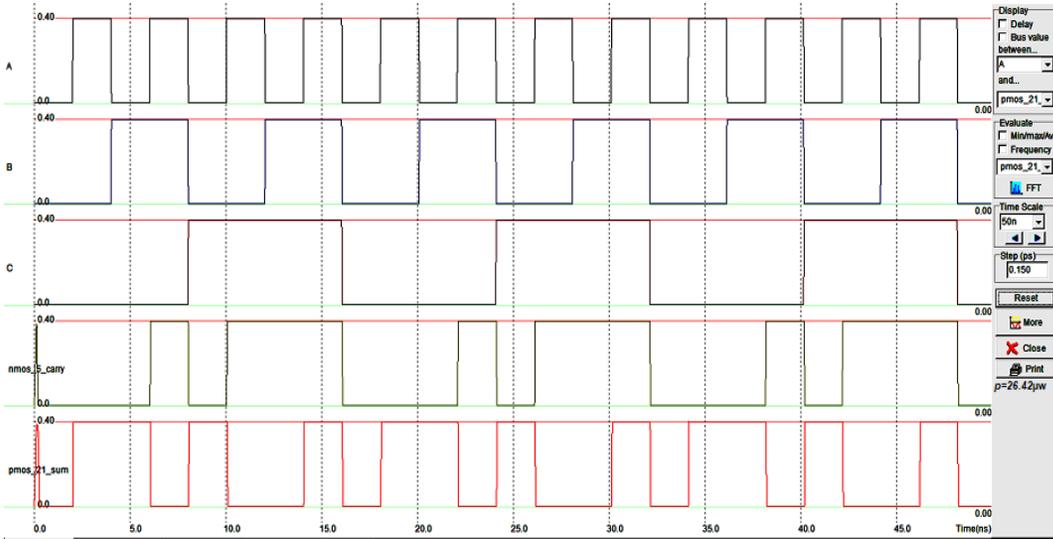
(d): CMOS 0.22nm

الشكل (15): نتائج محاكاة الخريطة الفيزيائية لدائرة جامع CSeA لبث واحد بتقنية GDI

بالاعتماد على التقنيات المستخدمة.

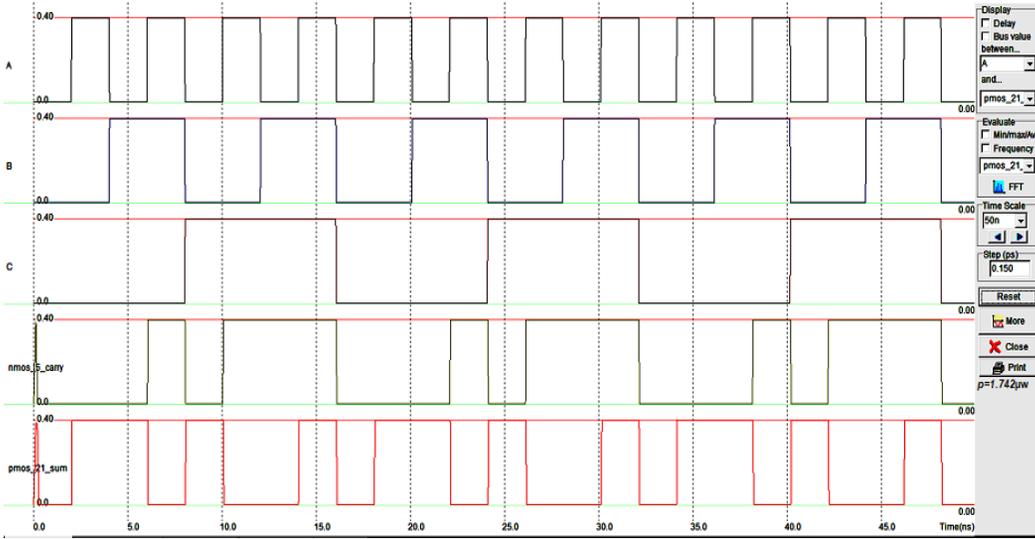
بمقارنة نتائج المحاكاة المبينة بالشكل (15) مع نتائج المحاكاة لإدارة جامع CSeA لبت واحد بتقنية Static CMOS المبينة بالشكل (14) نلاحظ أن استجابة اشارتي الجمع SUM و الحمل Cout للواحد المنطقي و الصفر المنطقي تكون مشوهة في بعض الأحيان والسبب يعود الى ان وجود الترانزستورين NMOS و PMOS في مرحلة الخرج حيث يستطيع الترانزستور PMOS تمرير الـ '1' المنطقي بشكل واضح ، ولكن لا يمكن أن يمرر الـ '0' المنطقي تمامًا. ومن جهة ثانية يستطيع الترانزستور NMOS تمرير الـ '0' المنطقي بشكل واضح ، ولكن لا يمكن أن يمرر الـ '1' المنطقي تمامًا.

لتحسين أداء هذا الجامع قمنا بإضافة عاكس على كل مخرج، ولكن هذا الحل أدى الى زيادة مساحة الرقاقة واستهلاك الطاقة. الشكل (16) يبين نتائج المحاكاة لإدارة جامع CSeA لبت واحد بتقنية GDI بعد إضافة عاكس على المخرجين SUM و Cout

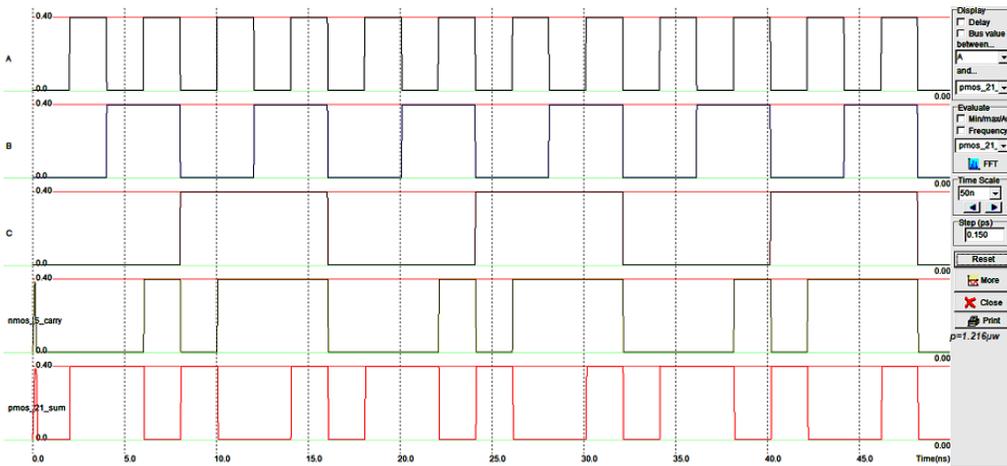


(a): CMOS 0.90nm

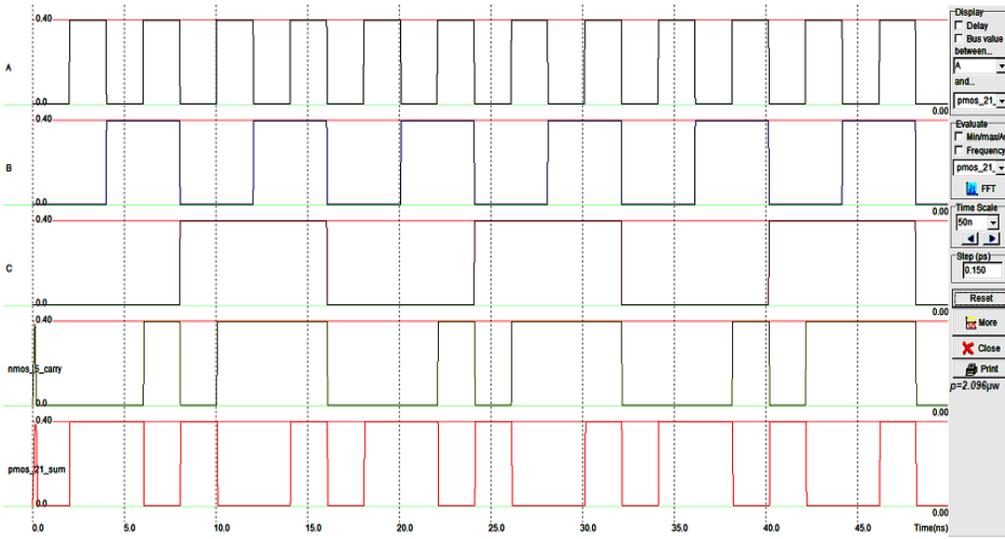
تحليل وتقييم أداء دائرة جامع Carry Select Adder متسامح العطل لبت واحد مصنعة وفق  
تقنية Static CMOS وتقنية GDI.



(b): CMOS 0.45nm



(c): CMOS 0.32nm



(d): CMOS 0.22nm

الشكل (16): نتائج محاكاة الخريطة الفيزيائية "layout" لدارة جامع CSeA لبت واحد بتقنية GDI بعد إضافة العاكس

يبين الجدول (4) مساحة الرقاقة والطاقة المستهلكة لكل تقنية من التقنيات السابقة من أجل دارة جامع CSeA لبت واحد بتقنية GDI .

الجدول(4): مساحة الرقاقة والطاقة المستهلكة

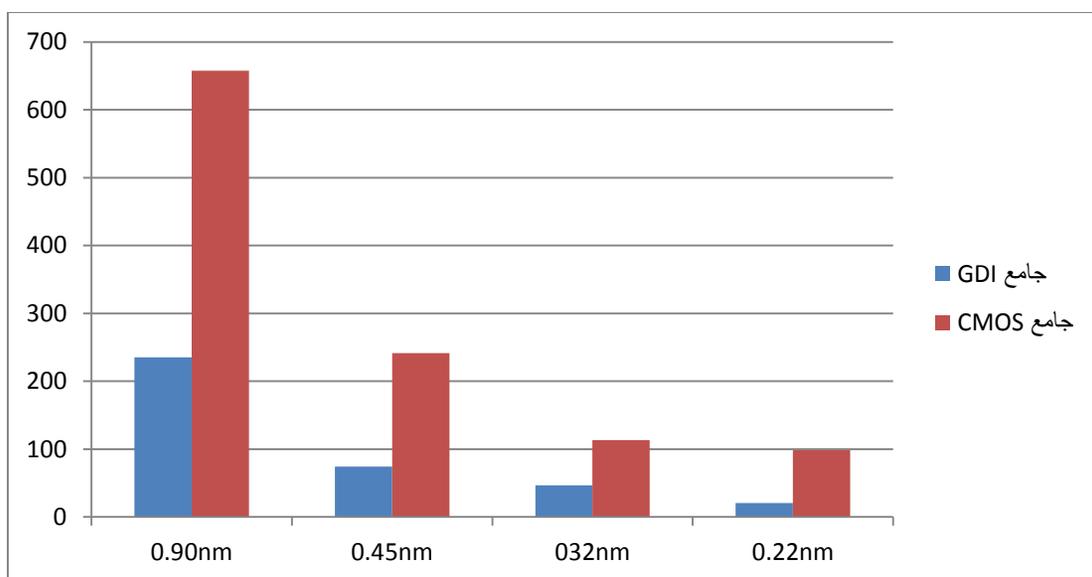
التقنية المستخدمة (nm)	0.90	0.45	0.32	0.22
مساحة الرقاقة ( $\mu\text{m}^2$ )	235	74	46.8	20.6
الطاقة المستهلكة ( $\mu\text{w}$ )	3.071	1.419	1.043	1.092
الطاقة المستهلكة ( $\mu\text{w}$ ) بعد إضافة العاكس	26.42	1.742	1.216	2.096
عدد الترانزستورات	322			

تحليل وتقييم أداء دائرة جامع Carry Select Adder متسامح العطل لبت واحد مصنعة وفق تقنية Static CMOS وتقنية GDI.

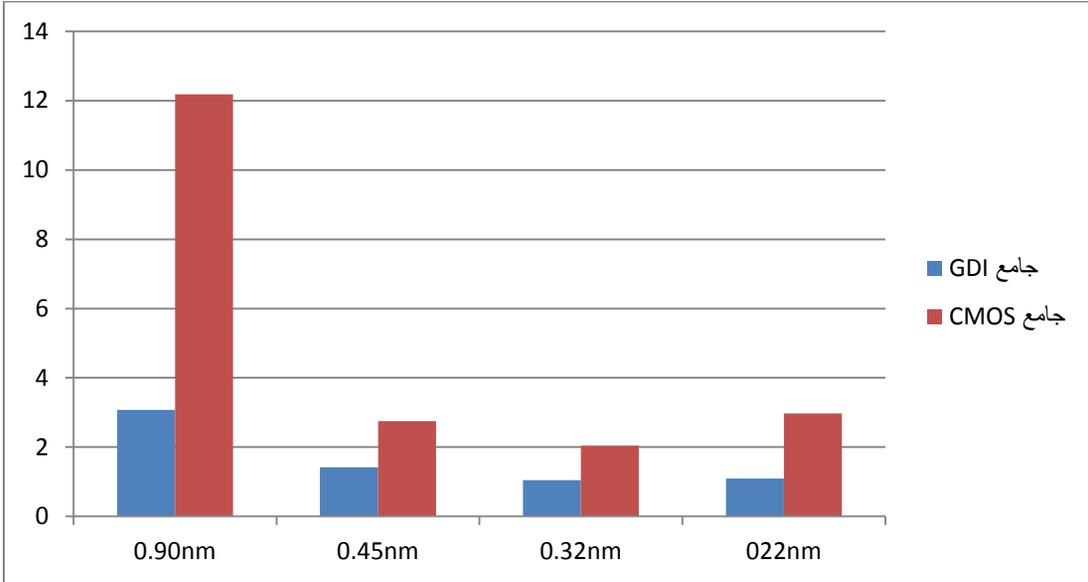
الشكل (17) يبين نتائج المقارنة بين الدارتين السابقتين من حيث مساحة الرقاقة و الشكل

(18) يبين نتائج المقارنة بين الدارتين السابقتين من حيث الطاقة المستهلكة، أما الشكل

(19) يبين نتائج المقارنة بين الدارتين السابقتين من حيث عدد الترانزستورات.



الشكل (17): المقارنة بين دارتي الجامع Static CMOS و GDI من حيث مساحة الرقاقة



الشكل (18): المقارنة بين دارتي الجامع Static CMOS و GDI من حيث الطاقة المستهلكة



الشكل (19): المقارنة بين دارتي الجامع Static CMOS و GDI من حيث عدد الترانزستورات

كما هو واضح من نتائج المقارنة فإن دارة جامع CSeA لبت واحد بتقنية GDI أفضل من حيث المساحة على الرقاقة و الطاقة المستهلكة وعدد الترانزستورات مهما كانت التقنية المستخدمة في التصنيع.

## 6. الاستنتاجات والتوصيات

في هذا البحث تم تصميم دارة جامع (CSeA) متسامحة العطل وقادرة على الاصلاح الذاتي باستخدام تقنيتين مختلفتين: تقنية Static or Conventional CMOS وتقنية Gate Diffusion Input (GDI). وتم حقن مجموعة من الأعطال المفردة و المزدوجة من النوع SA1 و SA0. وكذلك تمت عملية المقارنة بعد رسم الخريطة الفيزيائية Layout للدارتين بالاعتماد على عدة تقنيات لتكنولوجيا تصنيع الدارات الالكترونية.

1- وبمقارنة نتائج المحاكاة نلاحظ أن دارة جامع (CSeA) لبت واحد بتقنية GDI أفضل من حيث المساحة على الرقاقة ومن حيث الطاقة المستهلكة مهما كانت التقنية المستخدمة في التصنيع، و من ناحية أخرى نلاحظ ان هذا التصميم قادر على كشف الأعطال الفردية و المزدوجة بنفس الوقت بثوقيه 100%.

2- يعتبر النموذج المصمم لدارة جامع (CSeA) لبت واحد بتقنية GDI ذو وثوقية عالية لاستخدامه في معالجات الإشارة الرقيمة وأنظمة السلامة والأنظمة الفضائية، فالحصول على نتائج دقيقة ولا تحوي أعطال في أنظمة كهذه أمر مهم، بالإضافة إلى أنه من أجل المعالجات المعقدة، يظهر التأثير الواضح لانخفاض عدد الترانزستورات مما يخفض من استطاعة الشريحة ويقلل من حجم الشريحة المتسامحة العطل.

المراجع:

[1] Essa,S.(2019). *The power consumed and the number of transistors required for the proposed design*, Tartous University Journal of Research and Learning Studies, Engineering Science Series , Vol 3 (4).

[2] ] Essa,S.(2020). *Diagnosis of faults in digital circuits based on artificial immune systems*, Tartous University Journal of Research and Learning Studies, Engineering Science Series , Vol 4 (9).

[3] Saleh,S.(2019). *Analysis and performance evaluation of 1-bit Full Adder circuit based on static-CMOS and GDI technology, and the impact of the technology used in manufacturing on the performance*, Tartous University Journal of Research and Learning Studies, Engineering Science Series , Vol 3 (4).

[4] Saleh,S.(2020). *Design and performance evaluation of fault tolerant full Adder circuit based on CMOS and GDI technology* , Tartous University Journal of Research and Learning Studies, Engineering Science Series ,Vol 4 (4).

[5] Akabati ,R .(2020). *Splitting data between SPM memory and main memory in an embedded system* , Tartous University

Journal of Research and Learning Studies, Engineering Science Series , Vol 4 (6).

[6] Junming, L., Yan, S., Zhenghui, L., & Ling, W. (2001, October). *A novel 10-transistor low-power high-speed full adder cell*. In *2001 6th International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology. Proceedings (Cat. No. 01EX443)* (Vol. 2, pp. 1155–1158). IEEE.

[7] Jiang, Y., Al-Sheraidah, A., Wang, Y., Sha, E., & Chung, J. G. (2004). *A novel multiplexer-based low-power full adder*. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 51(7), 345–348.

[8] Chang, C. H., Zhang, M., & Gu, J. (2003, September). *A novel low power low voltage full adder cell*. In *3rd International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis, 2003. ISPA 2003. Proceedings of the* (Vol. 1, pp. 454–458). IEEE.

[9] Weste, N. H., & Harris, D. (2015). *CMOS VLSI design: a circuits and systems perspective*. Pearson Education India.

[10] Lakshmaiah, Dayadi, M. V. Subramanyam, and K. Sathya Prasad. "A Novel Design of Low-Power 1-Bit CMOS Full-Adder Cell Using XNOR and MUX." *INTERNATIONAL*

*TECHNOLOGY* 7, no. 3 (2013): 1155–1165.

[11] Reddy, Karthik G. "Low power–area designs of 1bit Full adder in cadence virtuoso platform." *International Journal of VLSI Design & Communication Systems* 4, no. 4 (2013): 55.

[12] Uma, R., and P. Dhavachelvan. "Modified gate diffusion input technique: a new technique for enhancing performance in full adder circuits." *Procedia Technology* 6 (2012): 74–81.

[13] Vasudevan, D. P., Lala, P. K., & Parkerson, J. P. (2007). *Self-checking carry-select adder design based on two-rail encoding. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 54(12), 2696–2705.

[14] Akbar, M. A., & Lee, J. A. (2013, September). *Self-checking carry select adder with fault Localization*. In *2013 Euromicro Conference on Digital System Design* (pp. 863–869). IEEE

[15] Akbar, M. A., & Lee, J. A. (2014). *Self-repairing adder using fault localization. Microelectronics Reliability*, 54(6–7), 1443–1451.

[16] VALINATAJ, M. An Enhanced Self-checking Carry Select Adder Utilizing the Concept of Self-checking Full

Adder. Internationa Journal of Engineering, 2021, 16.2: 273–421.

[17] Akbar, M. A., Wang, B., & Bermak, A. (2020). *Self-Repairing Hybrid Adder With Hot-Standby Topology Using Fault-Localization*. *IEEE Access*, 8, 150051–150058.

[18] Morgenshtein, A., Fish, A. and Wagner, I.A., 2002. Gate-diffusion input (GDI): a power-efficient method for digital combinatorial circuits. *IEEE transactions on very large scale integration (VLSI) systems*, 10(5), pp.566–581.

# دراسة وتحليل أداء محرك التيار المستمر من دون مسفرات باستخدام خوارزمية التحكم الشعاعي بالحقل المغناطيسي

طالب الماجستير: م. عبدالقادر محمد الابراهيم

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

إشراف: د. يوسف رزوق - د. محمد منذر دالي

## الملخص:

تلعب محركات التيار المستمر من دون مسفرات دوراً متزايداً في العديد من التطبيقات الصناعية وتطبيقات التحكم والملاحقة وذلك بفضل خواصها الجيدة من فعالية عالية، معدل عزم - حجم عال، وقلة عمليات الصيانة، وخصائص ديناميكية جيدة مما يجعلها بديلاً جيداً عن محركات التيار المستمر التقليدية. تم في هذا البحث التعرف على محرك BLDC وخوارزمية التحكم الشعاعي بالحقل المغناطيسي وتصميم متحكمات المنطق الضبابي واجراء مقارنة بينها وبين المتحكمات التناسبية والتكاملية بهدف تخفيض تموجات عزم المحرك وتحسين أداء الديناميكي للمحرك. تمت محاكاة نموذجي التحكم FOC with Fuzzy Logic Controller و FOC with PI Controller ضمن بيئة MATLAB Simulink حيث تمت الدراسة في حالة العمل على فراغ والعمل على حمولة والعمل على حمولة متغيرة السرعة. أظهرت نتائج المقارنة أفضلية لتموجات العزم باستخدام FOC with Fuzzy Logic Controller وأفضلية للأداء الديناميكي باستخدام FOC with PI Controller.

**الكلمات المفتاحية:** المتحكمات التناسبية التكاملية، محرك التيار المستمر من دون مسفرات، المنطق الضبابي، تعديل عرض النبضة الجيبي، التحكم الشعاعي بالحقل المغناطيسي.

# Studying and analyzing the performance of BLDC motor using Field Oriented Control (FOC)

## Abstract:

The Brushless DC motors play an increasing role in many industrial and control applications, thanks to their good properties of high efficiency, high torque-volume, low maintenance and good dynamic characteristics, which makes them a good alternative to traditional DC motors. In this paper, the BLDC motor, the magnetic field radial control algorithm, the design of fuzzy logic controllers, and a comparison between them and proportional and integrative controllers were identified in order to reduce the motor torque ripples and improve the dynamic performance of the motor. The control models FOC with PI Controller and FOC with Fuzzy Logic Controller were simulated within the MATLAB Simulink environment, where they were studied in the case of working on no-load, working on a load, and working on a variable speed load. The comparison results showed an advantage for torque ripples using FOC with Fuzzy Logic Controller and an advantage for dynamic performance using FOC with PI Controller.

**Keywords:** PI Controllers, BLDC, Fuzzy Logic, Sine PWM, Field-oriented Control (FOC).

## 1. مقدمة:

تعتبر محركات التيار المستمر من دون مسفرت ذات المغناط الدائمة أحد أنواع المحركات التزامنية، حيث أن القوة المحركة الكهربائية العكسية في المحركات التزامنية تأخذ شكلاً جيبياً يحتاج وجود تيارات جيبيية الشكل لإنتاج عزم ثابت، بينما في محركات التيار المستمر من دون مسفرت تأخذ شكلاً شبه منحرف يحتاج تيارات ذوات موجة مستطيلة الشكل لإنتاج عزم ثابت.

تشكل محركات التيار المستمر من دون مسفرت خياراً جيداً لتطبيقات التحكم ذات الاستطاعة الصغيرة والمتوسطة، لما تتمتع به هذه المحركات من فعالية عالية وأداء صامت، وحجم صغير، ووثوقية عالية، وقلة عمليات الصيانة.

خلال العقود الأخيرة الماضية وبسبب التطور السريع في عناصر إلكترونيات الاستطاعة، المتحكمات الصغيرة، تقنيات التحكم بالتطبيقات متغيرة السرعة، وتصنيع المغناط الدائمة أدى ذلك كله الى جعل المحركات التيار المستمر من دون مسفرت حل فعال بتكلفة منخفضة لطيف واسع من التطبيقات ذوات السرعة المتغيرة ( Adjustable Speed Applications).

تتوفر هذه المحركات بعدة استطاعات ابتداءً من تلك ذات الاستطاعة الصغيرة جداً المستخدمة في محركات الأقراص الليزرية في الحاسب، وحتى المحركات الكبيرة نسبياً المستخدمة في السيارات الكهربائية Electric Vehicle.

تعتبر طريقة التحكم الشعاعي بالحقل المغناطيسي إحدى طرق التحكم الشعاعي بالمحركات الكهربائية. تم تطوير هذه الطريقة بشكل أساسي لقيادة المحركات ذات التردد المتغير والتي تتعامل مع المتغيرات داخل المحرك على أنها أشعة فراغية ذات مطال معين وزاوية معينة. إن أي انحراف في قيمتي العزم والفيض المغناطيسي (وهما تابعان للجهد أو التيار والتردد) سوف يبعد النظام عن حالة الاستقرار ويعيق الأداء الديناميكي

الجيد للألة، لمنع حدوث ذلك نلجأ إلى تقنيات لا تسمح لأحد هذين المتغيرين (العزم والفيضان) بالتأثير على الآخر كما هو الحال في محركات التيار المستمر ذات التهيج المستقل، نستعمل من أجل ذلك ما يعرف بتقنيات التحكم الشعاعي.

## 2. مشكلة البحث:

□ إن عملية التبديل في محرك BLDC يتم باستخدام العناصر الإلكترونية مثل

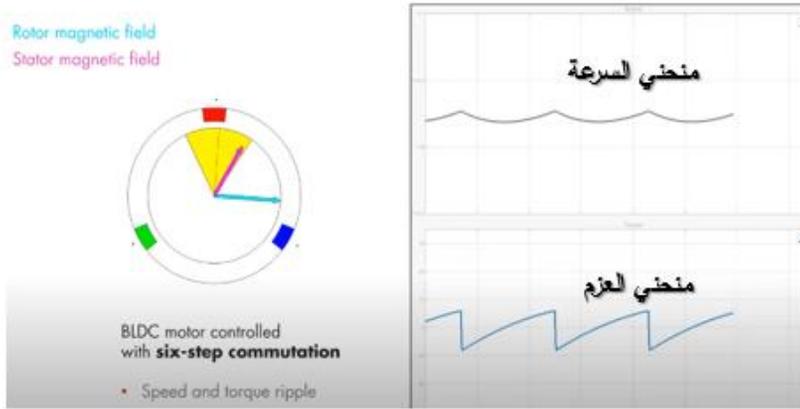
الترانزستورات. يسمى هذا النوع من التحكم بـ Trapezoidal Control.

□ أحد عيوب هذا النوع من التحكم: تموجات في منحنى السرعة والعزم كما هو

مبين في الشكل(1).

□ سبب هذه التموجات:

تغير الزاوية بين شعاع حقل الثابت وشعاع حقل الدوار حيث أن هذه الزاوية تتغير ضمن المجال  $(120^0 - 60^0)$ .



الشكل(1)

**3. أهمية البحث:**

تأتي أهمية البحث من أهمية استخدام محرك التيار المستمر من دون مسفريات في التطبيقات عالية الأداء، وبالتالي فإن إيجاد طريقة تحكم فعالة بهذا المحرك سيؤدي إلى أداء أفضل للمحرك عن طريق الحصول على منحنيات عزم خالية من التأرجحات (أنعم) قدر الإمكان.

**4. هدف البحث:**

- تقليل تأرجحات العزم قدر الإمكان.
- جعل الزاوية بين شعاعي حقل الثابت والدائر  $90^0$  وذلك للحصول على عزم أعظمي للمحرك.

**5. طرائق البحث ومواده:**

يقوم البحث على إجراء مقارنة بين نظام التحكم الشعاعي بالحقل المغناطيسي في محرك التيار المستمر من دون مسفريات باستخدام المتحكمات التناسبية التكاملية ومنحركات المنطق الضبابي ( FOC with PI Controller – FOC with Fuzzy Logic Controller). تمت النمذجة والمحاكاة باستخدام MATLAB Simulink، وبعد الحصول على النتائج تم إجراء مقارنة بين إشارات التيار والعزم والسرعة.

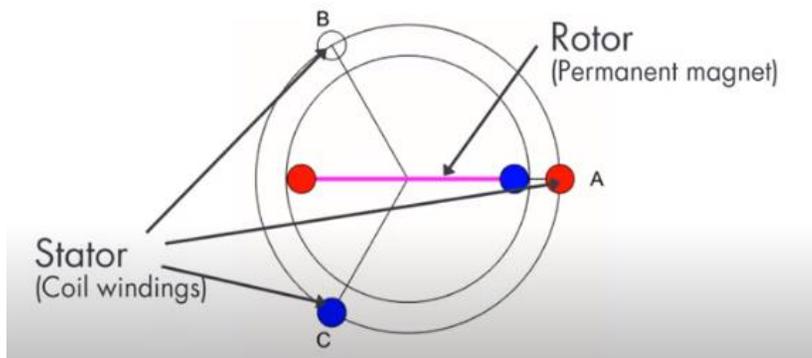
**6. مبدأ عمل محرك التيار المستمر من دون مسفريات:**

لتبسيط مبدأ عمل العمل نعتبر محرك من دون مسفريات ثلاثي الأطوار مع دائر بقطبين وثابت بثلاث ملفات فقط الشكل(2). يعمل المحرك اعتماداً على المبدأ التالي:

في كل لحظة يوجد طوران مفعلان والثالث غير مفعول، يبدأ عمل المحرك بتغذية إحدى الوشائع بشكل يحولها إلى قطب مغناطيسي يقوم بجذب القطب المغناطيسي المعاكس الأقرب إليه من مغناط الدائر، وتغذية وشيعة أخرى بشكل يحولها إلى قطب مغناطيسي

دراسة وتحليل أداء محرك التيار المستمر من دون مسفرت باستخدام خوارزمية التحكم الشعاعي  
بالحقل المغناطيسي

يقوم بدفع القطب السابق بنفس الاتجاه السابق. في الخطوة اللاحقة يتم تبديل الوشيعتين بحيث تتحقق الحركة بنفس الاتجاه السابق، وهكذا....تتم عملية دوران محور المحرك [4]-[2].



الشكل(2): محرك من دون مسفرت ثلاثي الأطوار مع دائر بقطبين وثابت بثلاث ملفات.

إن عملية التبديل تحتاج لمعرفة موضع الدائر ثم تفعيل الطورين المناسبين بحيث ينتج أكبر مقدار من العزم، من أجل ذلك تتم عملية التبديل في محركات التيار المستمر من دون مسفرت باستخدام العناصر الإلكترونية مثل الترانزستورات، ويتم التحكم بال لحظة الزمنية لعمل كل ترانزستور بمعرفة الموضع اللحظي للدوار. معرفة موضع الدوار يتم باستخدام حساسات الموضع (position sensors) والتي أهمها:

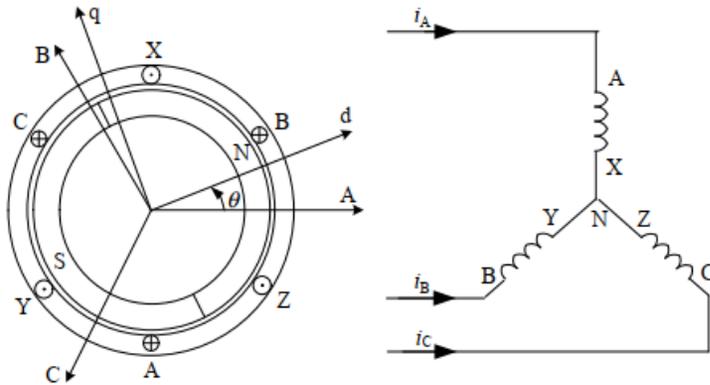
- عناصر هول (Hall - elements).
- الديودات والترانزستورات الضوئية (phototransistors).
- مفاعلات حساسة لتغير التحريض (inductors).

يستخدم الأول بشكل واسع ويتبعه الثاني أما الثالث فقد زال استخدامه حديثاً.

## 6.1. النموذج الرياضي لمحرك التيار المستمر من دون مسفرت [2]:

نعتمد نموذج محرك ثنائي الاقطاب ثلاثي الطور ذو توصيل نجمي كما نعتمد الفرضيات التالية:

- تأخذ الفجوة الهوائية في المحرك شكلاً منتظماً، ويأخذ التدفق المغناطيسي شكل موجة شبه منحرفة.
- لا يوجد إشباع مغناطيسي بالإضافة إلى ضياعات تيارات فوكو البطء المغناطيسي.
- الأطوار الثلاثة في الجزء الثابت متطابقة، موزعة بشكل متجانس، ولها نفس المعاملات.
- الأطوار الثلاثة في الجزء الثابت موصولة بشكل نجمي ولا يمكن الوصول للحيادي.
- العناصر الالكترونية المستخدمة في القالبية الترددية مثالية.



الشكل (3): رسم تخطيطي لمحرك التيار المستمر من دون مسفرت.

تعطى علاقة الجهد المطبق على الطور A:

$$V_A = R_A \cdot i_A + e_{\psi_A} \quad (1)$$

حيث:

$V_A$ : الجهد المطبق على ثابت المحرك.

$i_A$ : التيار المار في ملفات الثابت.

$R_A$ : مقاومة ملفات الثابت.

$e_{\psi_A}$ : القوة المحركة الكهربائية العكسية المتحرضة في الطور A.

تعطى علاقة القوة المحركة الكهربائية العكسية للطور A بدلالة الفيض المتشابك:

$$e_{\psi_A} = \frac{d\psi_A}{dt} \quad (2)$$

حيث يعطى الفيض المتشابك للطور A:

$$\psi_A = L_A i_A + M_{AB} i_B + M_{AC} i_C + \psi_{pm}(\theta) \quad (3)$$

حيث:

$L_A$ : التحريضية الذاتية للطور A.

$M_{AB}$ : التحريضية المتبادلة بين الطور A والطور B.

$M_{AC}$ : التحريضية المتبادلة بين الطور A والطور C.

$\psi_{pm}(\theta)$ : الفيض الناتج عن المغناطيس الدائمة والمتشابك مع الطور A.

$\theta$ : زاوية الموضع للدوار وهي الزاوية المحصورة بين المحور الطولي (d) للدائر ومحور

الطور A.

وبالتعويض في معادلة الجهد (1):

$$V_A = R_A \cdot i_A + \frac{d}{dt} (L_A i_A + M_{AB} i_B + M_{AC} i_C + \psi_{pm}(\theta)) \quad (4)$$

$$V_A = R_A \cdot i_A + \frac{d}{dt} (L_A i_A + M_{AB} i_B + M_{AC} i_C) + e_A \quad (5)$$

حيث:

$e_A$ : القوة المحركة الكهربائية العكسية المتولدة في الطور A.

وبالأخذ بعين الاعتبار أن المقاومة الكهربائية للأطوار الثلاثة متساوية:

$$R_A = R_B = R_C = R$$

وكذلك التحريضية الذاتية:

$$L_A = L_B = L_C = L$$

والتحريضية المتبادلة:

$$M_A = M_B = M_C = M$$

$$V_A = R \cdot i_A + L \frac{di_A}{dt} + M \frac{di_B}{dt} + M \frac{di_C}{dt} + e_A \quad (6)$$

وبما أن تيارات الأطوار الثلاثة تحقق العلاقة:

$$i_A + i_B + i_C = 0 \quad (7)$$

يمكن تبسيط معادلة الجهد (6):

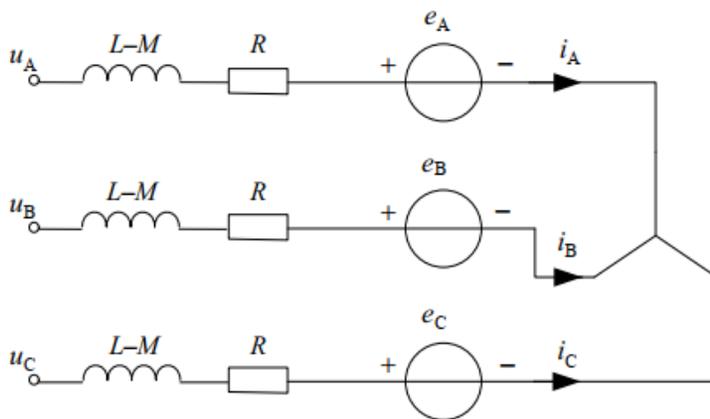
$$V_A = R \cdot i_A + (L - M) \frac{di_A}{dt} + e_A \quad (8)$$

وتكتب المعادلة السابقة بالشكل المصفوفي:

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L-M & 0 & 0 \\ 0 & L-M & 0 \\ 0 & 0 & L-M \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_A \\ e_B \\ e_C \end{bmatrix} \quad (9)$$

التمثيل السابق يحتاج لتحديد جهد الحيايدي وذلك من أجل معرفة جهد الطور لذلك نقوم باستبدال جهد الطور في المعادلة (9) بجهد الخط والذي من السهل قياسه بخلاف جهد الطور:

$$\begin{bmatrix} V_{AB} \\ V_{BC} \\ V_{CA} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & -R & 0 \\ 0 & R & -R \\ -R & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L-M & M-L & 0 \\ 0 & L-M & M-L \\ M-L & 0 & L-M \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_A - e_B \\ e_B - e_C \\ e_C - e_A \end{bmatrix} \quad (10)$$



الشكل (4): الدارة المكافئة لمحرك التيار المستمر من دون مسفرت.

تعطى الاستطاعة الكهرومغناطيسية كحاصل جمع جداءات القوة المحركة الكهربائية العكسية بتيارات الاطوار الثلاثة:

$$P_{em} = e_A i_a + e_B i_b + e_C i_c \quad (11)$$

وبإهمال الضياعات الميكانيكية نحصل على علاقة العزم الكهرومغناطيسي:

$$P_{em} = \omega_m T_{em} \quad (12)$$

$$T_{em} = \frac{e_A i_a + e_B i_b + e_C i_c}{\omega_m} \quad (13)$$

وباعتبار أن المبدلة الالكترونية التي تغذي المحرك تعمل في نظام التحكم  $120^\circ$  وبالتالي هناك طورين مفعلين للمحرك تصبح علاقة العزم بالشكل التالي:

$$T_{em} = 2p\psi_m i_A = K_T i \quad (14)$$

$$T_{em} - T_L = J \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m \quad (15)$$

حيث:

$\psi_m$  : القيمة العظمى للفيض المغناطيسي الناتج عن المغناط الدائمة.

$p$  : عدد ازواج الأقطاب.

$K_T$  : معامل العزم (Torque Coefficient).

$i$  : التيار في الحالة المستقرة.

$J$  : عزم العطالة للدائر.

$B$  : معامل الاحتكاك (Friction Coefficient).

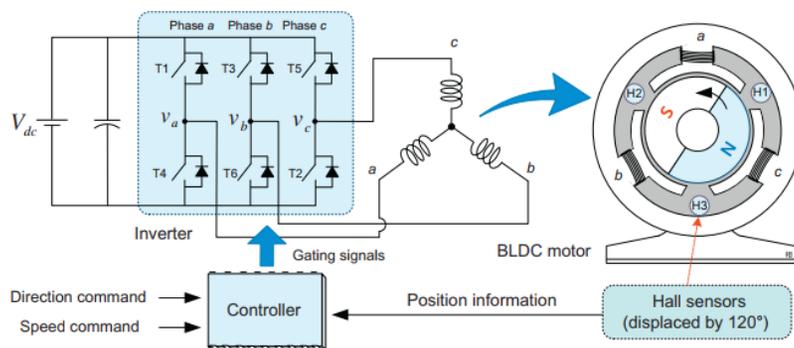
$T_L$  : عزم الحمولة (Load Torque).

## 6.2. استخدام القالبية الترانزستورية في قيادة محرك التيار المستمر من دون

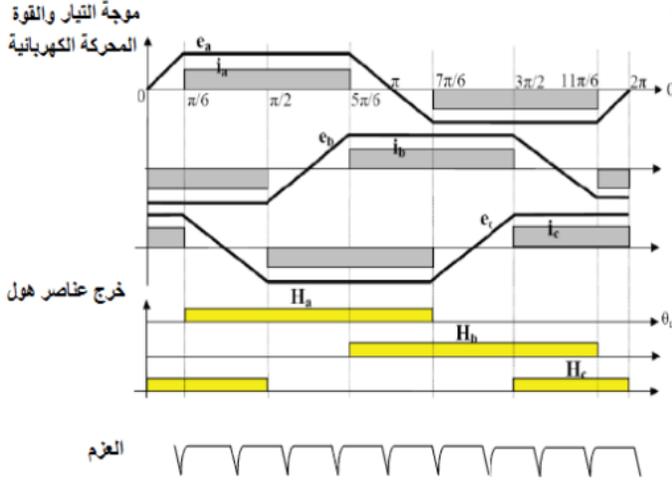
### مسفرت:

يمكن قيادة محرك التيار المستمر من دون مسفرت باستخدام القالبات الإلكترونية ثلاثية الطور والتي تؤمن تهييجاً ذا تردد ومطال متغيرين، فهي المسؤولة عن التبديل الإلكتروني وتنظيم التيار، كما هو موضح بالشكل (5).

فيما يتعلق بالمفاتيح الإلكترونية المستخدمة يمكن أن تكون من نوع MOSFET, BJT, IGBT. تأخذ القالبات الإلكترونية المعلومات عن موضع الدوار من حساسات الموضع (عناصر هول) وتكون الإشارات الناتجة مسؤولة عن فتح وإغلاق المقاتيح الإلكترونية للقالبية، وفي كل لحظة زمنية يكون هناك مفتاحان عاملان (مفتاح في الجزء الأعلى وآخر في الجزء الأسفل) لمدة 120 درجة كهربائية. من أجل تنظيم التيار في الأطوار نستخدم طريقة التبديل الناعم Soft Starting أو المتحكمات التي تستخدم تعديل عرض النبضة PWM. يبين الشكل (6) أشكال موجات التيار والقوة المحركة الكهربائية على الملفات الثلاثة للمحرك وكذلك العزم، وذلك بناءً على الإشارات القادمة من حساسات هول [1].



الشكل (5): القالبية الترانزستورية ثلاثية الطور [4].



الشكل(6): موجات التيار والجهد والعزم لمحرك التيار المستمر من دون مسفات.

رغم ما تتمتع به هذه المحركات من مزايا عديدة بالمقارنة مع المحرك المستمر التقليدي والمحرك التحريضي إلا أنها لا تخلو من بعض المساوئ نذكر منها:

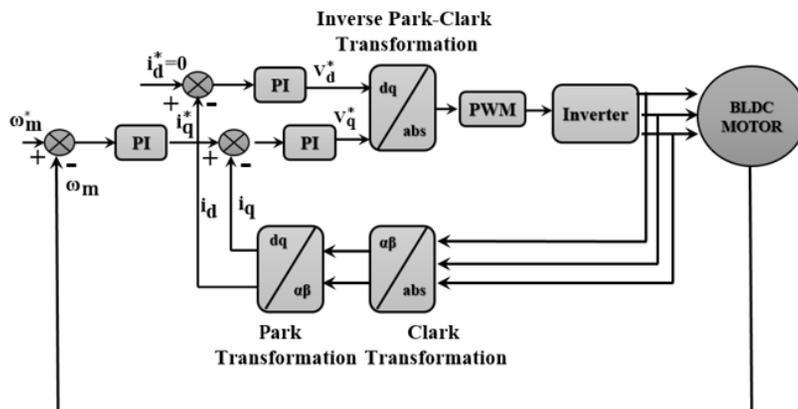
- ✓ دارة القيادة المعقدة إلى حد ما وبالتالي التكلفة المرتفعة.
- ✓ حاجة دارة التبديل الإلكترونية إلى حساس لموضع الدوار.
- ✓ حدوث تموجات واهتزازات في منحنى العزم وذلك لسببين: الأول يتعلق بعدم انتظام الثغرة الهوائية بين الثابت والدوار، والثاني يتعلق بالمبدلة الإلكترونية المستخدمة، حيث أن هذه المحركات يتم تغذيتها غالباً عبر قابلية جهد وفق نظام تبديل إلكتروني يدعى (6-step (120 degree). وفي هذا النمط يكون شكل موجة الجهد المغذي لملفات الآلة شبه منحرف وبالتالي يحدث تموجات في العزم عند لحظات التبديل في المفاتيح الإلكترونية.

## 7. التحكم الشعاعي بالحقل المغناطيسي Field Oriented Control

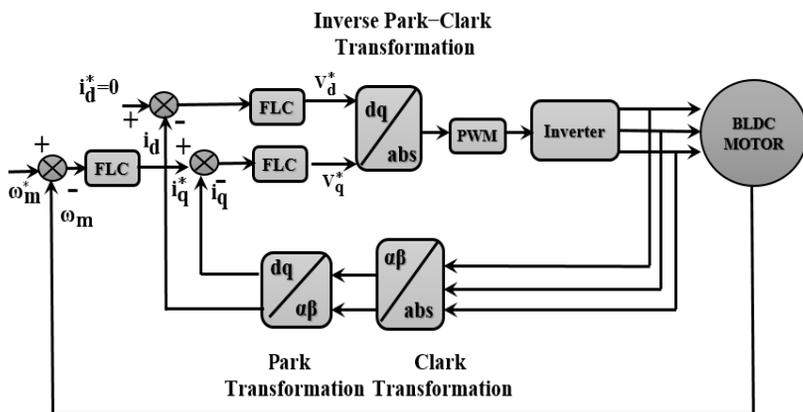
(FOC):

يعتبر مبدأ التحكم الشعاعي بالحقل المغناطيسي مستخلصاً من خاصية محرك التيار المستمر ذو التهيج المستقل الذي يمتاز بإمكانية التحكم بكل من الفيض والعزم بشكل مستقل عن الآخر. يمكن أيضاً في محرك BLDC Motor التحكم بالعزم والفيض المغناطيسي بشكل مستقل وذلك باستخدام محاور إحداثية مرتبطة بشعاع الحقل المغناطيسي للدوار حيث نجعل المحاور d-q تدور بنفس السرعة الزاوية لدوران شعاع حقل الدوار وجعل المحور الطولي d منطبق على شعاع حقل الدوار. إن عملية فك الارتباط بين الفيض والعزم (التحكم المستقل بكل منهما)، تتم بتحليل شعاع تيار الثابت إلى مركبتين  $I_{ds}$  و  $I_{qs}$  حيث تعتبر المركبة المباشرة  $I_{qs}$  مسؤولة عن التحكم بشكل مباشر بعزم دوران للمحرك. تعتبر خوارزمية التحكم بهذه الطريقة غير معقدة وتعتمد على المتحكمات التقليدية البسيطة (مثل المتحكم التناسبي والتكاملي PI).

يبين الشكل (7) المخطط الصندوقي لخوارزمية التحكم الشعاعي بالحقل المغناطيسي FOC. يتم تغذية الآلة عن طريق قابلية ترانزستورية ثلاثية الطور حيث دخل القالبية عبارة عن جهد مستمر  $U_{dc}$  (يمكن أن يكون مقوماً جسرياً ثلاثي الطور موصول مع الشبكة العامة). تتم مقارنة السرعة المقاسة للآلة مع السرعة المرجعية والتحكم بها من خلال متحكم السرعة التناسبي التكاملي والذي خرجه يمثل القيمة المرجعية للمركبة العمودية للتيار. من خلال تنظيم المركبة الأفقية والعمودية للتيار نحصل على الجهود المرجعية  $V_d^*$  و  $V_q^*$  وبعد عملية التحويل الشعاعي نحصل على الجهود المرجعية  $V_{abc}^*$  الذي يمثل إشارة الدخل للعنصر PWM. يقوم العنصر PWM بمقارنة إشارة الدخل مع إشارة مثلثية لتشكيل نبضات التحكم للقالبية وبالتالي تشكيل الجهد المناسب للآلة الذي يوافق السرعة المطلوبة [5]-[1].



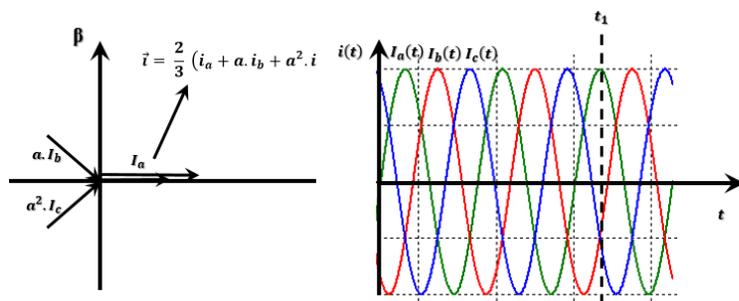
الشكل(7): المخطط الصندوقي لطريقة التحكم الشعاعي بالحقل المغناطيسي FOC with PI.



الشكل(8): المخطط الصندوقي لطريقة التحكم الشعاعي بالحقل المغناطيسي FOC with FLC.

## 7.1. التحويل الشعاعي (Vector Transformation):[5]

ليكن لدينا تيار ثلاثي الطور كما في الشكل (9) حيث فرق الصفحة بين الأطوار الثلاثة  $120^\circ$ :



الشكل(9): التمثيل الشعاعي لتيار ثلاثي الطور.

$$i_a(t) = i_{max} \sin(\omega t) \quad (16)$$

$$i_b(t) = i_{max} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (17)$$

$$i_c(t) = i_{max} \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \quad (18)$$

من المعروف أن المجموع الجبري لتيارات الأطوار الثلاثة في كل لحظة يساوي الصفر:

$$i_a(t) + i_b(t) + i_c(t) = 0 \quad (19)$$

أما المجموع الشعاعي لتيارات الأطوار الثلاثة فهو شعاع طويلته ثابتة ويدور بسرعة زاوية  $\omega$ . الشكل (8) يمثل المجموع الشعاعي لتيارات الأطوار الثلاثة في اللحظة  $t_1$  حيث يعبر عن المجموع الشعاعي  $\vec{i}$  في كل لحظة بالعلاقة:

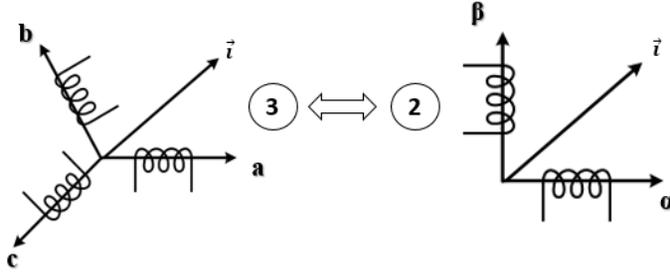
$$\vec{i} = \frac{2}{3} (i_a + a.i_b + a^2.i_c) \quad ; \quad a = e^{j120^\circ} \quad (20)$$

من خلال الثابت  $(2/3)$ ، يتم نسب المجموع الشعاعي لتيارات الأطوار إلى الشعاع الطوري بحيث تتحقق العلاقة:

$$|\vec{i}| = |i_a max| = |i_b max| = |i_c max| \quad (21)$$

## 7.2. تحويل كلارك (Clarke Transformation):

إن الانتقال من النظام الثلاثي الطور (a,b,c) إلى النظام الثنائي الطور ( $\alpha, \beta$ ) كما في الشكل (10) يسمى تحويل كلارك، حيث تسمى الإحداثيات ( $\alpha, \beta$ ) بالإحداثيات الثابتة والتي تستخدم كثيراً في عملية التحكم بالآلات الكهربائية.



الشكل (10): الانتقال من نظام ثلاثي الطور إلى نظام ثنائي الطور.

نعيد كتابة معادلة شعاع التيار  $\vec{i}$  في المعادلة (20) بالإحداثيات الثابتة ( $\alpha, \beta$ ):

$$\vec{i} = \frac{2}{3} (i_a + a \cdot i_b + a^2 \cdot i_c) \quad (22)$$

$$\vec{i} = \frac{2}{3} (i_a + (1 \angle 120^\circ) \cdot i_b + (1 \angle 240^\circ) \cdot i_c) \quad (23)$$

$$\vec{i} = I_a + jI_\beta \quad (24)$$

بفصل المركبة الحقيقية عن المركبة التخيلية نحصل على مركبتي شعاع التيار:

$$I_a = \frac{2}{3} \left( i_a - \frac{1}{2} (i_b + i_c) \right) \quad (25)$$

$$I_\beta = \frac{1}{\sqrt{3}} (i_b - i_c) \quad (26)$$

نكتب العلاقتان (25) و (26) على شكل مصفوفة:

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{1}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (27)$$

أما الانتقال من النظام الثنائي الطور ( $\alpha, \beta$ ) إلى النظام الثلاثي الطور (a,b,c) فيسمى بتحويل كلارك العكسي (Clarke<sup>-1</sup> Transformation) والذي يعبر عنه بالعلاقة:

$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_\beta \end{bmatrix} \quad (28)$$

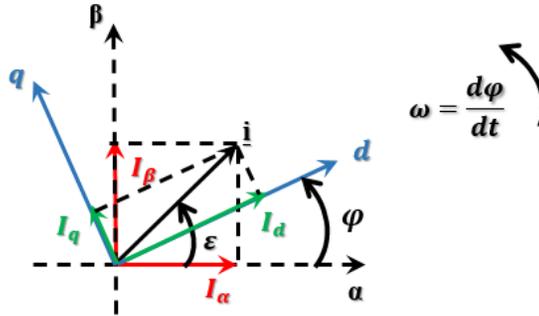
### 7.3. تحويل بارك (Park Transformation):

في الفقرة السابقة تم تمثيل تيار ثلاثي الطور في الإحداثيات الثابتة  $(\alpha, \beta)$  بشعاع دوار  $\vec{i}$  من خلال المركبتين الأفقية  $I_a$  والعمودية  $I_\beta$  وذلك باستخدام تحويل كلارك. الشكل (11) يبين الإحداثيات الثابتة  $(\alpha, \beta)$  والإحداثيات الدوارة  $(d, q)$  التي تدور بسرعة زاوية  $\omega$  وتصنع مع الإحداثيات الثابتة زاوية متغيرة  $\varphi$ ، أما شعاع التيار فيصنع مع الإحداثيات الثابتة الزاوية المتغيرة  $\varepsilon$  و مع الإحداثيات الدوارة الزاوية  $(\varepsilon - \varphi)$ . يعبر عن شعاع التيار  $\vec{i}$  في الإحداثيات الثابتة بالعلاقة:

$$I_a + jI_\beta = |\vec{i}|e^{j\varepsilon} \quad (29)$$

وفي الإحداثيات الدوارة  $(d, q)$  بالعلاقة التالية:

$$I_d + jI_q = |\vec{i}|e^{j(\varepsilon - \varphi)} \quad (30)$$



الشكل (11): تحويل بارك.

بتقسيم العلاقة (30) على العلاقة (29) وبعد الإصلاح نجد:

$$I_d + jI_q = (I_a + jI_\beta)e^{j(-\varphi)} \quad (31)$$

بفصل المركبة الحقيقية عن التخيلية نجد:

$$I_d = I_a \cos \varphi + I_\beta \sin \varphi \quad (32)$$

$$I_q = -I_a \sin \varphi + I_\beta \cos \varphi \quad (33)$$

نكتب العلاقتان (32) و(33) على شكل مصفوفة:

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} \quad (34)$$

من خلال المعادلة (34) يتم الحصول على مركبتي شعاع التيار في الإحداثيات الدوارة  $(d, q)$  بدلالة مركبتي شعاع التيار في الإحداثيات الثابتة  $(\alpha, \beta)$ ، أي الانتقال من الإحداثيات الثابتة إلى الإحداثيات الدوارة، حيث تسمى عملية الانتقال هذه بتحويل بارك .Park Transformation

بتقسيم العلاقة (29) على العلاقة (30) نحصل على العلاقات اللازمة لتحويل بارك العكسي (Park<sup>-1</sup> Transformation)، أي الانتقال من الإحداثيات الدوارة إلى الإحداثيات الثابتة.

$$I_a + jI_\beta = (I_d + jI_q)e^{j(\varphi)} \quad (35)$$

بفصل المركبة الحقيقية عن التخيلية نجد:

$$I_a = I_d \cos \varphi - I_q \sin \varphi \quad (36)$$

$$I_\beta = I_d \sin \varphi + I_q \cos \varphi \quad (37)$$

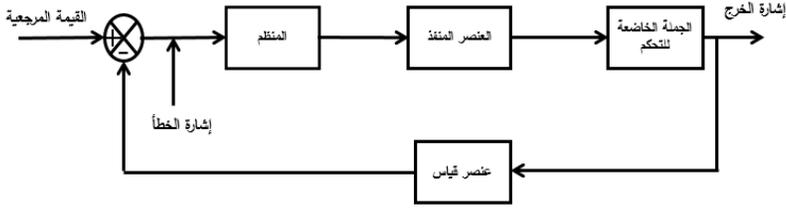
نكتب العلاقتان (36) و(37) على شكل مصفوفة:

$$\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} \quad (38)$$

#### 7.4. المتحكمات الإلكترونية:

المتحكمات الإلكترونية هي عناصر تستعمل في أنظمة التحكم الآلي، وظيفتها تنظيم عمل الجمل التحكمية وتحسين استقرارها عند تعرض هذه الجمل إلى تغيرات مفاجئة في إشارة الدخل. تقوم المتحكمات بمقارنة إشارة الخرج المطلوب التحكم بها مع قيمة الدخل المرجعية، وتحديد مقدار الانحراف أو إشارة الخطأ بين إشارة الدخل والخرج وتعطي إشارة

تحكمية تقوم بخفض هذا الانحراف إلى الصفر أو أصغر قيمة ممكنة. يتم اختيار نوع المتحكم حسب نوع النظام والاهداف المطلوبة من عملية التحكم والشكل (12) يوضح طريقة ربط المتحكم مع جملة خاضعة للتحكم.



الشكل(12)

#### 7.4.1. المتحكم التناسبي التكاملي PI:

إن المعادلة الزمنية للمتحكم التناسبي التكاملي تعطى بالعلاقة:

$$U(t) = K_P E(t) + K_I \int_0^t E(t) dt \quad (39)$$

وبإجراء تحويل لابلاس للعلاقة (39) نحصل على تابع النقل للمتحكم PI:

$$U(s) = K_P E(s) + K_I \frac{E(s)}{S} \Rightarrow G_{PI}(S) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_P + \frac{K_I}{S} \quad (40)$$

$$U(s) = K_P \left(1 + \frac{1}{T_I S}\right) \quad (41)$$

$$T_I = \frac{K_P}{K_I}$$

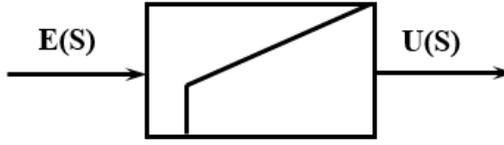
حيث:

$K_P$ : ثابت التناسب.

$K_I$ : ثابت التكامل.

$T_I$ : الثابت الزمني.

والشكل (13) يبين المخطط الصندوقي للمتحكم التناسبي التكاملي:



الشكل(13): رمز المتحكم التناسبي التكاملي.

من ميزات هذا المتحكم أنه يجمع بين ميزات المتحكم التناسبي والتكاملي.

إيجابيات المتحكم التناسبي:

- زيادة سرعة النظام (تقليل زمن الصعود).
- زيادة مقدار التناسب ينقص مقدار الخطأ في الحالة المستقرة.

سلبيات المتحكم التناسبي:

- لا يلغي الخطأ في الحالة المستقرة.
- بزيادة ثابت التناسب يزداد اهتزاز النظام (انخفاض درجة الاستقرار).

إيجابيات المتحكم التكاملي:

- إلغاء إشارة الخطأ في الحالة المستقرة.

سلبيات المتحكم التكاملي:

- يزيد من اهتزاز النظام (انخفاض في درجة الاستقرار).

#### 7.4.2. متحكم المنطق الضبابي Fuzzy Logic Controller:

يتكون متحكم المنطق الضبابي المصمم من جزئين PI التقليدي و FLC:

$$K_{P2} = K_{P1}K_P \quad (42)$$

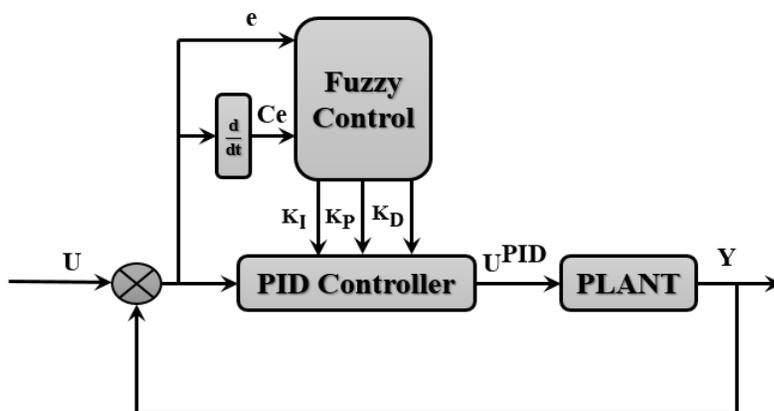
$$K_{I2} = K_{I1}K_I \quad (43)$$

حيث:

$K_P, K_I$ : قيم بارامترات متحكم PI.

$K_{P1}, K_{I1}$ : هي مخارج FLC.

$e(t)$ : إشارة الخطأ.



الشكل (14): متحكم الـ FLC.

معادلة المتحكم بعد التوليف (الضبط):

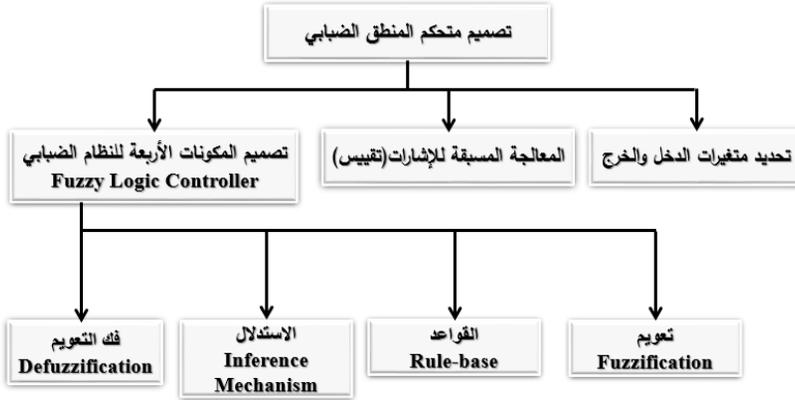
$$U_{PI}(t) = K_{P2}e(t) + K_{I2} \int_0^t e(t) dt \quad (44)$$

### 7.4.3. تصميم متحكم المنطق الضبابي Fuzzy Logic Controller:

يبين الشكل (14) المخطط الصندوقي لكيفية تصميم متحكم FLC. في وحدة التحكم الضبابية تكون المداخل عبارة عن الخطأ  $e$  والتغير في الخطأ  $Ce$  والمخارج  $K_{P1}, K_{I1}$ . يتم تحويل إشارة الدخل الى قيم ضبابية بواسطة عملية التضبيب Fuzzification، حيث المصطلحات اللغوية:

PB, PM, PS, Z, NS, NM, NB

تشير إلى دالات الانتماء للمداخل والمخارج الضبابية. يتم تحديد قيمة الخرج وفقاً للقواعد اللغوية. يتم تحويل بيانات المخارج اللغوية إلى مخارج واضحة عن طريق عملية فك الضبابية Defuzzification [3].



الشكل (14)

تمثل مجموعة القواعد منطق صنع القرار، والتي تحاكي عملية اتخاذ القرار البشري. يتم تشكيل مجموعة القواعد باستخدام المداخل والمخارج المقابلة:

ce/e	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	VB	VB	VB	VB	VB
NS	B	B	B	MB	VB
ZE	ZE	ZE	MS	S	S
PS	B	B	B	MB	VB
PB	VB	VB	VB	VB	VB

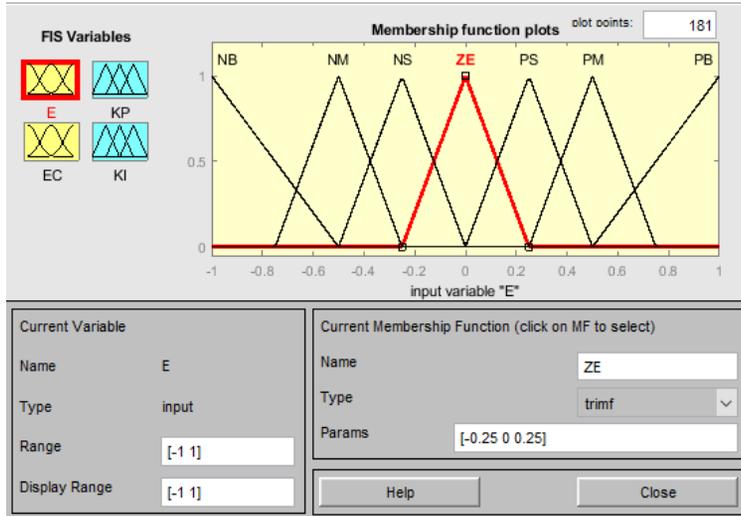
الجدول (1): قواعد ثابت الريح التناسبي.

ce/e	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	M	M	M	M	M
NS	S	S	S	S	S
ZE	MS	MS	ZE	MS	MS
PS	S	S	S	S	S
PB	M	M	M	M	M

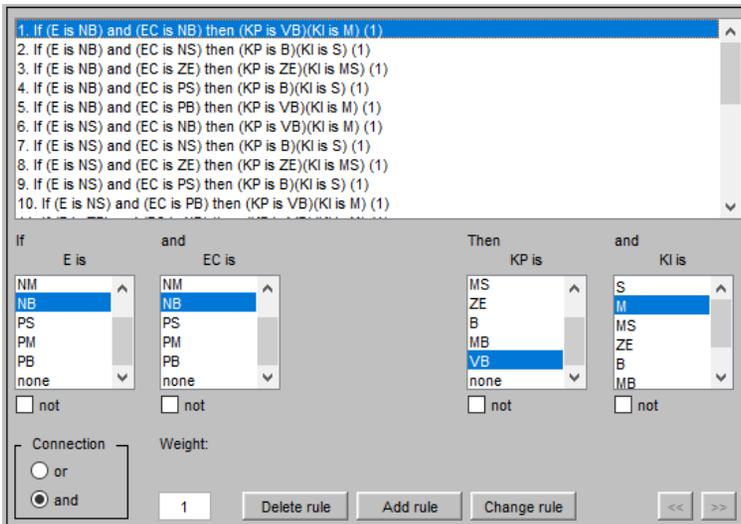
الجدول (2): قواعد ثابت الريح التكاملية.

*If (e is NB) and (Ce is NB) Then (K<sub>p</sub> is VB) (K<sub>i</sub> is M)*

يبين الشكل(15) واجهة Fuzzy Logic ضمن MATLAB والتي تبين تحديد المداخل والمخارج وشكل دالات الانتماء وكتابة القواعد[6].



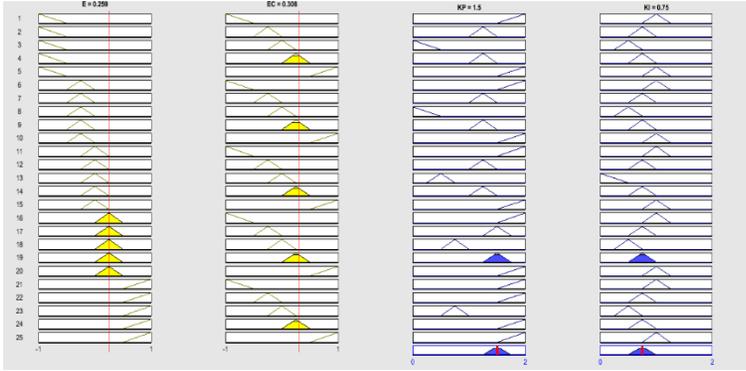
الشكل(15): واجهة Fuzzy Logic ضمن MATLAB.



الشكل(16): كتابة القواعد ضمن MATLAB.

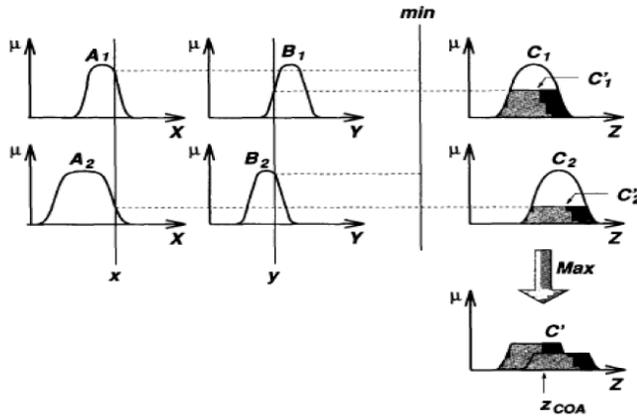
يوضح الشكل (17) تطبيق قيم محددة على المداخل والقواعد التي يتم قدها عند دخل

محدد:



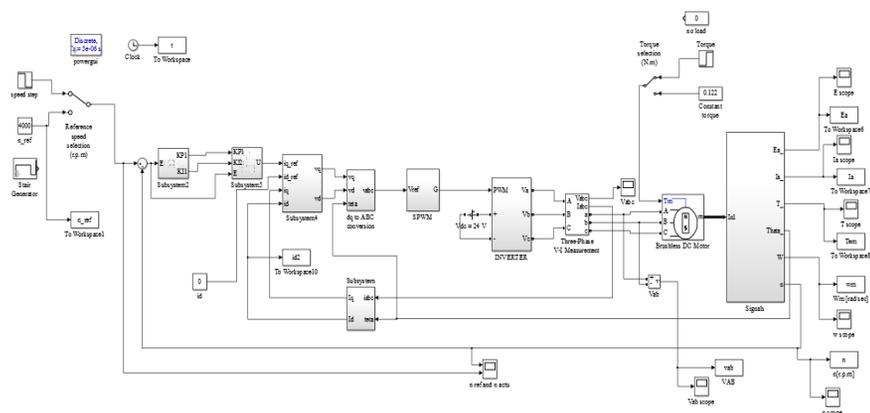
الشكل (17)

حيث تم استخدام النوع "Mamdani" في طريقة الاستدلال الضبابي الذي يمكن توضيحه كما هو موضح بالشكل (18):



الشكل (18)





الشكل (20)

Parameter	Value
Input DC voltage	24 V
Stator Resistance	0.36 $\Omega$
Stator inductance	0.6m H
Rated torque	0.125 Nm
Torque constant	0.036 Nm/A
Moment of inertia	4.6u Kg-m <sup>2</sup>
Pole pairs	4

الجدول (3): مواصفات المحرك المستخدم.

## 9. النتائج والمناقشة:

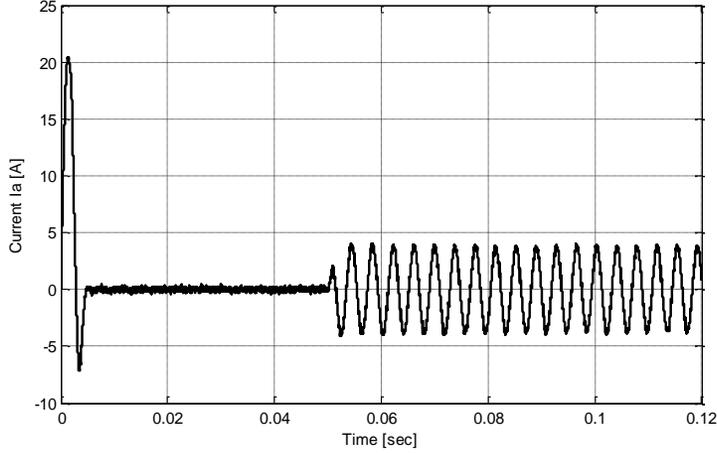
### 9.1. حالة العمل على فراغ وحالة العمل على حمولة:

#### 9.1.1. إشارة التيار:

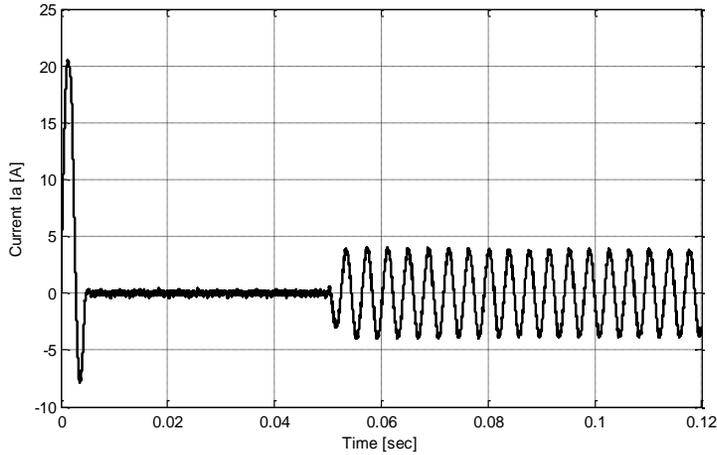
يبين الشكلين (21) و (22) إشارة التيار للمحرك في حالة استخدام متحكمات تناسبية تكاملية ومتحكمات المنطق الضبابي ضمن خوارزمية التحكم الشعاعي بالحقل المغناطيسي. عند العمل على فراغ خلال الزمن [0-0.05 sec] ، نلاحظ أنه التيار يصل إلى قيمة قدرها 20 [A] لحظة الإقلاع وذلك للتغلب على عزم عطالة المحرك ثم يستقر على قيمة قريبة من الصفر بعد انتهاء زمن الحالة العابرة. يتم تحميل المحرك

دراسة وتحليل أداء محرك التيار المستمر من دون مسفرات باستخدام خوارزمية التحكم الشعاعي  
بالحقل المغناطيسي

بحمولة قدرها 0.122 [N.M] خلال الزمن [0.05-0.12 sec] حيث نلاحظ أن تيار  
المحرك يستقر على قيمة قريبة من 4[A].



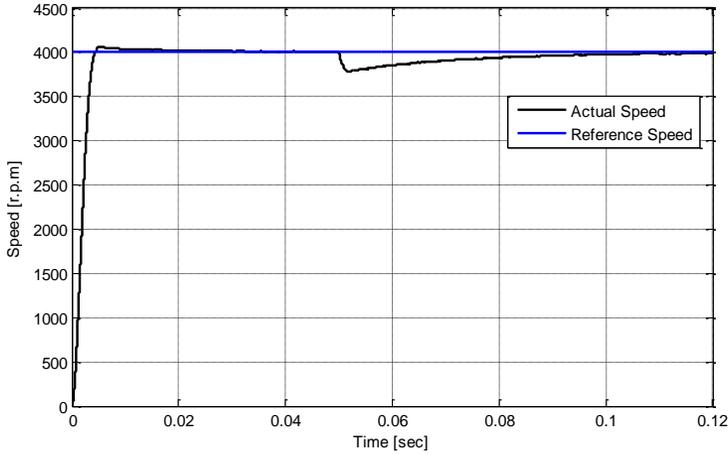
الشكل(21): تيار الطور للمحرك في حالة FOC with PI Controllers.



الشكل(22): تيار الطور للمحرك في حالة FOC with FL Controllers.

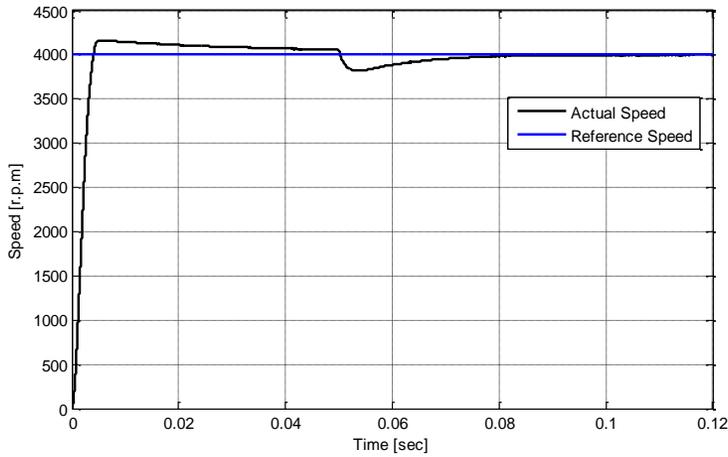
## 9.1.2. إشارة السرعة:

يبين الشكلين (23) و (24) إشارة السرعة للمحرك في حالة استخدام متحكمات تناسبية تكاملية ومتحكمات المنطق الضبابي ضمن خوارزمية التحكم الشعاعي بالحقل المغناطيسي حيث تمت المحاكاة عند سرعة مرجعية قدرها  $4000 \text{ [r.p.m]}$ . عند العمل على فراغ نلاحظ أن سرعة المحرك في حالة FOC with PI استقرت عند زمن أقل مما هو عليه في حالة FOC with FL وكذلك الأمر بالنسبة للتجاوز الأعظمي (نسبة تجاوز الهدف). عند تحميل المحرك نلاحظ أن زمن الاستقرار كان أفضل في حالة FOC with FL.

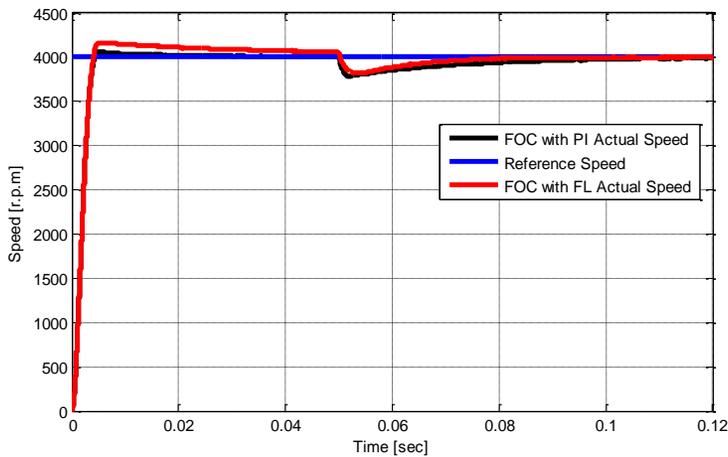


الشكل(23): سرعة المحرك في حالة FOC with PI Controllers.

يبين الشكل (25) سرعة المحرك المرجعية وسرعة المحرك الفعلية في حالة نظامي التحكم المذكورين سابقاً.



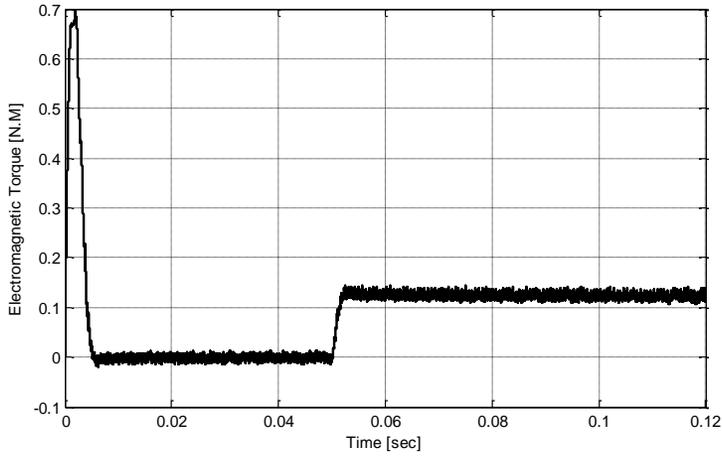
الشكل(24): سرعة المحرك في حالة FOC with FL Controllers



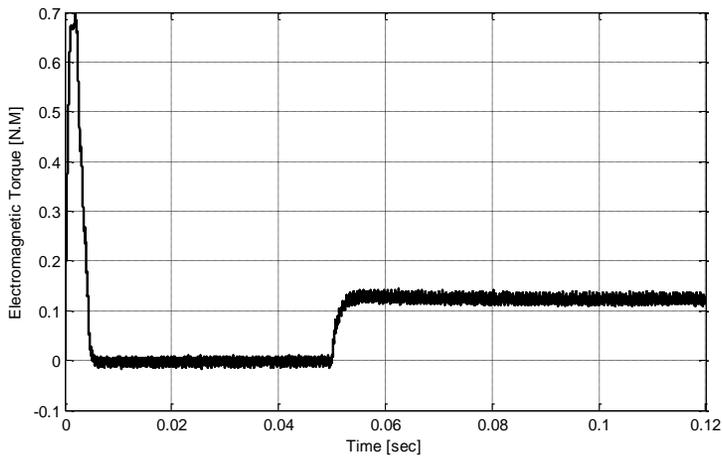
الشكل(25)

### 9.1.3. إشارة العزم:

يبين الشكلين (26) و (27) إشارة عزم المحرك في حالة استخدام متحكمات تناسبية تكاملية و متحكمات المنطق الضبابي ضمن خوارزمية التحكم الشعاعي بالحقل المغناطيسي حيث تمت المحاكاة عند عزم حمولة مقداره  $0.122 \text{ [N.M]}$ . عند العمل على فراغ وعلى حمولة نلاحظ أن تموجات العزم في حالة FOC with FL كانت أقل مما هو عليه في حالة FOC with PI.

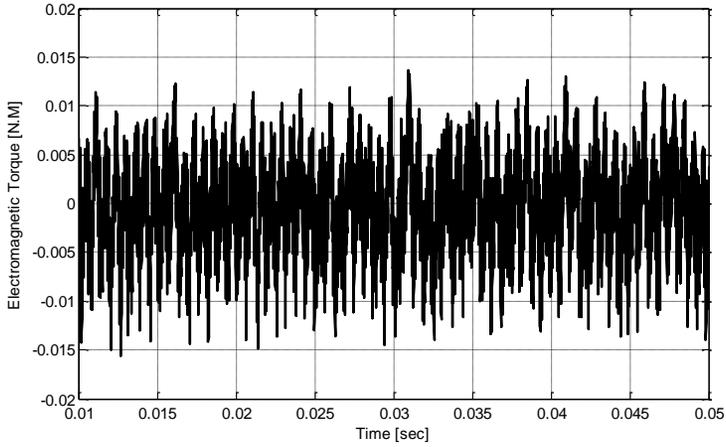


الشكل (26): عزم المحرك في حالة FOC with PI Controllers.

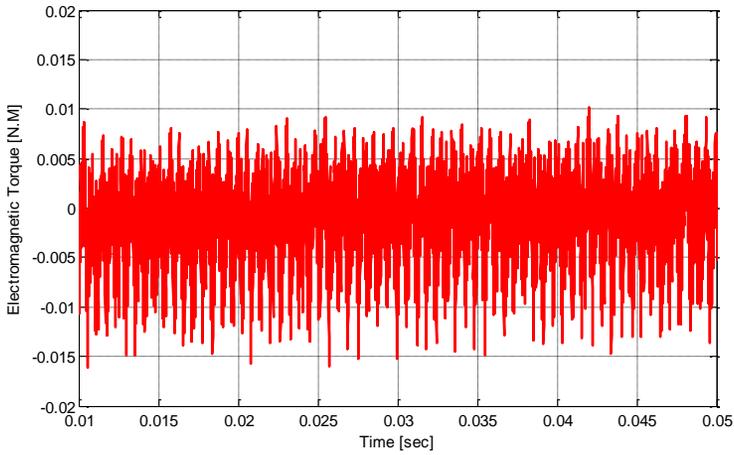


الشكل (27): عزم المحرك في حالة FOC with FL Controllers.

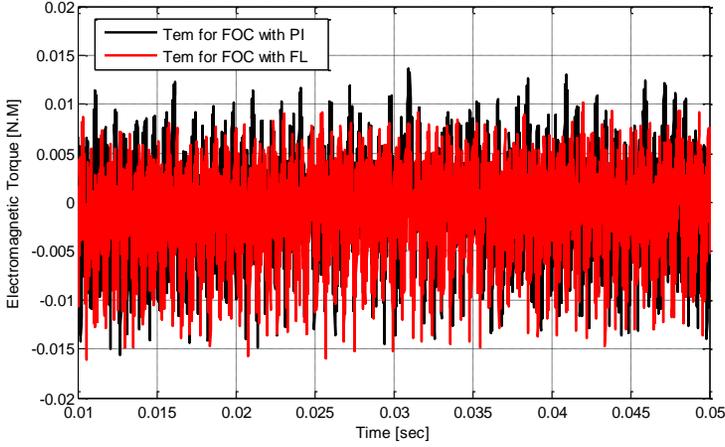
دراسة وتحليل أداء محرك التيار المستمر من دون مسفرت باستخدام خوارزمية التحكم الشعاعي  
بالحقل المغناطيسي



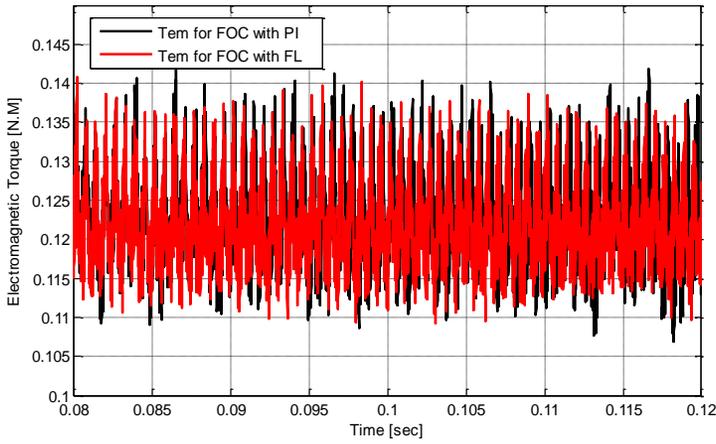
الشكل(28): تموجات عزم المحرك في حالة FOC with PI Controllers.



الشكل(29): تموجات عزم المحرك في حالة FOC with PI Controllers.



الشكل (30): تموجات عزم المحرك لكلا نظامي التحكم على مخطط واحد (العمل على فراغ).



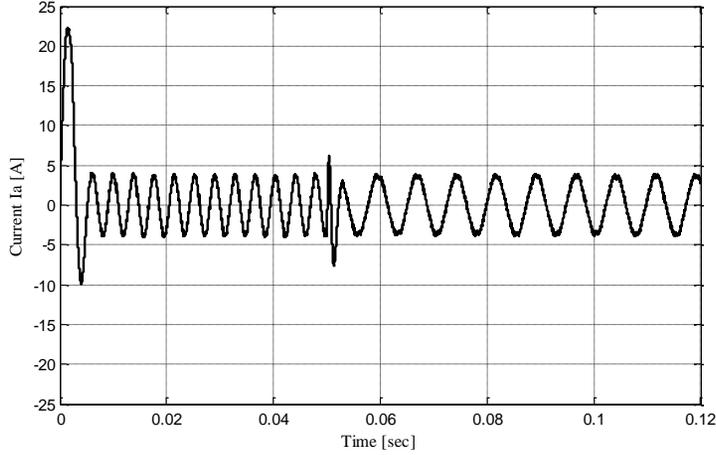
الشكل (31): تموجات عزم المحرك لكلا نظامي التحكم على مخطط واحد (العمل على حمولة).

## 9.2. حالة العمل على حمولة متغيرة السرعة:

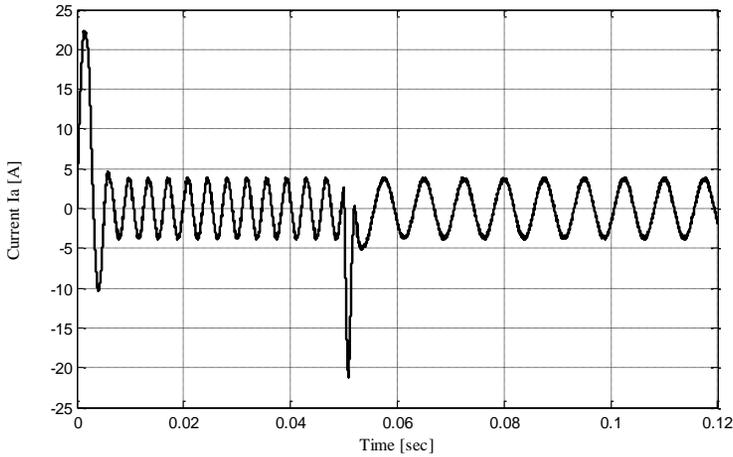
### 9.2.1. إشارة التيار:

يبين الشكلين (32) و (33) إشارة التيار للمحرك في حالة استخدام متحكمات تناسبية تكاملية و متحكمات المنطق الضبابي ضمن خوارزمية التحكم الشعاعي بالحقل المغناطيسي. نلاحظ أن عند انتقال عمل المحرك من سرعة 4000 [r.p.m] إلى سرعة

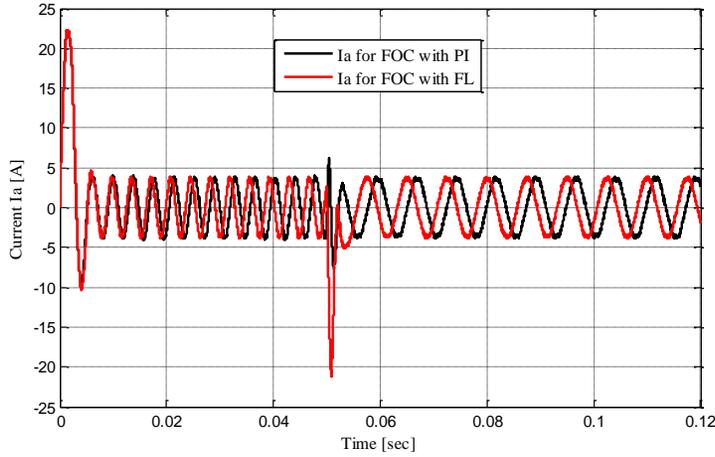
2000 [r.p.m] كان هناك قفزة في قيمة تيار المحرك في حالة FOC with FL. الشكل (34) يبين تيار المحرك في حالة نظامي التحكم المذكورين سابقاً.



الشكل (32): تيار الطور للمحرك في حالة FOC with PI Controllers



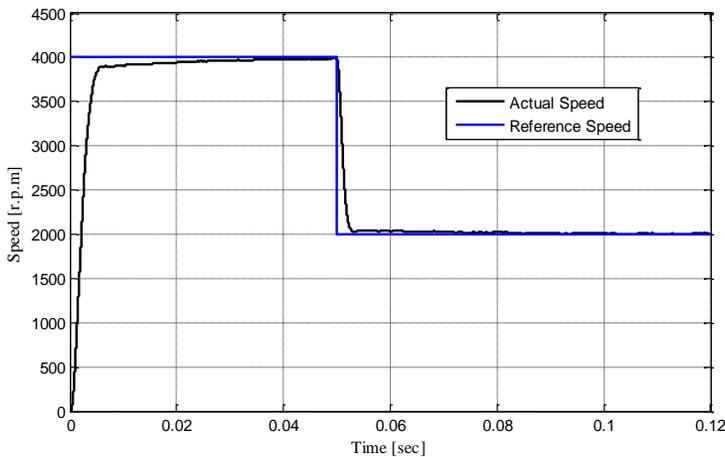
الشكل (33): تيار الطور للمحرك في حالة FOC with FL Controllers



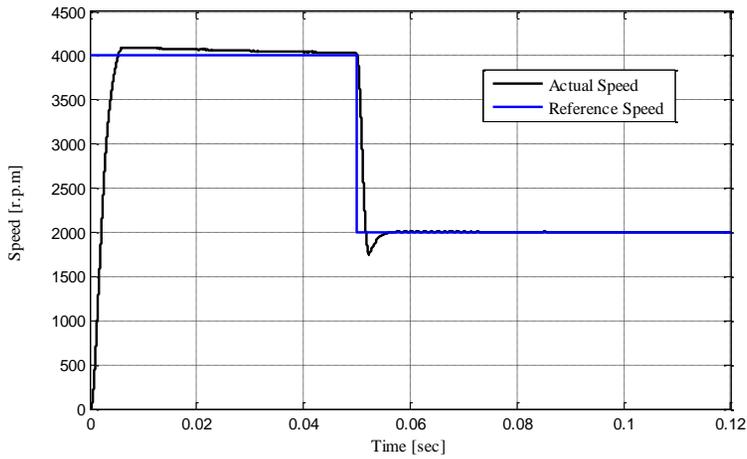
الشكل (34)

### 9.2.2. إشارة السرعة:

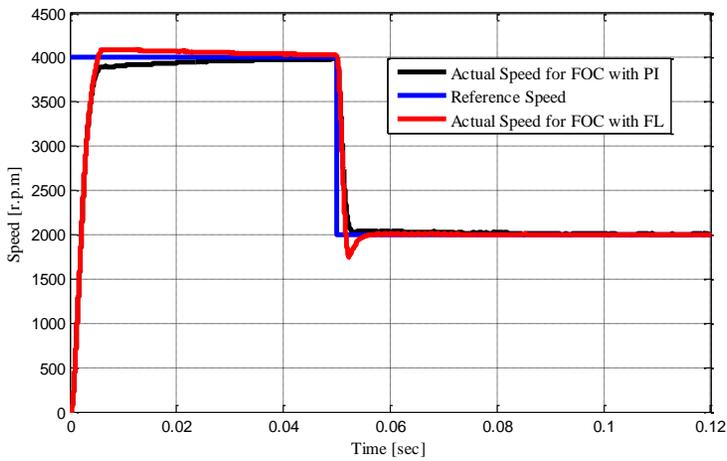
يبين الشكلين (35) و (36) إشارة السرعة للمحرك في حالة استخدام متحكمات تناسبية تكاملية ومتحكمات المنطق الضبابي ضمن خوارزمية التحكم الشعاعي بالحقل المغناطيسي. نلاحظ أن سرعة المحرك في حالة FOC with PI استقرت عند زمن أقل مما هو عليه في حالة FOC with FL وكذلك الأمر لنسبة التجاوز الأعظمي (نسبة تجاوز الهدف). الشكل (37) يبين سرعة المحرك في حالة نظامي التحكم المذكورين سابقاً.



الشكل (35): سرعة المحرك في حالة FOC with PI Controllers



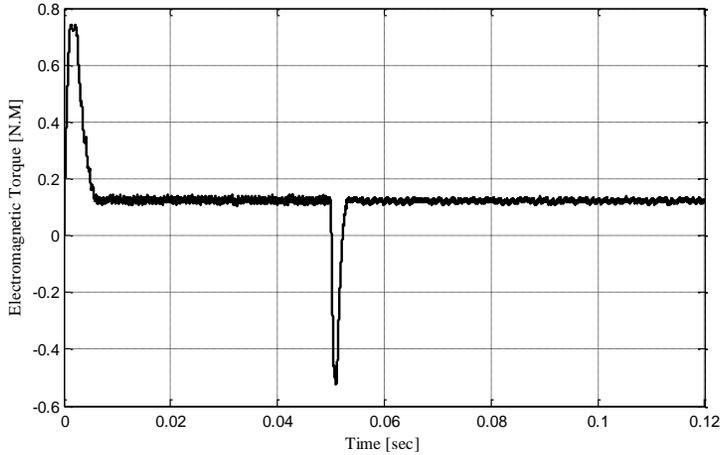
الشكل (36): سرعة المحرك في حالة FOC with FL Controllers.



الشكل (37)

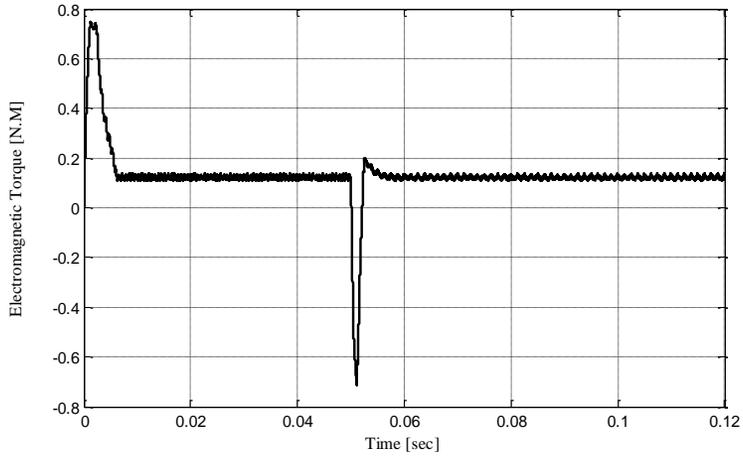
### 9.2.3. إشارة العزم:

يبين الشكلين (38) و (39) إشارة عزم المحرك في حالة استخدام متحكمات تناسبية تكاملية ومتحكمات المنطق الضبابي ضمن خوارزمية التحكم الشعاعي بالحقل المغناطيسي. نلاحظ أن عند انتقال عمل المحرك من سرعة 4000 [r.p.m] إلى سرعة 2000 [r.p.m] كان هناك قفزة في قيمة عزم المحرك في حالة FOC with FL. الشكلين (40) و(41) يوضحان تموجات عزم المحرك في حالة نظامي التحكم المذكورين سابقا وعند سرعتين مختلفتين حيث نلاحظ أن تموجات العزم في حالة FOC with FL كانت أقل مما هو عليه في حالة FOC with PI.

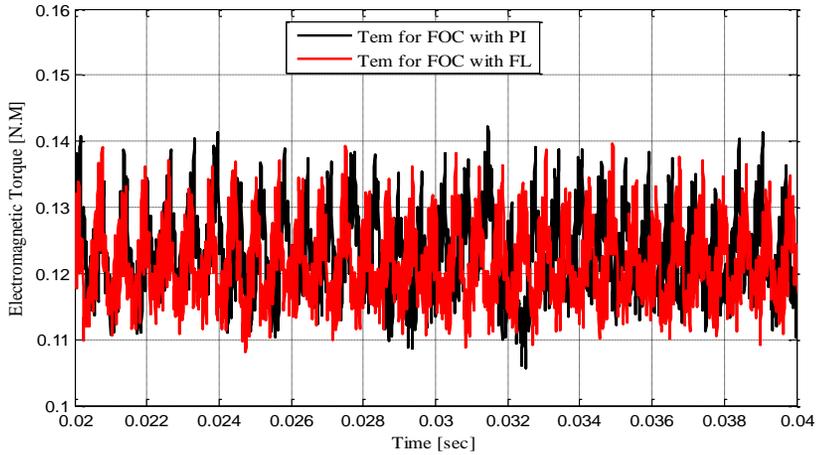


الشكل(38): عزم المحرك في حالة FOC with PI Controllers.

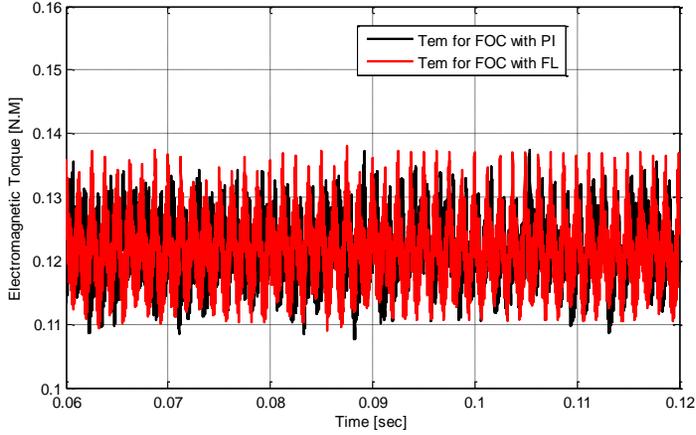
دراسة وتحليل أداء محرك التيار المستمر من دون مسفرات باستخدام خوارزمية التحكم الشعاعي  
بالحقل المغناطيسي



الشكل(39): عزم المحرك في حالة FOC with FL Controllers.



الشكل(40): تموجات عزم المحرك لكلا نظامي التحكم على مخطط واحد (4000 r.p.m).



الشكل(41): تموجات عزم المحرك لكلا نظامي التحكم على مخطط واحد (2000 r.p.m).

### 9.3. مناقشة النتائج:

أدى استخدام نظام التحكم الشعاعي بالحقل المغناطيسي باستخدام متحكمات المنطق الضبابي إلى انخفاض طفيف في تموجات عزم المحرك بالمقارنة نفس نظام التحكم لكن باستخدام المتحكمات التقليدية (التناسبية والتكاملية). بالنسبة للأداء الديناميكي كان نظام التحكم FOC with PI كان أفضل من FOC with FL ، حيث عند انتقال عمل المحرك من سرعة إلى أخرى في حالة FOC with FL كان هناك قفزة في قيمة تيار المحرك وأيضاً عزم المحرك وبالنسبة لاستجابة السرعة (زمن استقرار أكبر - نسبة تجاوز أعظمي أكبر).

### 10. التوصيات:

استخدام تقنية تعديل عرض النبضة الشعاعي Space Vector PWM في خوارزمية التحكم الشعاعي بالحقل المغناطيسي وإجراء مقارنة بين المتحكمات التقليدية (التناسبية والتكاملية) ومتحكمات المنطق الضبابي والمتحكمات البطائية).

## 11. المراجع:

- [1] Zelechowski, M. (2005). Space Vector Modulated–Direct Torque Controlled (DTC–SVM) Inverter–Fed Induction Motor Drive. Warsaw University of Technology Faculty of Electrical Engineering Institute of Control and Industrial Electronics.
- [2] Xia, C. L. (2012)- Permanent Magnet Brushless DC Motor Drives and Controls. John Wiley & Sons.
- [3] Ross, T. J. (2017)- Fuzzy Logic with Engineering Applications. John Wiley & Sons.
- [4] Kim, S. H. (2017)- Electric Motor Control: DC, AC, and BLDC Motors. Elsevier.
- [5] Gujjar, M. N., & Kumar, P. (2017, May). Comparative Analysis of Field Oriented Control of BLDC Motor Using SPWM and SVPWM Techniques. In 2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT) (pp. 924-929). IEEE.
- [6] Fuzzy Logic Toolbox for Use with MATLAB.
- [7] MATLAB Help.

# تحليل البيانات في التعليم العالي باستخدام أدوات التنقيب في البيانات وذكاء الأعمال -دراسة حالة الجامعة السورية الخاصة

الدكتور مهيب النقري

## المخلص :

استخدمت تقانات التنقيب في البيانات وأدوات ذكاء الأعمال في الكثير من المجالات الهندسية والطبية والتربوية والتسويقية وغيرها. إلا أن استخدامها في التعليم العالي بدأ يأخذ أهمية كبيرة نتيجة الازدياد المطرد في البيانات المتعلقة بالجامعات والمعاهد المتوسطة والعليا. هذا الأمر أدى إلى وجود حاجة لإدارة حجوم كبيرة من البيانات الأكاديمية، واستخدام تقانات التنقيب في البيانات وتحليل البيانات الكبيرة من أجل التوصل إلى معارف مفيدة.

يهدف هذا البحث إلى تحليل البيانات الأكاديمية في الجامعة السورية الخاصة باستخدام خوارزميات التنقيب في البيانات ونظم ذكاء الأعمال، والاستفادة من نتائج هذه التحليلات في تطوير وتحديث استراتيجية الجامعة، وتقييم أدائها وصولاً إلى رفع المستوى العلمي والأكاديمي للجامعة.

تمت الاستفادة من النتائج والتقارير التي توصل إليها البحث والحالة العملية في وضع الأهداف الاستراتيجية الأكاديمية على مستوى الكليات والجامعة بشكل دقيق، وصولاً إلى رفع أعداد الطلاب المقبولين، ومعدلات القبول. المحاور والتقارير الأساسية التي تم الاعتماد عليها كانت: توقع نتائج الطلاب، توقع أعداد الطلاب المسجلين، توقع وسطي معدلات الطلاب في كل كلية، تقسيم الطلاب إلى مجموعات وفقاً لأدائهم الأكاديمي، تقسيم المقررات في كل كلية إلى مجموعات وفقاً لوسطي العلامات.

**الكلمات المفتاحية :** التنقيب في البيانات، مستودع البيانات، ذكاء الأعمال، البيانات الكبيرة، تحليلات البيانات الكبيرة.

# Data Analytics in Higher Education Using Data Mining, Business Intelligence and Big Data Analytics Techniques – Syrian Private University Case Study

Dr. Mouhib Alnoukari

## Abstract :

Data mining techniques and business intelligence tools have been widely used in various fields including engineering, medicine, education, marketing, and more. However, their application in higher education has gained significant importance due to the exponential growth of data related to universities and colleges. This has led to the need for managing large volumes of academic data and employing data mining and big data analytics techniques to extract valuable insights.

This research aims to analyze academic data at the Private Syrian University (SPU) using data mining algorithms and business intelligence systems. The results of these analyses will be utilized to develop and update the university's strategy, evaluate its performance, and ultimately enhance its academic and scientific standing.

The findings and reports generated by the research and case study were leveraged to set precise strategic academic goals at the faculties and university levels, leading to an increase in student admissions and acceptance rates. The key axes and reports relied upon were: predicting student outcomes, predicting student enrollment, predicting the average student GPA in each faculty, segmenting students into groups based on their academic performance, segmenting courses in each faculty into groups based on the average grade.

**Keywords** : Data Mining, Data Warehousing, Business Intelligence, Big Data, Big Data Analytics.

## 1. مقدمة :

خلال العقود الثلاث الماضية، بدأ الباحثون بالاهتمام بشكل واسع بأدوات وتقانات ذكاء الأعمال، وأصبحت تعتبر أداة هامة لتحسين أداء المنظمات [1]. يمكن تعريف مصطلح ذكاء الأعمال بأنه "مجموعة من النظريات والمنهجيات والبنى والنظم والتقانات التي تدعم اتخاذ قرار الأعمال باستخدام بيانات ومعلومات ومعارف هامة" [2,3]. فيما عرّفه "النكري" Alnoukari وآخرون بأنه "استخدام كل مصادر المنظمة من بيانات وتطبيقات وموارد بشرية وإجراءات بهدف تحسين معارفها، وتحقيق استراتيجيتها، وموائمة دينامية بيئتها" [1]. أما "جين وكيم" Jin & Kim فقد اعتبروا ذكاء الأعمال كسلسلة قيمة معلومات تقوم بتجميع البيانات الخام لتحويلها إلى معلومات مفيدة لاتخاذ القرارات بشكل أفضل والتي بدورها تقوم بتوليد قيمة مضافة وتحسن أداء المنظمة [4].

أهم مكونات نظام ذكاء الأعمال تشمل: أدوات تحليل البيانات متعددة الأبعاد Online Analytical Processing (OLAP)، والتنقيب في البيانات، وأدوات مستودع البيانات، وإدارة قواعد البيانات، وأدوات جلب وتحويل وتحميل البيانات -Extract-Transform-Load (ETL)، وأدوات العرض [1,2].

يعد التنقيب في البيانات مرحلة من مراحل عملية اكتشاف المعرفة في قواعد البيانات التي ترتبط إلى حد كبير بمرحلة أخرى مهمة جداً ألا وهي بناء مستودعات البيانات التي يتم من خلالها تجميع البيانات من عدة مصادر وتجهيتها ليتم بعد ذلك تطبيق خوارزميات التنقيب في البيانات على مستودع البيانات. كما أنه يمكن لذكاء الأعمال في حال تطبيقه بالطريقة الأمثل أن يزود متخذي القرار بالمعلومات والمعارف المناسبة في الوقت المناسب وبجهد بسيط [1]. تمّ استخدام أدوات التنقيب في البيانات لتحسين الأداء وضمان جودة التعليم العالي [5].

سنقوم في هذا البحث بدراسة تقنيات التنقيب في البيانات وحلول ذكاء الأعمال، ومدى فعالية تطبيقها على بيانات النظام الأكاديمي -دراسة حالة الجامعة السورية الخاصة- واقتراح مجموعة من الحلول التي يمكن الوصول إليها، والتي تساعد في تطوير آليات العمل الأكاديمي ضمن الجامعة بوجه عام وفي كل كلية بوجه خاص. جميع هذه الحلول والاقتراحات تم الحصول عليها من خلال تطوير نظام ذكاء أعمال اعتماداً على تجميع البيانات الأكاديمية ضمن مستودع معطيات مؤسساتي واحد، ثم تطبيق أدوات التنقيب في البيانات وذكاء الأعمال على البيانات التي تم تجميعها ضمن هذا المستودع، ثم الحصول على معلومات صحيحة وبسرعة كبيرة؛ الأمر الذي يساعد على اتخاذ القرار الصحيح في الوقت المناسب.

## 2. الدراسة المرجعية :

توفّر تقانات ذكاء الأعمال والتنقيب في البيانات أدوات هامة لقياس الأداء الأكاديمي للمؤسسات التعليمية وتحليل سلوك الطلاب، وتحسين الخطط الدراسية، وتصميم المقررات بالشكل الأمثل [6].

كما أنها توفّر أدوات هامة لمساعدة المؤسسات بشكل عام، والجامعات خاصة في تطوير وتنفيذ وتحقيق أهدافها الاستراتيجية [3]. بالإضافة إلى ذلك، فإنها تساعد في تحسين أدوات ضمان جودة التعليم في الجامعات من خلال الأدوات والتحليلات التي توفرها لمتخذي القرار الأكاديمي [5].

تستخدم العديد من المنظمات أنواعاً مختلفة من حلول تحليل البيانات للمساعدة في اتخاذ القرارات وتحقيق أهدافها العملياتية والاستراتيجية. وقد تغيرت طرق تخزين وتحليل البيانات نظراً لتغير طبيعة البيانات المتاحة في المنظمات. وقد أصبح التحدي الأكبر إدارة أنماط جديدة من البيانات المعقدة وغير المهيكلة [7].

ونظراً لأن الأنماط الجديدة من البيانات أصبحت تتطور وتتزايد بشكل سريع جداً وتتواجد في أنواع مختلفة من مصادر البيانات، فقد أصبحت نظم قواعد البيانات التقليدية غير قادرة على إدارتها بطريقة فعّالة. وأصبح من البديهي أن يترافق هذا التزايد الهائل في هذا النمط من البيانات مع ظهور أنظمة جديدة للوصول إليها، وتخزينها ومعالجتها [8]. تعدّ تحليلات البيانات الكبيرة أحد أهم هذه النظم الجديدة القادرة على تحويل كمّ هائل من البيانات غير المهيكلة إلى نماذج ومعلومات مفيدة [7, 8].

تقدّم تحليلات البيانات الكبيرة أدوات فعّالة تساعد في توقّع نجاح الطلاب، وأمثلة تجربة التعليم، وتحسين اتخاذ القرار على مستوى المؤسسة، وشخصنة التعليم، وفهم سلوك الطالب [9].

"آيتك وبيليج" Aytac & Bilge اعتبروا أن البيانات الكبيرة هي البيانات التي لا يمكن تحليلها باستخدام أدوات قواعد البيانات التقليدية مثل SQL بسبب كبر حجمها [7]. يمكن الاستفادة من تحليلات البيانات الأكاديمية لاكتشاف المعارف المفيدة وتحليلها والحصول على توقعات مستقبلية من خلالها [10].

تحتاج عملية إدارة ومتابعة والرقابة على الطلاب والمقررات والمدرسين والخريجين والشهادات والاختصاصات إلى نظام إدارة محتوى أكاديمي. تتضمن البيئة الأكاديمية مجموعات مختلفة من المستخدمين وفقاً لأدوارهم ومهامهم والأهداف المنوطة بهم [10]. اقترح "روميرو وفيننتورا" Romero and Ventura خمس مجموعات مستخدمين ضمن البيئة الأكاديمية: الطلاب، المدرسين، مطورو المقررات، مزودو التعليم والمدراء [11].

"دانييل ويوتسون" Daniel and Butson اقترحا أربعة أنواع من تحليلات البيانات الأكاديمية [12]:

- تحليلات التعلّم: وهي تحليل البيانات المتعلقة بالطلاب لفهم تطور مستواهم الدراسي [13].
- تحليلات المؤسسة التعليمية: وهي تحليل البيانات العمليانيّة بهدف دعم اتخاذ القرار الأكاديمي.
- تحليلات تقانة المعلومات: وهي تحليل بيانات الأداء بهدف دعم اختبارات أدوات التقانة والإجرائيات ومعايير البيانات والسياسات المتبعة.
- تحليلات البرامج الأكاديمية: وهي تحليل البيانات الأكاديمية بهدف قياس الأداء على مستوى البرامج والتخصصات [14].

يرى العديد من الباحثين: [9, 12, 14] أن تحليلات البيانات الكبيرة في المؤسسات الأكاديمية يمكنها مساعدة الطلبة وتوجيههم خلال مسيرتهم التعليمية، إضافة إلى تحديد احتياج سوق العمل من المهارات المطلوبة من الخريجين، إضافة إلى إمكانية مساعدة الطلبة في اختيار التخصصات التي تتناسب مع قدراتهم وإمكانياتهم.

"باجبيه و ماني" Bajpai & Mani درسا بشكل مفصل تحليلات التعلّم وأبعادها، وطرائقها وتطبيقاتها وعلاقتها مع التنقيب في البيانات الأكاديمية والتحليلات الأكاديمية [16].

أما "تيغوين" وآخرون Nguyen, Gardner, & Sheridan فاقترحوا إطار عمل لمكاملة أنماط التحليلات في التعليم العالي متضمنة تحليلات التعلّم والتحليلات الأكاديمية والتنقيب في البيانات التعليمية [17]. فيما وسّع "ماغو وخان" Mago & Khan إطار العمل الذي اقترحه ليشمل تحليلات البيانات الكبيرة في المجال الأكاديمي كالتحليلات الوصفية، والتشخيصية، والتوقّعية، والتوجيهية [18].

### 3. هدف البحث :

يسعى هذا البحث إلى تحليل البيانات في الأنظمة الأكاديمية في التعليم العالي باستخدام تقانات التنقيب في البيانات وحلول ذكاء الأعمال ضمن نظم المعلومات الجامعية، ودراسة الحلول المقترحة ومناقشة مدى أهميتها لدعم عملية اتخاذ القرار وتطوير آليات العمل في الجامعات، واقتراح مجموعة من المؤشرات التي تساعد المؤسسات الأكاديمية في تطوير العملية التعليمية.

يهدف البحث إلى تطوير نظام ذكاء أعمال يقوم بتوفير المعلومات المفصلة والدقيقة لمتخذي القرار، ويتم ذلك من خلال بناء مستودع بيانات مؤسساتي يتم تجميع البيانات فيه من مصادر مختلفة، ثم تطبيق مفاهيم ذكاء الأعمال على موارد البيانات المتاحة؛ وهو ما يتيح لمتخذي القرار الأكاديمي الوصول إلى الحقائق الصحيحة لتساعدهم في اتخاذ القرار الصحيح في الوقت المناسب.

يمكن تحديد الأهداف الأساسية للبحث كما يلي:

- تحديد أهم تحليلات البيانات المستخدمة في التعليم العالي.
- توليد تحليلات البيانات الأكاديمية في الجامعة السورية الخاصة باستخدام أدوات التنقيب في البيانات.
- الاستفادة من التحليلات الأكاديمية والتقارير الناتجة عن النظام في وضع أهداف استراتيجية قابلة للقياس على مستوى الكليات والجامعة ككل، وذلك بهدف رفع المستوى الأكاديمي للطلاب، وتحسين معدلات القبول.

#### 4. طرائق البحث :

اعتمدنا في هذا البحث مجموعة من الطرق والتقنيات وهي: استخراج المعلومات، ومستودع البيانات، والتنقيب في البيانات، وأنظمة ذكاء الأعمال، ونظم دعم القرار. تساعد هذه الأدوات نظام ذكاء الأعمال الأكاديمي على تحسين الخدمات المقدمة وعمليات دعم اتخاذ القرار. تكون عمليات اتخاذ القرار ضمن مستوى الإدارة العليا من خلال استخدام نظم دعم القرار. تتم تغذية نظم دعم القرار بتقارير إحصائية ومخططات بيانية ولوحات قيادة من خلال نظام ذكاء الأعمال، بينما تتم تغذية نظام ذكاء الأعمال بالبيانات من خلال نتائج تنفيذ خوارزميات التنقيب في البيانات الموجودة ضمن مستودع البيانات أو اعتماداً على البيانات الموجودة أصلاً ضمن مستودع البيانات. وتكون عمليات تحسين الخدمات المقدمة من قبل نظام ذكاء الأعمال من خلال دراسة القرارات التي يتم اعتمادها ضمن نظم دعم القرار وتطبيق هذه القرارات بما يتناسب مع نوع الخدمة.

هناك العديد من الخوارزميات التي تساعدنا في البحث وهي:

- خوارزميات التصنيف: استخدمت خوارزمية linear regression لتوقع معدلات الطلاب.
- خوارزميات التجميع/العنقدة: استخدمت هذه الخوارزميات لتجميع البيانات الأكاديمية وفقاً لمجموعات أو عناوين للاستفادة منها في الوصول إلى قرار يتعلق بتحسين آلية الإرشاد الأكاديمي، أو تحديد معدلات قبول الطلاب الجدد. استخدمت خوارزمية k-means في بحثنا هذا.
- خوارزميات التنبؤ: استخدمت هذه الخوارزميات لمساعدة إدارة المؤسسات التعليمية في الوصول إلى أرقام تقديرية للطلاب في كل كلية وكل تخصص،

إضافة إلى تحديد تطور المعدلات التراكمية للطلاب في الكليات بهدف تحسين

أدوات التعليم. استخدمت خوارزمية التنبؤ Exponential smoothing.

### 5. التطبيق العملي للبحث :

تم بناء التطبيق العملي للبحث على البيانات الأكاديمية الموجودة ضمن نظام المعلومات الخاص بالجامعة السورية الخاصة. يحتوي هذا النظام على المعلومات الأكاديمية المتعلقة بالطلاب منذ العام 2005 وحتى العام الدراسي 2023، وذلك في الكليات الست الموجودة في الجامعة، وهي: الطب البشري - طب الأسنان - الصيدلة - الهندسة المعلوماتية - هندسة البترول - إدارة الأعمال. سنعرض في الفقرات التالية مجموعة البيانات، وبيئة التطوير المستخدمة، وأهم تحليلات البيانات التي ركّز عليها البحث، إضافة إلى عرض أهم نتائج التطبيق العملي.

### 1.5. مجموعة البيانات Data Set :

نظراً لأنّ الهدف الرئيس لهذا البحث هو التنقيب في البيانات الأكاديمية للطلاب، فقد تمّ تصدير بيانات الطلاب الأكاديمية والشخصية في جميع كليات الجامعة على شكل جداول إكسل من نظام المعلومات الموجود في الجامعة وذلك بين العامين الدراسيين 2014 و 2023. تمّ استخدام أداة ETL في Power BI لتحميلها في مستودع بيانات نظام ذكاء الأعمال.

تتضمن البيانات الشخصية للطلاب مايلي: رقم الطالب، نوع الشهادة الثانوية، علامة الشهادة الثانوية، معدّل الشهادة الثانوية، بلد الشهادة الثانوية، الكلية، الاختصاص، حالة الطالب، الإنذارات، المعدل التراكمي النقطي والمئوي، الفصل الدراسي، الساعات المسجلة، والساعات المنجزة.

أما البيانات الأكاديمية للطلاب فتتضمن: الرقم الجامعي، الفصل الدراسي، رمز المقرر، اسم المقرر، عدد الساعات، العلامة النهائية، والدرجة.

تمثل مجموعة البيانات معلومات عن 9765 طالباً مسجلين حالياً في الجامعة، إضافة لـ 72.302 طالباً سبق وأن تخرجوا من الجامعة.

مجموع عدد سجلات مجموعة البيانات حتى نهاية الفصل الدراسي الثاني -2022- 2023 هو: 540.611 سجلاً، حجمها 20.8 MB.

### 2.5. بيئة التطوير المستخدمة :

تمّ تطوير منصّة ذكاء الأعمال في الجامعة السورية الخاصة باستخدام قاعدة بيانات أوراكل Oracle وبيئة تطوير ذكاء الأعمال Power BI، إضافة إلى الأدوات: R Studio و Jupyter lab.

أما لغات البرمجة المستخدمة فهي بايثون Python و لغة R إضافة إلى لغة الاستعلام SQL.

خوارزميات التنقيب في البيانات التي تمّ تنفيذها في مختلف تحليلات البيانات هي: Exponential smoothing, K-Means, linear regression.

### 3.5. تحليلات البيانات الأكاديمية :

من أجل الوصول إلى تحليلات للبيانات الأكاديمية تعكس المتغيرات والظروف التي واجهت التعليم العالي في سورية، فقد تمّ بناء وتحليل البيانات الأكاديمية في جميع كليات الجامعة الست بين العامين الدراسيين 2014 و 2023.

تحليلات البيانات التي استخدمت في هذا البحث تركزت على:

• تحليلات التعلّم: وهي تحليل البيانات المتعلقة بالطلاب لفهم تطور مستواهم الدراسي.

• تحليلات المؤسسة التعليمية: وهي تحليل البيانات العمليانيّة بهدف دعم اتخاذ القرار الأكاديمي.

بناء على ذلك، فقد بُني التطبيق العملي للبحث على البيانات الموجودة ضمن النظام الأكاديمي الخاص بالجامعة السورية الخاصة، ومكاملة ودمج هذه البيانات ضمن مستودع معطيات واحد، ثم تطبيق خوارزميات التنقيب في البيانات لاستخراج معارف من هذه البيانات.

#### 4.5. نتائج التطبيق العملي :

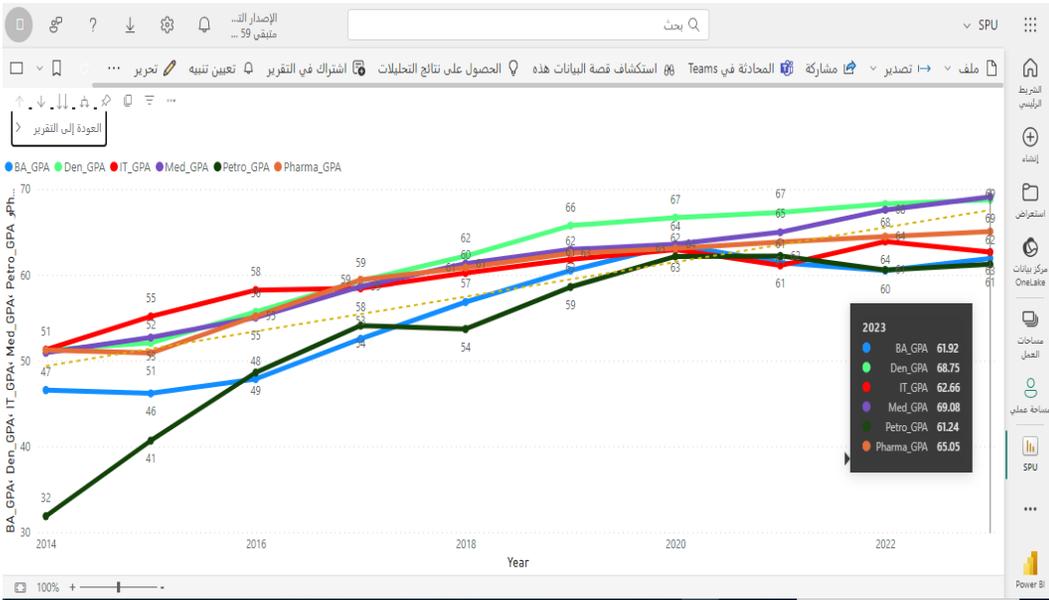
نعرض فيما يلي لأهم النتائج التي توصل إليها التطبيق العملي بعد الانتهاء من تطوير الإصدار الأول من نظام ذكاء الأعمال وتحميل كافة البيانات الأكاديمية إلى مستودع البيانات.

1. لوحة القيادة dashboard الرئيسة لنظام ذكاء الأعمال: تحتوي على معلومات تتعلق بتطور العدد الكلي لطلاب الجامعة بدءاً من العام 2014 وحتى العام 2023، مع العدد الكلي للطلاب الناجحين في كل عام، إضافة إلى عرض تطور أعداد ووسطي معدل الشهادة الثانوية لطلاب المقبولين، وعدد الطلاب الخريجين، ووسطي علامات الطلاب خلال هذه الأعوام في كل كلية (الشكل 1). كما تحتوي على واجهات فرعية تتضمن تقارير ومخططات خاصة بكل كلية تعرض كافة المعلومات التفصيلية والتحليلات المتعلقة بالطلاب والمقررات والخريجين. سنعرض في الفقرات التالية لأهم هذه التحليلات.



يبين (الشكل 2) لوحة القيادة الخاصة بكلية الصيدلة، وتحتوي على معلومات عن عدد الطلاب الكلي، والمتوقع تخرجهم، والطلاب الذي يقلّ معدلهم التراكمي عن 2، أو يزيد عنه، وتطورّ وسطي المعدل التراكمي لطلاب كلية الصيدلة، إضافة إلى توزّع عدد ومتوسط معدّل الطلاب تبعاً لكل دفعة.

2. تحليل البيانات الأكاديمية المتعلقة بتطورّ وسطي المعدل التراكمي للطلاب في كل كلية: يبين (الشكل 3) تحسناً نسبياً في وسطي معدلات الطلاب خلال الأعوام المدروسة.



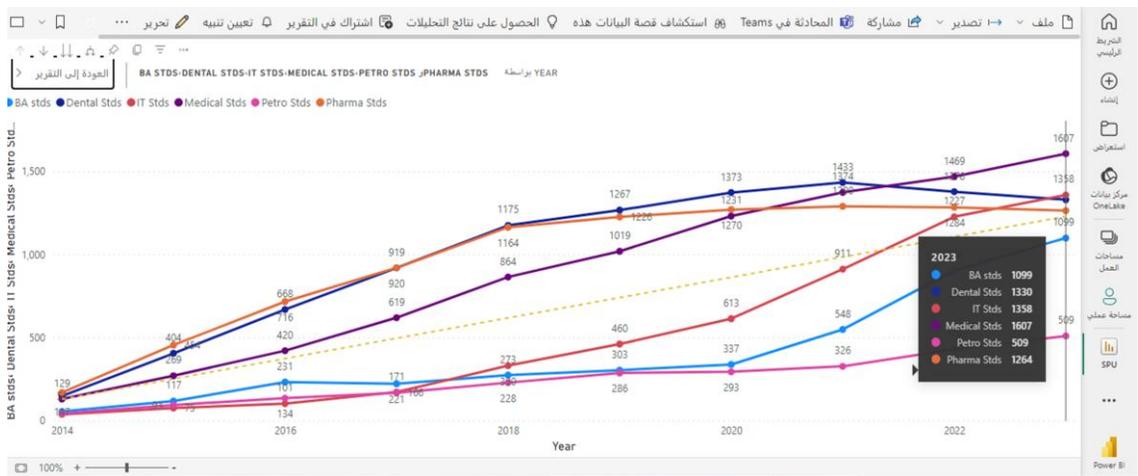
الشكل 3: تحليل البيانات الأكاديمية المتعلقة بتطورّ وسطي المعدل التراكمي للطلاب بكل كلية

تصدر الكليات الطبية المعدلات الأعلى (وسطي المعدل التراكمي للطلاب فيها نهاية العام الدراسي 2023 كانت على الشكل التالي: الطب البشري: 69.08، طب الأسنان: 68.75، الصيدلة: 65.05) نظراً لكون الطلاب المقبولين فيها حاصلين على معدلات أعلى في الشهادة الثانوية من طلاب الكليات غير الطبية (وسطي المعدل التراكمي

## تحليل البيانات في التعليم العالي باستخدام أدوات التنقيب في البيانات ونكاء الأعمال -دراسة حالة الجامعة السورية الخاصة

للطلاب فيها نهاية العام الدراسي 2023 كانت على الشكل التالي: الهندسة المعلوماتية: 62.66، هندسة البترول: 61.24، إدارة الأعمال: 61.92، إلا أنه من المفيد ربط هذا التحليل في الأبحاث المستقبلية مع الخطط الدراسية التي كانت مطبقة سابقاً والخطط الدراسية الحالية وتأثيرها على المستوى الأكاديمي للطلاب.

3. تحليل البيانات المتعلقة بتطور أعداد للطلاب في كل كلية: يبيّن (الشكل 4) زيادة كبيرة في أعداد الطلاب المقبولين في كلية الهندسة المعلوماتية بدءاً من العام 2020، والذي وصل إلى 1358 طالباً في العام 2023 لتحلّ هذه الكلية في المرتبة الثانية من حيث عدد الطلاب بعد كلية الطب البشري ولتتجاوز ولأول مرة كليتي طب الأسنان والصيدلة من حيث عدد الطلاب. الأمر الذي استدعى لحظه في الخطة الاستراتيجية للجامعة من حيث تطوير البنية التحتية اللازمة، والمخابر الحاسوبية، والكادر التدريسي.



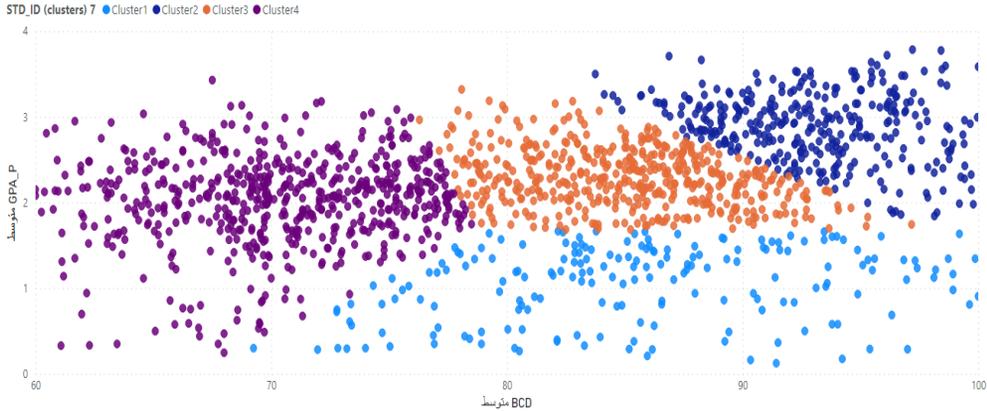
الشكل 4: تطوّر أعداد للطلاب في كل كلية

يوجد أيضاً زيادة ملحوظة في أعداد الطلاب المقبولين في كلية إدارة الأعمال والتي ازداد عدد الطلاب فيها لحوالي ثلاثة أضعاف بدءاً من العام 2020، وذلك بسبب تطوير

الخطط الدراسية وافتتاح قسم نظم المعلومات الإدارية فيها. أما بالنسبة لكلية هندسة البترول وبسبب الضعف

الواضح في تزايد عدد الطلاب فيها، فقد لحظت إدارة الجامعة في خطتها الاستراتيجية افتتاح أقسام جديدة يمكنها جذب طلاب بأعداد أكبر كقسم الصناعات الكيمائية.

4. تحليل ارتباط علامات الطلاب في الشهادة الثانوية مع متوسط المعدل التراكمي GPA اعتماداً على خوارزمية التجميع K-means؛ بهدف تجميع الطلاب ضمن مجموعات بحسب المعاملات المقترحة. تقوم خوارزمية التجميع هذه بتقسيم البيانات المدخلة لها إلى مجموعات وذلك بحسب مجموعة من المعاملات. تم تطبيق هذه الخوارزمية على بيانات الطلاب في كل كلية على حدى. يبين (الشكل 5) نتائج تطبيق هذه الخوارزمية على طلاب كلية الهندسة المعلوماتية والذين تم تقسيمهم إلى أربع مجموعات وفقاً للعلاقة بين علامة الطالب في الشهادة الثانوية ومعدله التراكمي.



الشكل 5: تجميع البيانات الأكاديمية وفقاً لعلامات الطلاب في الشهادة الثانوية ومتوسط

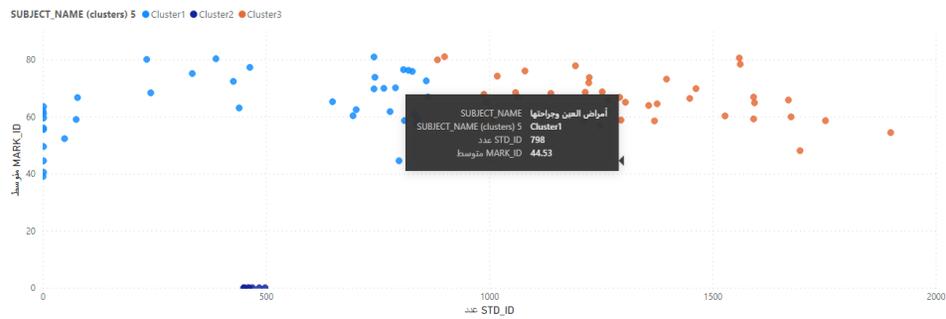
معدلاتهم التراكمية في كلية الهندسة المعلوماتية

كل نقطة في هذا المخطط تمثل طالباً في الكلية وعند وضع المؤشر على أي نقطة يظهر رقم الطالب وعلامة الشهادة الثانوية والمعدل التراكمي. نلاحظ في هذا التحليل

## تحليل البيانات في التعليم العالي باستخدام أدوات التنقيب في البيانات ونكاه الأعمال -دراسة حالة الجامعة السورية الخاصة

عدم وجود علاقة واضحة بين هذين المعاملين بالنسبة لطلاب الهندسة المعلوماتية والسبب برأي الباحث يعود إلى اهتمام الكثير من الطلاب في المراحل ما قبل الجامعية بهذا المجال واستخدامهم الكثير من الأدوات البرمجية دون أن يكون ذلك مرتبطاً بأدائهم الدراسي، مما يؤشر إلى عدم جدوى إجراء المفاضلة وفقاً لعلامات الطلاب في الشهادة الثانوية في هذا التخصص. من ناحية أخرى، وضعت كلية الهندسة المعلوماتية كأحد أهدافها الاستراتيجية التركيز على تحسين الأداء الأكاديمي للطلاب وفقاً لنتيجة هذا التحليل. خاصة طلاب المجموعة/العنقود cluster1 والذين يقلّ معدلهم التراكمي عن 2، إضافة إلى ما يقارب نصف الطلاب في العنقود cluster4 الذين يحتاجون إلى إرشاد ومتابعة أكاديمية بهدف رفع مستواهم العلمي.

5. تقسيم المقررات في كل كلية إلى مجموعات وفقاً لأعداد الطلاب المسجلين ووسطي علامات الطلاب فيها اعتماداً على خوارزمية التجميع K-means؛ بهدف تجميع المقررات في كل كلية ضمن مجموعات بحسب المعاملات المقترحة. يبيّن (الشكل 6) نتائج تطبيق هذه الخوارزمية على مقررات كلية الطب البشري والتي تمّ تقسيمها إلى ثلاث مجموعات.

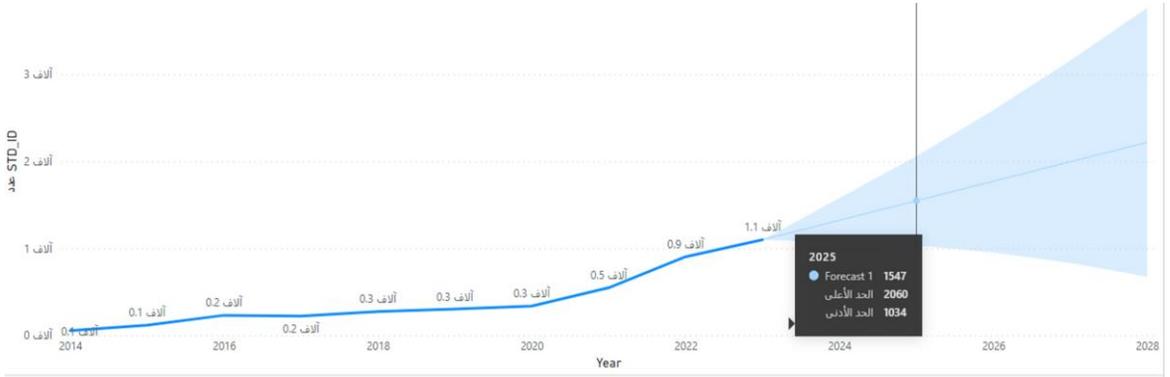


الشكل 6: تقسيم مقررات كلية الطب البشري إلى مجموعات

تمت الاستفادة من نتائج هذه التحليلات من خلال تحديد المقررات التي يقلّ فيها وسطي العلامات عن وسطي علامة النجاح وسجل فيها العدد الأكبر من الطلاب (كمقررات أمراض العين وجراحاتها، والكيمياء العامة والعضوية وغيرها) بهدف مساعدة الطلاب على تحسين أدائهم فيها والبحث عن أسباب تدني المعدلات وذلك في جميع الكليات.

6. تَوَقَّع أعداد الطلاب المسجلين في كل كَلِيَّة في الأعوام الدراسية القادمة. طبقت خوارزمية Exponential smoothing لتحديد العدد المتوقع من الطلاب المسجلين في كل كلية.

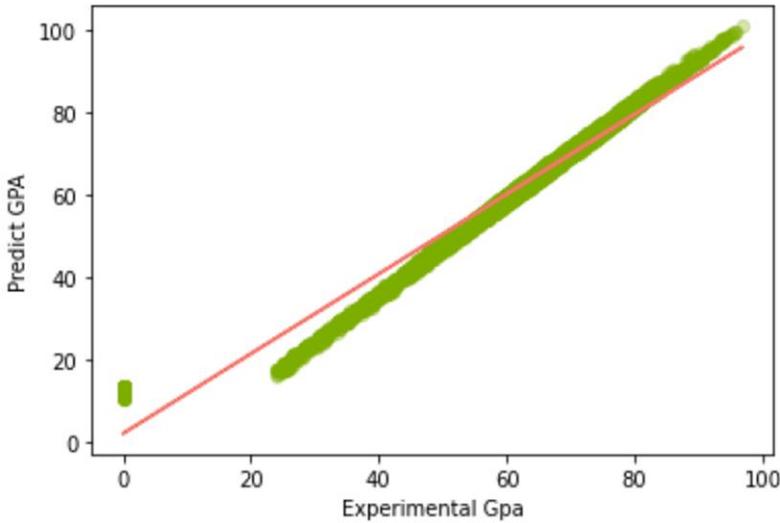
يبين (الشكل 7) العدد المتوقع تسجيله في كلية إدارة الأعمال خلال الأعوام القادمة (عدد الطلاب المتوقع في العام 2025: قيمة متوسطة=1547، حدّ أدنى=1034، حدّ أعلى=2060) وذلك اعتماداً على القيم التاريخية الموجودة في النظام الأكاديمي.



الشكل 7: تَوَقَّع أعداد الطلاب في كَلِيَّة إدارة الأعمال

7. تَوَقَّع المعدّل التراكمي لكل طالب باستخدام خوارزمية التصنيف linear regression. يتم الاستفادة من هذا التحليل من خلال إعلام جميع الطلاب كلّ على حسابه على النظام الأكاديمي بنتيجته المتوقعة، ولوضع البرامج والخطط اللازمة

للوصول إلى معدلات أفضل من القيم المتوقعة بهدف رفع المستوى الأكاديمي للطلاب. يبيّن (الشكل 8) مقارنة بين القيم المتوقعة للمعدل التراكمي للطلاب مع القيم التجريبية باستخدام خوارزمية linear regression والتي وصلت دقة التوقع فيها إلى حوالي 97%.



الشكل 8: مقارنة توقع المعدل التراكمي مع القيم التجريبية

## 6. نتائج البحث ومناقشتها :

تمّ التوصل من خلال بحثنا هذا، والحالة العملية المطبقة إلى النتائج التالية:

- وضع الأهداف الاستراتيجية الأكاديمية على مستوى الكليات والجامعة بشكل دقيق.
- الاستفادة من توقع عدد الطلاب في كل كلية في رفع أعداد الطلاب المقبولين في الكليات غير الطبيّة من خلال توفير البنية التحتية اللازمة، والكادر

التدريسي المطلوب، وتحديث المناهج الدراسية، مما ساهم كذلك في رفع معدلات القبول.

- تحسين برامج الإرشاد الأكاديمي والتركيز على الطلاب المتعثرين.

## 7. الخلاصة و التوصيات :

عرضنا في بحثنا هذا الحاجة إلى تطوير نظم ذكية تقوم بتحليل البيانات الأكاديمية في مؤسسات التعليم العالي باستخدام أدوات التنقيب في البيانات وذكاء الأعمال. تساعد هذه النظم إدارة المؤسسات التعليمية في عمليات اتخاذ القرار ووضع السياسات والإجراءات المناسبة وصولاً إلى رفع مستوى الأداء الأكاديمي.

كما عرضنا في بحثنا أهمية بناء مستودع معطيات يتم فيه تجميع البيانات من مصادرها المختلفة، ثم ربط أدوات ذكاء الأعمال من أجل عرض النتائج على شكل لوحات قيادة أو مخططات بيانية تفيد بربط موارد نظام ذكاء الأعمال مع علامات الطلاب، وتحديد العوامل التي تساعد على تحسين نتائجهم الدراسية. كما عرضنا نموذجاً لحالة عملية تم تطبيقها في الجامعة السورية الخاصة، والنتائج التي تم التوصل إليها.

توصلنا في هذا البحث إلى تحقيق الأهداف التالية:

- تقدّم تقانات ذكاء الأعمال والتنقيب في البيانات أدوات فعّالة لتوقع الأداء الأكاديمي الطلاب.

- تساعد تقانات ذكاء الأعمال والتنقيب في البيانات مؤسسات التعليم العالي في توفير رؤى هامة للبيانات الأكاديمية مما يساعد في تحسين اتخاذ القرار، ووضع الاستراتيجيات القابلة للقياس والتحقيق.
- تحتاج مؤسسات التعليم العالي لتطوير منصات عمل أخلاقية ethical بهدف حوكمة البيانات بشكل قوي والتحقُّق من استخدام البيانات بمسؤولية.

ولعلّ من المفيد ذكره، أهمية استكمال هذا البحث من خلال إضافة مصادر بيانات جديدة مهيكلة كالبيانات المالية والموارد البشرية، إضافة إلى ضرورة إضافة مصادر بيانات غير مهيكلة كبيانات الشبكات الاجتماعية بهدف مكاملة كافة مصادر البيانات، وصولاً إلى بناء نظام لتحليل البيانات الكبيرة لتحسين أداء المؤسسات التعليمية.

8. المراجع :

- [1] ALNOUKARI, M., ALHAWASLI, H. A., ABD ALNAFEA H., ZAMREEK, A. J. 2012 Business Intelligence: Body of Knowledge. - **Business Intelligence and Agile Methodologies for Knowledge-Based Organizations: Cross-Disciplinary Application**. IGI Global, USA, 1-13.
- [2] SUN, Z., ZOU, H., & STRANG, K. 2015 Big Data Analytics as a Service for Business Intelligence, **Proceedings of the 14th Conference on e-Business, e-Services and e-Society (I3E)**, 200-211. Delft, Netherlands.
- [3] ALNOUKARI. M. 2009 Using Business Intelligence Solutions for Achieving Organization's Strategy: Arab International University Case Study, **Internetworking Indonesia Journal**, Vol. 1 Issue 2, 11-15.
- [4] JIN, D.H., & KIM, H. J. 2018 Integrated Understanding of Big Data, Big Data Analysis, and Business Intelligence: A Case Study of Logistics, **Sustainability**, 10, 3778.
- [5] ALZOABI Z., DIKO F. & ALNOUKARI, M. 2008 Enhancing education quality assurance using information systems: QAAS system, 1-6. **Proceedings of the International Symposium on Information Technology**. Kuala Lumpur, Malaysia.
- [6] Paul, B., & Murdoch, C J. 2010, Academic Analytics and Data Mining in Higher Education, **International Journal Scholarship of Teaching & Learning (IJSTL)**, Vol. 4 Issue 2, Article 17.
- [7] AYTAÇ, Z. & BILGE, H. 2020 Big Data Analytics in Higher Education: A Systematic Review, **Journal of INTERNET, Applications and Management**, Vol. 11 Issue 2, 81-99.
- [8] ALNOUKARI, M. 2020 From Business Intelligence to Big Data: The Power of Analytics - **Integration Challenges for Analytics, Business Intelligence, and Data Mining** by AZEVEDO, A., SANTOS, M. F. (eds). IGI Global, USA, 44-62.
- [9] ALKHLIL, A., ABDALLAH, MAE., ALOGALI, A., & ALJALOOD, A. 2021 Applying Big Data Analytics in Higher

Education: A Systematic Mapping Study. **International Journal of Information and Communication Technology Education (IJICTE)**, Vol. 17 Issue 3, 29-51.

[10] KHARADE, B. & WAGH, K. 2016 Data Analytics in Educational Management System. **International Journal of Computer Applications**, 22-25.

[11] ROMERO, C., & VENTURA, S. 2010 Educational Data Mining: A Review of the State Of The Art. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)**, Vol. 40 Issue 6, 601-618.

[12] DANIEL, B. K., & BUTSON, R. 2013 Technology Enhanced Analytics (TEA) in Higher Education. **International Association for the Development of the Information Society**. 89-96.

[13] ZHANG, Y., WANG, H., YU, L., & YU, H. 2023 Identifying early warning indicators of student retention in higher education: A machine learning approach, **Computers in Human Behavior**, 125, 106741.

[14] BAIG, M. A., ALKHALIL, M., & ALGHAMDI, L. A. 2023 Improving course design and delivery using big data analytics in higher education, **Journal of Educational Technology and Society**, Vol. 26 Issue 2, 325-338.

[15] LESJAK, D., NATEK, S. & KOHUN, F. 2021 Big Data Analytics in Higher Education, **Issues in Information Systems**. Vol. 22 Issue 4, 320-333.

[16] BAJPAI, S. & MANI, S. 2017 Big Data in Education and Learning Analytics, **International Journal of Educational Technology**, Vol. 7 Issues 1&2, 45-55.

[17] NGUYEN, A., GARDNER, L., & SHERIDAN, D. 2020 Data Analytics in Higher Education: An Integrated View, **Journal of Information Systems Education**, Vol. 31 Issue 1, 61-71.

[18] MAGO, B. & KHAN, N. 2021 A proposed Framework for Big Data Analytics in Higher Education, **International Journal of Advanced Computer Science and Applications**, Vol. 12 Issue 7, 685-691.