



العدد الرابع - ابريل - 2026 - السنة الاولى

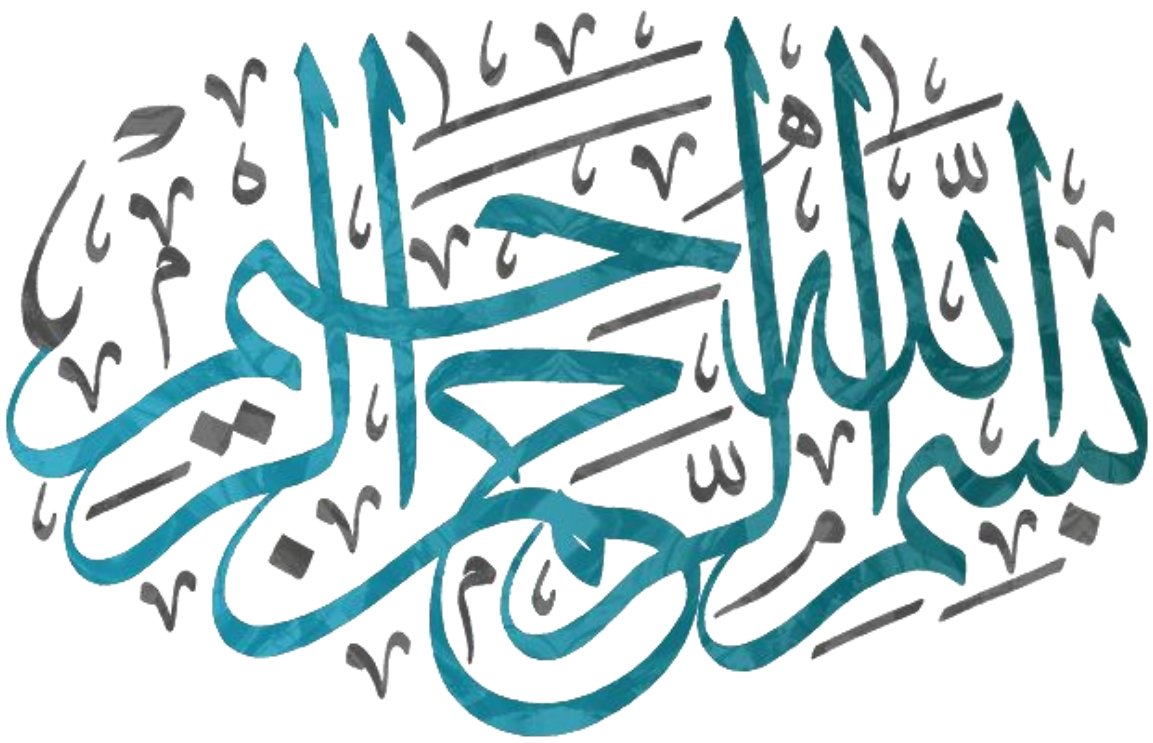
# المجلة الأمريكية الدولية للعلوم التطبيقية والصرفة تصدر عن الأكاديمية الأمريكية الدولية للتعليم العالي والتدريب

رقم الايداع في المكتبة الوطنية المغربية (2025PE0017)  
النشر الالكتروني : (3085 - 4954) issn  
النشر الورقي : (3085 - 4970)



رئيس التحرير  
أ.د. نزهة الصبري

مجلة علمية محكمة فصلية



عنوان المجلة : المجلة الأمريكية الدولية للعلوم التطبيقية والصرافة

الناشر: الأكاديمية الأمريكية الدولية للتعليم العالي والتدريب – عنوان

**3422 OLD CAPITOL TRL SET 700**

**CITY : WILMINGTON**

**ZIP CODE:19808**

**UNITED STATE – DELAWARE**

هاتف : +13323226047

البريد الإلكتروني : [info@aiahet.us](mailto:info@aiahet.us)

الطبعة الأولى : 1446 – 2025

الأيدياع القانوني : 2025PE0017

الطبع : مطبعة الامنية – الرباط

الهاتف : 0537.72.48.39 – الفاكس : 0537.20.04.27

البريد الإلكتروني : [impoumina@yahoo.fr](mailto:impoumina@yahoo.fr)

**رئيس التحرير - أ.د. نزهة الصبري** - نائب رئيس الأكاديمية الأمريكية الدولية للتعليم العالي والتدريب. المملكة المغربية

**نائب رئيس التحرير أ.د. حاتم جاسم الحسون**، رئيس الأكاديمية الأمريكية الدولية للتعليم العالي والتدريب. ولاية ديلاوير - الولايات المتحدة الأمريكية

**مدير التحرير - أ.د. نزهة الصبري** - نائب رئيس الأكاديمية الأمريكية الدولية للتعليم العالي والتدريب. المملكة المغربية

**نائب مدير التحرير (1) أ.م.د. امه محمد شتيوي** - استاذ مساعد قسم الصيدلة تخصص الكيمياء الفيزيائية الدوائية- تصميم الادوية - جامعة الشرق الاوسط- عمان - الاردن.

**نائب مدير التحرير (2) أ.د. هند عباس على الحمادي**-أستاذ بقسم اللغة العربية وعلومها- كلية التربية للبنات-جامعة بغداد، جمهورية العراق (مدقق اللغة العربية).

#### سكرتارية التحرير

1. أ . محمد تايه محمد بخش- وزارة التربية- المديرية العامة للتربية في محافظة النجف الاشرف - الاعداد والتدريب - جمهورية العراق.
2. أ.سكينة ابراهيم الصبري - الشؤون الإدارية - الأكاديمية الأمريكية الدولية للتعليم العالي والتدريب - امريكا.

#### أعضاء هيئة التحرير

1. أ.د. خالد ستار القيسي - عميد كلية الاعلام - الاكاديمية الأمريكية الدولية للتعليم العالي والتدريب - امريكا. ( المصمم ).
2. د. علي مولود ابراهيم - نائب عميد المعهد الأمريكي للدراسات البيولوجية والهندسية وابحث علوم النانو تكنولوجي . ( مدقق اللغة الانكليزية ).
3. أ. عقيل عدنان جيجان الخفاجي - مدير تنفيذي في هيئة الاتصالات - جمهورية العراق . ( المنضد ).

#### أعضاء الهيئة العلمية

1. أ.د. انعام نوري علي عود - رئيس بيولوجيين أقدم - وزارة العلوم والتكنولوجيا - هيئة البحث العلمي - وزارة التعليم العالي والبحث العلمي - جمهورية العراق.
2. أ.د. فراس رياض جميل - التقانة الاحيائية- كلية العلوم التطبيقية - جامعة الفلوجة - جمهورية العراق.

3. أ.د. نبيل محمد صالح العبيدي - عميد كلية الدراسات العليا - الجامعة اليمنية - الجمهورية اليمنية.
4. أ.د. وليد توفيق يونس محمد - رئيس قسم تطبيقات الليزر معهد الليزر - جامعة القاهرة - محاضر بأكاديمية ناصر العسكرية - مصر.
5. أ.د. عبد العزيز عبيد موسى - قسم الفيزياء/ كلية العلوم/ جامعة بابل - جمهورية العراق .
6. أ.د. ماجد خليف الكمر - جامعة كربلاء - كلية التربية للعلوم الصرفة - قسم علوم الحياة - جمهورية العراق.
7. أ.د. أشرف السيد بخيت محمد - استاذ فيزياء جوامد - كلية التربية - جامعة عين شمس - مصر .
8. أ.د. محمد سود العينين - استاذ الرياضيات - المدرسة العليا للتكنولوجيا - سلا - جامعة محمد الخامس - الرباط - المملكة المغربية .
9. أ.د.نادية حسين يونس العفون - جامعة بغداد - كلية التربية للعلوم الصرفة ابن الهيثم - قسم علوم الحياة - العراق.
10. أ.د. نجود فيصل يوسف حسن السراج - جامعه بغداد - كليه التربية للعلوم الصرفة ابن الهيثم - قسم الكيمياء - مختبر الكيمياء الحياتيه. جمهورية العراق.
11. أ.د. ناهدة بخيت حسن عطية حرث - جامعة بابل - كلية العلوم- قسم الفيزياء- التخصص الدقيق - فيزياء الحالة الصلبة - جمهورية العراق.
12. أ.د. نرجس هادي منصور - قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة كربلاء - جمهورية العراق.
13. أ.د.رشيد اتوير - تخصص فيزياء , كيمياء - المركز الجهوي لمهن التربية والتكوين - الرباط سلا القنيطرة - المملكة المغربية .
14. أ.د.هناء حميد حداد - قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة البصرة - جمهورية العراق.
15. أ.د. سليم عزارة حسين - فيزياء الاغشية الرقيقة - كلية التربية - قسم الفيزياء - جامعة القادسية - العراق
16. أ.د. جاسم حسن سالم العطبي - طبيب عام - البصرة - العراق.
17. أ.د. السيد عثمان عمر شعرون - قسم الحاسوب - كلية التربية- جامعة الزاوية - التخصص- تنظيم حاسبات ليبيا .

18. أ.د./ عبد السلام محمد احمد جعول الحجري – استاذ دكتور في الكيمياء الحيوية - رئيس قسم الكيمياء / احياء – جامعة عدن - اليمن.
19. أ.م.د. رعدان هاشم محسن - عميد كلية الزراعة جامعة البصرة - رئيس مركز الابداع والابتكار العراقي في المنطقة الجنوبية – تخصص تقنيات حيائية - جمهورية العراق.
20. أ.د. حياة لغزيل - المركز الجهوي لمهن التربية والتكوين فاس مكناس - التخصص: الكيمياء و ديداكتيكياتها- المملكة المغربية.
21. أ.د. عبدالجاسم محيسن جاسم الجبوري - مدير قسم الادلة الجنائية في كلية السلام الجامعة ( الاهلية ) .
22. أ.م.د. أسو محمود رضا بكر- استاذ فسيولوجيا تمارين العلاجية -- جامعة السليمانية - اقليم كردستان - جمهورية العراق.
23. أ.م.د. أحمد جمال الدين حسين بدوي - أستاذ مساعد أمراض النساء والتوليد.- كلية الطب. جامعة 6 أكتوبر- مصر.
24. أ.م.د. قاسم يحيى رحاوي – رئيس قسم هندسة التعدين - كلية هندسة النفط والتعدين - جامعة الموصل – جمهورية العراق.
25. أ.م.د. محمد حسن دخيل عباس الطائي – ورائة جزيئية – كلية الطب البيطري – جامعة القاسم الخضراء – جمهورية العراق.
26. أ.م.د. آرام نامق توفيق - كلية العلوم - جامعة السليمانية - جمهورية العراق.
27. أ.م.د. هيثم كامل داود سلمان - جامعة الانبار - كلية الهندسة - قسم الهندسة الميكانيكية - تخصص: علوم في الهندسة الميكانيكية - حراريات – جمهورية العراق.
28. د. ايمان محمد مصطفى – كلية الدراسات العليا لتكنولوجيا النانو – مدير معمل الطاقة الشمسية – جامعة القاهرة – مصر.

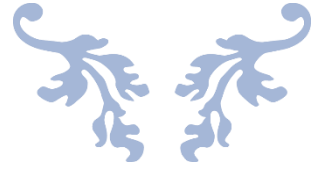
#### أعضاء الهيئة الاستشارية

- 1- أ.د. عباس جاسم عطية – قسم الكيمياء – كلية العلوم – جامعة بابل – العراق.
- 2- أ.د. محمد علي عباس – عضو الاكاديمية الامريكية الدولية للتعليم العالي والتدريب – امريكا.

- 3- أ.د. رعد محمد صالح الحداد – جامعة بغداد – كلية العلوم – قسم الفيزياء – العراق.
- 4- أ.د. صادق عبد العزيز مهدي - استاذ الرياضيات التطبيقية / تشفير البيانات - الجامعة المستنصرية - كلية التربية - قسم علوم الحاسوب - العراق.
- 5- أ.م.د. مثنى عناد ماجد الشمري - دكتوراه كيمياء حياتية سريرية/ نيوزيلندا. الجامعة المستنصرية – جمهورية العراق.
- 6- أ.د. نورة محمد مستغفر - أستاذ التعليم العالي مؤهل، المركز الجهوي لمهن التربية والتكوين، المملكة المغربية.
- 7- أ.م.د. رشا السيد محمد أحمد – معمل الحفازات – قسم التكرير – معهد بحوث البترول – مصر .
- 8- أ.م.د. صفاء مصطفى حميد خميس الجنابي – جامعة ساوة الاهلية –مساعد رئيس الجامعة للشؤون العلمية – محافظة المثنى – العراق.
- 9- أ.إسامة مجيد ابراهيم – هندسة برمجيات – وزارة الاتصالات – المعهد العالي للاتصالات والبريد – العراق.
- 10- م.د. وفاء ناصر حسن الحسيني – جامعة بن سينا للعلوم الطبية والصيدلانية – كلية الطب – العراق .



## كلمة العرو



## كلمة العدد: رحلة جديدة في آفاق المعرفة التطبيقية

بسم الله الرحمن الرحيم

يسرنا في الأكاديمية الأمريكية الدولية للتعليم العالي والتدريب أن نقدم لكم بفخر واعتزاز العدد الرابع من المجلة الأمريكية الدولية للعلوم التطبيقية والصرف. هذا العدد ليس مجرد إصدار جديد، بل هو محطة أخرى في مسيرتنا المتواصلة لدعم البحث العلمي ونشر المعرفة الرصينة التي تسهم في تقدم البشرية.

إن ما يميز هذا العدد بشكل خاص هو أنه يمثل ثمرة جهود علمية مكثفة، حيث يضم مجموعة مختارة من الأبحاث المتميزة التي شاركت في المؤتمر العلمي الدولي الخامس للعلوم التطبيقية والصرف. لقد كان المؤتمر، ولا يزال، منصة حيوية لتبادل الأفكار والرؤى بين نخبة من الباحثين والعلماء من مختلف أنحاء العالم، ونجح في استقطاب دراسات مبتكرة تعالج قضايا معاصرة في صميم العلوم التطبيقية والصرف.

لقد شهدت جلسات المؤتمر نقاشات علمية عميقة، عكست التطورات المتسارعة في ميادين مثل الذكاء الاصطناعي، والطاقة المتجددة، والعلوم البيئية، وعلوم المواد، والرياضيات التطبيقية، والفيزياء، والكيمياء، وغيرها من التخصصات الحيوية. الأبحاث المنشورة في هذا العدد تعكس هذا التنوع والعمق، وتوفر لقارئنا نافذة على أحدث الابتكارات والنتائج البحثية التي تشكل ملامح مستقبلنا. إننا نؤمن بأن العلوم التطبيقية والصرف هي المحرك الأساسي للتقدم التكنولوجي والاقتصادي والاجتماعي. فمهما تنبع الحلول لمواجهة التحديات العالمية، كالتغير المناخي، والأمن الغذائي والمائي، وتطوير الرعاية الصحية. ومن هنا، تأتي أهمية المجلة كمنصة لنشر هذه الحلول والرؤى، وتشجيع المزيد من البحث والتعاون.

أود أن أتوجه بخالص الشكر والتقدير لكل من ساهم في إثراء هذا العدد:

- للأساتذة الأفاضل الباحثين الذين أثروا المؤتمر والمجلة بإسهاماتهم العلمية القيمة.
  - للجنة العلمية الموقرة وجميع المحكمين الذين بذلوا جهودًا مضيئة لضمان جودة الأبحاث وموثوقيتها.
  - للفريق التحريري المتميز على عمله الدؤوب لإخراج هذا العدد بالشكل الذي يليق بمكانته العلمية. نأمل أن يجد القراء في هذا العدد مادة علمية ثرية وملهمة، تدفعهم نحو المزيد من البحث والتفكير النقدي. ونتطلع إلى استمرار دعمكم ومشاركاتكم في أعدادنا ومؤتمراتنا القادمة، لتبقى المجلة الأمريكية الدولية للعلوم التطبيقية والصرف منارة للمعرفة والإبداع.
- والله ولي التوفيق.

## فهرس الموضوعات

العدوى الاجتماعية وعلاقتها بالقلق التنافسي لدى طلبة الجامعة الاستاذ الدكتورة لمياء ياسين زغير.....10	
THE APPROXIMATION PROPERTIES OF NEURAL NETWORKS- A REVIEW EMAN JAWAD.....32	
THE ADOPTION OF HYBRID SWARM INTELLIGENCE ALGORITHM IN THE OPTIMAL ALLOCATION OF PHYSICAL CLOUD MANUFACTURING RESOURCES RAQEYAH JAWAD NAJY/ ADEL THAKER .....44	
استخلاص وتنقية القلويدات من نبات الاوركيد PHALAENOPSIS AMABILIS ودراسة تأثيرها ضد بعض البكتريا المسببة لالتهاب المجاري البولية سؤدد عبد الاله محمد*، شيماء عبد الستار جبار، غادة عبد الخالق حسون، رشا خليل فرحان، عمارمولى حمود.....66	
DOHERTY POWER AMPLIFIERS IN CMOS TECHNOLOGY FOR 5G MILLIMETRE-WAVE APPLICATIONS: ARCHITECTURES, DESIGN TECHNIQUES, AND PERFORMANCE TRADE-OFFS ABDULMUNAM ABTAN.....80	
GEOSPATIAL ANALYSIS OF THE CORRELATION BETWEEN DUST PHENOMENA FREQUENCY AND SURFACE WIND SPEED USING PEARSON'S COEFFICIENT AND GIS AZHAAR K. MISHAAL .....118	
نهج هجين متكامل لتخطيط مسارات الطائرات المسيرة بالتكامل بين تحسين سرب الجسيمات والشبكات العصبية والخوارزمية الجينية وآليات التنعيم الذكي محمد فلاح حسن الظفيري.....130	

العدوى الاجتماعية وعلاقتها بالقلق التنافسي لدى طلبة الجامعة

الاستاذ الدكتورة لمياء ياسين زغير

كلية التربية - الجامعة المستنصرية

[Dr.lamy.yassin@gmail.com](mailto:Dr.lamy.yassin@gmail.com)

07700634527

### الملخص

استهدف البحث الحالي التعرف على

1 - العدوى الاجتماعية لدى طلبة الجامعة

2 - القلق التنافسي لدى طلبة الجامعة

3 - العلاقة الارتباطية بين العدوى الاجتماعية والقلق التنافسي لدى طلبة الجامعة

ولغرض التحقق من ذلك تبنت الباحثة مقياس العدوى الاجتماعية المعد من قبل هاتفيلد والذي يتكون من (15) فقرة وتم التأكد من خصائصه

السايكومترية ومقياس القلق التنافسي المعد من قبل الاء نزال محمد والذي يتكون من (30) فقرة وتم التأكد من خصائصه السايكومترية طبق المقياسان

على عينة بلغت (120) طالب وطالبة اختبروا بطريقة عشوائية طبقية من طلبة الجامعة المستنصرية اظهرت نتائج البحث ان الطلبة لديهم عدوى

اجتماعية وان اغلب الطلبة لديهم قلق تنافسي بنسبة 54% ولم يظهر البحث وجود علاقة ارتباطية دالة بين العدوى الاجتماعية ومستويات القلق

التنافسي وقدمت الباحثة عددا من التوصيات والمقترحات

**الكلمات المفتاحية : العدوى الاجتماعية ، القلق التنافسي**

**Social Contagion and Its Relationship with Competitive Anxiety  
among University Students  
Prof. Dr Lamyaa Yassin Zughair**

**Abstract**

The present study aimed to identify:

- 1 - Social contagion among university students.
- 2 - Competitive anxiety among university students.
- 3 - The correlational relationship between social contagion and competitive anxiety among university students.

To achieve these objectives, the researcher adopted the Social Contagion Scale developed by Hatfield, which consists of 15 items, and its psychometric properties were verified. The Competitive Anxiety Scale, developed by Alaa Nazzal Mohammed, consisting of 30 items, was also adopted, and its psychometric properties were confirmed.

Both scales were administered to a sample of 120 male and female students selected using a stratified random sampling method from Al-Mustansiriyah University. The results of the study indicated that students exhibited social contagion and that the majority of students experienced competitive anxiety at a rate of 54%. The findings also revealed that there was no statistically significant correlational relationship between social contagion and levels of competitive anxiety. Based on the results, the researcher presented a number of recommendations and suggestions.

**Keywords: Social contagion, Competitive anxiety.**

## مشكلة البحث

تُعد البيئة الجامعية من أكثر البيئات الاجتماعية كثافة في التفاعل الإنساني، حيث يتعرض طلبة الجامعة لمواقف تنافسية متعددة، مثل الامتحانات النهائية، والمفاضلات الأكاديمية، والعروض الصفية، والأنشطة العلمية، والتي يصاحبها قدر مرتفع من الضغوط النفسية والانفعالية.

في ظل هذا السياق، لا يواجه الطالب هذه الضغوط بوصفها خبرة فردية منعزلة، بل يتأثر بشكل مباشر وغير مباشر بالناخ الانفعالي السائد بين زملائه، وما يتضمنه من مشاعر القلق، أو التوتر، أو الطمأنينة، وهي ظاهرة يُشار إليها في علم النفس بـ العدى الاجتماعية (عواد، 2019).

تتمثل العدى الاجتماعية في انتقال الانفعالات والمشاعر بين الأفراد داخل الجماعة نتيجة التفاعل المستمر، والملاحظة، والتقليد، والتأثر الوجداني المتبادل، مما يجعل الحالة النفسية لبعض الطلبة قادرة على التأثير في الحالة النفسية لغيرهم، ولا سيما في الفترات التي تسبق المواقف التنافسية الأكاديمية أو ترافقها. وفي هذا الإطار، يظهر القلق التنافسي بوصفه أحد أكثر أشكال القلق شيوعاً بين طلبة الجامعة، حيث يتجسد في القلق من الأداء، والخوف من الفشل، والانشغال الزائد بنتائج التقييم والمقارنة بالآخرين، الأمر الذي قد ينعكس سلباً على التحصيل الأكاديمي، والتكيف النفسي، والصحة النفسية العامة للطلبة.

وعلى الرغم من أن القلق التنافسي لدى طلبة الجامعة قد حظي باهتمام عدد من الدراسات التي تناولته في ضوء متغيرات معرفية وشخصية مختلفة، مثل الكفاءة الذاتية أو أساليب التعلم أو تقدير الذات، إلا أن الدور الذي تؤديه العدى الاجتماعية في تشكيل هذا القلق أو تضخيمه لا يزال غير واضح بما يكفي، خاصة في السياق الجامعي العربي، حيث تسود ثقافة المقارنة الاجتماعية، وترداد حساسية الطلبة تجاه تقييم الآخرين ونظرتهم للأداء الأكاديمي.

كما أن كثيراً من الدراسات السابقة تناولت القلق التنافسي بوصفه حالة نفسية نابعة من مصادر داخلية لدى الطالب، وأغفلت في معظمها أثر المناخ الانفعالي للجماعة الجامعية، ودور التفاعل الاجتماعي وانتقال المشاعر بين الطلبة، وهو ما تؤكد عليه نظريات التعلم الاجتماعي والانفعال الجمعي، ولا سيما ما طرحه ألبرت باندورا بشأن انتقال السلوك والانفعال عبر الملاحظة والنمذجة داخل الجماعات (سكر، 2016:55).

من هنا تعد المنافسة الشديدة وما تثيره من قلق تنافسي بين الطلاب متغيراً مهماً في بيئة التعلم وتشكل مصدراً للضغوط التي تترك أثراً سلبياً على الطلبة لأنهم سينطلقون بشكل منفصل كأفراد تجاه نفس المهمة لتحقيق المكافأة بناءً على أدائهم النسبي للحصول على الدرجات والامتيازات مما قد يتسبب في كره الطالب للمادة أو المعلم أو الماطلة، أو الكذب على أولياء الأمور أو الأداء السيئ في الواجبات المدرسية أو التغيب عن الصف، أو عدم متابعة الأنشطة و الانسحاب الاجتماعي من أقرانه ومن ثم التسرب من المدرسة ( Bilal, 2017:85 ) وأن البيئات المدرسية التنافسية والضغط من أجل الأداء الجيد تزيد من مستويات القلق لدى الطلبة (Lowe et al., 2005; Triplett & Barksdale, 2003).

يعد القلق أثناء التعلم من أهم أنواع القلق لدى الطلبة فهو يهدد صحتهم النفسية ويؤثر على كفاءتهم واستعدادهم وتكوين شخصيتهم في المستقبل وهويتهم الاجتماعية، إذ أن التغيرات الاجتماعية التي يشهدها العالم، وتزايد الاضطرابات النفسية بين الطلبة جعلت القرن الحادي والعشرون قرن التوتر والقلق والضغط (Mohebi et al, 2012:37).

هنا تشير دراسة (حسيب، 2004) إلى أن القلق المرتبط بموقف تنافسي يسمى بالقلق التنافسي وأن القلق التنافسي يختلف عن قلق التحصيل وقلق الامتحان وكذلك عن قلق النجاح، حيث أن قلق التحصيل يكون إزاء بعض المواقف الدراسية أو المشكلات التعليمية، ويكون انفعال الطالب نتيجة خوفه على مستواه التحصيلي في مادة أو أخرى وهي ظاهرة نفسية منتشرة بين الطلبة في مختلف المراحل الدراسية، أما قلق الامتحان فيكون أثناء فترة الامتحانات، أما قلق النجاح فيكون لدى الطالب

ومعاناته في ما يتعلق بإمكانية نقله إلى المرحلة الدراسية التالية، وأما القلق التنافسي هو نوع من أنواع القلق الذي يعبر عن حرص الطالب للتمييز بين أقرانه ومنافسيه وخوفه من الفشل والتدني (حسيب، 2004: 382)

يرتبط القلق التنافسي بمنافسة الطلبة مع زملائهم وبالتالي انخفاض مستوى الأداء التعليمي والواجبات والامتحانات وارتفاع القلق بشأن المستقبل (Mohebi et al, 2012: 37)

كما ان رغبة الآباء القوية في أن يصعد أبنائهم سلم النجاح وإلى أعلى مستوى ممكن ، هذه الرغبة في تحقيق مستوى عالٍ من الإنجاز تضع ضغطاً كبيرة على الطلاب والمدرسين والمدرسة، وبشكل عام على النظام التعليمي نفسه ، كما لو أن نظام العالم بأكمله يدور حول التحصيل الدراسي للطلاب مما يزيد من القلق التنافسي لدى الطلبة (Bihari, 2014: 30)

وقد دعمت ذلك نتائج دراسة (Thompson, 2003) إذ أن بعض الطلبة يعانون من القلق الذي يؤدي إلى التوتر عن طريق استعمالهم استراتيجيات غير قادرة على التكيف مثل: تجنب التعامل مع الامتحانات وتأخر الاستعداد لها. يؤدي ارتفاع القلق لدى الطلبة إلى خلل تعليمي وتوقف التعليم وضعف القدرة وانخفاض الكفاءة، فهو لا يعرض الصحة النفسية للطلبة للخطر فحسب بل يجرمهم أيضاً من الحياة الصحية. (Mohebi et al, 2012: 38)

وقد اشارت نتائج استطلاع لدراسة اجرتها محمد (2024) على عينة بلغت (220) فردا الى ان (76.7%) من العينة يعتقدون بوجود هذا النوع من القلق التنافسي كما اشارت كل من دراسة عثمان 2019 وخضير 2023 الى ان الطلبة لديهم قلق تنافسي عالي (عثمان ، 2019: 123) و (خضير، 2023: 15) مما يشير الى انتشار القلق التنافسي لدى الطلبة كما ان ندرة الدراسات العربية او الاجنبية التي بحثت في العلاقة بين العدوى الاجتماعية والقلق التنافسي دفعت الباحثة للبحث في ذلك لذا فان مشكلة البحث الحالي تتحدد في التساؤل الاتي ماهي طبيعة العلاقة بين العدوى الاجتماعية والقلق التنافسي لدى طلبة الجامعة ؟

### اهمية البحث

يكتسب البحث الحالي أهميته في أنه يدرس موضوع القلق التنافسي لدى الطلبة وهو موضوع لم يحظ بالكثير من الدراسة إذ إن جميع الدراسات الأجنبية تناولت القلق التنافسي في مجال الرياضة كما أن هناك دراسات قليلة تناولته على طلبة المدارس، حيث أن الطلبة الذي يواجهون هذه المشكلة يصعب عليهم الاستقرار في مهنة في المستقبل، بسبب الارتباك وانعدام الثقة والقلق المستمر وعدم القدرة على التعبير عن مشاعرهم) وأن قلق المنافسة المرتفع إذا لم تتم معالجته فقد يكون له العديد من الجوانب السلبية على المدى البعيد وقد يتحول إلى أسلوب حياة ويتحول الفرد من شخص سوي إلى شخص مضطرب وقد يكون له الكثير من الجوانب السلبية في الدراسة منها (كره المادة، الكذب على أولياء الأمور والإدارة ، وكذلك الفشل في تحقيق مستوى مقبول من التحصيل الدراسي) ويمكن لهذا البحث أن يطور استراتيجيات وتوجيهات تعليمية تعزز القلق التنافسي الشريف، علاوة على ذلك يمكن لهذا البحث ان يضيف نظرة ثاقبة للدوافع الكامنة وراء سلوك الطلبة وأن فهمها يمكن أن يساعد المدرسين وكذلك الإداريين على معالجة المشكلات الأساسية مثل العدوى الاجتماعية وقلق المنافسة لضمان جودة التعليم.

كما تكمن أهمية البحث الحالي في لقاء الضوء على شريحة مهمة وهي طلبة الجامعة، مما يستدعي الحاجة الى الدراسات العلمية لبحث هذه الظاهرة ومسبباتها لوضع الحلول المناسبة لها لا سيما مع ما تؤيده نتائج الدراسات السابقة إلى تزايد الاعتقادات غير الواقعية والتي تنتبأ بسلوكيات غير تكيفية. إذ تبدو خطورة هذه السلوكيات في الآثار السلبية التي تظهر داخل الصف منها الملاحظات الساخرة ، الجدال مع المدرسين ، الوصول متأخراً إلى الصف، المحادثات الجانبية ، وإظهار الملل، والغضب ، وغيرها من السلوكيات التي تشير إلى عدم احترام المدرس أو العملية التعليمية وبما ما يؤثر على أدائهم الدراسي وبالتالي استحقاتهم

للتحصيل المناسب الذي قد يكون سلبياً (Chowning & Campbell, 2009: Cain et al, 2012: 982).

ونظراً للفروق الثقافية والتعليمية لمجتمع الدراسات السابقة والمجتمع الحالي تأتي أهمية البحث الحالي في كونه يمكن ان يلفت انتباه المؤسسات الاجتماعية وكذلك المدرسين إلى هذه الظاهرة التي تؤثر على العملية التعليمية، وكيف يمكن ان تتصدى المؤسسات التربوية الرسمية وغير الرسمية لهذه الظاهرة وفقاً للأسلوب العلمي .

وهذا ما أكدته دراسة (Nadeem et al,2012) إلى أن القلق أثراً كبيراً وواضحاً على مستوى تحصيل الطلبة وأنه كلما زاد قلق الطلبة ضعف مستوى تحصيلهم الدراسي (Nadeem et al,2012:520).

إذ أن خوف الطلبة من الدرجات المنخفضة وما يرتبط بها من لوم من جانب الأسرة، وسخرية زملاء الدراسة والأصدقاء، والخوف من عدم القدرة على مواصلة التعليم، لا سيما عند الالتحاق بالجامعة، يزعج طلبة المدارس نفسياً (Mohebi et al,2012:38) .

ويرى (Nadeem et al,2012) أن القلق لا يؤثر فقط على تعليم الطلبة، وإنما يؤثر على شخصياتهم التي تبقى طوال حياتهم أيضاً (Nadeem et al,2012:519) .

**اهداف البحث :** يستهدف البحث الحالي التعرف على

1 - العدوى الاجتماعية لدى طلبة الجامعة

2 - القلق التنافسي لدى طلبة الجامعة

3 - العلاقة الارتباطية بين العدوى الاجتماعية والقلق التنافسي لدى طلبة الجامعة

**حدود البحث :** يقتصر البحث الحالي على طلبة الجامعة المستنصرية الدراسات الأولية من كلا الجنسين وللعام الدراسي 2026 /2025 ومن التخصصات العلمية والانسانية

**تحديد المصطلحات**

**العدوى الاجتماعية Social Contagion**

عرفت إلين هاتفيلد Hatfield, Cacioppo, & Rapson, 1994 العدوى الاجتماعية بأنها: عملية تلقائية ولا واعية يقوم فيها الأفراد بتقليد ومزامنة تعبيرات الآخرين الانفعالية، مثل تعبيرات الوجه، ونبرة الصوت، ووضعية الجسد، مما يؤدي إلى انتقال الحالات الانفعالية من شخص إلى آخر (Hatfield, Cacioppo, & Rapson, 1994)

**التعريف النظري :** تبنت الباحثة تعريف إلين هاتفيلد Hatfield, Cacioppo, & Rapson, 1994 للعدوى الاجتماعية تعريفاً نظرياً في البحث

**التعريف الاجرائي :** عينة ممثلة لحتوى النطاق السلوكي لمفهوم العدوى الاجتماعية ويقاس عن طريق الدرجة الكلية التي يحصل عليها المستجيب عن طريق اجابته على فقرات المقياس المستخدم في البحث

**القلق التنافسي Competitive anxiety**

عرفه Martens et al,1990 هي حالة القلق او التوتر التي يشعر بها الفرد في مواقف تنافسية معينة عندما يدرك ان هذه المواقف تشكل تهديداً له ، فإذا شعر الفرد ان الموقف يتجاوز قدراته او توقعاته او لأسباب اخرى فأن مستويات القلق تزداد ويظهر هذا النوع من القلق قبل او اثناء المواقف التنافسية وحتى انتهائها (Martens et al,1990,17).

**التعريف النظري:** تبنت الباحثة تعريف Martens et al,1990 لأنه قدم نظرية شاملة في القلق التنافسي، وعَدَّ القلق التنافسي دافعاً اجتماعياً.

**التعريف الإجرائي:** عينة ممثلة لمحتوى النطاق السلوكي لمفهوم القلق التنافسي ويقاس عن طريق الدرجة الكلية التي يحصل عليها المستجيب على مقياس القلق التنافسي في البحث الحالي.

### الاطار النظري

## العدوى الاجتماعية Social Contagion

تُعد نظرية العدوى الاجتماعية (الانفعالية) من النظريات الحديثة نسبياً في علم النفس الاجتماعي، وقد ارتبط تأصيلها العلمي بشكل واضح بأعمال إلين هاتفيلد وزميلها كاتشوبو ورايسون، ولا سيما في مؤلفهم المرجعي الصادر عام 1994، الذي وضع الأسس النظرية والتجريبية لفهم كيفية انتقال الانفعالات بين الأفراد داخل الجماعات.

ترى هاتفيلد أن العدوى الاجتماعية، وبصورة أدق العدوى الانفعالية، هي عملية نفسية تلقائية ولا واعية يتم من خلالها انتقال الحالات الانفعالية من شخص إلى آخر عبر تقليد ومزامنة التعبيرات الانفعالية، مثل تعبيرات الوجه، ونبرة الصوت، والإيماءات الجسدية. وتؤكد أن هذا الانتقال لا يعتمد على التفكير العقلاني أو التفسير المعرفي، بل يحدث بسرعة وبصورة فورية نتيجة التفاعل الاجتماعي المباشر.

تنطلق هاتفيلد من افتراض أساسي مفاده أن الإنسان كائن اجتماعي مهياً بيولوجياً ونفسياً لمشاركة الآخرين انفعالاتهم، وأن هذا الاستعداد يُسهم في تحقيق التكيف الاجتماعي، إلا أنه قد يتحول إلى مصدر ضغط نفسي عندما تكون الانفعالات السائدة سلبية، كالقلق أو الخوف أو التوتر.

تفسر هاتفيلد العدوى الاجتماعية من خلال آليتين رئيسيتين مترابطتين:

### المحاكاة الانفعالية (Emotional Mimicry)

حيث يقوم الفرد، دون وعي، بتقليد تعبيرات الآخرين الانفعالية، مثل شد العضلات الوجهية، أو نبرة الصوت، أو وضعية الجسد، وهو تقليد يحدث بسرعة كبيرة قد لا يشعر بها الفرد نفسه.

### التغذية الراجعة الانفعالية (Emotional Feedback)

إذ يؤدي هذا التقليد الجسدي والانفعالي إلى استثارة مشاعر داخلية مشابهة لدى الفرد، مما يجعله يشعر فعلياً بالانفعال نفسه الذي يشعر به الآخرون، وليس مجرد تمثيله سلوكياً.

ومن خلال هاتين الآليتين، تنتقل الانفعالات داخل الجماعة، لتصبح حالة مشتركة بين أفرادها، وهو ما يفسر ظواهر مثل تصاعد القلق الجمعي أو انتشار التوتر في البيئات التنافسية.

حددت هاتفيلد عدداً من الخصائص الجوهرية للعدوى الاجتماعية، من أبرزها:

اللاوعي: إذ تحدث العدوى الانفعالية دون قصد أو إدراك وإع من الفرد.

السرعة: تتم عملية الانتقال الانفعالي في وقت قصير جداً.

الطابع الجماعي: تزداد قوة العدوى في الجماعات المتقاربة اجتماعياً.

التأثر بالسياق: تكون العدوى أكثر وضوحاً في المواقف الضاغطة أو التنافسية.

التفاوت الفردي: يختلف الأفراد في قابليتهم للعدوى تبعاً لسمات شخصية مثل التعاطف أو الحساسية الانفعالية.

تشير نظرية هاتفيلد إلى أن الانفعالات السلبية، وعلى رأسها القلق، تُعد من أكثر الانفعالات قابلية للانتقال بين الأفراد، خاصة في البيئات التي يسودها الضغط والتقييم والمقارنة الاجتماعية. وفي السياق الأكاديمي، مثل البيئة الجامعية، يمكن أن يؤدي انتشار مظاهر القلق بين الطلبة قبل الامتحانات أو أثناءها إلى تصاعد القلق التنافسي لدى الأفراد، حتى أولئك الذين لا يعانون منه في الأصل.

وبذلك، تُفسر العدوى الاجتماعية كيف يتحول القلق من حالة فردية إلى ظاهرة جماعية، تؤثر في الأداء الأكاديمي، والتركيز، والثقة بالنفس، والتكيف النفسي لدى الطلبة.

وفقاً لتصوير هاتفيلد (1994)، تُعد العدوى الاجتماعية آلية نفسية أساسية تفسر انتقال الانفعالات داخل الجماعات، وتُسهم في تشكيل الخبرة الانفعالية للأفراد، لا سيما في المواقف التنافسية. وعليه، فإن دراسة العدوى الاجتماعية تمثل مدخلاً نظرياً مهماً لفهم القلق التنافسي لدى طلبة الجامعة، بوصفه نتاجاً للتفاعل بين الفرد والمناخ الانفعالي للجماعة.

تتبع أهمية نظرية هاتفيلد (1994) والتي دعت الباحثة إلى تبنيها في البحث الحالي إلى كونها

نقلت تفسير الانفعالات من المستوى الفردي إلى المستوى التفاعلي الاجتماعي.

أكدت دور الجسد والتعبير غير اللفظي في تشكيل الخبرة الانفعالية.

وفرت إطاراً تفسيرياً لفهم انتشار القلق والتوتر في البيئات التعليمية والتنافسية.

أسهمت في بناء أدوات قياس العدوى الانفعالية المستخدمة في البحوث النفسية الحديثة.

### القلق التنافسي Competitive anxiety

ظهر مصطلح القلق التنافسي في علم النفس الرياضي، حيث المسابقات والمنافسات المستمرة وكذلك البطولات المتعددة والتي تعددت مستويات تنظيمها والإشراف عليها حتى المستوى العالمي، وقد أُجريت الكثير من الدراسات التي تناولت القلق التنافسي في مجال الرياضة منها: دراسة (Vealay, 1998) التي تهدف لدراسة تأثير سلوكيات المدرب على القلق التنافسي لدى النشء في كليات التربية الرياضية للبنات. ودراسة (Orbach, 2000) لتوضيح العلاقة بين القلق التنافسي والثقة بالنفس وأثرها على الأداء الرياضي. ودراسة (Koivula, 2002) عن تقدير الذات وأثره على القلق التنافسي والثقة بالنفس لدى المنتخب الرياضي. ودراسة (Mellalieu, 2003) التي تناولت المظاهر الانفعالية والقلق التنافسي قبل وأثناء المنافسات الرياضية. (حسيب، 2004: 383)

يُنظر إلى القلق التنافسي، لا سيما في أدبيات علم النفس الرياضي في أمريكا الشمالية، على أنه سلبية ولهُ عواقب وخيمة على الأداء، ومع ذلك، فإنَّ هذا الرأي يتعارض مع مجموعة من الأدبيات الصادرة من مجالات أخرى من علم النفس والتي تشير إلى أن القلق يمكن أن يكون له في بعض الأحيان جوانب إيجابية (Jones, 1995: 462).

شهدت " الخمسينات من القرن الماضي محاولات الكثير من الباحثين لقياس القلق وكانت الصفة الغالبة لهذا النوع من المقياس هي قياس القلق العام، ولم تنجح هذه المحاولات في التوصل إلى تنبؤات مفيدة في مجال السلوك الإنساني، لذا بدأت المحاولات المبكرة لقياس القلق على أنه ظاهرة نفسية متعددة الأبعاد. خلال الستينات من القرن الماضي عندما قام (Spielberger, 1966) بإيجاد إطار يتضمن التفرقة بين حالات القلق المؤقت وسمات القلق الدائمة، كذلك ظهر الكثير من المحاولات الجادة التي أكدت أهمية مقياس القلق الموقفي لكونها تساعد في التنبؤ بالسلوك على نحو أفضل من مقياس القلق العام، من ذلك محاولة (Martens, 1977) لقياس سمة قلق المنافسة. (راتب، 1997: 177)

يرى (Parfitt&Hardy,2014) أن مصطلح القلق التنافسي هو وصف لحالة من الاستثارة والمثابرة والقلق البدني والمعرفي الذي يتعرض لها الأفراد الذين يسعون الى تحقيق أهداف معينة، وإثماً حالة طبيعية إلا إذا تفاقمت وزادت عن حدودها الطبيعية. (Parfitt &Hardy,2014:517)

أشار (خصير،2023) إلي إن القلق التنافسي عبارة عن وصف حالة من القلق المعرفي والبدني التي تصيب الأفراد والتي تؤثر على أدائهم في حال كانت أعراض القلق التنافسي شديدة ويجب على كل طالب أن يُعد هذا القلق جزءاً من المنافسة وأن لا يفسروها تفسيراً خاطئاً وإلا فأثماً ستعود سلباً عليهم. (خصير،2023: 98)

تم توسيع تعريف القلق التنافسي عن طريق إنشاء مستويين من الاستجابة هما (القلق النفسي والقلق الجسدي )  
(Torregrosa,2010:1007)

يتكون القلق الجسدي من تغيرات في الجهاز العصبي اللاإرادي مثل: تسارع دقات القلب والجهاز التنفسي، والشحوب والعرق ، وفرط التوتر العضلي، وهذا المكون الجسدي للقلق هو نتيجة مباشرة لزيادة الإثارة الفسيولوجية (Cheng et al, 2009:237)

أما القلق النفسي فمن مظاهره الخوف والذعر ، الانزعاج، الأرق ، وتغيرات الانتباه والتركيز ، والأفكار المتطفلة ، وينقسم القلق النفسي الى قسمين : الأول القلق بشأن العواقب السلبية المحتملة المرتبطة بالإداء الضعيف ، الثاني هو الصعوبة التي يواجهها الفرد في التركيز على الجوانب الرئيسية للمهمة التي بين يديه ، مما يمنع التفكير الواضح اثناء المنافسة (Smith et al, 1990:266)

يشير علاوي (2012) إلى أن القلق التنافسي يحدث عادة عندما يشعر الفرد بالضعف أو عدم الأمان او عدم القدرة على تحقيق أهدافه ، وذلك عندما يواجه أعباء يشعر بأنها تفوق قدراته او في حالة انزعاجه من بعض المواقف السلبية التي ترتبط بتوقع مستواه في الأداء الاكاديمي المطلوب منه إنجازاه. (علاوي،2012: 167)

قد تؤدي المنافسة داخل الصف الدراسي إلى نتائج مختلفة حيث تكون في حالتين إما مصدر لتحفيز الإبداع والإصرار والمثابرة وإثماً أن تكون مصدر لمجموعة من الاضطرابات النفسية والسلوكية حيث تكون مصدر ضغط مما يؤدي إلى ضعف قدراته في التعلم وتشنت انتباه الطالب(Chan & Lam ,2008:99) .

يرى (Wongvorachan,2023) بأنه ظاهرة شائعة تواجه الطلبة في بيئة التعليم، وينتج عنه الشعور بالتوتر والقلق الناجم عن المنافسة مع زملاء الصف في الأداء الأكاديمي أو الرياضي أو في أي نشاط آخر داخل أو خارج الصف ويمكن أن يستثار هذا القلق منذ بداية تعيين النشاط وحتى وقت اعلان النتائج و يزداد هذا القلق كلما اقترب موعد تسليم النشاط و اعلان النتائج . يمكن أن يكون هذا القلق ناجماً عن الرغبة في التفوق والحصول على أفضل النتائج، أو من الضغط الذي يفرضه الوالدان أو المعلمون، أو حتى من القلق من عدم المقدرة على المنافسة والنجاح. إذ إن التنافس في الصفوف الدراسية هي عمل الطلبة بشكل منفصل كأفراد تجاه نفس المهمة لتحقيق المكافأة بناءً على أدائهم النسبي ، يمكن للمدرسين استخدام المنافسة والتعاون في الصف لتشجيع الطلبة على التعلم وتحقيق أقصى قدر من الاحتفاظ بمحتوى التعلم والاستفادة منه و استثارة الدافعية للتعلم الطلبة عن طريق التعلم القائم على المنافسة(4: Wongvorachan, 2023)

وتعد المنافسة من دوافع الإنجاز القوية التي تؤثر على الفرد ، فقد يتنافس الفرد مع ذاته إذا وضع لنفسه أهدافاً مطردة محاولاً بلوغها، أو يتنافس مع أقرانه ويحاول التفوق عليهم ، ولذا كانت المنافسة مع الأقران من دوافع الإنجاز المهمة . (كامل،1988: 60)

وبرأي (Murray) إنَّ الطالب ذا الإنجاز الجيد هو الذي يحصل على درجة عالية لعمل صعب تميز بالإتقان والفهم والمعالجة والتنظيم للأفكار والتغلب على الصعاب في العمل، وكذلك ممارسة المنافسة مع الآخرين والتفوق عليهم. (الازيرجاوي، 1991، 66):

يرى (حسيب، 2004) أنَّ من خصائص الأفراد مرتفعي دافعية الإنجاز ان موقفه من القلق التنافسي يقع في المستوى المتوسط الذي يرتبط "بالقلق الدافعي" فالفرد يخبر القلق المرتفع في مواقف التعلم والأداء مما قد يدفعه الى التعلم من أجل تخفيف هذا القلق والوصول الى حالة من الاتزان ، أي إنَّ الاستثارة الشديدة تحدث للأفراد الذين ترتفع لديهم درجة القلق إزاء مواقف التقييم ، وبذلك يكون السلوك غير منتظم ، والأداء معاقاً ، في حين إنَّ الاستثارة المنخفضة تحدث للأفراد الذين تنخفض لديهم درجة القلق مما يترتب عليه عدم معاناتهم من أي مشكلات (حسيب، 2004: 385)

تبنت الباحثة نظرية القلق التنافسي ل (Martens et al, 1990) في البحث الحالي للمبررات الآتية:  
من النظريات التي فسرت المنافسة على أساس أنَّها عملية اجتماعية عن طريق التركيز على العمليات النفسية المتضمنة انتاج السلوك الإنساني.

الاتجاه الكلي للنظرية غير مقتصر على بعدد محدد في تفسير القلق التنافسي.

يرتبط القلق التنافسي في كثير من الأحيان بسمات الشخصية.

تنظر النظرية إلى سمة قلق المنافسة كمتغير وسيطي للشخصية يؤثر على نحو مباشر في ادراك الفرد للتهديد الذي يؤثر بدوره في استجابات حالة القلق نحو موقف المنافسة الموضوعي.

أما توفر طريقة لمحاولة كيف يسلك الأفراد في مواقف المنافسة، في محاولة للتعرف على الفروق بينهم.

### منهجية البحث واجراءاته

اعتمد البحث الحالي المنهج الوصفي (الدراسات الارتباطية) القائم على وصف وجمع البيانات وتفسير الظاهرة المراد دراستها كما يهتم بتحديد الممارسات الشائعة والسائدة والتعرف على المعتقدات عند الافراد والجماعات وطرق نموها وتطورها ( ابو ناهية , 2004 : 102 ) .

وكذلك ملائمة هذا النوع من المناهج التربوية والنفسية لمتطلبات البحث موضوع الدراسة وإجراءاته إذ لا يتوقف المنهج الوصفي عند وصف الظاهرة بل يتعداه التحليل والتفسير والمقارنة وصولاً إلى المزيد من المعلومات عن تلك الظاهرة فالمنهج الوصفي تشخيص علمي لظاهرة ما ، والتبصر بما كميأً برموز لغوية ورياضية (داود ، وعبد الرحمن ، 1990 : 163)

### مجتمع البحث :

تألف مجتمع البحث من طلبة الجامعة المستنصرية الدراسة الصباحية للعام الدراسي 2025 / 2026 حيث بلغ عددهم ( 34829 ) طالباً وطالبة موزعين على ( 13 ) كلية علمية وإنسانية ، بواقع (5) كليات علمية ، و (8) كليات إنسانية ، موزعين على وفق متغير الجنس من الذكور (16205) و ( 18624 ) من الإناث والجدول (1) يوضح ذلك .

## جدول (1)

مجتمع البحث طلبة الجامعة المستنصرية لعام 2025-2026

ت	الكلية	الذكور	الاناث	المجموع
1	الاداب	1671	2367	4038
2	العلوم	942	1472	2414
3	التربية	2329	2738	5067
4	التربية الاساسية	3263	4482	7745
5	التربية الرياضية	691	110	801
6	الطب	1262	1638	2900
7	طب الاسنان	163	383	546
8	الصيدلة	436	925	1361
9	الهندسة	2460	1166	3626
10	القانون	411	756	1167
11	العلوم السياحية	353	266	619
12	الادارة والاقتصاد	2056	2158	4214
13	العلوم السياسية	168	163	331
14	المجموع	16205	18624	34829

## عينة البحث

تألفت عينة البحث التطبيقية من (120) طالباً وطالبة تم اختيارهم بالطريقة العشوائية الطبقية بين طلبة كليات التربية والاداب والعلوم بواقع (60) طالبا و(60) طالبة والجدول (2) يوضح ذلك

جدول ( 2 ) افراد عينة البحث

ت	الكلية	الذكور	الاناث	المجموع
1	التربية	20	20	40
2	الاداب	20	20	40
3	العلوم	20	20	40
4	المجموع	60	10	120

## اداتا البحث

## مقياس هاتفيلد للعدوى الاجتماعية

اعتمدت الباحثة في قياس متغير العدوى الاجتماعية على مقياس هاتفيلد للعدوى الاجتماعية (Social / Emotional Contagion Scale)، وهو مقياس نفسي معياري يقيس قابلية الفرد لالتقاط الانفعالات السائدة في محيطه الاجتماعي والتأثر بها بصورة تلقائية نتيجة التفاعل مع الآخرين.

طُوِّرَ المقياس من قبل Elaine Hatfield وزميلها (Cacioppo & Rapson) عام (1994)، استناداً إلى نظرية العدوى الاجتماعية/الانفعالية التي تفترض أن الانفعالات تنتقل بين الأفراد عبر التقليد اللاإرادي للتعبيرات الوجهية، ونبرة الصوت، والحركات الجسدية.

يتكون المقياس في صورته الأصلية من (15) فقرة بصيغة تقرير ذاتي، تمثل مواقف اجتماعية تعكس استجابات انفعالية ناتجة عن التفاعل مع الآخرين. يُطلب من المفحوص الإجابة عن فقرات المقياس وفق مقياس ليكرت الخماسي: (لا تنطبق عليّ إطلاقاً - تنطبق عليّ بدرجة قليلة - تنطبق عليّ بدرجة متوسطة - تنطبق عليّ بدرجة كبيرة - تنطبق عليّ بدرجة كبيرة جداً) تُمنح لكل استجابة درجة من (1-5)، وتُجمع الدرجات للحصول على الدرجة الكلية للمقياس، وتشير الدرجة المرتفعة إلى ارتفاع مستوى العدوى الاجتماعية، بينما تدل الدرجة المنخفضة على انخفاض قابلية الفرد للتأثر بالانفعالات الاجتماعية. أظهرت الدراسات السابقة أن المقياس يتمتع بدرجة مقبولة من الثبات، إذ تراوح معامل الاتساق الداخلي (Cronbach's Alpha) بين (0.70 - 0.80)، كما يتمتع بصدق بنائي مناسب من خلال ارتباطه بمتغيرات نفسية قريبة مثل التعاطف والحساسية الاجتماعية.

### صلاحية الفقرات

تم عرض فقرات مقياس العدوى الاجتماعية البالغ عددها (15) فقرة على مجموعة من المحكمين في العلوم التربوية والنفسية لبيان رأيهم حول مدى ملائمة المقياس لعينة البحث وبعد الأخذ بآرائهم تم الإبقاء على جميع الفقرات في المقياس والجدول (3) يوضح ذلك

### الجدول (3)

رأي المحكمين في فقرات مقياس العدوى الاجتماعية

نسبة الاتفاق	عدد غير الموافقين	عدد الموافقين	أرقام الفقرات
100%	صفر	23	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15

### التحليل الإحصائي لفقرات مقياس العدوى الاجتماعية

لتحقيق ذلك طبقت الباحثة مقياس العدوى الاجتماعية على عينة التحليل الإحصائي نفسها والبالغ عددهم (400) طالب وطالبة، وتم حساب كل من تمييز الفقرات وعلاقة الفقرة بالدرجة الكلية للمقياس.

### تمييز الفقرات باستخدام المجموعتين الطرفيتين

لحساب تمييز الفقرات باستخدام المجموعتين الطرفيتين تم إجراء الآتي:

- ترتيب الاستبانات تنازلياً من أعلى درجة إلى أدنى درجة على وفق الدرجة الكلية التي حصل عليها الطالب على مقياس العدوى الاجتماعية.
- تحديد مجموعتين طرفيتين في مقياس العدوى الاجتماعية تشمل كل منها على 27% من أفراد عينة التحليل الإحصائي وكان عدد كلا المجموعتين (108) طالباً وطالبة.

3 - تراوحت حدود الدرجات الكلية لأفراد المجموعة العليا بين ( 90 - 73 ) وحدود الدرجات الكلية لأفراد المجموعة الدنيا ( 34 - 63).

4 - حساب المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لكل مجموعة على كل فقرة من فقرات المقياس.

5 - لحساب القوة التمييزية لفقرات مقياس القلق التنافسي استعمل الاختبار التائي لعينتين مستقلتين، إذ تدل القيمة التائية المحسوبة على قوة تمييز كل فقرة من الفقرات والجدول (4) يوضح ذلك.

#### الجدول (4)

الاختبار التائي لعينتين مستقلتين لتحديد القوة التمييزية لفقرات مقياس العدوى الاجتماعية

رقم الفقرة	المجموعة العليا		المجموعة الدنيا		القيمة التائية المحسوبة	مستوى الدلالة
	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري		
1	4,21	1,12	2,98	1,059	8,27	0.05
2	4,73	0,84	4,37	1,45	2,22	0.05
3	4,94	0,87	3,77	1,55	6,78	0.05
4	4,84	1,20	2,40	1,42	11,63	0.05
5	2,81	0,43	2,15	0,78	7,59	0.05
6	1,90	0,74	1,20	0,48	8,22	0.05
7	2,88	0,34	2,14	0,84	8,47	0.05
8	2,55	0,66	1,52	0,68	11,18	0.05
9	2,34	0,67	1,29	0,53	12,66	0.05
10	2,93	2,24	2,38	0,69	7,69	0.05
11	4,82	1,12	3,77	1,41	6,84	0.05
12	4,69	1,46	4,15	1,64	2,53	0.05

0.05	12,52	0,916	3,04	1,29	4,94	13
0.05	9,86	0,99	3,38	1,32	4,95	14
0.05	14,72	1,03	2,91	1,26	4,94	15

من ملاحظة الجدول اعلاه وبعد مقارنة القيم الناتجة المحسوبة بالقيمة الناتجة الجدولية البالغة (1.96) بدرجة حرية (214) وبمستوى دلالة (0.05) وجد أن جميع الفقرات دالة إحصائياً.

#### علاقة الفقرة بالدرجة الكلية للمقياس

لتحقيق ذلك استخدمت الباحثة معامل ارتباط بيرسون لاستخراج العلاقة الارتباطية بين درجة كل فقرة والدرجة الكلية للمقياس والجدول (5) يوضح ذلك .

#### الجدول (5)

معامل ارتباط بيرسون لإيجاد العلاقة الارتباطية بين درجة كل فقرة والدرجة الكلية لمقياس العدوى الاجتماعية

معامل الارتباط بالدرجة الكلية	تسلسل الفقرات	معامل الارتباط بالدرجة الكلية	تسلسل الفقرات
0.267	2	0.357	1
0.319	4	0.392	3
0.382	6	0.383	5
0.483	8	0.458	7
0.424	10	0.498	9
0.425	12	0.404	11
0.416	14	0.403	13
		0.529	15

من ملاحظة الجدول اعلاه وبعد مقارنة قم معامل الارتباط المحسوبة بالقيمة الجدولية لمعامل الارتباط البالغة (0.098) بدرجة حرية (398) وبمستوى دلالة (0.05) يتضح أن جميع قيم معامل الارتباط بلغت مستوى الدلالة الإحصائية .

#### الخصائص السيكومترية لمقياس العدوى الاجتماعية

#### 1- الصدق : استخرجت الباحثة نوعين من الصدق لمقياس العدوى الاجتماعية

- الصدق الظاهري: تحققت الباحثة من هذا النوع من الصدق عن طريق عرض المقياس على مجموعة من المحكمين والمختصين وكانت آرائهم قبول جميع الفقرات

- صدق البناء: تحقق هذا النوع عن طريق حساب مؤشرين هما حساب القوة التمييزية الفقرة وكذلك باستخدام مؤشر آخر وهو علاقة الفقرة بالدرجة الكلية

## 2- الثبات: استخرجت الباحثة الثبات لمقياس العدوى الاجتماعية بطريقتين:

أولاً : طريقة إعادة الاختبار: حققت الباحثة مؤشر معامل الاستقرار عن طريق إعادة تطبيق المقياس على عينة بلغ عددها (80) طالباً وطالبة ، وتم استخراج معامل ارتباط بيرسون بين التطبيقين الأول والثاني ، إذ أظهرت قيمة ثبات المقياس ( 0.89 ) وتُعد قيمة ذات مؤشر مقبول إذ أن معامل الثبات يعتبر مقبولاً إذا كان يتراوح بين (0.60 - 0.90). (بركات، 1983: 147)

ثانياً: معادلة الفا كرونباخ:

تمكنت الباحثة من إيجاد معامل الاتساق الداخلي عن طريق حساب معادلة الفا كرونباخ على عينة التحليل الإحصائي لحساب ثبات مقياس القلق التنافسي وكانت قيمة معامل الثبات ( 0.85 ) وهذا مؤشر جيد على ثبات المقياس ، وقد أكد كرونباخ على أنّ الاختبار الذي يكون معامل ثباته عالٍ هو مقياس جيد ودقيق. (Travers & Milgram , 1969:159)

## مقياس القلق التنافسي Competitive anxiety

قامت الباحثة بتبني مقياس للقلق التنافسي المعد من قبل الاء نزال محمد (2024) إذ قامت الباحثة بتبني تعريف ( Martens et al 1990) للقلق التنافسي (هي حالة القلق أو التوتر التي يشعر بها الفرد في مواقف تنافسية معينة عندما يدرك أن هذه المواقف تشكل تهديداً له ، فإذا شعر الفرد أن الموقف يتجاوز قدراته أو توقعاته أو لأسباب أخرى فأن مستويات القلق تزداد ويظهر هذا النوع من القلق قبل أو اثناء المواقف التنافسية وحتى انتهائها.) (Martens et al. 1990, 17)

## صلاحية الفقرات

تم عرض فقرات مقياس القلق التنافسي بصورته الأولية البالغة (30) فقرة على مجموعة من الخبراء والمحكمين في العلوم التربوية والنفسية والأخذ بأرائهم لإصدار حكمهم على مدى صلاحية الفقرات في قياس القلق التنافسي وكذلك صلاحية بدائل الإجابة ، وقد اعتمدت الباحثة على قيمة مربع كاي لعينة واحدة للتحقق من الدلالة الإحصائية لاتفاق آراء المحكمين والجدول (6) يوضح ذلك .

## الجدول (6)

قيمة مربع كاي لتعرف الدلالة الإحصائية لآراء المحكمين في فقرات مقياس القلق التنافسي

قيمة مربع كاي	عدد غير الموافقين	عدد الموافقين	ارقام الفقرات
23	صفر	23	1 ، 2 ، 3 ، 5 ، 6 ، 9 ، 10 ، 11 ، 12 ، 13 ، 19 ، 20 ، 21 ، 24 ، 25 ، 28 ، 30
19.17	1	22	4 ، 7 ، 8 ، 14 ، 15 ، 16 ، 17 ، 18 ، 26 ، 27
15.69	2	21	22 ، 23 ، 29

## التحليل الإحصائي لفقرات مقياس القلق التنافسي

لتحقيق ذلك طبقت الباحثة مقياس القلق التنافسي على عينة التحليل الإحصائي نفسها والبالغ عددهم (400) طالب وطالبة ، وتم حساب كل من تمييز الفقرات وعلاقة الفقرة بالدرجة الكلية للمقياس.

## تمييز الفقرات باستخدام المجموعتين الطرفيتين

لحساب تمييز الفقرات باستخدام المجموعتين الطرفيتين تم اجراء الاتي :

1. ترتيب الاستبانات تنازلياً من أعلى درجة إلى أدنى درجة على وفق الدرجة الكلية التي حصل عليها الطالب على مقياس القلق التنافسي.
2. تحديد مجموعتين طرفيتين في مقياس القلق التنافسي تشمل كل منها على 27% من افراد عينة التحليل الإحصائي وكان عدد كلا المجموعتين (108) طالباً وطالبة .
3. تراوحت حدود الدرجات الكلية لأفراد المجموعة العليا بين ( 90 - 73 ) وحدود الدرجات الكلية لأفراد المجموعة الدنيا ( 63 - 34).
4. حساب المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لكل مجموعة على كل فقرة من فقرات المقياس.
5. لحساب القوة التمييزية لفقرات مقياس القلق التنافسي استعمل الاختبار التائي لعينتين مستقلتين، إذ تدل القيمة التائية المحسوبة على قوة تمييز كل فقرة من الفقرات والجدول (7) يوضح ذلك.

## الجدول (7)

الاختبار التائي لعينتين مستقلتين لتحديد القوة التمييزية لفقرات مقياس القلق التنافسي باستخدام المجموعتين الطرفيتين

رقم الفقرة	المجموعة العليا		المجموعة الدنيا		القيمة التائية المحسوبة	مستوى الدلالة
	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري		
1	2.05	0.70	1.46	0.66	6.35	0.05
2	2.34	0.79	1.83	0.83	4.57	0.05
3	2.23	0.75	1.45	0.63	8.19	0.05
4	2.90	0.29	2.53	0.64	5.42	0.05
5	2.81	0.43	2.15	0.78	7.59	0.05

0.05	8.22	0.48	1.20	0.74	1.90	6
0.05	8.47	0.84	2.14	0.34	2.88	7
0.05	11.18	0.68	1.52	0.66	2.55	8
0.05	12.66	0.53	1.29	0.67	2.34	9
0.05	7.69	0.69	2.38	2.24	2.93	10
0.05	7.65	0.77	2.09	0.53	2.78	11
0.05	8.70	0.73	1.58	0.70	2.43	12
0.05	7.24	0.79	2.18	0.44	2.82	13
0.05	8.03	0.70	1.80	0.63	2.53	14
0.05	10.77	0.81	1.94	0.37	2.87	15
0.05	7.15	0.85	2.10	0.51	2.78	16
0.05	7.95	0.76	2.25	0.33	2.89	17
0.05	7.19	0.77	2.14	0.42	2.75	18
0.05	9.69	0.74	2.11	0.33	2.87	19
0.05	6.56	0.69	2.41	0.30	2.89	20
0.05	7.58	0.79	2.05	0.54	2.75	21
0.05	9.66	0.75	2.06	0.36	2.84	22
0.05	8.30	0.71	1.92	0.48	2.62	23
0.05	11.34	0.64	1.49	0.58	2.44	24
0.05	7.62	0.58	1.28	0.84	2.03	25

0.05	9.32	0.65	1.37	0.77	2.28	26
0.05	8.76	0.76	2.23	0.29	2.92	27
0.05	9.69	0.76	1.83	0.54	2.71	28
0.05	5.73	0.85	1.84	0.70	2.45	29
0.05	10.80	0.71	1.62	0.61	2.60	30

من ملاحظة الجدول اعلاه وبعد مقارنة القيم التائية المحسوبة بالقيمة التائية الجدولية البالغة (1.96) بدرجة حرية (214) وبمستوى دلالة (0.05) وجد أن جميع الفقرات دالة إحصائياً.

#### علاقة الفقرة بالدرجة الكلية للمقياس

لتحقيق ذلك استخدمت الباحثة معامل ارتباط بيرسون لاستخراج العلاقة الارتباطية بين درجة كل فقرة والدرجة الكلية للمقياس والجدول (8) يوضح ذلك .

#### الجدول (8)

معامل ارتباط بيرسون لإيجاد العلاقة الارتباطية بين درجة كل فقرة والدرجة الكلية لمقياس القلق التنافسي

معامل الارتباط بالدرجة الكلية	تسلسل الفقرات	معامل الارتباط بالدرجة الكلية	تسلسل الفقرات
0.267	2	0.357	1
0.319	4	0.392	3
0.382	6	0.383	5
0.483	8	0.458	7
0.424	10	0.498	9
0.425	12	0.404	11
0.416	14	0.403	13
0.408	16	0.529	15
0.418	18	0.456	17
0.343	20	0.519	19
0.442	22	0.398	21
0.476	24	0.405	23
0.448	26	0.405	25

0.443	28	0.431	27
0.518	30	0.304	29

من ملاحظة الجدول اعلاه وبعد مقارنة قيم معامل الارتباط المحسوبة بالقيمة الجدولية لمعامل الارتباط البالغة (0.098) بدرجة حرية (398) وبمستوى دلالة (0.05) يتضح أنَّ جميع قيم معامل الارتباط بلغت مستوى الدلالة الإحصائية .

### الخصائص السيكومترية لمقياس القلق التنافسي

#### 1- الصدق : استخرجت الباحثة نوعين من الصدق لمقياس القلق التنافسي :

- الصدق الظاهري: تحققت الباحثة من هذا النوع من الصدق عن طريق عرض مقياس القلق التنافسي على مجموعة من المحكمين والمختصين (ملحق6) وهم المحكمين أنفسهم لمقياس الاستحقاق الأكاديمي.
- صدق البناء: تحقق هذا النوع عن طريق حساب مؤشرين هما حساب القوة التمييزية الفقرة وكذلك باستخدام مؤشر آخر وهو علاقة الفقرة بالدرجة الكلية

#### 2- الثبات: استخرجت الباحثة الثبات لمقياس القلق التنافسي بطريقتين:

- أولاً : طريقة إعادة الاختبار: حققت الباحثة مؤشر معامل الاستقرار عن طريق إعادة تطبيق المقياس على عينة بلغ عددها (80) طالباً وطالبة ، وتم استخراج معامل ارتباط بيرسون بين التطبيقين الأول والثاني ، إذ أظهرت قيمة ثبات المقياس ( 0.87 ) وتعد قيمة ذات مؤشر مقبول إذ أن معامل الثبات يعتبر مقبولاً اذا كان يتراوح بين (0.60 - 0.90). (بركات، 1983: 147)
- ثانياً: معادلة الفا كرونباخ:

تمكنت الباحثة من إيجاد معامل الاتساق الداخلي عن طريق حساب معادلة الفا كرونباخ على عينة التحليل الإحصائي لحساب ثبات مقياس القلق التنافسي وكانت قيمة معامل الثبات ( 0.83 ) وهذا مؤشر جيد على ثبات المقياس ، وقد أكد كرونباخ على أنَّ الاختبار الذي يكون معامل ثباته عالٍ هو مقياس جيد ودقيق. ((Travers & Milgram , 1969:159

الوسائل الإحصائية : تحقيقاً لأهداف البحث الحالي استخدمت الباحثة مجموعة من الوسائل الإحصائية المناسبة للبحث بالاستعانة بالحقيبة الإحصائية (SPSS كالاتي:

- 1 - مربع كاي: ((Chi - square)) لاستخراج اتفاق آراء المحكمين حول مقاييس البحث
- 2 - الاختبار التائي لعينة واحدة: ((One sample t - test)) لاختبار دلالة الفروق بين متوسط درجات العينة من الطلبة والمتوسط الفرضي للمقاييس.
- 3 - الاختبار التائي لعينتين مستقلتين : ((Tow samle t - test)) لاستخراج الفروق بين المجموعتين الطرفيتين في استخراج القوة التمييزية لفقرات المقاييس.
- 4 - معادلة الفا كرونباخ: ((Alpha - Cronbach Formula)) استعملت هذه الوسيلة لاستخراج قيمة الاتساق الداخلي للثبات لكلا المقاييس

5 - معامل ارتباط بيرسون (Person Correlation Coefficient): لاستخراج علاقة الفقرة بالدرجة الكلية وعلاقة الفقرة بالمجال وعلاقة درجة المجال بالآخر وكذلك لاستخراج الثبات بطريقة إعادة الاختبار وأيضاً لاستخراج العلاقة بين متغيرات البحث.

### عرض النتائج ومناقشتها

حاول البحث التحقق من الاهداف الاتية

#### 1. العدوى الاجتماعية لدى طلبة الجامعة

تشير المعالجة الاحصائية لمقياس العدوى الاجتماعية ان المتوسط الحسابي لافراد عينة البحث بلغ ( 51,99) اما الانحراف المعياري بلغ ( 8,68) اما المتوسط الفرضي بلغ (45) ولغرض معرفة الفرق بينهما تم استعمال الاختبار التائي لعينة واحدة اذ بلغت القيمة التائية المحسوبة ( 8,84) وعند مقارنتها مع القيمة التائية الجدولية البالغة (1,96) عند مستوى دلالة (0,05) ظهر ان الفرق دال احصائيا والجدول (9) يوضح ذلك

الجدول (9)

الوسط الحسابي والقيمة التائية للعدوى الاجتماعية لدى طلبة الجامعة

العينة	الوسط الحسابي	الوسط الفرضي	الانحراف المعياري	القيمة التائية المحسوبة	القيمة الجدولية التائية	الدلالة
120	51,99	45	8,68	8,84	1,96	دالة

هذه النتيجة تعكس تمتع أفراد عينة البحث بمستوى مرتفع نسبياً من العدوى الاجتماعية مقارنة بالمستوى الفرضي، الأمر الذي يدل على أن العدوى الاجتماعية تمثل سمة نفسية-سلوكية بارزة لدى أفراد العينة، وقد يكون لذلك انعكاسات مهمة على أنماط التفاعل الاجتماعي والانفعالي لديهم، تعكس هذه النتيجة أن أفراد العينة يتميزون بقابلية مرتفعة نسبياً لتبني الانفعالات والسلوكيات والمواقف السائدة في محيطهم الاجتماعي، سواء أكانت هذه الانفعالات إيجابية أم سلبية. ويُفهم ذلك على أن الفرد لا يستجيب للمواقف الاجتماعية استجابة مستقلة بالكامل، بل تتأثر استجابته بما يشيع في الجماعة من حالات انفعالية واتجاهات سلوكية.

#### الهدف الثاني : القلق التنافسي لدى طلبة الجامعة

لغرض التعرف على مستوى القلق التنافسي لدى طلبة الجامعة اظهر التحليل الاحصائي تصنيف درجات عينة البحث الى مستويات القلق التنافسي قامت الباحثة بما يأتي:

1- حساب حدود الدرجات الدنيا والعليا لمقياس القلق التنافسي المستخدم في البحث الحالي فكانت درجات المقياس تتراوح من 30 - 90

2- تقسيم المسافة بين الحد الأعلى والحد الأدنى للدرجة الكلية للمقياس إلى ثلاث فئات وبذلك أصبحت لدينا ثلاثة مستويات وهي: (من 30 إلى 49 قلق تنافسي ضعيف) و (من 50 إلى 69 قلق تنافسي متوسط) و (من 70 إلى 90 قلق تنافسي عالي).

3- ثم قامت الباحثة بحساب عدد الطلبة في كل مستوى والنسبة المئوية التي يشكلونها بالنسبة لعينة البحث فكانت النتائج كما يوضحها الجدول (10)

## الجدول (10)

مستويات القلق التنافسي وعدد الطلبة في كل فئة والنسبة المئوية

النسبة المئوية للأعداد	عدد الافراد	حدود الدرجات	الفئة
1%	12	30 – 49	ضعيف
44%	53	50 – 69	متوسط
54%	55	70 – 90	عالي
100%	120	المجموع	

من ملاحظة الجدول (10) نجد أن أغلب عينة البحث يشعرون بالقلق التنافسي بشكل عالي وبلغت نسبتهم (54%) وأقل منهم نسبياً القلق التنافسي المتوسط وفئة قليلة من العينة يشعرون بقلق تنافسي ضعيف. وفقاً لنظرية (1990, Martens et al) إن قلق المنافسة يحدث إذا كان هناك قدر من عدم اليقين بشأن النتيجة ويجب أن تكون النتيجة مهمة للفرد، مما يؤدي إلى زيادة التهديد وبالتالي إلى زيادة القلق، وأن مصدر عدم اليقين هو عدم القدرة على التنبؤ بالمستقبل لا سيما إذا كان الشك يتركز على تجربة أحداث غير سارة محتملة مثل العقاب أو الأذى الجسدي أو الفشل أو الرفض (1990:218, Martens et al)

## 3. العلاقة بين العدوى الاجتماعية والقلق التنافسي لدى طلبة الجامعة

اظهر التحليل الاحصائي لقيمة معامل ارتباط بيرسون للعلاقة بين مستويات القلق التنافسي والعدوى الاجتماعية لدى طلبة الجامعة والجدول (11)

## الجدول (11)

قيمة معامل ارتباط بيرسون بين مستويات القلق التنافسي والعدوى الاجتماعية لدى طلبة الجامعة

القلق التنافسي المنخفض	القلق التنافسي متوسط	القلق التنافسي عالي	القلق التنافسي العدوى الاجتماعية
-0.112	0.067	0.143	العدوى الاجتماعية
12	53	55	عدد الطلبة
غير دال	غير دال	غير دال	مستوى الدلالة

اظهر التحليل الإحصائي لقيم معامل ارتباط بيرسون عدم وجود علاقة ارتباطية دالة إحصائياً بين مستويات القلق التنافسي (العالي، المتوسط، المنخفض) والعدوى الاجتماعية لدى طلبة الجامعة، إذ جاءت جميع قيم معاملات الارتباط ضعيفة وغير دالة عند مستوى دلالة (0.05).

فقد بلغ معامل الارتباط بين العدوى الاجتماعية والقلق التنافسي العالي (0.143)، وبين العدوى الاجتماعية والقلق التنافسي المتوسط (0.067)، في حين ظهر ارتباط عكسي ضعيف مع القلق التنافسي المنخفض (-0.112)، وجميعها لم تصل إلى مستوى الدلالة الإحصائية. تشير هذه النتائج إلى أن التغيير في مستويات القلق التنافسي لا يُسهم إسهامًا ذا دلالة في تفسير التغيير في العدوى الاجتماعية لدى أفراد العينة. كما أن ضعف معاملات الارتباط يدل على أن العلاقة بين المتغيرين هي علاقة هامشية وغير منتظمة، ولا ترقى إلى مستوى العلاقة الخطية القابلة للتعميم.

تعكس هذه النتيجة أن القلق التنافسي يُعد حالة انفعالية موقفية مرتبطة بسياق التنافس والإنجاز، في حين أن العدوى الاجتماعية تمثل نزعة أو قابلية انفعالية-اجتماعية عامة تتأثر بالمناخ الجماعي والتفاعل الاجتماعي المستمر. وبناءً عليه، فإن القلق التنافسي — سواء كان مرتفعًا أو متوسطًا أو منخفضًا — لا يُعد بالضرورة محفزًا مباشرًا لانتقال الانفعالات من الآخرين، ولا عاملاً حاسماً في درجة تأثير الفرد بالمشاعر الجمعية.

### التوصيات : في ضوء نتائج البحث يمكن الخروج بالتوصيات الآتية

- 1- تعزيز المناخ الانفعالي الإيجابي داخل البيئة الجامعية من خلال تشجيع التفاعل الإيجابي بين الطلبة، لما للعدوى الاجتماعية من قدرة على نقل الانفعالات الإيجابية (الحماس، الدافعية، التفاؤل) داخل الجماعة.
- 2- تضمين مهارات الوعي الانفعالي في المناهج الجامعية ولا سيما في المقررات التربوية والإنسانية، بما يساعد الطلبة على التمييز بين الانفعالات الذاتية والانفعالات المنتقلة اجتماعيًا.
- 3- تنويع أساليب التقويم والأنشطة التنافسية بما يقلل من تركيز الطلبة على التنافس الفردي الضاغط، ويعزز التنافس التعاوني، دون افتراض أن القلق التنافسي بالضرورة يؤدي إلى تأثير انفعالي اجتماعي.
- 4- الاستفادة المقصودة من العدوى الاجتماعية الإيجابية عبر توظيف القيادات الطلابية والنماذج الإيجابية لنشر مشاعر الانتماء والدافعية داخل الجماعات الطلابية.
- 5- رفع وعي الطلبة بمخاطر العدوى الاجتماعية السلبية خاصة في حالات انتشار القلق أو الإحباط الجمعي أثناء فترات الامتحانات أو الأزمات الجامعية.
- 6- تعزيز ثقافة الحوار والانفتاح الانفعالي المنظم بما يقلل من انتقال الانفعالات السلبية غير الواعية داخل الجماعات.

### المقترحات : في ضوء نتائج البحث يمكن اقتراح الآتي

- 1- اجراء دراسة حول العلاقة بين القلق التنافسي والتنظيم الانفعالي.
- 2- اجراء دراسة ارتباطية بين القلق التنافسي والحساسية الانفعالية.
- 3- اجراء دراسة ارتباطية بين العدوى الاجتماعية و الصلابة النفسية.
- إجراء دراسة مقارنة بين بين الجامعات الحكومية والأهلية، في القلق التنافسي.

### المصادر

- 1- ابو علام، رجاء محمود (2007): مناهج البحث في العلوم النفسية و التربوية ، دار النشر للجامعات ، القاهرة
- 2- ابو عوف، محمد ابو عوف (2021): فاعلية برنامج ارشادي لخفض مستويات قلق المنافسة الرياضية لدى ناشئى السباحة، جامعة بنها، كلية التربية الرياضية ، مجلة التربية البدنية وعلوم الرياضة، رقم المجلد(28) العدد(3)، 3-22.
- 3- الازيرجاوي، فاضل محسن(1991): اسس علم النفس التربوي، دار الكتب للطباعة والنشر، مجلد (23)، الموصل.

- 4 - اسماء، شعبان(2020): تأثير قلق المنافسة على الاداء البدني والتقني لدى لاعبات كرة اليد - صنف اكابر- جامعة محمد خضير بسكرة ، الجزائر ، رسالة ماجستير منشورة.
- 5 - الباز، يمن النجدي عبد السميع(2020):قياس قلق المنافسة الرياضية للاعبين كرة القدم، مجلة كلية التربية الرياضية، العدد (37)، جامعة المنصورة، مصر.
- 6 - بركات، زياد امين(2020): قلق المنافسة لدى طلبة جامعة القدس المفتوحة في طولكرم ، المجلة الدولية التربوية المتخصصة، المجلد(9)، العدد(1)، فلسطين .
- 7 - بركات، محمد خليفة (1983): علم النفس التعليمي ( القياس النفسي والتقييم التربوي) الجزء الثاني ، دار القلم، الكويت ، ط3 .
- 8 - الجابري، كاظم كريم وصبري، داود عبد السلام (2014):أساليب تطبيقية في كتابة البحوث والرسائل والاطاريح واوراق العمل، دار المرتضى، بغداد.
- 9 - جواد ، نورا حازم (2015): قوة السيطرة لدى طلبة المرحلة الاعدادية ، مجلة كلية التربية ، عدد (4) ، جامعة المستنصرية ، العراق .
- 10 - حسيب، محمد حسيب. (2004): القلق التنافسي كدالة تفاعلية بين الجنس ودافعية الإنجاز ومستوى الطموح لدى طلاب المرحلة الثانوية، المؤتمر السنوي الحادي عشر - الشباب من اجل مستقبل افضل ، مجلد (1)، القاهرة ، مركز الارشاد النفسي، جامعة عين الشمس ، 381-425 .
- 11 - خداداد، لينا عقيل(2020):القلق التنافسي وعلاقته بسمات الشخصية لدى طالبات رياض الاطفال، الجامعة المستنصرية ، كلية التربية الاساسية، مجلة كلية التراث الجامعة ،العدد الثامن والعشرون،671-685.
- 12 - خضير ، بسمة هاشم(2023): القلق التنافسي لدى الطلبة المتفوقين واقرانهم العاديين(دراسة مقارنة) ، مديرية العامة لتربية بغداد الكرخ الثانية، مجلة الدراسات المستدامة، المجلد 5، العدد3.
- 13 - راتب، اسامة كامل(1997): قلق المنافسة( ضغوط التدريب - احتراق رياضي) ط1 ، دار الفكر العربي ، جامعة حلوان - القاهرة.
- 14 - الصوفي، بكييل حسين ناصر (2009): انعكاس الاعداد النفسي في ظهور حالة القلق التنافسي لدى الرياضيين في ميدان العاب القوى بالجمهورية اليمنية، دراسة متمحورة حول رياضيين النخبة (فئة اكابر)،جامعة الجزائر، معهد التربية البدنية والرياضية، رسالة ماجستير منشورة.
- 15 - كريم ، صالحه عبدالرحمن ( 2018 ) العدوى الاجتماعية وعلاقتها بالذكاء الاجتماعي لدى المرشدين التربويين رسالة ماجستير غير منشورة ، كلية التربية الاساسية ، الجامعة المستنصرية .
- 16 - عواد ، عمار ( 2021 ) العدوى الاجتماعية وعلاقتها بالذكاء الشخصي لدى طلبة الجامعة ، رسالة ماجستير غير منشورة ، كلية التربية ، الجامعة المستنصرية .
- 17 - سكر ، حيدر كريم ( 2016 ) النظرية المعرفية في التعلم ، دار الفراهيدي ، بغداد .

## المصادر الأجنبية

- Achacoso, M.V. (2002). What do you mean my grade isn't an A?" AN Investigation of academic entitlement, causal attributions, and self-regulation in college students. University of Texas at Austin, pp. 1-103. Alkene , L.R.(1989) . Psychological Tested and Assessment , Boston : Allyn & Bacom.
- Alemu, B. M., & Feyssa, T. (2020). The relationship between test anxiety and academic achievement of grade ten students of Shirka Woreda, Oromia Regional State, Ethiopia. African Educational Research Journal, 8(3): 540-550
- Alkene , L.R.(1989) . Psychological Tested and Assessment , Boston : Allyn & Bacom.
- APA (American Psychiatric Association). (2013). Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.). Washington, D.C.:Author, <https://psycnet.apa.org/doi/10.1176/appi.books.9780890425596>
- Atkinson, J.W. (1957). Motivational determinants of risk-taking behavior. Psy- chological Review, 64, 359-372
- Barton, A., & Hirsch, J.(2016) . Permissive parenting and mental health in college students: Mediating effects of academic entitlement . Journal of American College Health, 64(1), 1.

## The approximation properties of neural networks- A Review

Eman Jawad

Assistant. Lecture/ AL –Furat Al-Awsat Technical  
University/Iraq

[eman.naji@atu.edu.iq](mailto:eman.naji@atu.edu.iq)

---

### Abstract:

We review the study of the general theoretical framework to the in-depth analysis of the mechanisms of action of neural networks from researchers, specifically those based on the corrected linear module (ReLU). Neural networks are examined not only as software tools, but as a form of "nonlinear ramified approximation". Using complex measurement tools such as the Kolmogorov width and metric entropy, they proved that neural networks have a unique ability to "fill the void" in Banach spaces, which gives them a theoretical superiority in the efficiency of representation compared to traditional linear methods that are unable to keep up with the complexity of high-dimensional data.

As well as characterizing the mathematical outputs of ReLU networks, where the researchers proved that they produce continuous segmented linear functions (CPWL). This characterization is the cornerstone of understanding how simple calculations within classes turn into models capable of simulating any continuous function. In addition to addressing the capabilities of shallow networks (single layer), stressing that although it has the property of "mass approximation", it suffers from the "Curse of dimensions" and requires a huge number of neurons to achieve acceptable accuracy in complex tasks.

The researchers reached the peak of mathematical analysis in their research papers for the "power of depth" by demonstrating that increasing the number of layers allows the network to simulate complex arithmetic operations and

polynomials with amazing efficiency. This depth enables the network to approximate difficult function classes such as Sobolev and Besov spaces with optimal approximation rates that are superior to conventional wavelets and polynomials. It also highlights the ability of deep networks to exploit the "self-similarity" of functions, which explains their impressive success in processing repetitive images and patterns.

Others raise the issue of "stability". They explained that there is an inevitable trade-off between the network's ability to approximate and the stability of the algorithms used to train it. The more the network is able to fill the void and super-approximate, the greater the likelihood that the results will be unstable when minor changes occur in the entered data. This analysis puts an end to the ideal expectations, stressing that success in approximation does not necessarily mean easy access to the optimal solution in numerically stable ways, which opens the door to the need to balance the depth of the network and its trainability.

**Keywords :** ReLU, Deep Neural networks, approximation

## خصائص التقريب في الشبكات العصبية - مراجعة

إيمان جواد

محاضرة مساعدة/ جامعة الفرات الأوسط التقنية/ العراق

## الملخص

نستعرض دراسة الإطار النظري العام إلى التحليل المعمق لآليات عمل الشبكات العصبية من الباحثين ، وتحديدًا تلك التي تعتمد على وحدة الخطية المصححة (ReLU). بتأسيسهم معايير المقارنة حيث يتم فحص الشبكات العصبية ليس كأدوات برمجية فحسب، بل كشكل من أشكال "التقريب المتشعب غير الخطي". ومن خلال استخدام أدوات قياس معقدة مثل "عرض كولوغوروف" والإنتروبيا المترية، اثبتوا أن الشبكات العصبية تمتلك قدرة فريدة على "ملء الفراغ" في فضاءات باناخ، مما يمنحها تفوقاً نظرياً في كفاءة التمثيل مقارنة بالطرق الخطية التقليدية التي تعجز عن مواكبة تعقيد البيانات عالية الأبعاد.

وكذلك توصيف المخرجات الرياضية لشبكات ReLU، حيث اثبت الباحثين أنها تنتج دوالاً خطية مجزأة مستمرة (CPWL). هذا التوصيف يعد حجر الزاوية لفهم كيف تتحول العمليات الحسابية البسيطة داخل الطبقات إلى نماذج قادرة على محاكاة أي دالة مستمرة. إضافة إلى معالجة قدرات الشبكات الضحلة (طبقة واحدة)، مؤكداً أنه رغم امتلاكها خاصية "التقريب الشامل"، إلا أنها تعاني من "لعنة الأبعاد" وتتطلب عدداً هائلاً من الخلايا العصبية لتحقيق دقة مقبولة في المهام المعقدة.

بلغ الباحثين ذروة التحليل الرياضي في اوراقهم البحثية ل "قوة العمق". بالبرهنة على أن زيادة عدد الطبقات تسمح للشبكة بمحاكاة العمليات الحسابية المعقدة وكثرت الحدود بكفاءة مذهلة. هذا العمق يمكّن الشبكة من تقريب فئات دوال صعبة مثل فضاءات (Sobolev) و (Besov) بمعدلات تقريب مثالية تتفوق على الموجات (Wavelets) وكثرت الحدود التقليدية. كما يبرز قدرة الشبكات العميقة على استغلال "التشابه الذاتي" في الدوال، وهو ما يفسر نجاحها الباهر في معالجة الصور والأنماط المتكررة.

و يطرح البعض الآخر قضية "الاستقرار" حيث وضحو وجود مقايضة (Trade-off) حتمية بين قدرة الشبكة على التقريب وبين استقرار الخوارزميات المستخدمة لتدريبها. فكلما زادت قدرة الشبكة على ملء الفراغ والتقريب الفائق، زادت احتمالية عدم استقرار النتائج عند حدوث تغييرات طفيفة في البيانات المدخلة. هذا التحليل يضع حداً للتوقعات المثالية، مؤكداً أن النجاح في التقريب لا يعني بالضرورة سهولة الوصول إلى الحل الأمثل بطرق مستقرة عددياً، مما يفتح الباب أمام ضرورة الموازنة بين عمق الشبكة وقابلية تدريبها.

الكلمات المفتاحية: دالة التنشيط ReLU، الشبكات العصبية العميقة، التقريب

## Methodology

### The problem:

The main problem is "identification and interpretation of the qualitative superiority of deep neural networks over classical approximation methods". This problem branches into several questions:

- 1- How can the efficiency of neural networks be measured mathematically compared to linear and conventional methods(e.g. polynomials)
- 2- Why does depth (Deep) outperform width (Width) in the rounding process
- 3- Is it possible to achieve a super-accurate approximation while keeping the algorithms numerically stable

### Objectives :

- 1- Which classes of functions (such as Sobolev and Besov spaces) can neural networks approximate most efficiently?
- 2- How ReLU networks simulate complex calculations and polynomials to reach optimal approximation rates.
- 3- Analysis of the " Curse of dimensionality": to demonstrate the ability of neural networks to bypass the problem of increasing dimensionality suffered by traditional methods.
- 4- Analysis of the mathematical conflict between the enormous ability to approximate (Property of filling space) and the difficulty of reaching numerical stability in training.

### Importance

The importance of this review lies in the fact that it demonstrates the " rationale " for the experimental success of artificial intelligence by bridging the gap between theory and practice, and explains why deep networks succeed in complex tasks such as image recognition and language, while other mathematical methods fail.

By understanding the importance of depth and stability, engineers can build models that are not only accurate but also more sustainable and stable.

Finally, this review reveals the mathematical guarantees made by the researchers, instead of considering neural networks as a "black box", by providing proofs about the error limits and possible approximation rates.

**Keywords:** ReLU, Deep Neural Networks, approximation.

### **Introduction :**

The enormous experimental success of artificial intelligence requires "mathematical rooting", explains its efficiency. The ultimate goal is to understand how these networks simulate complex, high-dimensional functions that appear in fields such as image processing, computational physics, and Big Data Analysis.

That the biggest challenge facing classical mathematics is the "Curse of dimensionality", where traditional means are unable to represent functions when the variables increase significantly; that neural networks, especially deep ones using the ReLU function, do not just perform linear approximation, but rely on a hierarchical structure and Daly structure that allows them to extract intrinsic patterns from data with computational efficiency superior to polynomials and traditional trigonometric systems.

### **How do we measure how good and powerful nonlinear approximation methods (such as neural networks) are compared to traditional methods**

- 1- The transition from a "linear" approximation to a "nonlinear" one. In classical mathematics, we usually use linear spaces (such as Fourier sequences or polynomials). As for neural networks, they are nonlinear approximation tools.

The crucial point: in linear methods, we choose a constant set of " basic functions". In neural networks, we choose functions (weights and biases) based on the data itself, which gives tremendous flexibility but makes mathematical analysis more difficult.

- 2- The concept of "**Rate of Approximation**" lets us ask the fundamental question: if you give me  $n$  coefficients (neurons/weights), how small is the error I can reach? This is expressed mathematically by a relationship between the number of coefficients  $n$  and the rounding error. Prove that neural networks can achieve a very small error using a smaller number of

coefficients compared to traditional methods, especially in complex functions.

If we want the approximation of a function  $f$  belonging to the space Sobolev  $W^s(L^p[0, 1]^d)$  (do not consider the degree of safety of  $s$  in dimensions  $d$ ), The best error of approximation can be achieved:

$$\varepsilon_n(f) \approx n^{-s/d}$$

This means that for the higher dimensions  $d$ , we need a massive number of transactions  $n$  to minimize the error.

In neural networks (nonlinear approximation), research (such as the works of Baron and others) has proved that for certain classes of functions, neural networks can achieve a rate:

$$\varepsilon_n(f) \approx n^{-1/2}$$

Note the fundamental difference: this rate is independent of dimensions  $d$ . This is the mathematical excellence of neural networks; they maintain their efficiency even if the input is a million-pixel image.

3- The dilemma (Curse of Dimensionality): This is one of the most important problems. In traditional methods, if the number of dimensions increases (e.g. a high-resolution image), the number of calculations required for approximation explodes exponentially.

The solution is in networks where nonlinear approximation methods (and deep networks, especially) possess properties that break this Curse, as they can "detect" a low-dimensional structure within big data. Neural networks are based on the concept of function composition (Compositionality). Instead of trying to fill the entire space (as classical methods do), the deep network instantiates simple functions:

$$f(x) = \sigma_L \circ \mathcal{L}_L \circ \sigma_{L-1} \dots \dots \sigma_1 \circ \mathcal{L}_1(x)$$

Where  $\mathcal{L}$  represent linear transformations (weights and bias)

This structure allows the network to focus only on (Low-dimensional) Manifolds within the data. That is, it detects that important data in the image (such as the boundaries of the face) occupy a very small area of the available possibilities in the total space, neglecting insignificant voids.

## Approximation using ReLU networks

- 1- The mathematical secret of ReLU is that it transforms the neural network into a segmented linear function .The gist point is that when you combine several ReLU neurons together, you get not a smooth curve, but a "surface" made up of line segments (like paper folding or origami art).Explanation: the more neurons there are, the greater the number of "fractions" or line segments, which allows the grid to simulate any smooth curve with extreme accuracy.
- 2- The construction of "hat functions ." By combining two ReLU functions and displacing them, we get a shape resembling a triangle (hat).  
Mathematical significance: these caps are "building blocks" (Basis Functions). By repeating these hats next to each other and changing their heights, we can represent any continuous function just as a painter would do with small dots to draw a whole painting.
- 3- The difference between" depth "and" width " in ReLU, Wide (Shallow) lattices increases the number of linear segments linearly with the number of neurons. Deep networks here do the mathematical miracle; the combination of functions leads to the generation of an exponential number  $2^L$ of line segments using a small number of layers  $L$  .The result depth allows the network to repeatedly" fold " the mathematical space, providing tremendous efficiency in representing very complex functions with few resources.
- 4- Approximation properties of ReLU in higher dimensions when moving from one dimension to multiple dimensions(  $d > 1$ ). ReLU acts as a (Hyperplane) that divides space into two halves (active zone and zero zone). By overlapping these levels, the data space is divided into (Polyhedral Cells). Inside each cell, the grid is a simple linear function, but the total combination of these cells produces a very clever and complex behaviour.
- 5- ReLU deep networks are the "optimal approximation" because they achieve the best possible balancing, the fewest transactions to reach the highest accuracy. The ability to represent very complex functions (with many fractions) using a simple depth. Superiority over the "lower bounds" that mathematics sets for any other approximation system.

### Approximation using deep ReLU networks

- 1- Folding property: Each ReLU layer in the deep network performs a "folding" of the unified space. As a result, the combination of functions  $f \circ g$  allows the network to reuse previous calculations, generating a huge number of "linear blocks"
- 2- In a shallow network (single layer) with  $N$  neurons, the maximum number of linear regions that can be represented is  $N$ . In a layered deep network  $L$ , with each layer having  $K$  its own number of neurons, the number of linear regions can be up to  $K^L$ . What does this mean? It means that in order for a shallow network to achieve the same resolution as a deep network of only 10 layers (and each layer has 2 neurons), a shallow network may need  $2^{10} = 1024$  neurons! Depth provides a huge "economy" in the number of transactions.
- 3- Simulation of Sawtooth Functions, the function is one of the most famous examples to prove the efficiency of ReLU. Mathematicians (such as Telgarsky) proved that there are very simple duals that a shallow network can approximate only with an exponential number of neurons, while a very deep network can approximate with a minimal number of layers. This proves that depth is not just a choice, but a mathematical necessity for approximating certain classes of complex functions.
- 4- Hierarchical structure of information, First layers capture simple features (such as edges in photos), Middle layers: these edges are superimposed to form patterns (such as eyes or nose). The last layers: combine patterns to understand the whole entity (such as a face).

It is this hierarchical structure that allows deep networks to overcome the "Curse of dimensionality" because they do not analyze all dimensions at once, but build understanding step by step.

### Stability

Mathematically, stability is defined as the ability of a network to limit the change in output within reasonable limits when a slight change in input occurs, which is expressed by the Lipschitz constant; the higher the value of this constant, the greater the sensitivity of the network to noise, making it a mathematically fragile construction despite its theoretical accuracy. The fundamental problem with deep networks arises precisely as a result of the nature of the structure of functions; while depth gives us an exponential ability

to generate geometric complexity, at the same time, it can lead to cumulative amplification of errors across layers, which threatens to collapse the consistency of results. So, the chapter proves that the "optimal" approximation is not only the one that achieves the slightest computational error, but also the one that achieves a delicate balance (Trade-off) between accuracy and regularity, so that weights and transactions remain controlled by constraints that prevent computational explosion and ensure durability against hostile attacks (Adversarial Robustness). Stability in this sense is not just a technical improvement; it is a structural necessity that transforms the network from a mere tool for "memorizing" data or simulating it oscillatively, into a sober mathematical function capable of generalization and stability in noise-filled real-world environments, which makes the deep ReLU approximation a safe and effective means in complex scientific and engineering calculations.

### **Conclusion :**

Deep neural networks are not just a statistical tool, but a super-intelligent mathematical structure that reformulates the concepts of traditional numerical approximation.

We found that increasing the number of layers (depth) allows the network to build a composition of simple functions to produce very complex functions, making it stages superior to shallow networks or traditional methods such as polynomials.

Dismantling the Curse of dimensions neural networks have demonstrated the ability to approximate functions in high-dimensional spaces without increasing the computational cost explosively, by exploiting the hierarchical and synthetic structure of data in addition to geometric flexibility (ReLU and linear segmentation) the strength of ReLU networks lies in their ability to divide space into millions of "linear cells", allowing them to adapt to micro zigzags in complex functions with amazing accuracy.

So the Compositional structure of deep networks is the secret behind their unique ability to break classical mathematical constraints, making them the most efficient tool in the history of Applied Mathematics for approximating complex functions.

## References

1. Arora, S., Basu, A., Mianjy, P., & Mukherjee, A. (2018). Understanding deep neural networks with rectified linear units. *Proceedings of the 6th International Conference on Learning Representations (ICLR 2018)*.
2. Barron, A. R. (1993). Universal approximation bounds for superpositions of a sigmoidal function. *IEEE Transactions on Information Theory*, 39(3), 930–945.
3. Baum, E. B. (1988). On the capabilities of multilayer perceptrons. *Journal of Complexity*, 4(3), 193–215.
4. Benyamini, Y., & Lindenstrauss, J. (2000). *Geometric nonlinear functional analysis* (Vol. 1). American Mathematical Society.
5. Carl, B., & Stephani, I. (1990). *Entropy, compactness and the approximation of operators*. Cambridge University Press.
6. Chui, C. K., & Li, X. (1992). Approximation by ridge functions and neural networks with one hidden layer. *Journal of Approximation Theory*, 70(2), 131–141.
7. Cybenko, G. (1989). Approximation by superpositions of a sigmoidal function. *Mathematics of Control, Signals and Systems*, 2(4), 303–314.
8. Dahmen, W. (1997). Wavelet and multiscale methods for operator equations. *Acta Numerica*, 6, 55–228.
9. DeVore, R. (1998). Nonlinear approximation. *Acta Numerica*, 7, 51–150.
10. DeVore, R., Howard, R., & Micchelli, C. (1993). Optimal nonlinear approximation. *Manuscripta Mathematica*, 80(1), 423–446.
11. Donahue, J., Jia, Y., Vinyals, O., Hoffman, J., Zhang, N., Tzeng, E., & Darrell, T. (2014). Decaf: A deep convolutional activation feature for generic visual recognition—*proceedings of the 31st International Conference on Machine Learning*.
12. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
13. Gribonval, R., & Nielsen, M. (2003). Sparse representations in unions of bases. *IEEE Transactions on Information Theory*, 49(12), 3320–3325.
14. Gromov, M. (1987). Hyperbolic groups. In *Essays in group theory* (pp. 75–263). Springer.
15. He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*.
16. Hornik, K., Stinchcombe, M., & White, H. (1989). Multilayer feedforward networks are universal approximators. *Neural Networks*, 2(5), 359–366.
17. Johnson, W. B., & Lindenstrauss, J. (1984). Extensions of Lipschitz mappings into a Hilbert space. *Contemporary Mathematics*, 26(1), 189–206.
18. Kirschbraun, M. D. (1934). Über die zusammenziehende und Lipschitzsche Transformationen. *Fundamenta Mathematicae*, 22(1), 77–108.
19. Koltchinskii, V. (2006). Local Rademacher complexities and oracle inequalities in risk minimization. *The Annals of Statistics*, 34(6), 2593–2656.

20. Lorentz, G. G. (1966). *Approximation of functions*. Holt, Rinehart and Winston.
21. Lu, J., Shen, Z., Yang, H., & Zhang, S. (2020). Deep network approximation for smooth functions. *SIAM Journal on Mathematical Analysis*, 52(4), 3965–4005.
22. Mhaskar, H. N. (1996). Neural networks for optimal approximation of smooth functions. *Neural Computation*, 8(1), 164–177.
23. Montufar, G., Pascanu, R., Cho, K., & Bengio, Y. (2014). On the number of linear regions of deep neural networks. *Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS)*.
24. Pinkus, A. (1985). *n-Widths in Approximation Theory*. Springer-Verlag.
25. Pinkus, A. (1999). Approximation theory of the MLP model in neural networks. *Acta Numerica*, 8, 143–195.
26. Shen, Z., Yang, H., & Zhang, S. (2019). Deep network approximation is characterised by the number of parameters. *arXiv preprint arXiv:1906.02116*.
27. Telgarsky, M. (2016). Benefits of deep feedforward networks. *Journal of Machine Learning Research (JMLR)*, 49, 1–23.
28. Vitushkin, A. G. (1961). *Theory of the transmission and processing of information*. Pergamon Press.
29. Yarotsky, D. (2017). Error bounds for approximations with deep ReLU networks. *Neural Networks*, 94, 103–114.
30. Yarotsky, D. (2018). Optimal approximation of continuous functions by very deep ReLU networks. *Proceedings of Machine Learning Research (PMLR)*, 75, 639–649.

## The Adoption of Hybrid Swarm Intelligence Algorithm in The Optimal Allocation of Physical Cloud Manufacturing Resources

Raqeyah Jawad Najy<sup>1, a)</sup> and Adel Thaker<sup>2, b)</sup>

### Author Affiliations

<sup>1</sup>*AL-Furat AL-Awsat Technical University- Iraq*

<sup>2</sup>*Mosul University - Iraq*

### Author Emails

a) Corresponding author: [raqeyah.najy@atu.edu.iq](mailto:raqeyah.najy@atu.edu.iq)

b) [adell.thaker@gmail.com](mailto:adell.thaker@gmail.com)

### Abstract

There is a close relationship between the cloud manufacturing environment (CMfg) and the optimal Allocation of resources for this manufacturing, because resources represent the largest nerve of industrial companies, so it has become an important requirement to focus work on the Allocation of those resources. These resources are related to products in the manufacturing lines of industrial companies, that is, the optimal Allocation of machines and workers, reducing Time and cost, improving the quality of Service provided to the customer and load balancing for manufacturing operations. In addition, swarm intelligence algorithms have proven their relevance and efficiency in solving complex optimization problems, especially the problem of optimal Allocation of cloud manufacturing resources (CMfg). Therefore, In this study, a hybrid algorithm consisting of the particle swarm algorithm(PSO) and the ant colony optimization algorithm(ACO) was proposed to reach the optimal Allocation of cloud manufacturing resources (CMfg) for the torrent sealing product (TOS) by placing the optimal solution obtained from the particle swarm algorithm and placing it back into the ant colony algorithm by adding pheromones to obtain the hybrid algorithm(AC-PSO) that gives the optimal solutions. The objective function here consists of four goals that represent the optimal Allocation of resources by reducing Time and cost, load balancing and the quality of the Service provided. The results obtained showed the effectiveness and efficiency of allocating cloud manufacturing resources using the three

algorithms and the hybrid algorithm (AC-PSO) in particular. Where the optimal technical path of manufacturing the transformer has been reached, reducing the Time from (560) to (310), the cost from (9352000) to (5177000) ID, the load balance from (82%) to (70%), the quality of Service from (90%) to (70%) and Salary average of Worker from (6800000) to (6000000) ID.

**Keywords:** Cloud Manufacturing, Optimisation, Resource Allocation in CMfg, Hybrid Algorithm, Quality of Service (QoS).

## اعتماد خوارزمية ذكاء السرب الهجينة في التخصيص

الأمثل لموارد التصنيع السحابي المادية

رقية جواد ناجي، عادل ثاكر

امعة الفرات الأوسط التقنية - العراق

جامعة الموصل - العراق

## الملخص

هناك علاقة وثيقة بين بيئة التصنيع السحابي (CMfg) والتخصيص الأمثل للموارد في هذا المجال؛ نظراً لأن الموارد تمثل العصب الأساسي للشركات الصناعية، فقد أصبح التركيز على تخصيص هذه الموارد متطلباً مهماً. ترتبط هذه الموارد بالمنتجات في خطوط التصنيع للشركات الصناعية، مما يعني التخصيص الأمثل للآلات والعمال، وتقليل الوقت والتكلفة، وتحسين جودة الخدمة (QoS) المقدمة للعميل، وموازنة الحمل لعمليات التصنيع. بالإضافة إلى ذلك، أثبتت خوارزميات ذكاء السرب فاعليتها وكفاءتها في حل مشكلات التحسين المعقدة، لا سيما مشكلة التخصيص الأمثل لموارد التصنيع السحابي. بناءً على ذلك، تقترح هذه الدراسة خوارزمية هجينة تتكون من خوارزمية تحسين ازدحام الجسيمات (PSO) وخوارزمية تحسين مستعمرة النمل (ACO) للوصول إلى التخصيص الأمثل لموارد التصنيع السحابي (CMfg) لمنتج المحولات (Transformer)، وذلك من خلال توظيف الحل الأمثل الذي تم الحصول عليه من خوارزمية ازدحام الجسيمات (PSO) وإعادة إدخاله في خوارزمية مستعمرة النمل بإضافة الفيرومونات؛ للحصول على الخوارزمية الهجينة (AC-PSO) التي تقدم الحلول المثلى. تتكون دالة الهدف في هذه الدراسة من أربعة أهداف تمثل التخصيص الأمثل للموارد من خلال تقليل الوقت والتكلفة، وموازنة الحمل، وجودة الخدمة المقدمة. أظهرت النتائج التي تم التوصل إليها فاعلية وكفاءة تخصيص موارد التصنيع السحابي باستخدام الخوارزميات الثلاث، والخوارزمية الهجينة (AC-PSO) على وجه الخصوص. حيث تم التوصل إلى المسار التقني الأمثل لتصنيع المحولات، مما أدى إلى تقليل الوقت من (560) إلى (310)، وخفض التكلفة من (9,352,000) إلى (5,177,000) دينار عراقي، وتحسين موازنة الحمل من (82%) إلى (70%)، وجودة الخدمة من (90%) إلى (70%)، ومتوسط أجور العمال من (6,800,000) إلى (6,000,000) دينار عراقي.

الكلمات المفتاحية: التصنيع السحابي، التحسين (الاستمثال)، تخصيص الموارد في التصنيع السحابي، الخوارزمية الهجينة، جودة الخدمة. (QoS).

## 1. Introduction

Encourage electronics manufacturers to use their resources effectively to meet dynamic customer demand. As decision makers determine the required level of resources by evaluating the technical requirements of products, one of the most common issues that arises is that the demands and desires of customers are changing quickly, which has led to the need to work towards reducing production cycle times in many industries, including the electronics industry. Because the scope of customer use of these industries' products has expanded rapidly in all human activities, the efficient use of resources will have a significant impact on the efficiency of manufacturing processes. Decision-makers calculate the quantity of various machine kinds required to evaluate the technical requirements for the electronic devices or parts, such as the complexity of the product and the number of components, and relying on human experience, which may cause bias easily and production performance cannot guaranteed as estimates vary from one decision maker to another, and therefore requires the Allocation of sufficient material resources for production optimally, and in interest of the current study in the electronics industry, there are no systematic methods to determine the percentage of waste for different resources, and therefore the need to rearrange them for determining a sufficient amount of resources, especially production resources [1,2,3,4,5,6,].

The literature that dealt with the concept of resource allocation confirmed that this topic concerns getting the ideal compatibility for allocating available resources to the required tasks by maximizing or minimizing a certain measure of allocation efficiency for several Indivisible goals, such as maximizing profits or reducing costs. The basic elements of resource allocation are the amount of those resources, the type, and where are place. According to this perception, the Allocation of resources is selecting and assigning the ones strategically to a task to support the business objectives, and thus deals with the appointment or assignment of individuals to the business according to their skills, experience and qualifications in a timely manner, in addition, this orientation considered as its appropriate Allocation of activities or tasks in order to get the optimal solution economically, and can improve the effectiveness of that Allocation in terms of productivity, efficiency and effective exploitation of limited ones while avoiding delaying the deadline for product delivery, therefore, manufacturers are trying to achieve effective exploitation of resources to acquire the ability to competitiveness in their industries [7,8,9,10,11,12,13,14,15].

Because of the changes taking place in the markets today, the effective Allocation of resources has become of great importance, especially in the electronics and electrical appliances industry, and the pressure caused by the trend of designs and models of products (product and Service), as well as there is an urgent need for the success of this industry to shorten the lead times for obtaining new products, and although the effective Allocation of resources is

one of the important criteria for responding to these market changes, but in reality it is a complex task, as electronics manufacturing involves different machines, a skilled workforce and thousands of packages of parts and components to produce different products simultaneously, and because traditional decision-making in these Industries involve resource allocation that is highly dependent on human expertise, and therefore takes a long time in an industry that is sensitive to Time, cost, quality and load balance. Therefore, any delay in deciding will prolong the entire product cycle time and cause the company to lose its competitiveness [16,17,18,19,20,21,22,23]. In this study, the swarm intelligence algorithms of ants (ACO), particle swarm (PSO), and hybrids of both (AC-PSO) will be used to reach the optimal Allocation of cloud manufacturing resources for the seal torrent product and compare the three algorithms used and determine which is the best in reaching the optimal solution.

## 2. Statement Description

The key to the success of cloud manufacturing is the optimal Allocation of its resources, as this Allocation helps to achieve efficiency and make maximum use of virtual, physical and production resources. It contributes to the delivery and development of products and services more efficiently and easily with the least Time and cost, optimal quality of Service, load balancing and efficient use of resources. The problem of allocating cloud manufacturing resources begins with the first step of the cloud manufacturing platform when the customer begins to post his request for a (product/service), after which the request is transferred to the factories related to the request to carry out the task, and before producing the order, manufacturing resources must first be allocated optimally through artificial intelligence, specifically swarm intelligence algorithms, to ensure the operation and continuation of the product manufacturing process easily and efficiently and delivered to the customer within the specified delivery time [24,25,26,27,28]. In this work, having studied the seal torrent product, suppose that there are four parts to the Process, and each of these parts has its associated resources. These resources must be allocated to optimally process the torrent seal product, which ensures on-time delivery of the order by reducing the Time, cost, load balance and quality of molecular Service for each processing and then for the entire manufacturing process. The process task is split into several subtasks [Oc1, Oc2, Oc3, Oc4] in Table 1 and Figure 1. Then, prepare resources based on the task requirement and the characteristics of the resources.

Table 1. Initial Matrix of Manufacturing Task Before Allocation

<i>it</i>	<i>process</i>	<i>No. of. machine</i>	<i>No. of. worker</i>	<i>Time(m)</i>	<i>Cost(m)</i>	<i>QoS%</i>	<i>LB%</i>
1	Oc1	4	5	20	3340	0.9	0.8
2	Oc2	6	8	16	2672	0.9	0.7
3	Oc3	1	2	8	1336	0.9	0.9
4	Oc4	0	2	12	2004	0.9	0.9

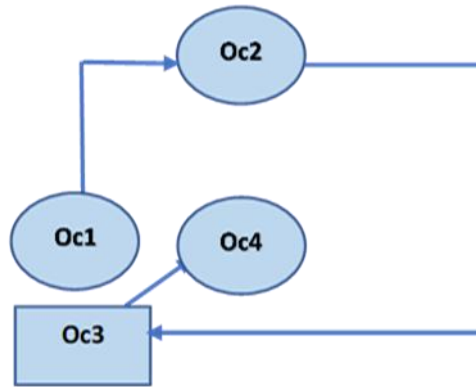


Figure.1 The Technical Route for Torrent Seal Manufacturing Task

### 3. Methodology

#### 3.1. The Parameters

The parameters of the proposed model represent the objective function of the problem of optimal Allocation of resources and the functions of allocation goals, that is, the objectives of the objective function, namely the functions of Time, cost, quality of Service, load balancing in below., which the current study seeks to reduce these goals by reaching the optimal solution in allocating the resources of the seal torrent product. (Raqeyah & Adel,2024)

Objective Function

$$F = \min\{w_1C + w_2T + w_3Q + w_4B\} \quad \dots \dots (1)$$

Cost(C)

$$\min C = \sum_{i=1}^n C_i \quad \dots \dots (2)$$

Constraint for Cost

$$\sum_{j=1}^i C_{ij} x_{ij} = C_i \quad \dots \dots (2 - 1)$$

Time(T)

$$\min T = \sum_{i=1}^n T_i \quad \dots \dots \dots (3)$$

Constraint for Time

$$\sum_{j=1}^i T_{ij} x_{ij} = T_i \quad \dots \dots \dots (3 - 1)$$

**Quality of Service(Q)**

$$\min Q = \sum_{i=1}^n Q_i \quad \dots \dots \dots (4)$$

Constraint for QoS

$$\sum_{j=1}^i Q_{ij} x_{ij} = Q_i \quad \dots \dots \dots (4 - 1)$$

**Load Balance(B)**

$$\min B = \sum_{i=1}^n B_i \quad \dots \dots \dots (5)$$

Constraint for Balance

$$\sum_{j=1}^i B_{ij} x_{ij} = B_i \quad \dots \dots \dots (5 - 1)$$

**Conditions:** The probability condition for a decision variable is:  $x_{ij} \in (0,1)$ . That is, it takes a value equal to (1) in the case of verification and a value equal to (0) in the case of non-verification.

Where: F is the target function, n is the number of instances, and ij is the Time between nodes (resources).

Xij is the value of the decision variable (0,1), which is either equal to zero or one.

### 3.2. ACO Algorithm

1. The initial information matrix is represented by Table .1, which describes the manufacturing processes of the seal torrent product with Time, cost, quality of Service, load balancing, for each processing, which represents the initial community and this step also represents the distance between ants and various resources, as well as the configuration of the number of ants, the initial value of the pheromone rate, the number of repetitions, and other factors. It is by relying on this initial matrix of the product that a number of paths are generated.

## 2. Finding the Fitness Value

This step represents the movement where the ants will move between different resources according to their personal decisions and the effect of the accumulated pheromone, so the fitness value(trade-off) is found for each product path according to the equation of the target function(1), the equations of Time(2), cost(3), quality of Service(4), Load Balancing(5) in Table 2., mentioned above to generate paths that represent possible solutions and then search for the best path for each product and with the least Time, cost, quality of Service, load balancing.

## 3. Finding the probabilistic values of the allocation goals for participation and for all tracks in the primary community.

In this step, the probabilistic values of each resource are found for the objectives (cost, Time, quality of Service, load balancing) by adopting a trade-off in the assessment aimed at reduction, i.e. preference for routes that have the lowest probabilistic values. The available resources are selected based on the probabilistic values of each resource (for each manufacturing process).

## 4. Update

After selecting the best paths in the previous(third) step, the pheromone matrix is updated in this step by updating the matrix of various resources based on the efficiency of their use.

## 5. Iteration

The second, third and fourth steps are repeated for a number of cycles until the termination Criteria are reached, represented by the following:

- Reach the maximum frequency.
- Reaching the perfect solution.
- To take into account the priorities and sequence of production stages for each product, while accepting the new, stronger tracks and retaining the highest quality of them.

## 6. Solution Analysis

In this step, the solutions reached after the execution of the algorithm are analyzed in all its steps, with a number of cycles (100) and an execution time of 35.4 seconds. That is, these steps are repeated until the ants move towards the optimal solution to the problem of resource allocation, and this behaviour is characterized by the ability to pass obstacles and discover new paths gradually, ultimately leading to a balance between new solutions and the exploitation of good solutions that have already been discovered [29,30].

```

STEP 0: Initialize:
    a) Set iteration counter  $t=0$ .
    b) Set pheromone level on all edges to  $\tau_0$ .
STEP 1: Construct solutions for each ant  $\gamma$  (i.e., for  $\gamma=1$  to  $\Upsilon$ ):
    Generate a tour by adding an edge from  $tabu^\gamma$  using the following:
    a) With probability  $q$ , the node with the maximum pheromone level.
    b) With probability  $d$ , a discrete probability distribution with edge
        probability  $Pr_{(u,v),(v,w)}^\tau(t)$ .
    c) With probability  $r$ , random selection.
STEP 2: Local search (Optional)
STEP 3: Evaluate the fitness of each solution.
STEP 4: Keep the best solutions in a list. If not optimal (i.e., ARPI is not zero) and  $t$ 
    < MaxIterationCount, then update the pheromone levels on the network via
    evaporation and incremental pheromone update processes.
STEP 5: Set  $t=t+1$ . Go to Step 1.

```

**Figure .2 Pseudocode for ACO Algorithm**

### 3.3. PSO Algorithm

This algorithm aims to optimize candidate solutions by modifying and optimizing the positions of a group of birds in the search space. Its steps are as follows:

#### 1. Initialisation

In it, the number of particles(birds) in the search space is configured, as each bird represents a potential solution, the size of the flock, the initial distance matrix, i.e. the time matrix, cost, quality of Service, load balancing, for each product.

#### 2. Movement and Improvement

Calculation of fitness value

- Particle positions are updated based on their previous movement and improved.
- The movement of each particle is determined based on the direction of movement of the preference (the particle with the best performance so far) and the direction of the personal particle (its subjective preference).

#### 3. Update

- The information on the personal preferences of each gross and the general preference of the group is updated.
- The preference value is used to determine the direction of Future Movement.

#### 4. Iteration

The algorithm is repeated for a certain number of cycles, with a number of (100) cycles and with a time of (35.4) seconds, or until the Stop condition is met

## 5. Termination Criteria

The Stop conditions are determined when an acceptable solution is reached or after a certain number of cycles, that is, the maximum repetition (100) is reached, taking into account the precedents and the sequence of stages of the manufacturing process of the product as a whole.

## 6. Solution Analysis

The solutions reached are analyzed after the completion of the research process [31,32].

```

step 1. Initialize Optimization.
  step 1.1 Initialize algorithm constants,  $t_{max}$ ,  $P$ .
  step 1.2 Initialize randomly all particles positions  $x_i^t$  and velocities  $v_i^t$ .
  step 1.3 Evaluate objective function value as  $f(x_i^t)$  in equation (1).
  step 1.4 Assign best positions  $p_i^t = x_i^t$  with  $f(p_i^t) = f(x_i^t)$ ,  $i = 1, \dots, P$ .
  step 1.5 Find  $f_i^{best}(p_i^{best}) = \min\{f(p_i^1), \dots, f(p_i^t), \dots, f(p_i^P)\}$  and initialize
   $p_i^g = p_i^{best}$  and  $f(p_i^g) = f^{best}(p_i^{best})$ .
step 2. Perform Optimization
  while ( $t \neq t_{max}$ )
    step 2.1 Update particle velocity  $v_i^t$  and position  $x_i^t$ , according to equation
    (2) and equation (3) of all  $P$  particles.
    step 2.2 Evaluate objective function value as  $f(x_i^t)$  in equation (1).
    step 2.3 Update particle best position if  $f(p_i^t) > f(x_i^t)$  then  $p_i^t = x_i^t$  with
     $f(p_i^t) = f(x_i^t)$ .
    step 2.4 Find  $f_i^{best}(p_i^{best}) = \min\{f(p_i^1), \dots, f(p_i^t), \dots, f(p_i^P)\}$ ; if  $f(p_i^g) > f(p_i^{best})$ 
    then  $p_i^g = p_i^{best}$  and  $f(p_i^g) = f^{best}(p_i^{best})$ .
    step 2.5 Increment iteration count  $t = t + 1$ .
  end while
step 3. Report best solution  $p^g$  of the swarm with objective function value  $f(p^g)$ .

```

Figure 3. Pseudocode for PSO Algorithm

### 3.4. The AC-PSO Hybrid Algorithm

A hybrid algorithm consisting of the ant colony algorithm(ACO) and the bird swarm algorithm(PSO) can be used by applying the concept of communication and interaction between the behavior of organisms inspired by both ants and birds, so that ants can benefit from the ability of birds to find the best place to fly and communicate with the rest of the swarm, while birds can benefit from the ability of ants to detect and determine the best path for the distribution of resources, this hybrid helps in the optimal Allocation of resources through a balance between performance, cost, Time, quality of Service, load balancing, in a manufacturing environment the cloud is the area of interest of the current study and its goal is to use these two algorithms together[33,34,35,36].

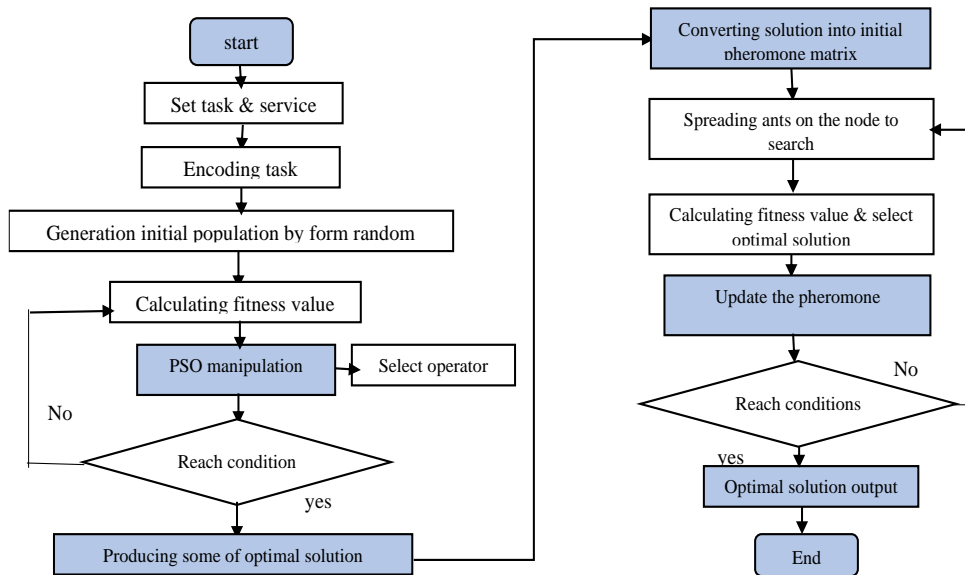


Figure 4. Flow chart of (AC-PSO) Hybrid Algorithm

**step 1. Initialize Optimization.**

step 1.1 Initialize constants for PSO and ACO processes,  $P$ ,  $t_{max}$ .

step 1.2 Initialize randomly all particles positions  $x_i^t$  and velocities  $v_i^t$ .

step 1.3 Evaluate objective function value as  $f(x_i^t)$  in equation (1).

step 1.4 Assign best positions  $p_i^t = x_i^t$  with  $f(p_i^t) = f(x_i^t)$ ,  $i = 1, \dots, P$ .

step 1.5 Find  $f_i^{best}(p_i^{best}) = \min\{f(p_i^1), \dots, f(p_i^t), \dots, f(p_i^P)\}$  and initialize  $p_i^g = p_i^{best}$  and  $f(p_i^g) = f_i^{best}(p_i^{best})$ .

**step 2. Perform Optimization**

**while** ( $t \leq t_{max}$ )

step 2.1 Update particle velocity  $v_i^t$  and position  $x_i^t$ , according to equation (2) and equation (3) of all  $P$  particles.

step 2.2 Evaluate objective function value as  $f(x_i^t)$  in equation (1).

step 2.3 Generate  $P$  solutions  $z_i^t$  using equation (5).

step 2.4 Evaluate objective function value as  $f(z_i^t)$  in equation (1) and if  $f(z_i^t) < f(x_i^t)$  then  $f(x_i^t) = f(z_i^t)$  and  $x_i^t = z_i^t$ .

step 2.5 Update particle best position if  $f(p_i^t) > f(x_i^t)$  then  $f(p_i^t) = f(x_i^t)$  and  $p_i^t = x_i^t$ .

step 2.6 Find  $f_i^{best}(p_i^{best}) = \min\{f(p_i^1), \dots, f(p_i^t), \dots, f(p_i^P)\}$ ; if  $f(p_i^g) > f(p_i^{best})$  then  $f(p_i^g) = f_i^{best}(p_i^{best})$  and  $p_i^g = p_i^{best}$ .

step 2.7 Increment iteration count  $t = t + 1$ ;

**end while**

step 3. Report best solution  $p^g$  of the swarm with objective function value  $f(p^g)$ .

Figure 5. Pseudocode for the AC-PSO Algorithm

To develop optimal solutions in this work were used, MATLAB2021 programming to calculate Experimental parameter setting for ACO algorithm: the population sample size is 60, the number of iterations is 100,  $\alpha = 1$ ,  $\beta = 6$ ,  $\rho$

= 0.1, Process divided to (4) task as follow, the parameters that were prepared and used for the PSO algorithm are as follows: (community size=60, maximum frequency=100, C1=1.49, C2=1.49), and The weight values of the four objective time T, cost C, quality of Service Qos, load balance LB are  $[w1, w2, w3, w4] = [0.3, 0.3, 0.2, 0.2]=1$ .

#### 4. Results and Discussion

**Table 2. Results of Manufacturing Task Resources Allocation by ACO**

<i>it</i>	<i>Process</i>	<i>No. of machine</i>	<i>No. of worker</i>	<i>Time/m</i>	<i>Cost/ID</i>	<i>QoS%</i>	<i>LB%</i>
<b>1</b>	Oc1	4	5	18	3006	0.8	0.8
<b>2</b>	Oc2	6	8	15	2505	0.8	0.7
<b>3</b>	Oc3	1	2	6	1002	0.9	0.9
<b>4</b>	Oc4	0	2	10	1670	0.8	0.8

This optimal Allocation and savings in Time, cost, quality of Service, load balancing was reached as shown in Table (2) using the ACO algorithm and the optimal Allocation of internal processor resources Oc1, Oc2) and reached the optimal Allocation of these processors through the Allocation and optimal arrangement of the resources of these processors (machines and workers) together as shown in Table (3).

**Table 3. Resources Allocation for Process (Oc1,Oc2)by ACO**

<b>Process</b>	<b>Oc1</b>				<b>Oc2</b>					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6
<b>Sub task</b>										
<b>Machine Allocation</b>	M3	M1	M4	M2	M5	M3	M1	M6	M2	M4
<b>Worker Allocation</b>	2	1	1	1	2	1	2	1	1	1

**Table 4. Results of Manufacturing Task Resources Allocation by PSO**

<i>it</i>	<i>Process</i>	<i>No. of. machine</i>	<i>No. of. worker</i>	<i>Time/m</i>	<i>Cost/ID</i>	<i>QoS%</i>	<i>LB%</i>
<b>1</b>	Oc1	4	5	16	2672	0.7	0.7
<b>2</b>	Oc2	6	8	14	2338	0.8	0.7
<b>3</b>	Oc3	1	2	5	835	0.8	0.8
<b>4</b>	Oc4	0	2	8	1336	0.7	0.7

This optimal Allocation and savings in Time, cost, quality of Service, and load balancing were achieved as shown in Table 4, based on the bird swarm algorithm (PSO) and the Process of optimal Allocation of internal processor resources (Oc1, Oc2 ) machines with workers as shown in Table 5.

**Table 5. Resources Allocation for Process (Oc1,Oc2) by PSO**

<b>Process</b>	<b>Oc1</b>				<b>Oc2</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Sub task</b>										
<b>Machine Allocation</b>	M4	M3	M2	M1	M3	M1	M6	M2	M4	M5
<b>Worker Allocation</b>	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1

**Table6. Results of Manufacturing Task Resources Allocation by AC-PSO**

<i>are as follows</i>	<i>Process</i>	<i>No. of. machine</i>	<i>No. of. worker</i>	<i>Time/m</i>	<i>Cost/ID</i>	<i>QoS%</i>	<i>LB%</i>
<b>1</b>	Oc1	4	5	12	2004	0.7	0.7
<b>2</b>	Oc2	6	6	10	1670	0.7	0.7
<b>3</b>	Oc3	1	2	3	501	0.7	0.7
<b>4</b>	Oc4	0	2	6	1002	0.7	0.7

This optimal Allocation and savings in Time, cost, quality of Service, and load balancing (as shown in Table 6) were achieved by adopting the hybrid algorithm (AC-PSO) and the Process of optimal Allocation of internal processor resources (Oc1, Oc2) as shown in Table 7.

**Table 7. Resources Allocation for Process (Oc1,Oc2)by AC-PSO**

Process	Oc1				Oc2					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6
<b>Sub task</b>										
<b>Machine Allocation</b>	M2	M4	M1	M3	M6	M4	M2	M5	M1	M3
<b>Worker Allocation</b>	1	1	2	1	2	1	1	1	1	2

The results of the optimal Allocation for the technical path of the torrent seal product were as shown in Table 8.

**Table 8: The Optimal Resource Allocation**

Optimal Allocation	Average no.of.it
Oc1-Oc2- Oc3-Oc4	100

Table 9 shows the comparison of the three algorithms in terms of fitness values for each product in the hybrid algorithm and the iterations at which the optimal solution was reached.

**Table 9: Fitness values & iteration of the three algorithms**

Algorithm	Fitness values	NO. of. Iteration at the optimal solution
<b>AC-PSO</b>	155	25
<b>PSO</b>	215	30
<b>ACO</b>	245	38

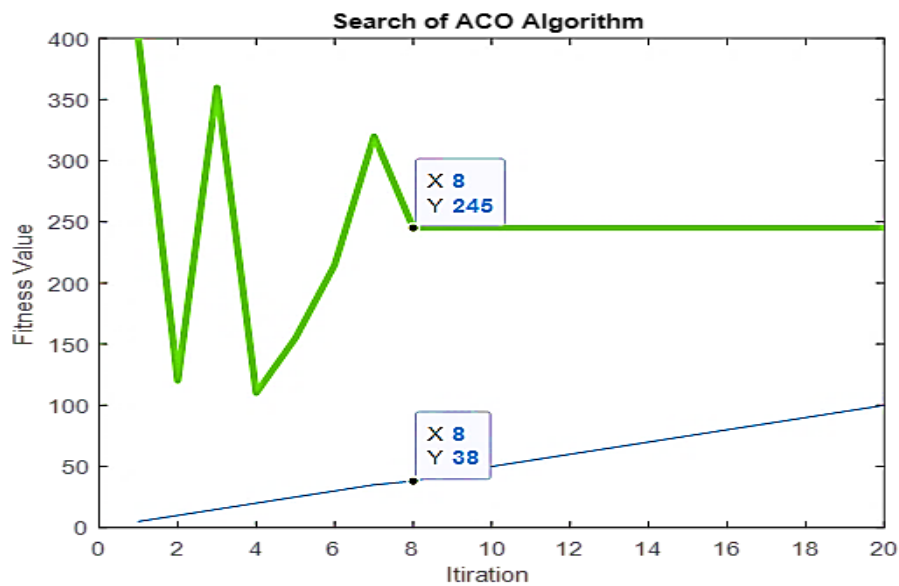
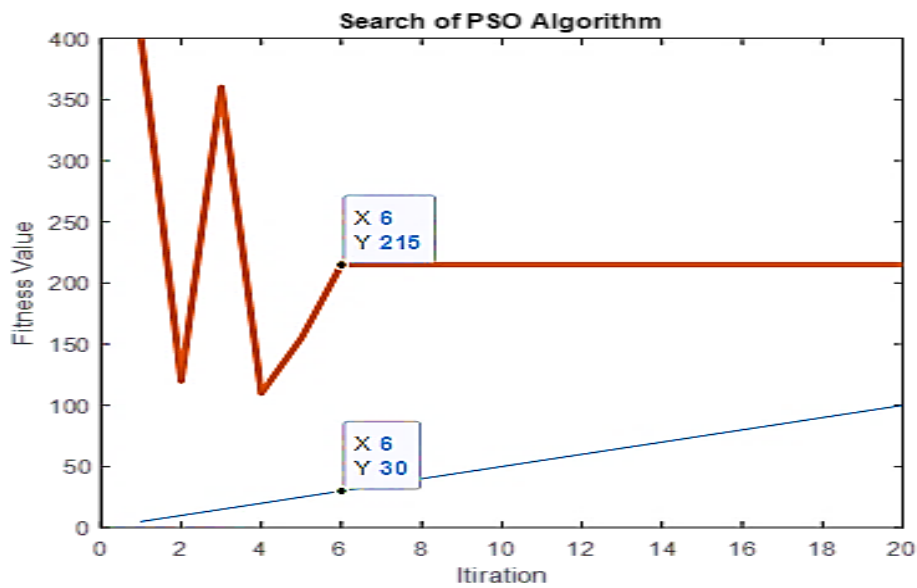
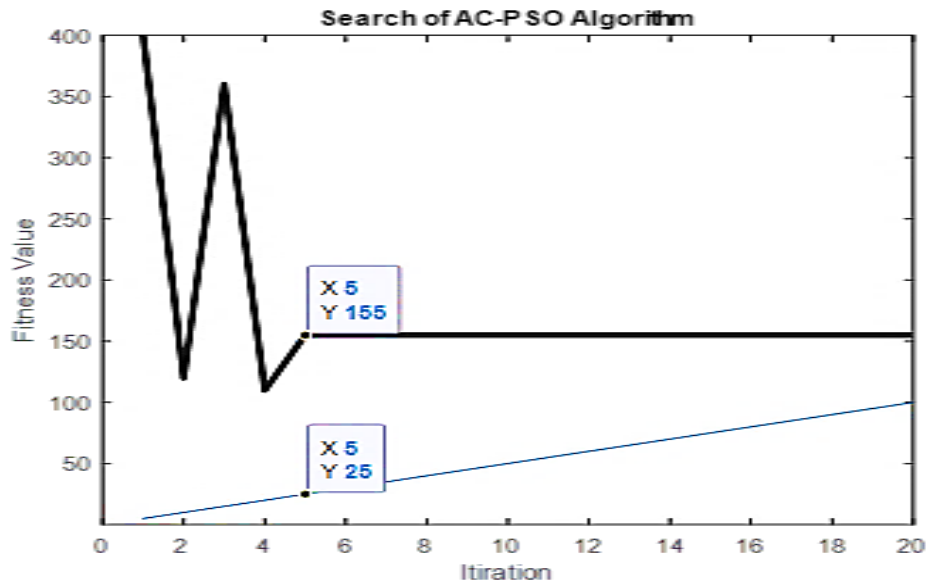
Table 9) and Figure.6 show the Process of searching the three algorithms for the seal torrent product in reaching the optimal solution through the fitness and repetition value at which the optimal solution was reached. In the ACO algorithm, the optimal solution was reached with a fitness value equal to (245) and at repetition (38). In the (PSO) algorithm, the optimal solution was reached with a fitness value equal to (215) at iteration (30), and in the (AC-PSO) hybrid algorithm, the optimal solution was reached with a fitness value equal to (155) at iteration (25).

**Table.10 Differences before and after the optimal Allocation of converter resources using the hybrid algorithm (AC-PSO)**

<i>Information</i>	<i>Before Allocation</i>	<i>After Allocation</i>			
		ACO	PSO	AC-PSO	Gap
<i>Product code</i>	TOS	TOS	TOS	TOS	TOS
<i>Number of Tasks</i>	4	4	4	4	-
<i>Number of Machines</i>	11	11	11	11	-
<i>Number of Workers</i>	17	17	17	15	2
<i>Total time(m)</i>	560	490	430	310	250
<i>Total cost(ID)</i>	9352000	8183000	7181000	5177000	4175000
<i>QoS%</i>	90%	83%	75%	70%	20%
<i>LB%</i>	82%	80%	73%	70%	12%
<i>Salary average of Worker (ID)</i>	6800000	6800000	6800000	6000000	800000

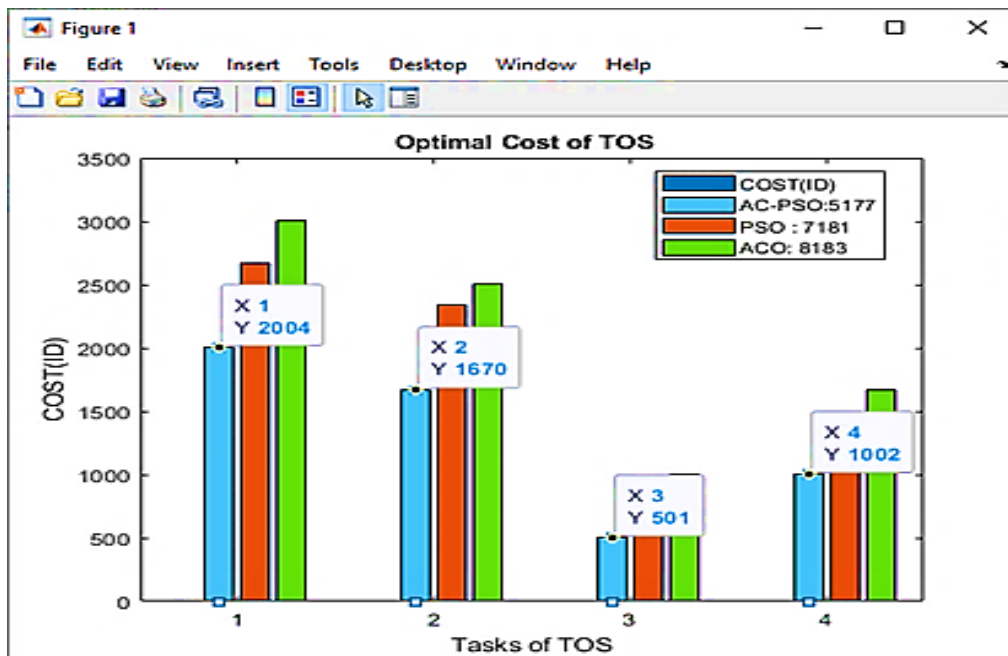
It can be concluded from Table 10 that the following:

- The cost of one unit of the original seal is 9352 dinars. Note that the selling price is (10000) dinars.
- The cost of one unit of seal torrent in the ACO algorithm=8183 dinars with a difference of (1169) dinars.
- The cost of one converter in the algorithm (PSO)=7181 dinars, with a difference of 2171 dinars.
- The cost of one converter in the algorithm (AC-PSO) = 5177 dinars, with a difference of 4175 dinars.
- The completion time of one unit of the original seal is 0.56 minutes.
- The completion time of one unit of the seal torrent in the ACO algorithm is 0.49 minutes, with a difference of (0.07) minutes.
- The completion time of one unit of the seal torrent in the algorithm (PSO)=0.43 minutes, with a difference of 0.13 minutes.
- The completion time of one unit of the seal torrent in the algorithm (AC-PSO) =0.31 minutes, i.e. with a difference of (0.25).



**Figure 6. The search by three algorithms**

It can see from Figure (6) that searching the three algorithms for the seal torrent product in reaching the optimal solution through the fitness value and the frequency at which the optimal solution reached in the algorithm (ACO) the optimal solution reached with a fitness value equal to (245) and at repetition (38), while in the algorithm (PSO) the optimal solution reached with a fitness value equal to (215) at repetition (30), and in the hybrid algorithm (AC-PSO) the optimal solution was reached with a fitness value equal to (215) at repetition (30), and in the hybrid algorithm (AC-PSO) the optimal solution was reached with a fitness value is equal to (155) when repeating (25).

**Figure.7 Optimal Cost of TOS**

It is shown in this study that the two algorithms (ACO)&(PSO) were selected for comparison with the hybrid algorithm (AC-PSO) of both. The search process in Figure .6 shows the results of comparing the three algorithms, and as in Table .9, the performance of optimization algorithms is mainly reflected by factors such as algorithm approximation, speed and optimization accuracy, the accuracy and efficiency of optimization of the algorithm is reflected by the fitness value(trade-off), and the effectiveness of algorithm convergence is reflected by the number of iterations at which we reach the optimal Allocation of resources. Therefore, this study compares the fitness value (trade-off) with the number of iterations at which we reached the optimal Allocation of the algorithm. The bird swarm algorithm(ACO) was the lowest efficiency and the ant colony algorithm

(PSO is better than it, and from Figure.3 and Table .10, it can be seen that due to the fact that the bird swarm algorithm( ACO) has a higher fitness value than the other two algorithms, this solution to the ACO algorithm is not good compared to the other two algorithms, which indicates that the optimization effect is also not good compared to the Ant algorithm and the hybrid algorithm, since the ant colony algorithm had a lower fitness value, and the hybrid algorithm designed in this study contains the lowest value Fitness at a number of iterations equal to(25), which had the optimal solution, which is better than the ant colony algorithm to some extent, and the iterative approximation (25) is also better than the other two algorithms, and the designed (AC-PSO) hybrid algorithm proved its effective and powerful ability to find an optimal solution in the cloud manufacturing (CMfg) environment, which is characterized by its dynamic changes. The company can apply it in solving the problems of resource allocation for the Torrent seal product and all its other products by using the appropriate resources for each manufacturing task, improving the quality of Service provided to the customer, as we note in Table .10, in addition to saving time and cost (show in figure 7) and reducing the load for the company under study. Table (10) concerning the seal torrent product shows the advantages and savings achieved as follows, according to each algorithm separately.

Table (10) may also be from (4) processors, as well as optimal Allocation within the processors themselves, as in the processing of (Oc1, Oc2) and as in Tables (3,5,7), which was reflected in turn on reducing distances, Time, costs, improving service quality and load balancing as follows:

Table (10) shows the savings achieved in the wages of workers through the optimal Allocation of the number of workers, as the original number of workers before the Allocation was equal to (17) workers with total wages estimated at(6800000) million Iraqi dinars, and did not decrease in the algorithms (ACO) and(PSO) but was allocated to the optimal number by adopting the hybrid algorithm (AC-PSO), as the number of workers reached (15) workers and wages of(6000000) million IQD, i.e. with a difference of(2) workers and a wage difference equal to(800,000) IQD from the original wages before Allocation. Also, with regard to the original total completion time before the optimal Allocation was(560)minutes, it became (490)minutes by the ACO algorithm, and decreased to(430) minutes by adopting the PSO algorithm, and the final reduction by the hybrid algorithm(AC-PSO) was equal to(310) minutes, i.e. with a difference from the original estimated at(250) minutes, which in turn reflected on the total completion cost, which before the optimal Allocation was estimated at(9352000) million Iraqi dinars, and after the optimal Allocation by the ACO algorithm, it decreased to(8183000)million Iraqi dinars, and with the adoption of

the PSO algorithm, it became(7181000)million Iraqi dinars, and with the adoption of the AC-PSO algorithm, it was estimated at(5177000 )million dinars, i.e. with a difference from the original cost It is estimated at(4175000) million Iraqi dinars. With regard to the quality of the original Service before the Allocation, it reached (90%), after the optimal Allocation, the adoption of the (ACO) algorithm was equal to (83%), and in the (PSO) algorithm it was equal to (75%), and the optimal Allocation of it in the (AC-PSO) algorithm became equal to (70%), i.e. with a difference of (20%) from the original. Finally, the load balancing ratio before the Allocation was (82%), after the optimal Allocation by the ACO algorithm, it reached (80%), in the PSO algorithm it became equal to (73%), and in the AC-PSO algorithm it became equal to (70%), i.e. with a difference of (12%) from the original.

## 5. Conclusions

In this study, the ant swarm, particle and hybrid intelligence algorithms of both were adopted to solve the problem of cloud manufacturing resource allocation of seal torrent product, and the specific objective function of the multi-objective optimization problem was for the purpose of reducing both Time, cost, service quality, and load balance of seal torrent product manufacturing process. The optimal Allocation of seal torrent product resources was reached through optimal Allocation within the four processors for manufacturing the product, where the original path did not change, except that the Allocation was within the processors, specifically the first and second processing., which resulted in a reduction in the total Time by a difference of (250) minutes, with a significant reduction in cost and a difference of (4175000) million Iraqi dinars, and a reduction in the wages of workers by (800000) dinars, with an improvement in both load balancing with a difference of (12%) and the quality of Service with a difference of(20%).

## References

1. Can.S,2022," EXPLORING IT DECISION MAKERS' VIEWS ON ADOPTION OF CLOUD MANUFACTURING IN TURKEYI", Eskisehir Technical University, *Journal of Science and Technology B- Theoretical Sciences*, 10(2), pp. 82 – 92.
2. Brintha. N.C Benedict, Jappes, W.,2015," AN IMPROVED PSO BASED CLOUD SOLUTION FOR CLOUD MANUFACTURING", *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, Special Issue 7.

3. Brintha.N, Benedict.S & Jappes. W,2020," Resource allocation in cloud manufacturing using bat algorithm", *Int: J. Manufacturing Technology and Management*, Vol. 34, No. 3.
4. Bey.M, Azouaoui. K, Boutassouna.M,2018," Sculptured surfaces subdivision from 3d cloud of points and association of optimum ball cutters", *Procedia CIRP*, Volume 77, Pages 582-585
5. Bouzary, H., Chen, F., 2018, "Service optimal selection and composition in Cloud Manufacturing: a comprehensive survey," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 97, 795–808.
6. Bouzary, H., and F. F. Chen. ,2020, "A Classification-Based Approach for Integrated Service Matching and Composition in Cloud Manufacturing", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 66: Article number 101989.
7. Charro, A. & Schaefer, D.,2018, 'Cloud Manufacturing as a new type of Product-Service System', *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 31(10), pp. 1018–1033.
8. Chen, G. Q., Huang, J. Wang, and C. Yang, 2020," A cooperative approach to service booking and scheduling in cloud manufacturing", *Eur. Jour. of Oper. Res.*, 273(3), 861–873.
9. Chen, T., & Lin, C.,2023," Assessing cloud manufacturing applications using an optimally rectified FAHP approach", *Complex & Intelligent Systems*,8:5087–5099.
10. Dazhong Wu, Matthew John Greer, David W. Rosen, Dirk Schaefer,2018," Cloud manufacturing: Strategic vision and state-of-the-art", *Journal of Manufacturing Systems*, 32(4):564-579.
11. Cheng, Y., Tao, F., Zhao, D., Zhang, L.,2018," Modelling of manufacturing service supply–demand matching hypernetwork in service-oriented manufacturing systems", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 45, 59- 72.
12. Cheng, F., Huang. H, Yang. H, 2022," A novel implementation framework of digital twins for intelligent manufacturing based on container technology and cloud manufacturing services", *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*,( Volume: 19, Issue: 3).
13. Erwin. R, Sven. S, Patrick. D and Robert .H,2023," Collaborative Cloud Manufacturing: Design of Business Model Innovations Enabled by Cyber-physical Systems in Distributed Manufacturing Systems", *Hindawi Publishing Corporation Journal of Engineering*, Volume 1308639, 12 pages

14. Berrevoets, J., Jarrett, D., Chan. A,2023," AllSim: Simulating and Benchmarking Resource Allocation Policies in Multi-User Systems", *Neural Information Processing Systems*, vol(12), no(4).
15. Bower, J.,2017," Managing Resource Allocation: Personal Reflections From a Managerial Perspective", *Journal of Management*, Volume 43, Issue 8.
16. Buyya, R., and Calheiros, R.,2018, "Cost-effective provisioning and scheduling of deadline-constrained applications in hybrid clouds," *International Web Information Systems Engineering*, pp. 171–184.
17. Caleb .S and Navid .Z,2024," An Accelerated Process Optimisation Method to Minimise Deformations in Composites Using Theory-guided Probabilistic Machine Learning", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol 176, 107842.
18. Cao, Y. et al.,2016, 'Study on machining service modes and resource selection strategies in cloud manufacturing', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 81(1–4), pp. 597–613.
19. Cao, C., Su, M., Duan, S., Dai, M., Li, J., and Yufeng Li .Y,2022," QoS-Aware Joint Task Scheduling and Resource Allocation in Vehicular Edge Computing", *Sensors*, 22, 9340.
20. Fisher, Oliver, Nicholas Watson, Laura Porcu, Darren Bacon, Martin Rigley, and Rachel L Gomes. 2018. "Cloud manufacturing as a sustainable process manufacturing route." *Journal of Manufacturing Systems* 47:53-68.
21. Contero, M., Company. P, Vila. C, Aleixos .N, 2022," Product data quality and collaborative engineering", *IEEE Comput Graph Appl* 22:32–42
22. Coullon, H. and Noyé, J.,2018, 'Reconsidering the Relationship Between Cloud Computing and Cloud Manufacturing', *Studies in Computational Intelligence. Springer Verlag*, pp. 217– 228.
23. DING, S., HAN.J, MENG.X, AND MA.F,2020," Multi-Granularity Modelling and Aggregation of Design Resources in Cloud Manufacturing", *IEEE*, Vol(8).
24. Ding, K., Chan, F. T. S., Zhang, X., Zhou, G., & Zhang, F. (2022). Defining a Digital Twin-based Cyber-Physical Production System for autonomous manufacturing in smart shop floors. *International Journal of Production Research*, 57(20), 6315–6334.
25. Dolly & Suchitra,2017," Review on Optimisation Techniques Used In Cloud Scheduling", *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Volume: 04 Issue: 04.

26. Dong, T., Xue, F., Xiao, C., Li, J.,2020," Task scheduling based on deep reinforcement learning in a cloud manufacturing environment", *Concur. Comp. Prac. Exper.*, 32 , e5654.
27. Forneron, J.,2024," Estimation and inference by stochastic optimization", *Journal of Econometrics* Volume 238, Issue 2, January, 105638.
28. Freitas, D., Lopes, L., Dias, F.,2020," Particle Swarm Optimization: A Historical Review Up to the Current Developments", *Entropy*, 22(3), 362.
29. Bei, L., Wenlin, L., Xin, S. and Xibin, X.,2024," An improved ACO-based service composition algorithm in multi-cloud networks", *Journal of Cloud Computing*, 13:17.
30. Carabaza, S. Portas, E., Orozco, J. A., Jesus, M.,2018," Ant colony optimization for multi-UAV minimum time search in uncertain domains", *Appl. Soft Comput.*, 62, 789–806.
31. Chiaradonna, S., Giandomenico, F. and Murru, N.,2023," On enhancing efficiency and accuracy of particle swarm optimization algorithms", *AperTO - Archivio Istituzionale Open Access dell'Università di Torino*, (12)23,34-38.
32. Coello, C.A.C.; Lechuga, M.S. MOPSO.2022," A Proposal for Multiple Objective Particle Swarm Optimization". *In Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation, Honolulu, HI, USA, 12–17; Volume 2, pp. 1051–1056.*
33. Coma, M., Tousi, N., Prats, J., Bugeda, G., and Bergada, J.,2022," A New Hybrid Optimization Method, Application to a Single Objective Active Flow Control Test Case", *Appl. Sci.* 2022, 12, 3894.
34. Dayoub, N.; Fakhratov, M.,2021," The Mutual Influence Approach during the Resource Allocation Process in Construction Projects", *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 1030, 012104.
35. D'Exelle, B., & Reidl, A., 2012," Resource Allocations and Disapproval Voting in Unequal Groups", *Journal of Conflict Resolution*, 627-652.
36. Dorigo, M., Birattari, M., & Stutzle, T.,2019," Ant colony optimisation" *IEEE computational intelligence magazine*, 1(4), 28-39.

استخلاص وتنقية القلويدات من نبات الاوركيد *Phalaenopsis amabilis* ودراسة تأثيرها ضد

## بعض البكتريا المسببة لالتهاب المجاري البولية

سؤدد عبد الاله محمد\*، شيماء عبد الستار جبار، غادة عبد الخالق حسون، رشا خليل فرحان، عمار مولى حمود

\*مركز بحوث التطبيقات الصناعية وتكنولوجيا المواد - قسم أبحاث وتكنولوجيا كيمياء المواد الطبية والصيدلانية - هيئة

البحث العلمي - وزارة التعليم العالي

[Swddalbasy@gmail.com](mailto:Swddalbasy@gmail.com)

009647702964968

## الملخص:

نبات الاوركيد يعد من أشهر النباتات الزهرية في العالم ينتمي إلى عائلة orchidiaceae ، ويحتوي على العديد من المركبات الفعالة مثل القلويدات والفلافونيدات والفينولات.

ويستخدم كمضاد للأكسدة ومضاد للبكتريا وبعض انواعه تدخل في علاج الالتهابات ودعم جهاز المناعة ومضاد للسرطان ويستخدم ايضا في صناعة المستحضرات التجميلية لترطيب البشرة ومكافحة الشيخوخة.

وفي هذا البحث تم اختيار نبات الاوركيد *Phalaenopsis amabilis* الذي يشبه الفراشة واجري الكشف عن المادة الفعالة القلويدات باستخدام كاشف ويكنتر (Wagner reagent ) وعند إضافة الكاشف إلى المستخلص المائي للنبات ظهر اللون البني المحمر دلالة على وجود القلويدات . أما الاستخلاص فاستخدم الكحول الايثيلي بتركيز 80% وحامض HCl بتركيز 5%.

وشخصت القلويدات بواسطة جهاز الكروماتوغرافيا السائلة HPLC مقارنة مع المحلول القياسي وظهرت 3 أنواع من القلويدات في المستخلص الكحولي للزهرة وهي Tryptamine عند زمن احتجاز 6.9 دقيقة وقلويد pyrrolizidine عند زمن احتجاز 10.2 دقيقة وقلويد phenethylamine عند زمن احتجاز 21.9 دقيقة وطول موجي (284Nm) نانوميتر.

اما الفحوصات البايولوجية فاستخدمت طريقة الحفر wells ضد 3 عزلات من البكتريا المسببة لالتهاب المجاري البولية وهي E. coli و *Pseudomonas aeruginosa* و *Staphylococcus aureus* لملاحظة منطقة التثبيط لمستخلص الزهور والمضاد الحيوي Amoxicillin بتركيز 100 ملغرام / ملتر.

كما حضرت التراكيز 50 ، 25 ملغرام / ملتر من التركيز الاصلي . وكانت أعلى منطقة تثبيط 42 ملمتر للبكتريا العنقودية S.aureus وأقل منطقة تثبيط تساوي 34 ملمتر للبكتريا P. aeruginosa عند التركيز 100 ملغرام/ملتر للمستخلص الكحولي القلويدي وكانت العزلات البكتيرية الثلاثة حساسة للمستخلص النباتي بجميع التراكيز المستخدمة (100 ، 50 ، 25) ملغرام / ملتر.

ولوحظ ان البكتريا *S.aureus* و *E.coli* حساسة لكل من المضاد الحيوي Amoxicillin والمستخلص النباتي أما بكتريا *P.aeruginosa* كانت حساسة للمستخلص النباتي فقط ومقاومة المضاد الحيوي عند التركيز 100 ملغرام / ملتر وكانت قيمة التركيز المثبط الأدنى MIC يساوي 25 ملغرام/ملتر لجميع العزلات البكتيرية.

الكلمات المفتاحية : نبات الاوركيد ، القلويدات ، البكتريا ، التهاب المجاري البولية

**Extraction and purification of alkaloids from the orchid plant  
*Phalaenopsis amabilis* and Study of their effect against some  
bacteria that cause urinary tract infection**

**Suddad Abdul-Elah Mohammad\* Shayma Abdul Sattar, Gada  
Abdu khalek Al Kattan, Rasha Khalil Farhan, Ammar Moula  
Hmood.**

**\* Industrial Applications and Materials Technology Research  
Centre -Department of Medical and Pharmaceutical Chemistry  
Research and Technology- Scientific Research Authority -  
Ministry of Higher Education. Education.**

**Abstract:**

The orchid is one of the most famous flowering plants in the world, belonging to the Orchidaceae family. It contains many active compounds such as alkaloids, flavonoids, and phenols.

It is used as an antioxidant and antibacterial agent, and some species are used to treat inflammation, support the immune system, and have anticancer properties. It is also used in the cosmetics industry for moisturising the skin and combating ageing.

In this research, the butterfly-shaped *Phalaenopsis amabilis* orchid was selected. The active ingredient, alkaloids, was detected using Wagner's reagent. When the reagent was added to the aqueous extract of the plant, a reddish-brown colour appeared, indicating the presence of alkaloids. The extraction was carried out using 80% ethyl alcohol and 5% hydrochloric acid (HCl). The alkaloids were identified using HPLC (High-Pressure Liquid Chromatography) by comparison with the standard solution. Three alkaloids appeared in the alcoholic flower extract: tryptamine (retention time 6.9 minutes), pyrrolizidine (retention time 10.2 minutes), and phenethylamine (retention time 21.9 minutes), with a wavelength of 284 Nm.

Biological tests were performed using the Wells etching method against three isolates of bacteria causing urinary tract infections: *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Pseudomonas aeruginosa*. The inhibition zone of the flower extract and the antibiotic amoxicillin at a concentration of 100 mg/mL was observed.

Concentrations of 50 mg/mL and 25 mg/mL were also prepared from the original concentration. The highest inhibition zone (MIC) was 42 mm for *Staphylococcus aureus*, and the lowest MIC was 34 mm for *P. aeruginosa* at a concentration of 100 mg/mL of the alkaloid alcoholic extract. All three bacterial isolates were sensitive to the plant extract at all concentrations used (100, 50, and 25 mg/mL). *S. aureus* and *E. coli* were sensitive to both the antibiotic

amoxicillin and the plant extract, while *P. Aeruginosa* was sensitive only to the plant extract and resistant to the antibiotic at a concentration of 100 mg/mL. The minimum inhibitory concentration (MIC) was 25 mg/mL for all bacterial isolates.

**Keywords:** orchid plant, alkaloids, bacteria, urinary tract infection

## المقدمة

يعد نبات الأوركيد من أهم النباتات المزهرة التي تنتمي إلى عائلة orchidiaceae والتي تعد من أكبر العائلات النباتية وأكثرها تنوعاً في المملكة النباتية إذ تضم هذه العائلة ما يزيد على 28,000 نوع ونحو 760 جنس منتشرة في مختلف مناطق العالم ولا سيما المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية حيث تتميز بقدرتها العالية على التكيف مع الظروف البيئية المختلفة (Dhanda et al, 2022) وتعرف نباتات الأوركيد بازهارها المميزة ذات البنية المعقدة والتنوع الكبير في الأشكال والألوان ، ما جعلها من أكثر النباتات استخداماً في مجال نباتات الزينة ، فضلاً عن أهميتها البيئية في الحفاظ على التنوع الحيوي في الأنظمة البيئية الطبيعية ( chase et al., 2015 ) إلى جانب قيمتها الجمالية والاقتصادية حظيت نباتات الأوركيد باهتمام متزايد في مجال النباتات الطبية ، حيث استخدمت العديد من أنواعها في الطب التقليدي منذ قرون طويلة ، خاصة في الطب الصيني والهندي. لعلاج مجموعة واسعة من الأمراض مثل التهابات الحمى ، وإضطرابات الجهاز الهضمي ، وبعض الأمراض الجلدية ( pant , 2013 ) ، وتشير الدراسات الحديثة إلى أن هذه النباتات تعد مصدراً غنياً بالمركبات الثانوية الفعالة حيوياً مثل القلويدات والفلافونيدات و الفينولات والتربينات إضافة إلى مركبات (phenanthrene) (Bibenzyl) والتي تعد مسؤولة عن العديد من الأنشطة البيولوجية للنبات ( Adrita & Arpana et al, 2025 )

يعد التهاب المسالك البولية من أكثر الأمراض البكتيرية شيوعاً التي تصيب الجهاز البولي ويشمل التهاب المثانة والاحليل وأحياناً الكليتين ويحدث هذا المرض غالباً نتيجة دخول البكتيريا إلى الجهاز البولي وتكاثرها فيه وبعد بكتيريا *Escherichia coli* من أكثر المسببات شيوعاً تظهر الأعراض عادة على شكل حرقنة أثناء التبول وكثرة البول ولم أسفل البطن ( Flores – 2015 ) Mirekes et al., وتزداد مقاومة البكتيريا للمضادات الحيوية مثل الأمبسلين والاموكسيسيلين والكفلنكس ( 2020 Klein & Hultgren), لذلك تركز الأبحاث الحديثة على فهم آليات العدوى وتطوير العلاج بما في ذلك استخدام مركبات طبيعية أو نباتية ذات نشاط مضاد للبكتيريا (Amiri et al., 2021)

**أهمية البحث :** إيجاد عقار نباتي من زهور نبات الأوركيد لعلاج التهاب المجاري البولية المتسبب عند البكتيريا.

**مشكلة البحث :** محاولة إيجاد الفعالية التثبيطية من المستخلص الكحولي لزهور نبات الأوركيد ومقارنتها مع المضاد الحيوي Amoxicillin ضد بعض أنواع البكتيريا مثل *E. coli* و *Staphylococcus aureus* و *Pseudomonas aeruginosa* المسببة لالتهاب المجاري البولية.

**منهجية البحث :** عملية الكشف عن المادة الفعالة (القلويدات) واستخلاصها وتشخيصها بواسطة جهاز

HPLC . ثم دراسة الفعالية التثبيطية للزهور ومقارنتها مع المضاد الحيوي Amoxicillin بتركيز (100) ملغرام / ملتر بطريقة الحفر ضد العزلات البكتيرية الثلاثة لبيان الحساسية والمقاومة لهذه العزلات ضد المستخلص النباتي والمضاد الحيوي ، وتحليل البيانات ومعرفة الفروق المعنوية ام غير المعنوية بطريقة التحليل الاحصائي (ANOVA) .

**حدود البحث :** تم إجراء البحث في مختبرات قسم بحوث وتكنولوجيا كيمياء المواد الطبية والصيدلانية - هيئة البحث العلمي - وزارة التعليم العالي.

**تاريخ العمل :** كانون الثاني 2026 - نيسان 2026.

**فروض البحث :** نفترض ان القلويدات تمتلك فعالية تثبيطية ضد البكتيريا باعتبارها من المواد الفعالة والمهمة طبيياً في تثبيط الجراثيم.

الدراسات السابقة : أظهرت الدراسات الحديثة في مجال الكيمياء النباتية ان نبات الاوركيد يحتوي على طيف واسع من المركبات الطبيعية ذات الخصائص الدوائية المهمة ، حيث تمتلك هذه المركبات نشاطات بايولوجية متعددة مثل النشاط المضاد للأكسدة والمضاد للالتهاب والمضاد للفايروسات اضافة الى نشاطها المضاد للميكروبات .(Hossain,2011)

الهدف من البحث : الكشف واستخلاص وتشخيص القلويدات في زهور نبات الاوركيد ودراسة تأثيرها ضد البكتريا *E. coli* والبكتريا العنقودية *S. aureus* وبكتريا *P. aeruginosa* المسببة للتهاب المجاري البولية.

#### المواد وطرائق العمل:

- 1- النباتات : حصل عليه من أحد مشاتل بغداد بشكل وزهور طرية وشخص النبات بالاعتماد على موسوعة ( 2013 ) Encyclopedia of life ,
- 2- المواد الكيميائية : حُصل على المواد الكيميائية من مختبرات مركز بحوث التطبيقات الصناعية مثل اليود ويوديد البوتاسيوم KI (شركة Analah ) بنقاوة 99% والكحول الايثيلي Ethanol (شركة Hayman) بنقاوة 99% .
- 3- الاجهزة المخبرية : استخدم جهاز المبخر الدوار Rotary evaporator (شركة Heidolf ) للتخلص من السوائل والفرن oven (شركة GSC) للحصول على المستخلص الجاف ، وتم التجفيف بدرجة حرارة 40C° و جهاز الكروموتوكرافيا السائلة ذو الضغط الفائق (HPLC) شركة Shimaza لغرض تشخيص القلويدات.
- 4- الاوساط الزرعية : استخدمت الاوساط الزرعية مثل Nutrient agar و Nutrein broth المنتجة من شركة LAB لغرض تنمية وحفظ العزلات البكتيرية وايضا لفحص حساسية البكتريا للمستخلص النباتي والمضاد الحيوي .
- 5- المضاد الحيوي : استخدم المضاد الحيوي Amoxicillin بتركيز 100 ملغرام وحُصل عليه من الصيدلية بشكل كبسولات .
- 6- العزلات البكتيرية : حُصل عليها من احد المختبرات في بغداد وتشمل *E .coli* و *P. aeruginosa* و *S.aureus*
- 7- الكشف عن القلويدات : كُشف عن القلويدات باستخدام كاشف Wagner حيث يتكون من اليود ويوديد البوتاسيوم KI يذاب يوديد البوتاسيوم (2 غرام) في كمية قليلة من الماء المقطر ثم يضاف اليود (1 غرام) ويذاب جيدا ويكمل الحجم الى 100 مللتر ماء مقطر تضاف قطرات من الكاشف الى المستخلص المائي للنبات والنتيجة الموجبة ظهور راسب بني محمر دلالة على وجود القلويدات . (Banu & Cathrine, 2015) .
- 8- إستخلاص القلويدات : يضاف 50 غرام من النبات الى 250 مللتر من الكحول الايثيلي بتركيز (80%) ، يرشح المستخلص بواسطة المبخر الدوار. يذاب الناتج أو المتبقي في 100 مللتر من حامض Hcl بتركيز (5%) تُفصل الطبقة المائية ويضاف اليها محلول الامونيا لجعلها قاعدية
- 9- PH =9 , ثم تبخر بالمبخر الدوار ويجفف للحصول على القلويدات والمستخلص الجاف يوزن بالغرام او ملغرام . (Banu & Cathrine, 2015)
- 9- الكشف الكمي : يتم الكشف الكمي عن القلويدات وتشخيصها بواسطة جهاز HPLC والمقارنة مع المحلول القياسي للمادة الفعالة بطول موجي (284 Nm) واستخدم العمود C 18 (250 x 4.61d mm) وتركيز المادة الفعالة تحسب بموجب المعادلة الآتية:

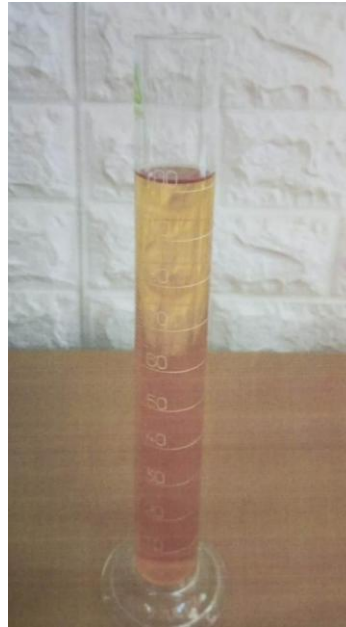
تركيز المادة ( العينة) = تركيز المحلول القياسي × مساحة العينة ÷ مساحة المحلول القياسي.

10- الفحوصات البايولوجية : استخدمت طريقة الانتشار بالاكار ( طريقة الحفر) باستخدام ثاقبة فلينية بقطر 6 ملمتر ووضع المستخلص والمضاد الحيوي في الحفرة بحجم 0.3 مللتر وإستخدام التركيز 100 ملغرام / مللتر وحفرة السيطرة تحتوي ماء مقطر معقم كما حضرت تراكيز 50, 25, 10 ملغرام/مللتر من المستخلص النباتي لغرض تحديد قيمة التركيز المثبط الادنى (MIC) ووضعت الاطباق في الحاضنة بدرجة 37°م لمدة 24 ساعة ثم تقاس منطقه التثبيط حول كل حفرة بالملمتر باستخدام المسطرة .  
(Bhathagar and Ghosal , 2017)

11- التحليل الاحصائي : تم التحليل الاحصائي باستخدام اختبار (ANOVA) حول تأثير المستخلص النباتي والمضاد الحيوي على العزلات البكتيرية وبمستوى احتمالية 0.05 لمعرفة التأثير معنوي ام غير معنوي.

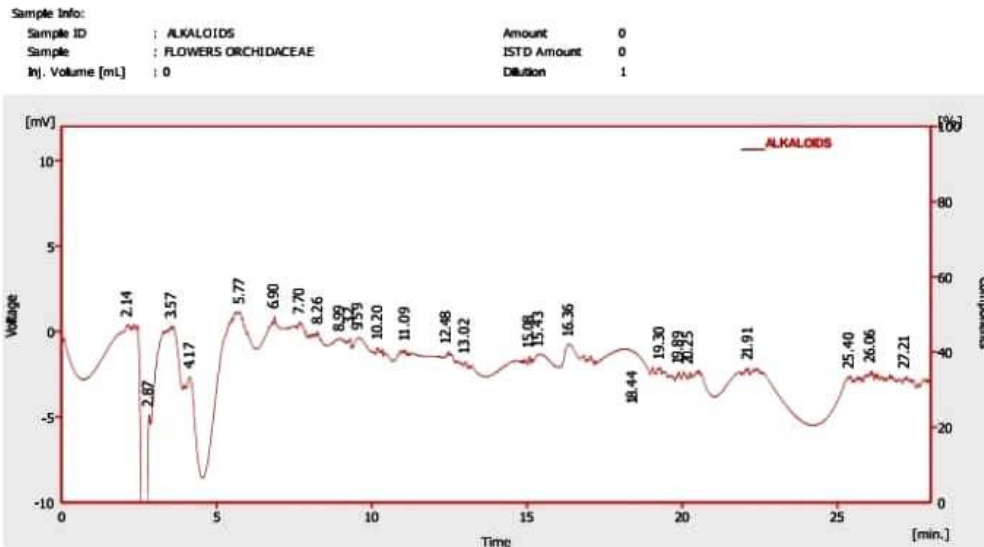
#### النتائج والمناقشة :

يبين الشكل (1) ظهور اللون البني المحمر في المستخلص المائي لزهور نبات الاوركيد عند اضافة كاشف Wagner دلالة على الكشف الموجب .



الشكل (1) ظهور اللون البني المحمر في المستخلص المائي لزهور نبات الاوركيد عند اضافة كاشف wagner دلالة على ا  
لكشف الموجب للقلويدات

اما الشكل (2) يوضح ظهور انواع من القلويدات للمستخلص الكحولي لزهور نبات الاوركيد مقارنة مع المحلول القياسي باستخدام جهاز HPLC بطول موجي (284 Nm) وكان تركيز قلويد Tryptamine يساوي 34.11ppm وتركيز قلويد Pyrroliziedline يساوي 3 ppm وتركيز قلويد phenethylamine يساوي 15.3ppm



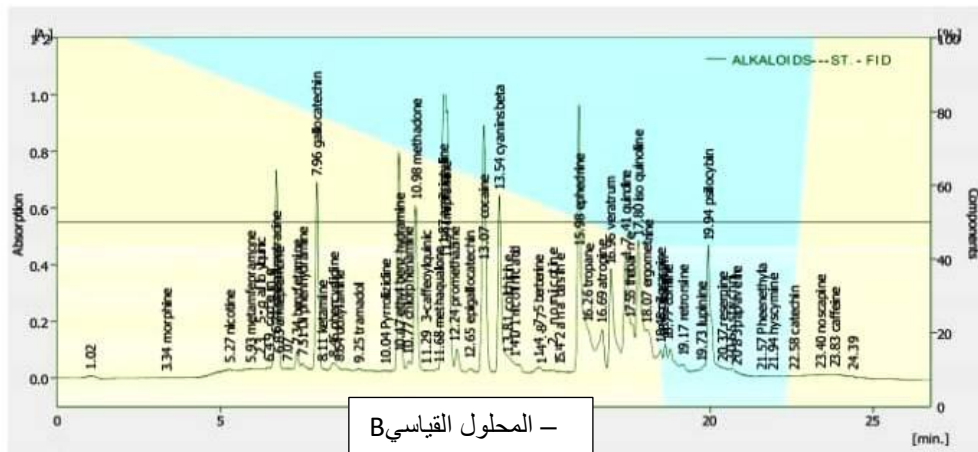
- العينة

Sample Info:

Sample ID	: ALKALOIDS.....	Amount	: 0
Sample	: ST. 10 ppm	ISTD Amount	: 0
Inj. Volume [mL]	: 0	Dilution	: 1

Column : C 18  
 Mobile Phase : ACN : glacial acetic : triethyl amine/97.9:2:0,1  
 Flow Rate : 1 ml / min  
 Note :

Detection : 284 nm  
 Temperature :  
 Pressure :



- المحلول القياسي B

شكل (٢) ظهور انواع من القلويدات للمستخلص الكحولي لزهور نبات الاوركيد مقارنة مع المحلول القياسي باستخدام جهاز HPLC وتشمل قلويد Tryptamine عند زمن إحتجاز 6.9 دقيقة وقلويد Pyrrrolizidine عند زمن احتجاز 10.2 دقيقة وقلويد phenethylamine عند زمن احتجاز 21.9 دقيقة وطول موجي (284 Nm).

اما جدول (١) يوضح قطر منطقة التثبيت بالملمتر لثلاث أنواع من العزلات البكتيرية والمعاملة بتركيز 100 / 50 / 25 ملغرام/ ملتر لمستخلص الكحولي القلويدي لزهور نبات الاوركيد.

جدول (1) قطر منطقة التثبيت (بالملمتر) لثلاث أنواع من العزلات البكتيرية والمعاملة بتركيز 100 / 50 / 25 ملغرام/ ملتر للمستخلص الكحولي القلويدي لزهور نبات الاوركيد.

السيطرة ماء مقطر	قطر منطقة التثبيط بالملمتر بالملمتر للمستخلص النباتي			العزلات البكتيرية
	25 ملغرام/مل	50 ملغرام/مل	100 ملغرام/مل	
6	34	63	42	S.aureus
c	b	b	a	
6	34	40	41	E.coli
C	b	b	a	
6	28	30	34	p.aeruginos
C	b	b	a	

• الحروف المتشابهة تعني عدم وجود فروق معنوية ، والحروف المختلفة تعني وجود فروق معنوية عند مستوى احتمالية 0.05

نلاحظ من الجدول (1) ان اعلى منطقة تثبيط كانت لبكتريا S.aureus تساوي 42 ملمتر و اقل منطقة تثبيط كانت للبكتريا P.aeruginosa تساوي 34 ملمتر عند التركيز 100 ملغرام/ملمتر ونلاحظ ان التراكيز 50 و 25 ملغرام /ملمتر اعطت تثبيطاً واضحاً ضد العزلات البكتيرية الثلاثة وكانت قيمة التركيز المثبط الادنى MIC تساوي 25 ملغرام/ملمتر لجميع العزلات البكتيرية .

جدول (2) المقارنة بين المضاد الحيوي الأموكسيسيلين AMX والمستخلص الكحولي القلويدي لزهور نبات الاوركيد بواسطة قياس قطر منطقة التثبيط عند التركيز 100 ملغرام /مل

السيطرة السالبة ماء مقطر	قطر منطقة التثبيط بالملمتر عند تركيز 100 ملغرام/مل		العزلات البكتيرية
	المضاد الحيوي AMX	مستخلص الزهور	
6	37	42	S.aureus
c	b	a	
6	27	41	E.coli
C	b	a	
6	6	34	p.aeruginos
C	b	a	

• الحروف المتشابهة يعني عدم وجود فروق معنوية والحروف المختلفة تعني وجود فروق معنوية عند مستوى 0.05

والجدول (2) يوضح المقارنة بين المضاد الحيوي Amoxicillin والمستخلص الكحولي القلويدي لزهور نبات الاوركيد من حيث الفعالية التثبيطية بواسطة قياس قطر منطقة التثبيط بالملمتر عند التركيز 100 ملغرام / ملمتر ولوحد ان البكتريا S.aureus و E.coli حساسة لكل من المضاد الحيوي والمستخلص النباتي. اما بكتريا P. aeruginosa كانت حساسة

المستخلص النباتي فقط واعطت منطقة تثبيط 34 مللتر ومقاومة للمضاد الحيوي Amoxicillin حيث لم يعطي تثبيطاً نهائياً.

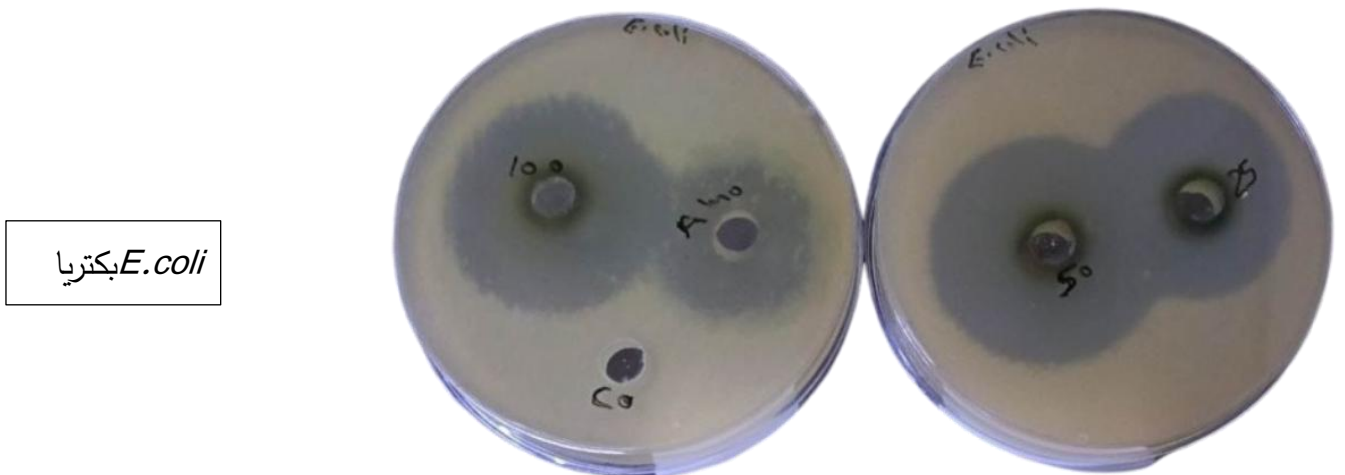
وشكل (3) يوضح ايضا صور لمناطق التثبيط لمستخلص الزهور والمضاد الحيوي بتركيز 100 ملغرام / مللتر ضد 3 انواع من العزلات البكتيرية.



*S. aureus* بكتريا



*P. aeruginosa* بكتريا



*E. coli* بكتريا

شكل ( ٣ ) صور لمناطق التثبيط حول كل حفرة لمستخلص الزهور والمضاد الحيوي Amoxicillin ضد 3 أنواع من العزلات البكتيرية

CO : السيطرة (ماء مقطر) ، Amoxicillin: AMX ، 100 ، 50 ، 25 ملغرام/مل تراكيز المستخلص النباتي وقد دُرست الفعالية البيولوجية لنبات الاوركيد ضد البكتريا E.coli المقاومة للمضادات الحيوية مثل Ampicillin و Kanamycin ولوحظ ان المستخلص المائي لنبات الاوركيد *Aerides odorata* قد اعطى منطقة تثبيط 0.7cm و 0.5 (Paul et al., 2013)

ودراسة أخرى حُددت الفعالية ضد المايكروبات وخاصة البكتريا وتحديد السمية خارج الخلية ضد التهاب المفاصل والتخثر الدموي أستخدمت مستخلصات عديدة من نبات الاوركيد وقورنت مع المضاد الحيوي ciprofloxacin وكانت اعلى منطقة تثبيط للمستخلص المائي للبدور. والمستخلص المائي للساق اعلى سمية من البذور واجريت التجربة على حيوان الروبيان وسجل المستخلص المائي للساق أيضاً فعالية عالية لتحلل الخثرة الدموية وضد التهاب المفاصل. (Rahaman et al., 2024) وهناك نوع آخر من الاوركيد *Necklace orchids* مضاد للالتهابات ومضادات للأكسدة ومضاد للمايكروبات ولوحظ ان المستخلص الكحولي للاوراق للنوع *Coelogyne fimbriata* يثبط من نمو البكتريا *Bacillus cereus* ، *Yersinia enterocolitica* ، *S.aureus*، (wati et al., 2020).

هناك بعض الدراسات الصيدلانية تشير الى ان الاوركيدات تمتلك فعالية بايولوجية بسبب احتوائها على القلويدات والتربينات والفينولات. (Singh et al., 2012)

وهناك انواع كثيرة من الاوركيدات الطبية مثل *Ansellia africana* تحتوي على الزيوت العطرية والراتنجات وتم استخلاصها بالتقطير المائي وشخصت بواسطة جهاز كرو موتوكرافيا الغاز Gc و حددت اغلبها llnoleic acid بنسبة 18% و P-cresol بنسبة 9.9%. (Moshfekus et al, 2021).

ودراسة اخرى وجد إن الدقائق النانوية للفضة AgNPs المصنعة من المستخلص النباتي المائي لنبات الاوركيد من نوع *Luisia tristis* قد اعطى فعالية تثبيطية عالية ضد بكتريا E.coli بمنطقة تثبيط 24 ملمتر اعلى من المضاد الحيوي Ciprofloxacin وكانت قيمة MIC تساوي 100 ملغرام/ مللتر. (Saravanan et al., 2023)

وأجريت دراسة عن بعض أنواع الاوركيدات مثل *Drjerdonianum Dendrobium barbatulum* و استخدمت مستخلصات مائية وكحولية ومستخلص الكلوروفورم ووجد إنها تحتوي على القلويدات و التانينات والتربينات و فينولات وان النوع *D.jerdonianum* أعطى خصائص مضادة للبكتريا *E.coli* و *Salmonella typhi* و *Bacillus Pseudomonas aeruginosa* ، *Shigella flexneri* ، *subtili* و كانت قيمة MIC 0.2 – 0.3 ملغرام /مللتر .

كما ان المستخلص المائي ومستخلص الكلوروفورم أعطى نسبة عالية من مضادات الأكسدة تصل الى 85%. (Madhavamurthy et al., 2023)

ودراسة اخرى تم التحري عن الفعالية البيولوجية لمستخلصات epiphytic orchid ضد البكتريا العنقودية *S.aureus* بطريقة الاقراص الورقية واثبت المستخلص الكحولي الايثانولي فعالية تثبيطية عالية وكان قطر منطقة التثبيط 19 مللتر بينما

مستخلص الميثانول والهكسان وخلات الاثيل لم تعط أي فعالية تثبيطية ضد البكتريا . ( Lyudmyla et al., 2017 ) وهناك نوع من الاوركيد *Dienia ophrydis* فعال في تثبيط الخلية السرطانية بتركيز 43,58 مايكروغرام/ملتر واعطى المستخلص الكحولي اعلى منطقة تثبيط ضد البكتريا العنقودية *S.aureus* و *E.coli* تصل إلى 14 و 13 ملتر و اعطى نسبة عالية كمضاد أكسدة تصل إلى 90% (Tinoammini et al, 2025) كما ان المستخلص المائي ومستخلص الايثر ومستخلص البيوتانول لنبات الاوركيد اعطت فعالية تثبيطية جيدة ضد بكتريا *E.coli* و *S.aureus* و بكتريا السل *Mycobacterium tuberculosis* وكانت قيمة التركيز المثبط الادنى MIC تساوي 104 ملغرام /ملتر ضد بكتريا السل . (Bhathagar &Ghosal, 2017)

ودراسة اخرى عن نوعين من الاوركيد إستخدمت الجذور والاوراق ووجد إن المستخلص المائي لم يعط أي فعالية تثبيطية ضد البكتريا *E.coli* و *S.aureus* و *P.aeruginosa* ولوحظت اعلى فعالية لمضادات الاكسدة في الاوراق المجففة للنوع *Anacamptis Palustris* نسبة 76,5% اما المركبات الفعالة في المستخلص المائي كانت Rutin و gallic acid و Epicatechin ومركبات phenolic فينولية (ozkan et al,2025) وهناك الاوركيد الذي يشبه الفراشة *phaelanopsis sp* يستخدم كمضاد للأكسدة ومضاد للمايكروبات وقد درست الفعالية المضادة للمايكروبات بطريقة البقع Spot للمستخلص الايثانولي والميثانولي للاوراق والسيقان والجذور المجففة ضد البكتريا *Bacillus S. aureus* والعائلة المعوية *Enterobacteriaceae* والكانديدا *Candida sp* اما الفعالية المضادة للاكسدة درست بواسطة قياس محتوى الفينولات والكلوروفيل والكاروتينات واعطت الجذور والاوراق نسبة عالية من مضادات الاكسدة والفعالية التثبيطية للاوراق كانت جيدة ضد البكتريا العنقودية *S. aureus* المقاومة للمضاد الحيوي الامبسلين اما السيقان اعطت فعالية تثبيطية عالية ضد بكتريا *Bacillus cereus* (Irimescu et al. , 2021) يعتبر نبات الاوركيد علاج لبعض الامراض الفطرية ومصدر مضاد للفطريات واثبت مستخلص الجذور والاوراق فعالية عالية ضد الكانديدا *Candida albicans* وكذلك الزهور ايضا فعالية عالية ضد الفطريات (Sityardi & Desrini , 2021) وهناك نوع آخر من الاوركيد *Dendrobium longicornu* يملك فعالية مضادة للسرطان عن طريق تحوير المواد المسرطنة بفعل الانزيمات او تغيير في تصنيع الهورمونات وتثبيط الخلية السرطانية عن طريق كبح تصنيع البروتين (Shukla et 2022) al., ودراسة أخرى تم التحري عن الفعالية السمية لسبع انواع برية من الاوركيد لها تأثير سمي للخلايا السرطانية البشرية Hela ووجد ان مشتقات الفينولات التي شخصت بواسطة جهاز GC-MS يحتوي على سمية عالية وقاتلة للخلايا السرطانية وان مستخلص *Dendrobium Vanda* اعطى سمية عالية ضد الخلية السرطانية Hela بجرعة سمية تساوي 382 و 317 مايكروغرام /ملتر على التوالي. (Joshi et al., 2020)

#### الاستنتاجات

تشير النتائج الى ان اكثر بكتريا حساسة للمستخلص الكحولي القلويدي لزهور نبات الاوركيد هي البكتريا العنقودية الذهبية *S.aureus* واعطت منطقة تثبيط 42 ملتر وايضا حساسة للمضاد الحيوي AMX عند التركيز 100 ملغرام /ملتر . اما بكتريا *P.aeruginosa* كانت حساسة للمستخلص الكحولي القلويدي ومقاومة للمضاد الحيوي AMX عند التركيز 100 ملغرام /ملتر وكانت قيمة التركيز المثبط الادنى (MIC) تساوي 25 ملغرام /ملتر لجميع العزلات البكتيرية المسببة لالتهاب المجاري البولية لذلك ممكن استخدام زهور نبات الاوركيد لعلاج حالة التهاب المجاري البولية .

## التوصيات

يوصى بأجراء تجارب أخرى عن مستخلصات نبات الاوركيد ضد انواع مختلفة من البكتريا مثل Pneumoniae Streptococcus المسببة للالتهابات الرئوية وبعض الفطريات مثل Trichophyton المسببة للالتهابات الجلدية .

## المصادر

- Adrita & Arpana., M. (2025). Healing blooms The medicinal power of orchids . Plants , Vol (13) : 1890. Dol : <https://www.doi.org/10.22271/plants.2025.VI3.i4.d.1890>.
- Amiri, F.; Safiri, S. and Arshi, S. (2025). Epidemiology of urinary tract infections in the Middle East and North Africa 1990–2021. Tropical Medicine. and Health, 53 (16). <https://doi.org/10.1186/541182-025-00692-x>.
- Banu., K. S & Cathrine, L. (2015). General techniques involved in phytochemical analysis. International Journal of Advanced Research. inchemical Science, 2 (4): 25–32.
- Bhathagar M. and Ghosal, S. (2017). Antibacterial and Antimycobacterial Activity of Medicinal orchid of Arunachal pradesh. International Journal of pharmaceutical Sciences and Research. IJPSR, 9(2): 712–717. Dol: 10.13040/IJPSR.0975-8232.
- Chase, M. w; Cameron, K.M; John V.; Pridgeon, M. et al(2015) An updated classification of orchidaceae. Botanical Journal of the Linnean Society.vol (177)Issue (2) :151 – 174.
- Dhanda, S.; Caromel, A.; Govaerts, R., Pavitt , et al. (2022). CTTES Appendix II orchid check list Royal Botanic Gardens, Kew, Surrey, and UNEP – WCMC, Cambridge.
- Flores – Mireles, Al; Waker JN; Caparon M., Hultgren SJ.(2015) Urinary tract infections: epidemiology, mechanisms of infection and treatment options. Nature Reviews Microbiology, 13 (5): 269–284 doi: 10.1038 /nrmicro 3432. Epub 2015.
- Hossain, M.M. (2011). Therapeutic orchids traditional uses and recent advances. Fitoterapia, 82 (2): 102 – 140 Dol: 10.1016/J. fitote. 2010.09.007.

- Irimescu, L.S; Guerreroolivares, C.; preda, C.I and Diguta, C. F. (2021). Characterisation of the Antimicrobial and Antioxidant profile of *phalaenopsis orchid* wastes. *AgroLife Scientific Journal*, 10 (1): 101-108. Dol. 10. 17930 /AGL 202 1110.
- Joshi, P.R.; Paudel,M.R; Babo, M.; Wagner, S.H, et al. (2020). Cytotoxic effect of Selected wild orchid on two different human Cancer cell lines. *Heliyon*, Vol (6), Issue 5.
- Klein & Hultgren S.J. (2020). Urinary tract infection R.D Microbial pathogenesis and host Response. *Nature Reviews Microbiology*. 18 (4): 211-226. doi: 10.1038/s41579-020-0324-0.
- Lyudmyla, B.; Halyna, T.; Zbigniew, O., Lyudmyla, K. et al, (2017). The Antimicrobia properties of the various Extracts Derived From The pseudobubbles of coelogyne. *Speciosa (Blume) Lindl. (orchidaceae) against Staphylococcus aureus* *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Heal and Life Quality*. No (1): 1-7 ISSN: 2585-8246.
- Madhavamurthy, H; Chikkamadaiah, M.; Suryanarayana, M. (2023). Screening of Biological Activity of selected Medicinal orchids of western Ghats, Karnataka, India.. *Theranostics and pharmacological Sciences*, 5(2), 22 - 31. doi.org/10.36922/itps, 239.
- Ozkan, A. I; Gultekin, D.C; Soruklu, S. and. Isik, U. (2025). Evaluation of antibacterial, antioxidant activities and Secondary metabolites Profile of orchids with different dried methods. *Journal of Research in pharmacy*, 29 (6); 23 49 -23 60. Dol: 10.12991/jrespharm. 1797852.
- Pant ,B. (2013). Medicinal orchids and their uses: Tissue culture a potential alternative for conservation. *African Journal of plant science*, 7(10):448-467 Dol: 10.58 97/ AJPS 2013.1031.
- Paul, p.; chowdhury, A; Nath, D and Bhattacharjee M.K. (2013). Antimicrobial efficacy of orchid extract as potential inhibitors of antibiotic resistant Strains of *Escherichia coli*. *Asian Journal of Pharmaceutical and clinical Research*, 6(3): 108-111.

- Rahaman, S.; Hashine, M.; Sultana, S.; Bhuiyan, M. et al, (2024). Evaluation of in vitro Antimicrobial Cytotoxic, Thrombolytic, and Antiarthritic property of Different parts of Bari orchid. Evid Based complement Alternat Med. Vol (30), doi: 10.1155/2024/8148610. resources a Scoping review. Indonesian Journal of pharmacology and Therapy (IJP Ther.), 2 (3):124–135.
- Sarvanan, K.; prabha, L.; Chidambaram, K; Subramanian, A. (2023). Exploring the Antibacterial potential of orchid-derived Silver Nanoparticles. Biomedicine and Engineering, 15(4): 416–424. doi.org/10.26599/NBE.2023.9290038.
- Shukla M.K; Singh M; Thakur, A. and Verma, R. (2022). Unravelling the Therapeutic potential of orchid plant against cancer. South African Journal of Botany, 150 (4): 69–79.
- Singh, S.; Singh, K.A; Kumar, S.; Kumar, M. et al. (2012). Medicinal properties and uses of orchids a concise review. Elixir Appl. Botany, vol (52): 11627–11634.
- Sityardi, F.S & Desrini, S. (2021). Potential of orchids as antifungal agent resources a scoping review. Indonesian Journal of pharmacology and Therapy (IJP Ther), 2(3) : 124–135.
- Tinoammini N.; Aazhivaendhan, G.; Maharaja, S. and Kumar, S. T. (2025). Anticancer, antioxidant and antibacterial activity of the medicinal orchid *Denia ophrydis* (J. Koenig) Seidenf. Journal of phytology, Vol(17): 9730. Dol: <https://doi.org/10.25081/jp.202517.9730>.
- Wati, K, R; Esmee, G ; Graff, D; Bogarin, D. et al. (2020) Antimicrobial Activity of Necklace orchids is phylogenetically clustered and can be predicted with a Biological Response. Method. Front pharmacol. vol (11) doi.org/10.3389 | | Phar 2020.586345.

## **Doherty Power Amplifiers in CMOS Technology for 5G Millimetre-Wave Applications: Architectures, Design Techniques, and Performance Trade-offs**

**Abdulmunam Abtan<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>**Scientific Research Commission, Higher Education and Scientific Research Ministry, Baghdad, Iraq**

<sup>2</sup>**Electronic, Electrical & Computer Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran**

**Email: munam.net@gmail.com.**

**[Abdulmunam.o.abtan@src.edu.iq](mailto:Abdulmunam.o.abtan@src.edu.iq)**

**Phone Number: +9647800635454**

**Sirous Toofan<sup>2</sup>**

<sup>2</sup>**Electronic, Electrical & Computer Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran**

**Email: s.toofan@tabrizu.ac.ir**

**Phone Number: +989125948476**

**Ziaddin Daie Kuzekan<sup>2</sup>**

<sup>2</sup>**Electronic, Electrical & Computer Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran**

**Email: zdaie@tabrizu.ac.ir**

### **Abstract:**

Fifth-generation (5G) wireless networks in the millimetre-wave (mm-wave) frequency range have proliferated rapidly and placed demanding and simultaneous requirements on the RF power amplifiers (PAs), such as high power-added efficiency (PAE), sufficient output power, good linearity, and wide instantaneous bandwidth. The current power amplifier architectures are not ideal; therefore, active load modulation for the Doherty Power Amplifier (DPA) can be considered the most suitable alternative by balancing all competing demands that may arise from complementary metal-oxide semiconductor (CMOS) technology. This study provides an abstract and rigorous analysis of all DPA designs, including the CMOS architecture for the 5G FR2 frequency assignment (24–43 GHz), and the results of the 17 selected CMOS schemes are from 2022 to 2026. These areas review: (i) technology-node trade-offs from bulk CMOS (90–28 nm), RF silicon-on-insulator (RF-SOI), and fully depleted SOI (FD-SOI) platforms; (ii) major paradigms regarding DPA architecture (two-way, N-way, series-Doherty; quasi-balanced; transformer-combined topologies);

and (iii) detailed quantitative comparison of key performance statistics—saturated output power ( $P_{\text{sat}}$ ), peak power-added efficiency ( $\text{PAE}_{\text{peak}}$  up to 38.2%), back-off PAE at 6 dB ( $\text{PAE}_{6\text{dB}}$  up to 34.5%), small-signal gain, and operating bandwidth. The results of this study reveal four primary design challenges: low transistor breakdown voltage; frequency-dependent passive component losses ( $Q = 10\text{--}20$ ) for bulk CMOS; linearity decay due to a high peak-to-average power ratio (PAPR) signal; and the complexity of multi-way power combining. To meet these constraints, the authors propose five main research directions: exploitation of sophisticated CMOS nodes and SOI substrates, hybrid N-way combining architectures, co-designed adaptive bias and digital predistortion, ultra-wideband load modulation networks, and extension of the Doherty principle to the sub-terahertz (sub-THz) region for 6G. The results are intended to serve as a structured reference for researchers and engineers involved in mm-wave CMOS front-end design.

**Keywords:** Doherty power amplifier; CMOS technology; 5G mm-wave; Power-added efficiency; Active load modulation; Transformer combining.

مضخمات القدرة دوهرتي في تقنية CMOS للتطبيقات المليمترية الجيل الخامس : المعمارية, تقنيات التصميم ومقايضة الأداء.

عبد المنعم عبطان<sup>2,1</sup>

<sup>1</sup>هيئة البحث العلمي, وزارة التعليم العالي والبحث العلمي, بغداد, العراق.

<sup>2</sup>قسم هندسة الالكترونيك, كلية الهندسة الكهربائية والحاسبات, جامعة تبريز, تبريز, ايران.

سيروس طوفان<sup>2</sup>

<sup>2</sup>قسم هندسة الالكترونيك, كلية الهندسة الكهربائية والحاسبات, جامعة تبريز, تبريز, ايران.

ضياء الدين دائي كوزكان<sup>2</sup>

<sup>2</sup>قسم هندسة الالكترونيك, كلية الهندسة الكهربائية والحاسبات, جامعة تبريز, تبريز, ايران.

#### الملخص

شهدت الشبكات اللاسلكية من الجيل الخامس (G5) في نطاق الترددات المليمترية (mm-wave) انتشاراً متسارعاً، مما فرض متطلبات صارمة ومتزامنة على مضخمات استطاعة الترددات الراديوية (RF PAs)، مثل كفاءة الاستطاعة المضافة العالية (PAE)، واستطاعة الخرج الكافية، والخطية الجيدة، وعرض النطاق الترددي اللحظي الواسع. ونظراً لأن بني مضخمات الاستطاعة الحالية ليست مثالية، فإن تعديل الحمل النشط لمضخم استطاعة "دوهرتي" (DPA) يُعد البديل الأنسب لموازنة جميع المتطلبات المتنافسة التي قد تنشأ عن استخدام تقنية أشباه الموصلات المتكاملة من أكسيد المعدن المكمل (CMOS). تقدم هذه الدراسة تحليلاً مجرداً ودقيقاً لجميع تصميمات مضخمات "دوهرتي"، بما في ذلك بنية CMOS المخصصة لتوزيع ترددات الجيل الخامس (FR2) في النطاق (24-43 جيجاهرتز)، كما تستعرض نتائج 17 نظاماً مختاراً لتقنية CMOS في الفترة من 2022 إلى 2026. وتغطي هذه المجالات مراجعة ل:

(1) مقايضات عقد التقنية (technology-node trade-offs) بدءاً من تقنية CMOS التقليدية (Bulk) (90-28 نانومتر)، ومنصات السيليكون على العازل للترددات الراديوية (RF-SOI)، والسيليكون على العازل المستنزف كلياً (FD-SOI).

(2) النماذج الرئيسية المتعلقة بمعمارية مضخمات "دوهرتي" (ثنائية المسار، متعددة المسارات N-way، "دوهرتي" المتسلسل، البني شبه المتوازنة، وطوبولوجيا الدمج باستخدام المحولات).

(3) مقارنة كمية مفصلة لإحصاءات الأداء الرئيسية، والتي تشمل: استطاعة الخرج المشبعة ( $P_{sat}$ )، وذروة كفاءة الاستطاعة المضافة ( $PAE_{peak}$ ) التي تصل إلى 38.2%، وكفاءة التراجع (Back-off PAE) عند 6 ديسيبل ( $PAE_{6dB}$ ) التي تصل إلى 34.5%، وكسب الإشارة الصغيرة، وعرض نطاق التشغيل.

تكشف نتائج هذه الدراسة عن أربعة تحديات تصميمية أساسية: انخفاض جهد الانحياز للترانزستور؛ وخسائر المكونات الخاملة المعتمدة على التردد (عامل الجودة  $Q = 10-20$ ) في تقنية CMOS التقليدية؛ وتدهور الخطية الناتج عن الإشارات ذات نسبة استطاعة الذروة إلى المتوسط (PAPR) العالية؛ وتعقيد دمج الاستطاعة متعدد المسارات. ولمواجهة هذه القيود، يقترح المؤلفون خمسة توجهات بحثية رئيسية: استغلال عقد CMOS المتطورة وركائز SOI، وبنى الدمج الهجينة متعددة المسارات، والتصميم المشترك للانحياز التكميلي والتشويه المسبق الرقمي، وشبكات تعديل الحمل فائقة عرض النطاق، وتوسيع مبدأ "دوهرتي" ليشمل منطقة ما دون التراهرتز (sub-THz) لتقنيات الجيل السادس (G6). تهدف هذه النتائج إلى أن تكون مرجعاً هيكلياً للباحثين والمهندسين العاملين في تصميم الواجهات الأمامية لتقنية CMOS للموجات المليمترية.

#### الكلمات المفتاحية:

مضخم استطاعة دوهرتي؛ تقنية CMOS؛ الموجات المليمترية للجيل الخامس (G mm-wave5)؛ كفاءة الاستطاعة المضافة؛ تعديل الحمل النشط؛ الدمج باستخدام المحولات

## 1. Introduction:

It has been proposed that 5G New Radio (NR) can be installed in the FR2 (24.25–43.5 GHz) allocation, and it is a qualitative redesign on the design demand of the RF power amplifier. Instead of a sub-6 GHz PA, a mm-wave design is necessary to achieve the high efficiency, desired output power, wide instantaneous bandwidth, and strong linearity of the high-end OFDM waveform (Pashaeifar et al., 2022; Zhang et al., 2024). Peak-to-average power ratio (PAPR) for 5G NR signals using 64-QAM and 256-QAM constellations is often higher than 8–12 dB (Zhang, Li, Huang, et al., 2023), causing classical Class-A and Class-AB PAs to operate below their saturation under real modulated-signal conditions. This efficiency collapse at power back-off (PBO) makes these systems energetically incompatible with battery-operated user equipment (UE) and thermally constrained small-cell systems (Ibrahim, 2025; Mariappan, Rajendran, Idros, Hamid, et al., 2025). The Doherty Power Amplifier (DPA), originally proposed by William H. Doherty in 1936 (Doherty, 1936), deals with this problem through the smart active load modulation mechanism (Azimi-Roein et al., 2025; Pashaeifar et al., 2022). Through continuous changes of the impedance measured by the main (carrier) amplifier dependent on the instantaneous envelope power, in combination with an adaptive (peaking) amplifier's-controlled supply of current to the impedance, the DPA allows for a high drain efficiency at peak power and a power back-off stage for a specified power level (Pashaeifar et al., 2022; Zhang et al., 2024). The CMOS technology is considered the best form of system integration for mm-wave DPAs, achieving a better integration density, lower manufacturing costs, and direct integration into 5G NR signal processing and digital baseband (DBS) block circuit (Pashaeifar et al., 2022; Zhang et al., 2024). Advanced bulk CMOS nodes (28–40 nm) can have transistor transition frequencies ( $f_T$ ) above 250 GHz, with large gain at 28 GHz and several cascaded stages (Jahan et al., 2025). Even as Fully Depleted SOI (FD-SOI) processes exhibit a buried-oxide layer that reduces substrate losses and increases a passive component's quality factor (Q), its fabrication cost is higher (Diverrez et al., 2026). Nevertheless, CMOS DPA architectures for mm-wave frequencies are challenged by such factors as low transistor breakdown voltages (1.0–1.8 V), low transconductance compared to III-V technologies, and high insertion losses of on-chip passive systems (Zhang et al., 2024). A handful of recent review papers consider sub-sets within the design space, but no quantitative studies for the entire spectrum of CMOS node types, DPA architectures, and performance metrics from 2022 to 2026. To

bridge this gap, this paper performs a systematic review of 17 top CMOS-based DPA implementations. Thus, the major findings of this research are: (i) a detailed study on and comparison of technology node trade-offs in eight selected CMOS platforms for mm-wave PA (MWPA) implementation, (ii) a taxonomy of DPA architectural paradigms with quantitative performance analysis, (iii) 17 high-level comparison table by implementation from 2022 to 2026, (iv) a determination and root-cause analysis regarding four important design difficulties, and (v) five research suggestions for the next generation of mm-wave CMOS DPAs in sub-THz operation for 6G operation; the rest of the paper is organized by the following structure. Section 2 presents the CMOS architecture for mm-wave PA technology landscape. Next is Section 3 which reveals DPA architectures and important design strategies. The most recent performance comparisons and trend analysis is presented in Section 4. Section 5 focuses on relevant challenges and research gaps. Section 6 focuses on future work. Section 7 conclusion and recommendations

### 1.1. Research Problem

While recent work identified successful advances in individual mm-wave CMOS Doherty power amplifier designs, the literature still does not yet have a centralised review in the scope of the 2022–2026 design space across architectures, performance measurements, and semiconductor platforms. Current reviews are usually constrained to certain forms of topologies, isolated frequency bands, or partial technology-node comparison, and therefore, cross-study benchmark comparison is challenging. This poses a research issue for designers investigating a consolidated evidence base to evaluate trade-offs between efficiency, output power, Bandwidth, Linearity, and technology scaling at 5G FR2 frequencies. Thus, the proposed paper aims to address the lack of a full quantitative study of CMOS DPA designs spanning 24–43 GHz and technology nodes from 90-nm bulk CMOS to 28-nm FD-SOI.

### 1.2. Research Importance

Efficient mm-wave power amplifiers are central to the practical deployment of 5G FR2 systems because they directly affect transmitter energy efficiency, thermal management, and achievable link performance. The Doherty

architecture is especially important in CMOS because it offers a viable method for preserving efficiency under the high-PAPR operating conditions of modern OFDM signals while maintaining the integration and cost advantages of silicon technology. A systematic review of CMOS DPA developments is, therefore, valuable for both researchers and circuit designers seeking evidence-based guidance on architecture selection and technology-node trade-offs. The present study is important because it organises recent progress into a structured comparative framework and highlights the most consequential design bottlenecks and future directions.

### 1.3. Research Objectives

- To provide a systematic review of CMOS-based Doherty power amplifier implementations reported for mm-wave 5G applications during 2022–2026.
- To compare technology-node trade-offs across bulk CMOS, RF-SOI, and FD-SOI platforms relevant to 24–43 GHz operation.
- To classify and analyse major DPA architectural paradigms, including two-way, N-way, series-Doherty, quasi-balanced, and transformer-combined topologies.
- To benchmark reported implementations quantitatively using saturated output power, peak PAE, 6-dB back-off PAE, gain, and bandwidth.
- To identify major design challenges and derive future research directions for next-generation mm-wave and sub-THz CMOS DPAs.

### 1.4. Research Scope/Limits

The scope of this paper is restricted to CMOS-based Doherty power amplifier implementations and does not try to review non-CMOS PA technologies as the target. A frequency scope is fixed around the 5G FR2 range between 24 and 43 GHz, but only for selected high-frequency cases, which are cited as a guide in future studies. The date range includes the period 2022 to 2026, and the technology review covers a mix of implementations from 90-nm bulk CMOS to 28-nm FD-SOI. This means that the paper should be regarded as a targeted

systematic review for new silicon-based DPA design for mm-wave 5G applications, and not as a general survey of all RF power amplifier technologies.

### 1.5. Research Hypotheses

- H1: Advanced SOI-based CMOS DPA implementations perform better than comparable bulk CMOS implementations in back-off efficiency, reflecting superior passive quality factors and lower substrate losses .
- H2: Series-Doherty and transformer-based architectures yield better wideband efficiency performance at mm-wave frequencies than the traditional narrowband Doherty combining methods .
- H3: Multi-way CMOS DPA configurations can improve saturated output power for 5G FR2 applications, but at a higher complexity in combining and tighter phase-matching requirements.

### 1.6. Previous Studies

The prior studies which have preceded this review are not unrelated to this review, since they contain essential architectural and benchmarking baselines in the existing literature, where, among the most important, they were reported:

- Pashaeifar, M., de Vreede, L. C., Alavi, M. S. (2022) A series-Doherty millimetre-wave CMOS power amplifier with post-silicon inter-stage passive validation. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 57(10), 2999–3013.
- Mariappan, S. et al. A 28-GHz CMOS-65 nm dual-mode Class-J Doherty power amplifier integrated with Class-G driver and impedance-modulated-quadrature-transformer with 21% back-off efficiency. *IEEE Access*, 13, 17236-17245. This study demonstrated that auxiliary circuit techniques, including Class-G driver and IMQT combiner, can enhance the back-off performance of a 28-GHz CMOS process.
- Jahan, N., Anan, R., Nazia, J. M. (2025). Efficient mmWave PA in 90 nm CMOS: stacked-inverter topology, L/T matching, and EM validated results. *Chips*, 4(4), Article 52. This paper provided evidence that older CMOS nodes

may be applicable at mm-waves with stacking and EM-validated passive architecture supported.

- Diverrez, G., Kerhervé, E., De Matos, M., & Cathelin, A. The theoretical analysis and design of a 22–44 GHz quasi-balanced Doherty power amplifier that outperforms wideband PAE mode with a 3:1 VSWR tolerance in 28 nm FD-SOI CMOS. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*. Finally, this model has set a notable FD-SOI benchmark for octave-band Doherty operation, and the wideband advantages for quasi-balanced load modulation have been demonstrated.
- Anonymous. (2025). A 28-GHz DAT-based four-way Doherty power amplifier with 22.6 dBm  $P_{sat}$  and 0.48 W/mm<sup>2</sup> power density. *IEICE Electronics Express*. This study highlighted the application of DAT-based four-way combining for compact high-power-density CMOS designs.
- Liu, E., and Wang, H. A broadband four-way parallel–series Doherty power amplifier for 5G communications. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 59(5), 1312–1322. This paper showed one of the best joint output power and back-off efficiency results in the surveyed set, highly stimulating hybrid multi-way designs.

### 1.7. Research Tools

The study uses a systematic literature review as its primary research tool in order to collect and organise published CMOS DPA designs relevant to 5G FR2 operation. It also employs quantitative benchmarking tables to compare reported results across frequency, output power, efficiency, gain, and technology node. EM simulation validation data reported in the cited studies are used indirectly as part of the comparative evidence base for assessing passive network credibility and implementation realism. In addition, performance trend analysis is applied to identify recurring architectural strengths, limitations, and emerging directions across the surveyed works.

### 1.8. Research Methodology

This paper adopts a systematic review and comparative analysis methodology focused on published CMOS Doherty power amplifier implementations. Relevant studies are selected from the recent literature and compared using a common set of quantitative performance indicators, including  $P_{sat}$ , peak PAE, back-off PAE, gain, bandwidth, operating frequency, and technology node. The methodology combines descriptive architectural classification with cross-paper benchmarking to reveal design trade-offs and research gaps. It further interprets the reported results in light of device-level constraints, passive-network limitations, and integration considerations specific to 5G FR2 mm-wave CMOS design

## 2. CMOS Technology for mm-Wave 5G Power Amplifiers

Selecting the technology node of CMOS plays a crucial role in deciding how a mm-wave power amplifier should perform. Four parameters together constitute the basic performance envelope: the transistor transition frequency ( $f_T$ ), maximum oscillation frequency ( $f_{max}$ ), the supply/breakdown voltage, and quality factors for built-in passive modules (Sheng et al., 2025). These features exhibit opposing trends as the technology node scales; advancing nodes deliver higher  $f_T/f_{max}$  but impose lower breakdown voltages and sparser passive component performance, which implies that the technology selection in question has to depend greatly on the target application (Jahan et al., 2025; Pashaeifar et al., 2022; Rack & Raskin, 2021). Table 1 and Fig. 1 show a complete comparison of eight technology nodes applicable to mm-wave PA design.

### 2.1. Bulk CMOS Technology

Bulk CMOS has proven to be the most cost-effective and widely adopted platform for mm-wave PA integration due to its mature manufacturing ecosystem and the existence of well-characterised design kits for digital, analogue, and RF circuits (Mariappan, Rajendran, Idros, Hamid, et al., 2025;

Mariappan, Rajendran, Idros, Manaf, et al., 2025; Pashaeifar et al., 2022). Fr can exceed 280 GHz and 250 GHz on advanced nodes like 28 nm and 40 nm, respectively, allowing sufficient gain at 28 GHz with cascaded common-source stages (Diverrez et al., 2026; Zhang et al., 2024). At 65 nm and 90 nm, the gain margin at 28 GHz is tighter but still achievable for cascode configurations and distributed amplification techniques (Jahan et al., 2025). However, bulk CMOS substrates suffer from significant resistive losses due to capacitive coupling into the lightly doped p-type substrate, resulting in a low-quality factor of integrated inductors and transformers to  $Q \approx 10-20$  at mm-wave frequencies (Mariappan, Rajendran, Idros, Manaf, et al., 2025; Rack & Raskin, 2021). This passive loss directly reduces the insertion loss in matching, combining, and impedance transformation networks, consuming efficiency that would otherwise appear in the PA output. The low supply voltage required by device reliability standards (1.0–1.8 V, node-dependent) restricts the maximum RF output voltage swing per transistor, therefore requiring extensive power-combining techniques to achieve system-level output power targets of 20–26 dBm for 5G small cells (Zhang et al., 2024). Stacked transistor configurations (Diverrez et al., 2026; Mariappan, Rajendran, Idros, Manaf, et al., 2025) and transformer-based power combiners, such as the Distributed Active Transformer (DAT), have been developed as the main solutions to overcome this output power challenge (Cui et al., 2025; Sheng et al., 2025).

## 2.2. RF-SOI and FD-SOI Technology

Silicon-on-Insulator (SOI) technology seeks to mitigate the loss-of-substrate problem with a buried oxide (BOX) layer that electrically separates the active transistor region from the lossy substrate. This structural specification leads to an enhanced  $Q$  of 25–35 on integrated passive components at mm-wave frequencies, which is a 1.5–2× increase compared to bulk CMOS. Moreover, the removal of substrate coupling decreases the drain-to-substrate capacitance,

improving the performance of the transistors and diminishing the  $f_T$  degradation at high current densities. The effective breakdown voltage is also significantly greater in SOI (usually between 1.5–2.5 V), which allows for easier configuration of output matching network design and reduces power-combining complexity (Diverrez et al., 2026; Lhomel, 2025). Fully Depleted SOI (FD-SOI) has a second advantage, with an updated "body" contact, which permits responsive threshold voltage tuning with no process modifications implemented, both from 22 nm and 28 nm nodes. This back-biasing enables the circuit designer to balance on-site circuit speed and power consumption, which is of great advantage, especially for a dynamic enhancement of efficiency in DPA auxiliary stages (Cui et al., 2025; Saraswat & Arrawatia, 2023). The Doherty quasi-balanced design of 28 nm FD-SOI by (Diverrez et al., 2024, 2026; Mayeda et al., 2019) captures these benefits and offers a 22–44 GHz operating performance with  $PAE_{6dB} = 24\%$  with 3:1 VSWR mismatch tolerance, achieving performance levels that would be far more challenging to obtain in bulk CMOS. The major drawback for widespread adoption of FD-SOI is obviously the substantially higher fabrication cost compared to bulk CMOS, which has needed to be offset with the higher performance requirements of the target application (Diverrez et al., 2026; Martineau et al., 2022).

Table 1. Technology Node Comparison for mm-Wave PA Design.

Technology Node	$f_T$ (GHz)	$f_{max}$ (GHz)	BV (V)	Passive Q	Rel. Cost	Primary Limitation	Key Refs.
Bulk CMOS 180 nm	50-80	60-100	1.8-3.3	5-10	Lowest	Low $f_T$ , high passive loss	S.Mariappan, N. Jahan
Bulk	80-	100-	1.2-	8-15	Lowest	Moderate	S.Mariappan,

CMOS 130 nm	100	150	1.5			fT, substrate loss	N. Jahan
Bulk CMOS 90 nm	100-150	150-200	1.0-1.2	10-15	Very Low	Limited gain at 28 GHz	S.Mariappan, N. Jahan
Bulk CMOS 65 nm	150-200	180-250	1.0-1.2	10-20	Low	Passive Q, low BV	S.Mariappan, N. Jahan
Bulk CMOS 40 nm	>250	250-300	1.1-1.3	10-20	Low	Low BV, combining needed	S.Mariappan, N. Jahan
Bulk CMOS 28 nm	280-320	320-380	1.0-1.2	15-20	Low	Low BV, substrate coupling	S.Mariappan, N. Jahan
RF-SOI 45 nm	250-300	300-400	1.5-2.5	25-35	High	Cost vs bulk CMOS	S.Mariappan, M. Rack, P. M. Asbeck
FD-SOI 22/28 nm	300-350	350-450	1.5-2.0	25-35	Very High	High cost, limited availability	S.Mariappan, G. Diverrez

BV = breakdown voltage; Q = passive component quality factor at mm-wave frequencies. FD-SOI = Fully Depleted Silicon-on-Insulator; RF-SOI = Radio-Frequency SOI.

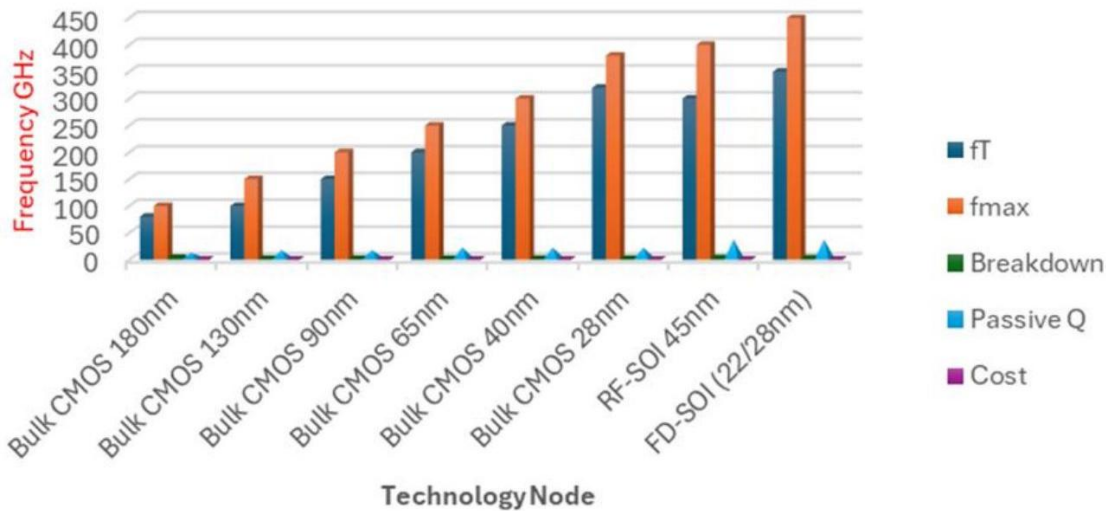


Fig. 1. CMOS technology node performance comparison

on for mm-wave applications:  $f_T$ ,  $f_{max}$ , and passive Q factor versus technology node, illustrating the performance-cost trade-offs across eight representative process platforms.

### 3. Doherty PA Architectures and Design Techniques

Realising a Doherty Power Amplifier at mm-wave frequencies imposes strict requirements on the combining network design, impedance transformation ratio, and inter-path phase alignment. Classical transmission-line implementations of the impedance-inverting network centred on the quarter-wave ( $\lambda/4$ ) line are inherently narrowband and physically large at 28 GHz, where  $\lambda/4$  corresponds to approximately 2.7 mm in silicon dioxide. These constraints motivate the adoption of transformer-centric and synthesised network approaches in integrated circuit realisations at mm-wave frequencies (Pashaeifar et al., 2022; Zhang, Li, & Chi, 2023).

#### 3.1. Fundamental Two-Way Architecture

The canonical two-way DPA is summarised in Fig. 2, showing the main (carrier) amplifier, auxiliary (peaking) amplifier,  $90^\circ$  input power splitter, and quarter-wave ( $\lambda/4$ ) impedance inversion network at the output. Active load modulation sustains high efficiency at both peak power and 6-dB back-off, which includes the main (carrier) amplifier and auxiliary (peaking) amplifier driven in parallel from a common input signal. To have phase coherence at the output combining node, the input signal is split by a  $90^\circ$  power splitter, through

which the phase-shifted path is assigned to the auxiliary stage. By means of a quarter-wave ( $\lambda/4$ ) impedance inversion network, the outputs of both stages are joined to form the active load modulation effect. When the auxiliary stage is not activated, the impedance at the combining node is high and is the source of load impedance, which reaches  $2R_0$  (doubling its optimum) to the main amplifier, resulting in the peak efficiency point of the main amplifier shifting to lower output power levels and subsequently maintaining the high drain efficiency during back-off operation. At peak power, both stages are active at the same time; the load to each amplifier is combined to give  $R_0$ , and maximal power output is delivered. Thus, the typical dual-peak efficiency profile emerges, which is peak behaviour at full power and at the 6-dB back-off, a fundamental departure from conventional single-peak PA behaviour (Azimi-Roein et al., 2025; Mariappan, Rajendran, Idros, Manaf, et al., 2025; Moreno Rubio & Noori, 2024).

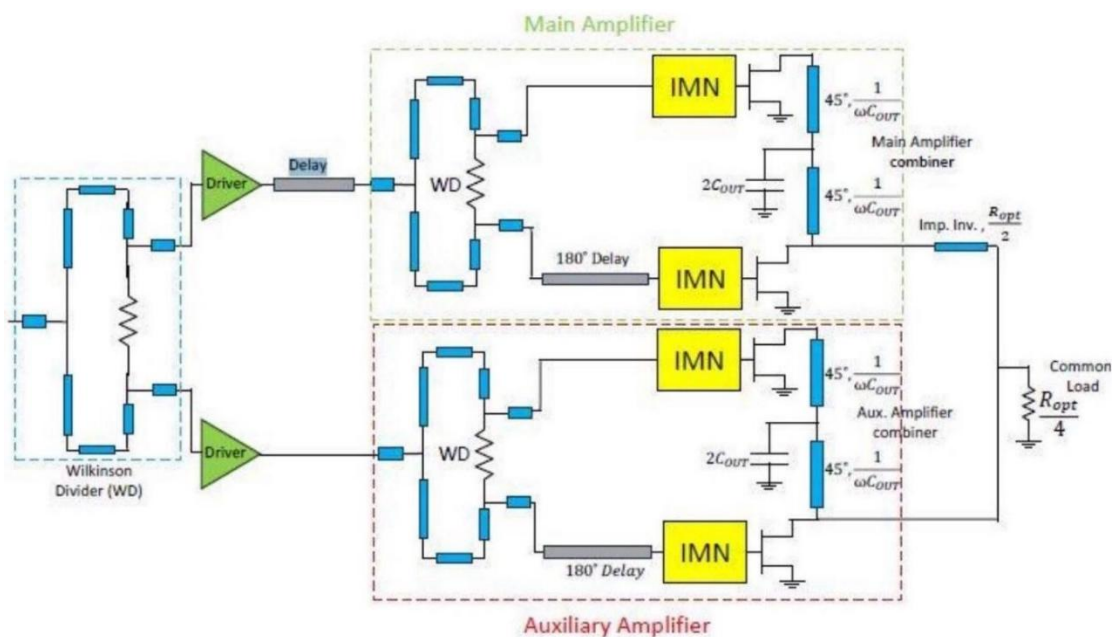


Fig. 2. Fundamental architecture of the two-way Doherty Power Amplifier (DPA) (Moreno Rubio & Noori, 2024).

### 3.2. Transformer-Based Combining Networks

Transformer-based combining is the leading passive strategy used for mm-wave DPAs in CMOS. The basic benefit here is the fact that both the impedance transformation and power combining actions are performed within compact die surfaces with the same on-chip transformer, and it eliminates the need for distinct matching networks between the combining phase and the 50- $\Omega$  load (Azimi-Roein et al., 2025; Mariappan, Rajendran, Idros, Manaf, et al., 2025; Wang et al., 2025). This duality contributes to lower insertion loss and die area than cascaded single-function passive networks. Critical design parameters of on-chip transformers at mm-wave frequencies are: the magnetic coupling coefficient ( $k$ ), which determines the efficiency of power transfer; self-resonance frequency (SRF), which must be above maximum operation frequency with enough margin; and inter-winding capacitance ( $C^0$ ), which develops parasitic coupling paths, reduces isolation and bandwidth at high frequencies (Hassan & Lavasani, 2025; Wang et al., 2025). Due to the inadequacy of closed-form models for precise mm-wave prediction on these three parameters, it is essential to be careful about optimising them through full-wave electromagnetic (EM) simulation (Drakakis et al., 2025; Hassan & Lavasani, 2025). The incorporation of a switchable or tunable capacitor array at the transformer terminals depicted in Fig. 3 allows dynamic reconfiguration of the effective load network, enabling the high-efficiency range to be extended across a larger power or frequency range (Azimi-Roein et al., 2025; Zhang et al., 2024). This means that even though it adds circuit complexity, this adaptive approach delivers a performance adaptability that is extremely beneficial for multi-band and carrier aggregation applications. The transformer simultaneously performs impedance transformation and power combining, while the tunable capacitor bank adjusts the effective load for back-off efficiency optimization across different operating conditions (Azimi-Roein et al., 2025).

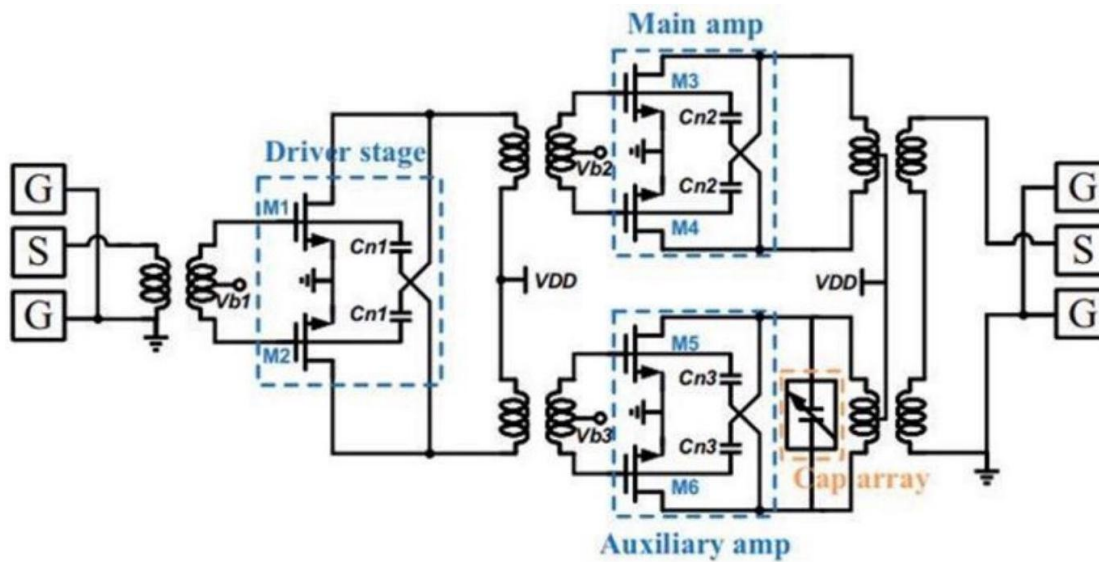


Fig. 3. Schematic of a transformer-based Doherty PA incorporating a switchable capacitor array for dynamic load modulation enhancement (Azimi-Roein et al., 2025).

### 3.3. N-Way and Multi-Way Configurations

N-way Doherty topologies increase the high-efficiency back-off range by using multiple auxiliary amplifiers that are biased to turn on at staggered input power thresholds. The three-way configuration shown in Fig. 4, with two auxiliary stages configured to engage at  $-6$  dB and  $-12$  dB back-off from peak power, respectively, creates three unique high-efficiency operating points across the dynamic range (Azimi-Roein et al., 2025; Que et al., 2024). This staggered activation profile results in an efficiency curve with multiple peaks that are aligned with the dominant amplitude probability density function (APDF) of 5G NR high-PAPR signals and thus maximises the statistical probability that the PA operates near a peak-efficiency point during realistic modulated signal transmission. Four-way implementations reported herein achieve saturated output power ( $P_{\text{sat}}$ ) values from 21.5 dBm to 26.5 dBm in CMOS, directly addressing the limited per-device power of scaled transistors. The primary design challenge in N-way configurations is maintaining accurate phase and

amplitude matching among all paths, as even small deviations ( $< 5^\circ$  phase,  $< 0.5$  dB amplitude) degrade the combining efficiency and distort the efficiency profile (Azimi-Roein et al., 2025; Park et al., 2026; Zhang et al., 2024). Balun-based active load modulation networks have been shown to be an effective means of simplifying the combining network architecture while preserving broadband operation (Jia et al., 2024; Saraswat & Arrawatia, 2023). The three-way Doherty Power Amplifier topology uses a coupled inductor transformer realisation. The main amplifier and two auxiliary amplifiers are designed to activate at different power levels ( $-6$  dB and  $-12$  dB back-off), creating three high-efficiency peaks across the dynamic range to match the PAPR profile of 5G NR waveforms (Azimi-Roein et al., 2025; Que et al., 2024).

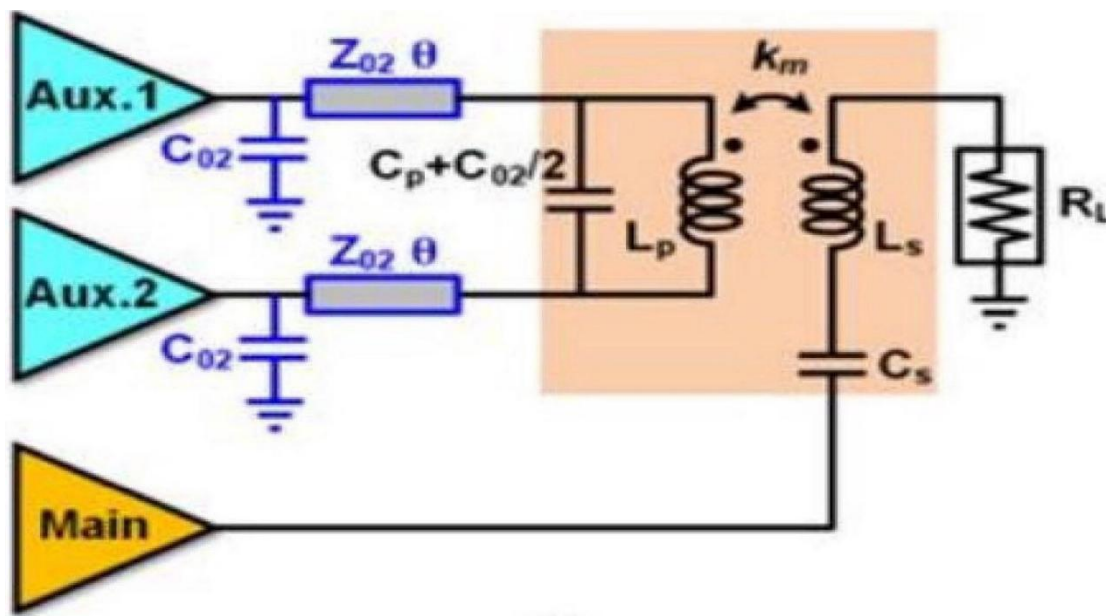


Fig. 4. Three-way Doherty Power Amplifier topology using coupled inductor transformer realisation (Que et al., 2024).

### 3.4. Series-Doherty Topology

The series-Doherty (voltage-combining) topology connects the main and auxiliary amplifier outputs in series through a centre-tapped transformer, rather than current-parallel combining at a common node. As shown in Fig. 5, the



with broadband impedance transformers, because the reduction of ITR relaxes the quality factor requirement of the combining passive network (Diverrez et al., 2026).

#### 4. State-of-the-Art Performance Comparison

Table 2 presents a systematic benchmarking of 17 CMOS DPA implementations published between 2022 and 2026, spanning technology nodes from 90-nm bulk CMOS to 28-nm FD-SOI and operating frequencies from 18 GHz to 100 GHz. The table records saturated output power ( $P_{\text{sat}}$ ), peak PAE ( $\text{PAE}_{\text{peak}}$ ), 6-dB back-off PAE ( $\text{PAE}_{6\text{dB}}$ ), small-signal gain, and the principal architectural innovation of each work. Values marked '—' were not reported by the respective authors. The compilation illustrates the rapid and diverse evolution of CMOS DPA design toward the stringent requirements of 5G FR2 and emerging 6G systems over the survey period.

Table 2. State-of-the-Art Performance Comparison of CMOS Doherty PAs (2022–2026)

Ref.	Year	Technology	Freq. (GHz)	Psat (dBm)	PAEpk (%)	PAE6dB (%)	Gain (dB)	Key Architecture / Innovation
(L. Li et al., 2026)	2026	65-nm Bulk	34	18.7	10.4	—	—	Linearity-enhanced DPA; hybrid analogue linearization
(Diverrez et al., 2026)	2026	28-nm FD-SOI	22-44	—	—	24.0	—	Quasi-balanced DPA; inductive load mod.; 3:1 VSWR;

								octave BW
(Liu & Wang, 2024)	2026	40-nm Bulk	18-38	20.2	24.8	16.7	—	2-way series Doherty; transformer-based 2nd-order output network
(Mariappan, Rajendran, Idros, Hamid, et al., 2025)	2025	65-nm Bulk	28	20.5	27.0	21.0	20.0	Dual-mode Class-J DPA; Class-G driver; IMQT combiner
(Wang et al., 2025)	2025	65-nm Bulk	26.5-29.5	—	—	14.6	17.5	DPA-LNA co-design; synthesised transformer-based MN
(Jahan et al., 2025)	2025	90-nm Bulk	38-94	8.7	18.4	—	10.0	Ultra-wideband stacked PMOS/NMOS inverter; L/T matching.
(Cui et al., 2025)	2025	40-nm Bulk	28	22.6	20.5	14.2	23.4	4-way 2-stage DAT-based DPA; 0.48 W/mm <sup>2</sup> power density
(Wei et al., 2026)	2026	28-nm Bulk	26-30	21.5	31.2	22.1	16.0	DAT-based 4-way DPA; high power density in 28-nm CMOS
(Zhang et	2024	45-nm SOI	47	24.0	26.8	21.7	—	4-way

al., 2024)								transformer-combined DPA at Ka/Q-band
(Jia et al., 2024)	2024	65-nm Bulk	24-36	24.4	32.4	—	—	Coupler balun-based active load mod.; broadband series DPA.
(Liu & Wang, 2024)	2023	45-nm CMOS	26-40	26.5	38.2	34.5	—	4-way hybrid parallel-series DPA; wideband power combining
(Wu et al., 2023a)	2023	65-nm Bulk	90-100	13.0	21.1	—	20.0	W-band PA; optimised transformer interstage; ML minimisation
(Zhao et al., 2023)	2023	65-nm Bulk	24.3-28.2	22.2	30.4	—	—	Pseudo-Doherty LMBA; Ka-band; gain flatness enhancement
(Mortazavi et al., 2022)	2023	40-nm Bulk	28	17.1	33.7	19.9	—	Transformer series DPA; 4-way digital polar Transmitter
(Pashaeifar et al., 2022)	2022	40-nm Bulk	24-32	20.4	38.2	34.0	17.4	Series DPA; 2-step

								impedance inversion; post-Si passive val.
(S. Li et al., 2022)	2022	40-nm Bulk	28	23.3	37.3	24.5	—	High-efficiency DPA; adaptive auxiliary PA biasing
(Zhang, 2024)	2022	40-nm Bulk	29.5	18.7	—	—	—	4-way series Doherty combiner (SDC); digital polar TX

IMQT = Impedance-Modulated Quadrature Transformer; DAT = Distributed Active Transformer; MN = Matching Network; LMBA = Load-Modulated Balanced Amplifier; TX = Transmitter; (—) = not reported by authors. All CMOS nodes are bulk unless otherwise indicated.

#### 4.1. Efficiency of Silicon-Based Designs

The data compiled in Table 2 reveal a wide but instructive dispersion in the efficiency figures reported for silicon-based Doherty PAs.  $PAE_{peak}$  spans from 10.4% in a linearity-optimised 65-nm design (L. Li et al., 2026) to 38.2% in both a four-way hybrid 45-nm CMOS topology (Liu & Wang, 2024) and a wideband series-Doherty implementation in 40-nm CMOS (Pashaeifar et al., 2022). This wide range reflects the fundamental three-way trade-off among bandwidth extension, linearity enhancement, and peak efficiency that governs CMOS PA design. When the comparison is restricted to 28-GHz-centric designs, the principal 5G NR FR2 deployment frequency  $PAE_{peak}$  narrows to a range of 20.5–37.3%, as reported in (Cui et al., 2025; S. Li et al., 2022; Mariappan, Rajendran, Idros, Hamid, et al., 2025), indicating meaningful and progressive optimisation at the transistor and network levels.  $PAE_{6dB}$  is arguably the more

operationally relevant metric, since 5G NR waveforms with PAPR of 8–12 dB require the PA to operate predominantly in the back-off regime. The surveyed  $PAE_{6dB}$  values range from 14.2% (Wu et al., 2023b) to 34.5% (Liu & Wang, 2024). The 28-nm FD-SOI quasi-balanced design achieves a competitive 24%  $PAE_{6dB}$  (Diverrez et al., 2026), confirming that the SOI substrate advantage in passive Q is directly convertible into back-off efficiency gain. Notably, no single design parameter simultaneously maximises  $PAE_{peak}$  and  $PAE_{6dB}$ ; the former is primarily determined by transistor-level biasing and load-line optimisation, while the latter is dominated by the insertion loss of the Doherty combining network and the accuracy of load modulation at the back-off operating point.

#### 4.2. Architectural Diversity and Prevailing Design Trends

Two architectural approaches dominate the literature surveyed, namely, series-Doherty topologies and transformer-based power-combining networks. The series-Doherty configuration produces a combined output impedance intrinsically close to  $50 \Omega$  at mm-wave frequencies, reducing the ITR of the output matching network and consequently its insertion loss. A two-way series-Doherty in 40-nm CMOS achieves continuous operation across 18–38 GHz (71% fractional bandwidth) with  $PAE_{6dB} = 16.7%$  (Wei et al., 2026), a fractional bandwidth that is unattainable with conventional quarter-wave transmission-line topologies. Transformer-based combiners simultaneously perform impedance transformation and power summation in a single passive element, eliminating the separate matching network and reducing die area (Cui et al., 2025; Mariappan, Rajendran, Idros, Hamid, et al., 2025). The integration of tunable capacitor arrays at the combiner further extends the high-efficiency range across a wider power and frequency span (Chen et al., 2026).

### 4.3. Power Scaling Through N-Way Combining

Low per-device power ceiling, a result of the nanoscale CMOS supply voltages, requires multi-way combining to deliver the output power levels required for 5G small-cell infrastructure. Four-way implementations in the survey reach  $P_{\text{sat}}$  in the range from 21.5 dBm (28-nm CMOS, DAT-based) (Cui et al., 2025) to 26.5 dBm (45-nm CMOS, hybrid topology) (Liu & Wang, 2024). Especially noteworthy is a design that combines  $P_{\text{sat}} = 26.5$  dBm with  $\text{PAE}_{\text{dB}} = 34.5\%$  across the frequency range of 26–40 GHz, confirming that when a combining network is rigorously synthesised, multi-way combining does not have to sacrifice efficiency or bandwidth. DAT architectures spread the combining function across several magnetically coupled transformer cells, effectively managing parasitic losses that would degrade a lumped combiner at the same combining order (Cui et al., 2025; Wu et al., 2023b).

### 4.4. Frequency Coverage and Sub-THz Exploration

Although the 28 GHz band rules the surveying room, there are a number of designs that can run much higher frequencies as well. The 90-nm stacked-inverter PA (Jahan et al., 2025) ranges from 38–94 GHz (71% fractional bandwidth) with  $P_{\text{sat}} = 8.7$  dBm and  $\text{PAE}_{\text{peak}} = 18.4\%$ , showing proof of concept for dual-standard 5G/6G PA use in silicon. A 65-nm W-band setup delivers  $P_{\text{sat}} = 13$  dBm along with  $\text{PAE}_{\text{peak}} = 21.1\%$  at 90–100 GHz (Wu et al., 2023b), indicating that a good matching between the interstage transformers can counteract some of the gain and efficiency roll-off to some extent at these frequencies.

### 4.5. Advanced Circuit-Level Performance Enhancement

Beyond topology selection, the surveyed designs deploy complementary circuit-level innovations that expand the performance envelope. The integration of a Class-G driver stage with an Impedance-Modulated Quadrature Transformer (IMQT) in a 65-nm CMOS DPA (Mariappan, Rajendran, Idros,

Hamid, et al., 2025) yields  $PAE_{6\text{dB}} = 21\%$  by dynamically reducing the driver supply voltage during back-off, cutting wasted dissipation. Transistor stacking in 90-nm CMOS (Jahan et al., 2025) distributes the RF swing across series PMOS/NMOS devices, enabling a higher effective supply voltage and per-cell output power. Adaptive auxiliary biasing (S. Li et al., 2022) modifies the quiescent current of the peaking transistor as a function of input power, smoothing the AM-PM distortion profile. The convergence of supply modulation, device stacking, adaptive biasing, and advanced impedance networks within a co-designed architecture represents the primary path to satisfying high-PAPR 5G NR linearity and efficiency specifications under realistic modulated-signal operating conditions.

## 5. Critical Challenges and Research Gaps

While Table 2 and Figs. 1–5 show significant improvements, the implementation of CMOS DPA in mm-wave 5G FR2 and other 6G configurations is still subject to the fundamental physical and circuit-level limitations.

### 5.1. Low Breakdown Voltage and Output Power Scaling

The intrinsic breakdown voltage of nanoscale CMOS transistors (1.0–1.8 V depending on the process node) directly limits the maximum RF output voltage swing and, thus, the peak output power achievable from a single transistor cell. Device reliability constraints in sub-40-nm processes restrict supply voltages to as low as 0.9 V, compressing the available power budget per combining cell. Bridging the gap between the per-device power budget and the 20–26 dBm system-level requirement for 5G small cells demands multi-way power combining with the attendant penalties of increased combining loss (60–80% efficiency at 28 GHz for transformer-based combiners), larger die area, and greater design complexity. Transistor stacking (Jahan et al., 2025; Lhomel, 2025) partially mitigates this by distributing the RF voltage swing across

cascode-configured series devices, but requires careful inter-device neutralisation and common-mode stability analysis at mm-wave frequencies. The DAT architecture distributes the combining function across magnetically coupled unit cells, yet remains susceptible to parasitic mismatch and magnetic coupling variation across process corners at 28 GHz (Cui et al., 2025; Wu et al., 2023b).

### 5.2. Wideband Operation and On-Chip Passive Losses

Maintaining highly effective active load modulation in the entire 5G FR2 band (24–43 GHz) is significantly hindered due to the frequency dependence of on-chip passive components. Bulk CMOS inductors and transformers show  $Q = 10\text{--}20$  at mm-wave frequencies (Rack & Raskin, 2021), due to skin effect losses in narrow metal interconnect layers and resistive coupling into the substrate. These losses are apparent in the form of insertion loss in the output matching and combining networks; this undermines the achievable PAE — crucially at 6-dB back-off, where a load modulation network has to accommodate the impedance introduced by a partially conducting auxiliary amplifier. Due to the frequency-dependent electrical length of the classical  $\lambda/4$  impedance inverter, the inherent narrowband constraint in the  $\lambda/4$  impedance inverter causes the load impedance seen by the main amplifier to deviate from the ideal value across the band. Multi-section synthesis, quasi-balanced structures (Diverrez et al., 2026), and series-combining transformers (Wei et al., 2026) have all been investigated as wideband alternatives, which involve different trade-offs when determining loss, bandwidth, and layout complexity.

### 5.3. Linearity Under High-PAPR Modulation

The Doherty load modulation mechanism intrinsically generates AM-AM and AM-PM nonlinearities at the transition point where the auxiliary amplifier begins to conduct, producing gain compression and phase deviation that are incompatible with the error vector magnitude (EVM) requirements of 5G NR

high-order modulation schemes. For 256-QAM OFDM waveforms, the EVM specification floor is typically below 32 dB, a degree of linearity that the uncompensated Doherty architecture cannot meet without supplementary linearization. Digital Predistortion (DPD) is the established sub-6 GHz base-station solution. Still, its extension to mm-wave is complicated by the need for wideband observation receivers, high-speed analogue-to-digital converters, and significant computational overhead, all of which may negate the efficiency benefit of the DPA. On-chip adaptive biasing (S. Li et al., 2022) offers a lower-overhead alternative but provides only partial linearization over the power and bandwidth range required for 5G NR. Co-designing envelope-tracking adaptive bias with a low-complexity mm-wave DPD architecture remains a critical and underexplored research direction.

#### **5.4. N-Way Combining Complexity and Phase Matching**

As the number of orders combined increases beyond two-way, the design complexity grows rapidly. In N-way Doherty configurations, accurate amplitude and phase matching between all N signal paths is required to achieve the theoretical efficiency improvement. In practice, mm-wave layouts introduce parasitic inductances and capacitances at interconnect junctions that perturb the signal path and create path-to-path imbalances. Post-layout EM simulation is essential but computationally expensive, and process variation across a silicon die can cause path imbalances that result in a significant efficiency degradation of several percentage points. Furthermore, the operating bandwidth of N-way Doherty configurations is inherently constrained by the requirement to maintain load modulation accuracy simultaneously at all N efficiency peaks across the frequency band.

#### **5.5. Research Gaps**

Four particular research gaps emerge that most need development:

- Broadband Impedance Transformation Networks: There are still no topologies capable of preserving accurate load modulation with insertion loss  $< 1$  dB over  $> 30\%$  fractional bandwidth.
- High-Q On-Chip Passive Integration: To realise  $Q > 30$  in combined inductors/transformers at 28 GHz, advanced processing and passive embedding at 3D or package level are required.
- Scalable Multi-Way Power Combining: Low-loss chip-to-package coupling and antenna-integrated PA modules at the package level must be developed to realise watt-level EIRP without imposing high on-chip combining losses.
- Sub-THz Extension for 6G: Load modulation, between 110 and 300 GHz, requires non-standard passives (slot-line, waveguide compatible, TSV) and device-level efficiency improvement through harmonic termination (Jahan et al., 2025; Maktoomi et al., 2026).

## 6. Future Research Directions

Based on the state-of-the-art survey and critically discussed in Section 5, five priorities for further research are proposed to direct the next generation mm-wave CMOS Doherty Power Amplifier research. A thorough block diagram of the obstacles and future directions has been depicted in Fig. 6. The complete block diagram of CMOS mm-Wave Doherty PA Challenges and Future Research Directions is shown. Left: 4 major design challenges (C1 through C4). Centre: CMOS DPA core in the 24-43 GHz range (5G FR2). Right column: five emerging future research directions (F1–F4). Bottom row: CMOS technology node evolution guide from 180-nm. Arrows represent the relationship among challenges and the research recommendations that place each recommendation within the overall system context.

### 6.1. Advanced Technology Nodes and Substrate Optimisation

It is also highly advisable to shift to advanced CMOS process nodes like 16-nm FinFET and 7-nm planar/FinFET systems, with special substrate

technologies such as RF-SOI and FD-SOI. These processes provide transistor transition frequencies ( $f_T/f_{max}$ ) exceeding 400 GHz, enabling meaningful gain margins at sub-THz frequencies, while buried-oxide layers drastically suppress substrate coupling and enhance passive Q-factors to values of 25–35 at mm-wave frequencies. The 28-nm FD-SOI implementation of [9], which achieves a 22–44 GHz operating range with  $PAE_{6dB} = 24\%$ , shows that performance can be realised from optimisation of the substrate. Co-development of a Process Design Kit (PDK) for optimising active devices and passive components simultaneously at the 28–43 GHz band is an enabling priority in this direction (Drakakis et al., 2025).

### 6.2. Hybrid Multi-Way Architectures for Output Power Scaling

N-way topologies deserve further systematic investigation in future DPA designs beyond existing two-way and four-way-based topologies, plus investigating hybrid combining strategies that combine series and parallel combining paths to achieve the best efficiency-bandwidth-power trade-off. The  $P_{sat} = 26.5$  dBm and  $PAE_{6dB} = 34.5\%$  achieved with a four-way hybrid parallel-series DPA (Liu & Wang, 2024) over a 14 GHz bandwidth in 45-nm CMOS demonstrates the feasibility of this strategy. Integration of Distributed Active Transformers (DAT) or asymmetric transformer networks as the combining element in three-way or six-way configurations could drive  $P_{sat}$  into the 27–30 dBm range while maintaining competitive PAE, which is suitable for outdoor small-cell 5G Advanced deployment without additional module-level amplification (Park et al., 2026).

### 6.3. Co-Designed Adaptive Biasing and Integrated Linearization

Next-generation DPAs must incorporate adaptive linearization mechanisms as first-class design objectives rather than post-silicon corrections. On-die adaptive gate and drain bias circuits that track the instantaneous envelope of the input signal can dynamically adjust the auxiliary amplifier's turn-on threshold

and the main amplifier's quiescent current, thereby smoothing the AM-AM/AM-PM profile across the full output power range. When combined with a bandwidth-efficient, memory-effect-aware Digital Predistortion (DPD) algorithm implemented in the digital baseband, this co-design approach can achieve EVM floors below 35 dB for 256-QAM signals without the baseband complexity and latency of conventional model-based DPD. The integration density of CMOS makes such 'smart PA' architectures uniquely realisable in silicon technology.

#### **6.4. Ultra-Wideband and Concurrent Multi-Band Designs**

The growing adoption of carrier aggregation across multiple 5G FR2 sub-bands and the prospect of concurrent 5G/6G multi-standard operation place a premium on DPA designs with instantaneous bandwidths exceeding 10 GHz. Synthesized multi-section impedance transformers, quasi-balanced Doherty structures (Diverrez et al., 2026), and series-Doherty topologies with broadband second-order output networks (Wei et al., 2026) have each demonstrated 40–60% fractional bandwidths in recent implementations and should be further developed with explicit design methodologies for concurrent multi-band optimization. Package-level integration of the output matching network using low-loss glass or organic substrates represents a complementary approach that can relax the on-chip passive Q requirement while maintaining a compact footprint compatible with Antenna-in-Package (AiP) 5G modules.

#### **6.5. Extension to the Sub-THz Frontier for 6G**

Preparing silicon-based Doherty PAs for 6G operation will require extending the active load modulation principle into the sub-THz range (100–300 GHz), a domain where device gain margins are critically reduced, and passive losses are substantially higher than at 28 GHz. The 110–142 GHz CMOS PA (Maktoomi et al., 2026), which employs device-centric power boosting and a dual-coupled slotline combiner, and the 130-nm SiGe BiCMOS sub-THz amplifier (Park et

al., 2026) with an asymmetric slotline-based series-parallel combiner, demonstrate that non-traditional passive structures can partially compensate for the loss limitations of conventional transmission-line topologies at these frequencies. Device stacking, harmonic-impedance engineering, and TSV-based power combining are additional levers for efficiency recovery above 100 GHz. SiGe BiCMOS processes, which combine the high  $f^T/f_{\max}$  of bipolar devices with CMOS integration density, represent the most compelling near-term platform for early sub-THz DPA demonstrations (Jahan et al., 2025; Park et al., 2026).

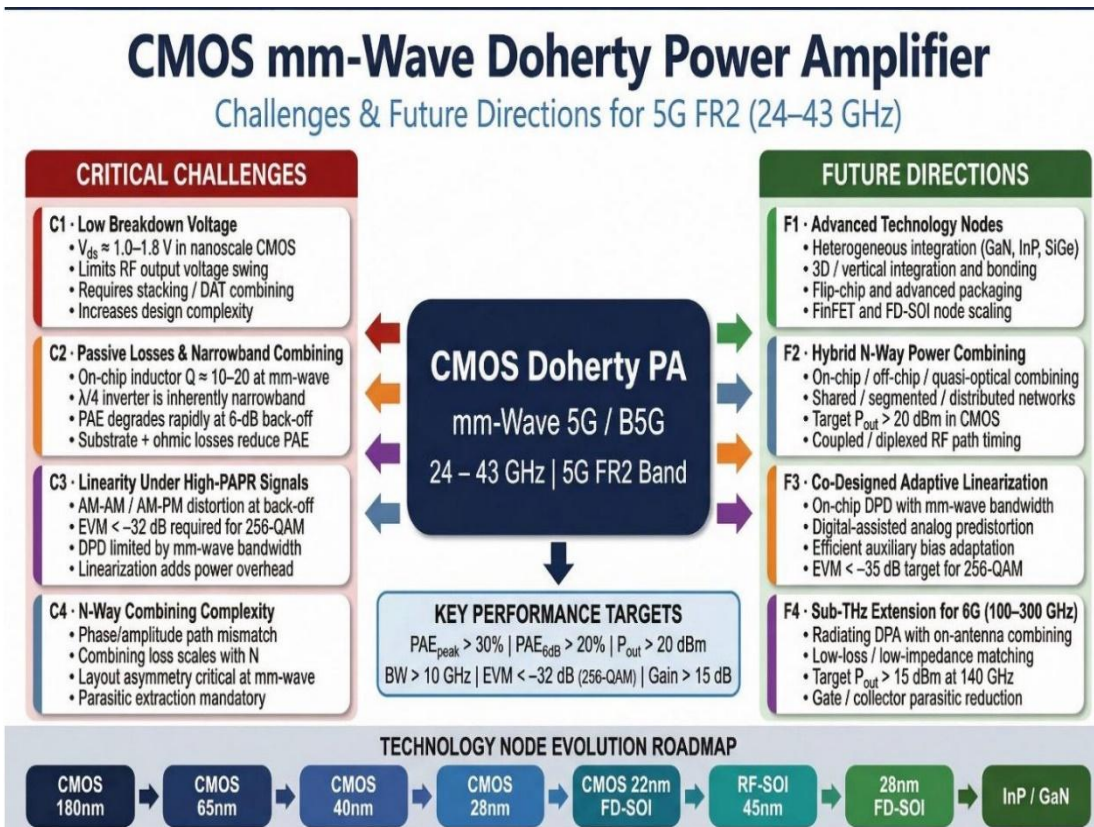


Fig. 6. Comprehensive block diagram: CMOS mm-Wave Doherty PA Challenges and Future Research Directions.

## 7. Conclusion

In this paper, we have proposed a detailed and critical overview of CMOS-based Doherty Power Amplifier designs for 5G millimetre-wave applications, surveying systematically all 17 published representative implementations from

2022 to 2026 on different technology nodes from 90-nm bulk CMOS to 28-nm FD-SOI. The comparison of techniques in Table 1 and Fig. 1 outlines the performance-cost framework in which all design decisions are made. The architectural analysis in Section 3 and Figs. 2–5 describes progress from the basic two-way DPA to the N-way, series-Doherty, and quasi-balanced topologies. The review shows that the DPA is still the most applicable architectural structure for balancing efficiency and linearity of high-PAPR mm-wave waveforms, and that silicon-based implementations have achieved significant and quantifiable success in meeting the performance goals for 5G FR2 user equipment and small-cell base stations. Specific technical developments that were observed on the basis of the survey are: high peak PAE (38.2% in wideband 40-nm CMOS series-Doherty configurations); back-off efficiency of 34.5% at 6-dB back-off, with a four-way composite parallel-series topology; fractional bandwidths approaching an octave (18–38 GHz) using synthesized impedance transformation networks and quasi-balanced topologies; and peak saturated output power (26.5 dBm) obtained with four-way combining. Transformer-based power combining has secured the status of a dominant passive approach, due to the combination of simultaneously transforming the impedance and capturing the power inside a compact space on-chip. With Class-G driver stages, adaptive auxiliary biasing, and stacked transistor configurations, technical progress at the circuit level has also increased the practical performance limit. However, despite these achievements, three main obstacles remain. The low breakdown voltage of nanometer-scale CMOS transistors forces complex multi-way power combining with non-negligible loss. However, low-quality on-chip passive components ( $Q = 10\text{--}20$  in bulk CMOS at mm-wave) severely reduce back-off performance at large fractional bandwidths. And the intrinsic AM-AM/AM-PM nonlinearity of the Doherty load modulation mechanism necessitates more sophisticated on-chip and off-chip linearization methods that are difficult to implement at mm-wave bandwidth without

significant power overhead. The block diagram of Fig. 6 illustrates these relations visually. Looking forward, as illustrated in Fig. 6, the research community needs to explore three high-priority frontier areas: (i) advanced CMOS technology nodes and SOI substrates for active and passive performance enhancement at mm-wave and sub-THz frequencies; (ii) broadband low-loss impedance transformation and multi-way power-combining topologies compatible with Antenna-in-Package integration; and (iii) co-designed adaptive linearization and smart bias circuits for EVM-compliant high-PAPR 5G NR and 6G waveforms. As we move towards the 6G and sub-THz frontier in wireless communications, the Doherty architecture that incorporates novel passive architecture, next-era process nodes, and smart signal management features will still be a leading edge in mm-wave power amplifier design for the long haul.

### Recommendations

Based on the future research directions identified in Section 6, it is recommended that upcoming CMOS DPA research prioritise advanced RF-SOI and FD-SOI process platforms, low-loss hybrid multi-way combining structures, and co-designed adaptive biasing with integrated linearization. Additional emphasis should be placed on ultra-wideband load-modulation networks suitable for carrier aggregation and on extending validated Doherty design methods toward the sub-THz region for emerging 6G front-end applications. These directions together offer the clearest path toward higher efficiency, wider bandwidth, and more scalable mm-wave silicon power amplification.

### References

- Azimi-Roein, M., Baghaei-Nejad, M., & Hejazi, H. (2025). Advancements in Doherty Power Amplifiers for High Efficiency, Broadband 5G, and Beyond. *IEEE Access*, 13, 198564–198581.
- Chen, Y., Qing, G., Ma, Y., Wang, G., Wu, B., & Wu, X. (2026). An Asymmetric Transformer-based Doherty Power Amplifier in 65-nm CMOS. *IEICE Electronics Express*, 23–20260051.

- Cui, B., Wang, Y., Zhao, K., Xu, W., Shi, C., & Zhang, R. (2025). A 28-GHz DAT-based four-way Doherty power amplifier with 22.6 dBm Psat and 0.48 W/mm<sup>2</sup> power density. *IEICE Electronics Express*, 22(21), 20250494–20250494.
- Diverrez, G., Kerherve, E., De Matos, M., & Cathelin, A. (2024). A 22-44 GHz 28nm FD-SOI CMOS 5G Doherty Power Amplifier with Wideband PAE 6dBPO Enhancement and 3: 1 VSWR Resiliency. *2024 IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium (RFIC)*, 131–134. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10600014/>
- Diverrez, G., Kerhervé, E., De Matos, M., & Cathelin, A. (2026). Theoretical Analysis and Design of a 22–44-GHz Quasi-Balanced Doherty Power Amplifier With Enhanced Wideband PAE Performance and 3:1 VSWR Tolerance in 28-nm FD-SOI CMOS. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 1–14. <https://doi.org/10.1109/JSSC.2026.3656824>
- Doherty, W. H. (1936). A New High-Efficiency Power Amplifier for Modulated Waves\*. *Bell System Technical Journal*, 15(3), 469–475. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1936.tb03563.x>
- Drakakis, S., Michailidis, A., Tzagkas, D., Pavlidis, V. F., & Noulis, T. (2025). A Design Methodology for RF/mmWave LNAs in 22 nm FD-SOI with Cross-Coupling-Aware Nested Inductors and On-Chip Baluns. *Electronics*, 15(1), 25.
- Hassan, K. M. Z., & Lavasani, H. M. (2025). A Compact 28-GHz Power Amplifier Design with a High Turn-Ratio Transformer for Enhanced P<sub>sat</sub> Without Power Combining in 22nm FDSOI CMOS. *2025 IEEE 68th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*, 1125–1129. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/11244489/>
- Ibrahim, Y. (2025). *High Efficiency Power Amplifiers for mm-Wave Communication Systems* [PhD Thesis, UC Berkeley]. <https://escholarship.org/uc/item/3b78h5g2>
- Jahan, N., Anan, R., & Nazia, J. M. (2025). Efficient mmWave PA in 90 nm CMOS: Stacked-Inverter Topology, L/T Matching, and EM-Validated Results. *Chips*, 4(4), 52.
- Jia, L., Heng, H., Xie, Q., & Wang, Z. (2024). A Broadband Compact mm-Wave Series Doherty Power Amplifier Using Coupler Balun-Based Active Load Modulation Network in 65-nm CMOS. *2024 9th International Conference on Integrated Circuits and Microsystems (ICICM)*, 257–261. <https://doi.org/10.1109/ICICM63644.2024.10814243>
- Jiang, X., Deng, W., Gong, J., Jia, H., & Chi, B. (2025). AK/Ka-band series Doherty CMOS power amplifier with distributed multi-step impedance inverting network—*Journal of Semiconductors*, 46(6), 062201.

- Lhomel, A. (2025). *Sub-THz power amplifier design methodology integrated on 28nm FD-SOI technology for 6G applications* [PhD Thesis, Université de Bordeaux]. <https://theses.hal.science/tel-05144335/>
- Li, L., You, F., Xiao, Z., Fan, Y., Chen, Y., Pang, T., & He, S. (2026). A Linearity-Enhanced Millimetre-Wave CMOS Doherty Power Amplifier Using Hybrid Analogue Techniques. *IEEE Microwave and Wireless Technology Letters*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/LMWT.2026.3663632>
- Li, S., Jia, H., Zheng, W., Feng, G., Zou, Y., & Wang, Y. (2022). A High-Efficiency 28GHz Doherty Power Amplifier with Peak PAE of 37.3% in 40nm CMOS. *2022 IEEE MTT-S International Wireless Symposium (IWS), 1*, 1–3. <https://doi.org/10.1109/IWS55252.2022.9977552>
- Liu, E., & Wang, H. (2024). A Broadband Four-Way Parallel–Series Doherty Power Amplifier for 5G Communications. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 59(5), 1312–1322. <https://doi.org/10.1109/JSSC.2023.3336018>
- Maktoomi, M. H., Liu, X., & Aghasi, H. (2026). A 19-dBm 110–142-GHz CMOS Power Amplifier With Device-Centric Power Boosting and Dual-Coupled Slotline Combiner. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/11389191/>
- Mariappan, S., Rajendran, J., Idros, N., Hamid, S. S., Abd Manaf, A. B., Kumar, N., Alghaihab, A., Nathan, A., & Yarman, B. S. (2025). A 28-GHz CMOS-65 nm Dual Mode Class-J Doherty Power Amplifier With Integrated Class-G Driver and Impedance-Modulated-Quadrature-Transformer Achieving 21% Back-Off Efficiency. *IEEE Access*, 13, 17236–17245.
- Mariappan, S., Rajendran, J., Idros, N., Manaf, A. A., Kumar, N., Alghaihab, A., Nathan, A., & Yarman, B. S. (2025). A review of engineering techniques for CMOS on-chip inductor design and quality factor enhancement from MHz to GHz frequency domains. *IEEE Access*. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/11115057/>
- Martineau, B., Bossuet, A., Divay, A., Blampey, B., & Morandini, Y. (2022). CMOS FD-SOI Technologies Ruggedness for Millimetre Wave Power Amplifier Design. *2022 29th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS)*, 1–4. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9970935/>
- Mayeda, J. C., Tsay, J., Lie, D. Y., & Lopez, J. (2019). Effective AM-PM cancellation with body bias for 5G CMOS power amplifier design in 22nm FD-SOI. *2019 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, 1–4. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8702159/>
- Moreno Rubio, J. J., & Noori, A. (2024). Doherty power amplifier design via differential combining. *Electronics*, 13(19), 3961.

- Mortazavi, M., Shen, Y., Mul, D., de Vreede, L. C., Spirito, M., & Babaie, M. (2022). A four-way series Doherty digital polar Transmitter at mm-wave frequencies. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 57(3), 803–817.
- Park, G., Kim, H., & Jeon, S. (2026). A High-Power Wideband Sub-THz Power Amplifier With Asymmetric Slotline-Based Series–Parallel Combiner in 130-nm SiGe BiCMOS Technology. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 1–16. <https://doi.org/10.1109/JSSC.2026.3656477>
- Pashaeifar, M., De Vreede, L. C., & Alavi, M. S. (2022). A millimetre-wave CMOS series-Doherty power amplifier with post-silicon inter-stage passive validation. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 57(10), 2999–3013.
- Que, X., Li, J., & Wang, Y. (2024). A broadband three-way series Doherty power amplifier with deep power back-off efficiency enhancement for 5G application. *Electronics*, 13(10), 1882.
- Rack, M., & Raskin, J.-P. (2021). SOI technologies for RF and millimetre-wave applications. In *Convergence of More Moore, More than Moore and Beyond Moore* (pp. 131–182). Jenny Stanford Publishing. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781003043034-5/soi-technologies-rf-millimeter-wave-applications-martin-rack-jean-pierre-raskin>
- Saraswat, P., & Arrawatia, M. (2023). Doherty Power Amplifier with Compact Load Modulation Network for 5G Applications. *2023 21st IEEE Interregional NEWCAS Conference (NEWCAS)*, 1–5. 2023 21st IEEE Interregional NEWCAS Conference (NEWCAS). <https://doi.org/10.1109/NEWCAS57931.2023.10198155>
- Sheng, W., Dou, B., Sun, J., Zhou, Y., Xu, Z., & Zhang, D. (2025). A 28-GHz Doherty Power Amplifier with  $P_{\text{sat}}$  of 26.5dBm and 24.4% PAE in 65nm CMOS. *2025 IEEE MTT-S International Conference on Numerical Electromagnetic and Multiphysics Modelling and Optimization (NEMO), Volume1*, 1–3. <https://doi.org/10.1109/NEMO62710.2025.11215360>
- Wang, S., Gao, H., Li, N., Lu, H., Song, C., Gu, Q. J., Wang, D., & Xu, Z. (2025). A 26.5–29.5 GHz Doherty PA-LNA implementation with a synthesised transformer-based matching network. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 72(9), 4597–4609.
- Wei, Q., Yang, C., Liu, X., Wang, Y., Jin, J., & Zhou, J. (2026). A Millimetre-Wave Two-Way Series-Doherty Power Amplifier With Transformer-Based Second-Order Output Network. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/11399260/>
- Wu, W., Chen, R., Chen, S., Wang, J., Chen, L., Zhang, L., & Wang, Y. (2023a). A compact W-band power amplifier with a peak PAE of 21.1%

in 65-nm CMOS technology. *IEEE Microwave and Wireless Technology Letters*, 33(6), 703–706.

- Wu, W., Chen, R., Chen, S., Wang, J., Chen, L., Zhang, L., & Wang, Y. (2023b). A compact W-band power amplifier with a peak PAE of 21.1% in 65-nm CMOS technology. *IEEE Microwave and Wireless Technology Letters*, 33(6), 703–706.
- Zhang, X. (2024). *Advanced Millimetre-Wave Doherty Power Amplifier Architectures for 5G Communications and Beyond* [PhD Thesis, Rice University].  
<https://search.proquest.com/openview/011666a650714bb858612e76ed626b1d/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
- Zhang, X., Guo, H., & Chi, T. (2024). A millimetre-wave four-way Doherty power amplifier with over-GHz modulation bandwidth. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 59(12), 3898–3914.
- Zhang, X., Li, S., & Chi, T. (2023). A millimetre-wave watt-level Doherty power amplifier in silicon. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 72(3), 1674–1686.
- Zhang, X., Li, S., Huang, D., & Chi, T. (2023). A millimetre-wave three-way Doherty power amplifier for 5G NR OFDM. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 58(5), 1256–1270.
- Zhao, C., Zhang, X., Xie, X., Liu, H., Yu, Y., Wu, Y., & Kang, K. (2023). A Ka-band pseudo-Doherty load-modulated balanced amplifier with gain flatness enhancement technique. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 72(6), 3423–3437.

## Geospatial Analysis of the Correlation Between Dust Phenomena Frequency and Surface Wind Speed Using Pearson's Coefficient and GIS

Azhaar K. Mishaal

\* Ministry of Higher Education & Scientific Research / Scientific Research Commission, Baghdad, Iraq.

[azhaarkadhumi83@moheer.edu.iq](mailto:azhaarkadhumi83@moheer.edu.iq)

009647763648605

### Abstract

Dust is considered one of the important weather phenomena due to its direct impact on various aspects of life. Dust refers to the elevation of dust particles above the Earth's surface and their spread, causing a decrease in visibility. The shape and size of the dust particles vary depending on their source, physical and chemical composition, and the speed of the winds carrying them.

This study aims to evaluate and analyse the spatial correlation between the frequency of dust phenomena (Dust storms, rising dust, suspended dust) and surface wind speed as a physical variable driving dust particles within the study area, which was Iraq. The research adopted a quantitative analytical approach, and Pearson's Coefficient was used to determine the strength and direction of the statistical relationship between the two variables. The study also employed Geographic Information Systems (GIS) techniques to model the spatial distribution using interpolation (Kriging) to produce digital maps illustrating the geographical areas most affected by dust activity and their relationship to wind speed.

The importance of the research lies in providing a useful analytical tool that supports the fields of environmental planning, natural disaster management, and reducing health and economic risks resulting from dust pollution, through a deeper understanding of the spatial relationship between climatic elements. It was found that the relationship between wind speed and dust phenomena in general is direct, but there appeared to be a variation in the nature of this relationship according to the type of dust. The strongest relationship appeared with rising dust, and this explains the physics of dust formation. The Pearson coefficient was (0.8575), and its value with dust storms was (0.6338). The weakest relationship was with the type that stays suspended in the air for a long time, which is suspended dust, where the Pearson coefficient was 0.4133. However, the spatial distribution maps yielded a good index that helps in understanding surface wind behaviour and identifying areas with high wind speeds, which are often characterised by dust activity. These areas were represented by the Al-Hayy, Al-Nasiriyah, and Basra stations.

**Keywords:** Geospatial analysis, Pearson's factor, dust phenomena, wind speed, Geographic Information Systems (GIS).

## التحليل الجيومكاني لعلاقة الارتباط بين تكرار الظواهر الغبارية وسرعة الرياح السطحية باستخدام معامل بيرسون ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)

ازهار كاظم مشعل

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي / هيئة البحث العلمي ، بغداد - العراق

### الملخص :

تعتبر ظاهرة الغبار من الظواهر الجوية المهمة بسبب حجم تأثيرها المباشر على مختلف جوانب الحياة ، حيث يقصد بظاهرة الغبار ارتفاع الدقائق الترابية عن سطح الارض وانتشارها مسببة هبوطا في مدى الرؤية ويختلف شكل وحجم الدقائق الترابية باختلاف مصدرها وتكوينها الفيزيائي والكيميائي وسرعة الرياح الحاملة لها .

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم وتحليل العلاقة الارتباطية المكانية بين تكرار الظواهر الغبارية (عواصف غبارية، غبار متصاعد ، غبار عالق) وسرعة الرياح السطحية كمتغير فيزيائي محرك للجزيئات الغبارية ضمن منطقة الدراسة والتي تمثلت بالعراق ، اعتمد البحث على المنهج التحليلي الكمي، حيث تم جمع البيانات المناخية التاريخية لفترة زمنية ممتدة (2010-1981) . وتم استخدام معامل ارتباط بيرسون ( Pearson Correlation Coefficient ) لتحديد قوة واتجاه العلاقة الإحصائية بين المتغيرين. كما وظفت الدراسة تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لنمذجة التوزيع المكاني باستخدام اسلوب ( Interpolation ) الاستيفاء المكاني (Kriging)، لإنتاج خرائط رقمية التي توضح البؤر الجغرافية الأكثر تأثراً بالنشاط الغباري وعلاقتها بسرعة الرياح. تكمن أهمية البحث في تقديم أداة تحليلية مفيدة تدعم مجالات التخطيط البيئي، وإدارة الكوارث الطبيعية، وتقليل المخاطر الصحية والاقتصادية الناجمة عن التلوث الغباري، من خلال فهم أعمق للارتباط المكاني بين العناصر المناخية حيث وجد ان العلاقة طردية بين سرعة الرياح وظواهر الغبار عموما ولكن ظهر هناك تباين لطبيعة هذه العلاقة حسب صنف الغبار حيث ظهرت اقوى علاقة ارتباط مع الغبار المتصاعد وهذا يفسر فيزياء نشوء الغبار وكان معامل بيرسون ( 0.8575 ) وكانت قيمته مع العواصف الغبارية ( 0.6338 ) اما اضعف علاقة فقد كانت مع الصنف الذي يأخذ وقت طويل عالق في الجو وهو الغبار العالق حيث كان معامل بيرسون ( 0.4133 ) اما خرائط التوزيع المكاني فقد اعطت معامل جيد يساعد في فهم سلوك الرياح السطحية وتحديد المناطق ذات سرع رياح العالية والتي غالبا ما تتميز بنشاط غباري وتمثلت بمحطات ( الحي - الناصرية - البصرة ) .

**الكلمات المفتاحية:** التحليل الجيومكاني، معامل بيرسون، الظواهر الغبارية، سرعة الرياح، نظم المعلومات الجغرافية (GIS).

## 1- Introduction

Dust is an impressive phenomenon on the climate in general; the repetition of this phenomenon continuously on the Iraqi climate imposed the reason for studying and knowing the nature of its relationship with other climatic factors.

The World Meteorological Organisation's protocol classifies dust phenomena into several categories based on their effect on visibility: (1) Suspended: Dust suspended in the air that does not rise at or near the station at the time of observation; visibility usually does not exceed 10 km. (2) Raising: Dust or sand rising at the time of observation, reducing visibility to between 1 and 10 km. (3) Storm Dust: Strong winds carrying large quantities of dust particles, reducing visibility to between 200 and 1000 meters. (4) Severe dust storm: Very strong winds carrying large quantities of dust particles, reducing visibility to less than 200 meters. [1]

Soils that are most sensitive to wind erosion and dust emission usually lack protection from vegetation, have low soil moisture content [2], and contain readily erodible sediments of fine particles [3], Most major sources of dust aerosols can be considered to be deserts and dry lakebeds, although dust emissions from vegetation landscapes and sand dune fields are also commonly observed and are of importance to regional weather and climate [4] Dust particles that can be transported long distances (thousands of kilometers) from their original region are mostly smaller than 20 micrometers, significantly affecting weather, climate, and other aspects, most importantly the health aspect [5], Particles in this size range are known as PM<sub>20</sub>, and when exposed to strong factors such as high wind speeds, they become loose and unconsolidated in the soil. Airborne dust is primarily characterised by a predominance of clay and silt components, which exhibit distinct morphological variations compared to coarser sand particles. While clay and silt constituents typically manifest as platy (sheety) or irregular geometries, sand particles tend towards sub-spherical or ellipsoidal forms. Under conditions of elevated wind velocity, the intensified aerodynamic lift induces the suspension and dispersal of these particulates, imparting a characteristic brown hue to the atmosphere and significantly attenuating horizontal visibility. This phenomenon is governed by gravitational settling and vertical sorting; whereas finer particles remain sequestered in the upper atmospheric strata, larger, high-mass particles undergo rapid sedimentation, accumulating in the lower layers as the air's buoyancy becomes insufficient to counteract their relative [6] [7].

The effects of atmospheric dust storms and their relationship to climatic variables have been extensively studied in recent literature, revealing a complex interaction between wind speed, humidity, and soil properties. Early studies by Dehghanpour et al. (2014) [8] focused on the Yazd region of Iran, using Pearson's correlation coefficient to demonstrate that wind speed and direction are the primary factors determining dusty days. Their results indicated a strong inverse relationship between wind speed and horizontal visibility, with northerly winds exceeding certain speed thresholds being most conducive to dust storms. Simultaneously, While researcher Manji et al. (2019) [9] analysed long-term climate data (1994-2016) from Wasit Governorate, confirming a strong correlation between rising temperatures, wind speed, and increased dust phenomena in Wasit Governorate, and an inverse relationship with rainfall. Dahham et al. (2023) [10] modelled the impact of dusty particle accumulation and wind speed on solar panel performance in Iraq, indicating that particle size and wind speed are crucial factors in the degradation of photovoltaic cell efficiency. Regarding transport mechanisms, Yang et al. (2024) [11] combined wind speed experiments and numerical simulations to demonstrate that the transport distance of dust particles is inversely proportional to the square of their size, confirming that particle roundness significantly affects transport patterns. Finally, Huang et al. (2025) [12] used the regional dataset for reanalysis, highlighting the role of topography, explaining that upslopes promote the vertical transport of coarse particles by topographic winds, as they found that the size of dust particles increases with wind speed and is positively correlated with slopes due to vertical transport.

### 1-1 Research problem

Most previous research and scientific studies indicate a strong, direct relationship between wind speed and dust (as a phenomenon with constant properties). However, the fact that dust is not a phenomenon with constant properties has not yet been addressed. It is classified into three categories based on the concentration of its particles: rising dust, storm dust, and suspended dust. Therefore, the nature of the relationship between wind speed and this phenomenon varies depending on the type of dust. This is the problem addressed in this research.

## 2- Correlation Coefficient

Correlation is a statistical technique used to assess the potential linear relationship between two continuous variables and provides a good indicator [13]. The correlation coefficient takes three values ranging between -1 and +1. A correlation coefficient of +1 indicates a positive linear relationship between the two variables, while a correlation coefficient of -1 indicates a negative linear relationship between them, and a correlation coefficient of zero indicates the absence of a linear relationship between the two variables under study [14].

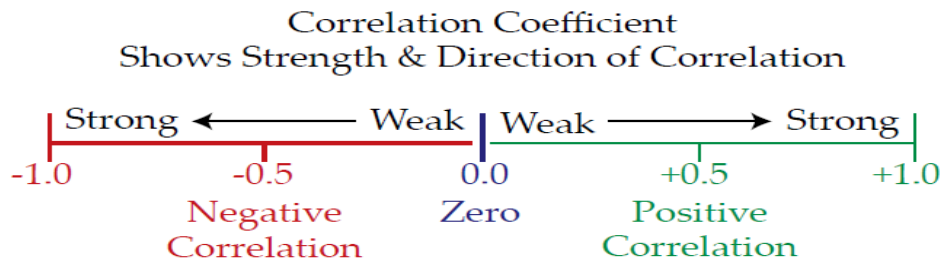


Fig. 1: The extent of the correlation coefficient (-1 to +1) Scatter plot [14]

For a correlation between variables  $x$  and  $y$ , the formula for calculating the sample Pearson's correlation coefficient is given by [8]

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad \dots \quad (2)$$

Where  $\bar{x}$  is the mean of variable  $x$  values, and  $\bar{y}$  is the mean of variable  $y$  values [4] Pearson's Coefficient establishes a relationship between the two variables based on three assumptions. [14]

- a- The relationship between them is linear
- b. Variables are independent of each other
- c. The variables are normally distributed. [14]

The relationship becomes stronger (ie, the scatter decreases) as the absolute value of  $r$  increases and ultimately approaches a straight line as the coefficient approaches (-1) or (+1) [15].

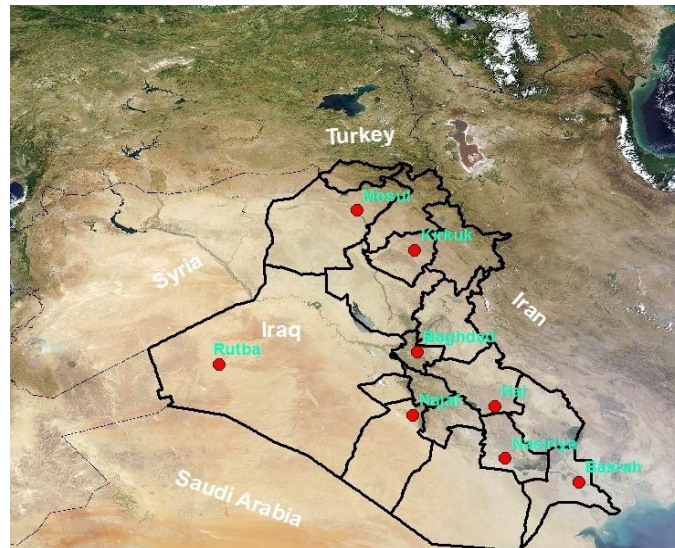
Several methods have been proposed to translate the correlation coefficient into descriptions such as "weak," "medium," or "strong" [13][15].

## 2. Materials and methods

### 3.1 The study area

Iraq is situated in Southwestern Asia, encompassing an approximate surface area of 435,000 km<sup>2</sup>. Geographically, the study region extends between latitudes 29°–37° N and longitudes

39°–48° E, as illustrated in the cartographic representation in Figure 1). This Figure delineates the specific distribution of the monitoring stations, which were spatially projected onto satellite imagery acquired from the Terra-MODIS sensor, where the spatial resolution for the image is 1 km<sup>2</sup> [16]



**Figure 1: Region Study and Stations Selected [16]**

### 3-2 The Data

This study utilises long-term meteorological datasets spanning eight regions in Iraq: Kirkuk, Mosul, Basrah, Hai, Rutba, Baghdad, Najaf, and Nasiriya. Wind speed data, recorded at a 10m height, covers a 30-year period (1981–2010) as monthly averages. Additionally, dust phenomena data over a 50-year span are analysed using monthly and annual totals. see Tables

(1-2-3-4) [17, 18]

Table 1: The monthly average values of wind speed (m/s) analysed in this paper [ 17 ]

station	Longitude	Latitude	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Seb	Oct	Nov	Dec
Mosul	43.15	36.31	1.1	1.4	1.4	1.6	1.9	1.8	1.7	1.5	1.2	0.9	0.8	1
Kirkuk	44.35	35.47	1.2	1.6	1.7	1.9	2.2	2	2	1.8	1.5	1.5	1.3	1.2
Baghdad	44.4	33.3	2.5	2.9	3.2	3.2	3.3	3.9	4.1	3.5	2.7	2.6	2.5	2.5
Rutba	40.28	33.03	2.4	3.2	3.2	3.1	2.9	3.0	3.4	2.7	2.0	2.0	1.8	2.0
Hai	46.03	32.13	3.5	4.2	4.2	4.2	4.4	5.5	5.7	5.2	4.3	3.7	3.6	3.5
Najaf	44.32	31.95	0.9	1.4	1.8	1.9	1.9	2.6	2.4	1.9	1.5	1.2	0.9	0.6
Nasiriya	46.23	31.02	3.2	3.7	4.1	4.3	4.5	5.9	5.8	5	4	3.3	3.1	3
Basrah	47.78	30.52	3.2	3.6	3.9	3.9	4.1	5.4	5.3	4.6	3.7	2.9	3.1	3

Table (2): The monthly and annual total of the frequency of Dusty storms for the study stations for a period ( 1941-2011) [ 18 ]

months	Jan	Feb	March	April	May	June	J uly	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Total
station													
Mosul	5	7	17	21	35	17	13	16	14	28	5	2	180
Kirkuk	6	12	15	24	35	17	10	14	12	33	12	3	193
Baghdad	26	38	60	78	73	56	63	22	8	24	11	20	479
Rutba	10	21	27	21	44	17	3	9	6	12	6	9	185
Hai	10	17	19	33	62	34	36	17	6	6	4	3	247
Najaf	3	4	16	18	11	16	3	1	1	4	0	0	77
Nasiriya	40	76	109	152	171	329	362	203	109	39	29	15	1634
Basrah	21	25	54	71	88	135	150	68	61	27	12	21	733

Table (3): The annual total for the number of days of the occurrence of Rising Dust in the study stations[ 18 ]

station	months	Jan	Feb	March	April	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Total
	duration													
Mosul	1981-2011	4	14	31	52	117	75	56	47	50	44	8	6	504
Kirkuk	1981-2011	14	25	61	59	89	36	35	44	19	29	15	10	436
Baghdad	1971-2011	83	121	182	238	261	371	460	275	140	112	58	69	2370
Rutba	1971-2011	67	138	189	256	226	157	131	114	97	128	70	71	1644
Hai	1971-2011	73	153	262	337	394	537	626	475	310	171	124	59	3521
Najaf	1978-2011	56	89	146	150	172	261	237	156	63	68	31	21	1450
Nasiriya	1954-2011	141	338	473	524	660	931	960	800	545	332	194	144	6042
Basrah	1956-2011	64	144	248	257	305	512	489	355	207	117	97	42	2837

Table (4): The annual total for the Suspended Dust in the study stations [ 18 ]

station	months	Jan	Feb	March	April	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Total
	duration													
Mosul	1981-2011	68	104	163	244	390	474	579	503	390	321	185	120	3541
Kirkuk	1981-2011	69	92	206	289	410	352	387	317	218	250	117	73	2780
Baghdad	1971-2011	209	276	352	487	618	616	660	624	505	453	273	239	5312
Rutba	1971-2011	28	64	109	196	202	134	100	77	126	160	45	39	1280
Hai	1971-2011	36	113	187	239	374	299	309	230	189	182	32	37	2227
Najaf	1978-2011	106	161	251	303	355	302	285	174	138	206	100	73	2454
Nasiriya	1954-2011	205	353	513	622	870	1008	1026	847	653	497	259	217	7070
Basrah	1956-2011	85	183	299	362	565	642	723	559	386	252	114	118	4288

## 4- Results and discussion

### 4-1 Pearson's Coefficient Method

To facilitate the calculation of correlation coefficients, data were categorised based on annual mean wind speed and the cumulative annual frequency of dust phenomena ( raising,

suspended - storm ). As illustrated in Table 5, the data arrangement ensures compatibility with the statistical processing requirements of Excel 2010.

**Table (5): The annual average of wind speed and the annual total for the Dust phenomena**

Station	Wind speed	Dust Storms	Rising Dust	Suspended Dust
Mosul	1.4	180	504	3541
Kirkuk	1.7	193	436	2780
Baghdad	3.1	479	2370	5312
Rutba	2.6	185	1644	1280
Hai	4.3	247	3521	2227
Najaf	1.6	77	1450	2454
Nasiriya	4.2	1634	6042	7070
Basrah	3.9	733	2837	4288

The calculated correlation coefficients indicate varying degrees of association between wind speed and dust activities: a robust correlation with rising dust (0.8575), a moderate to strong relationship with dust storms (0.6338), and a relatively lower correlation with suspended dust (0.4133), see Table 6.

**Table (6): The table represents the calculated Pearson correlation coefficient values**

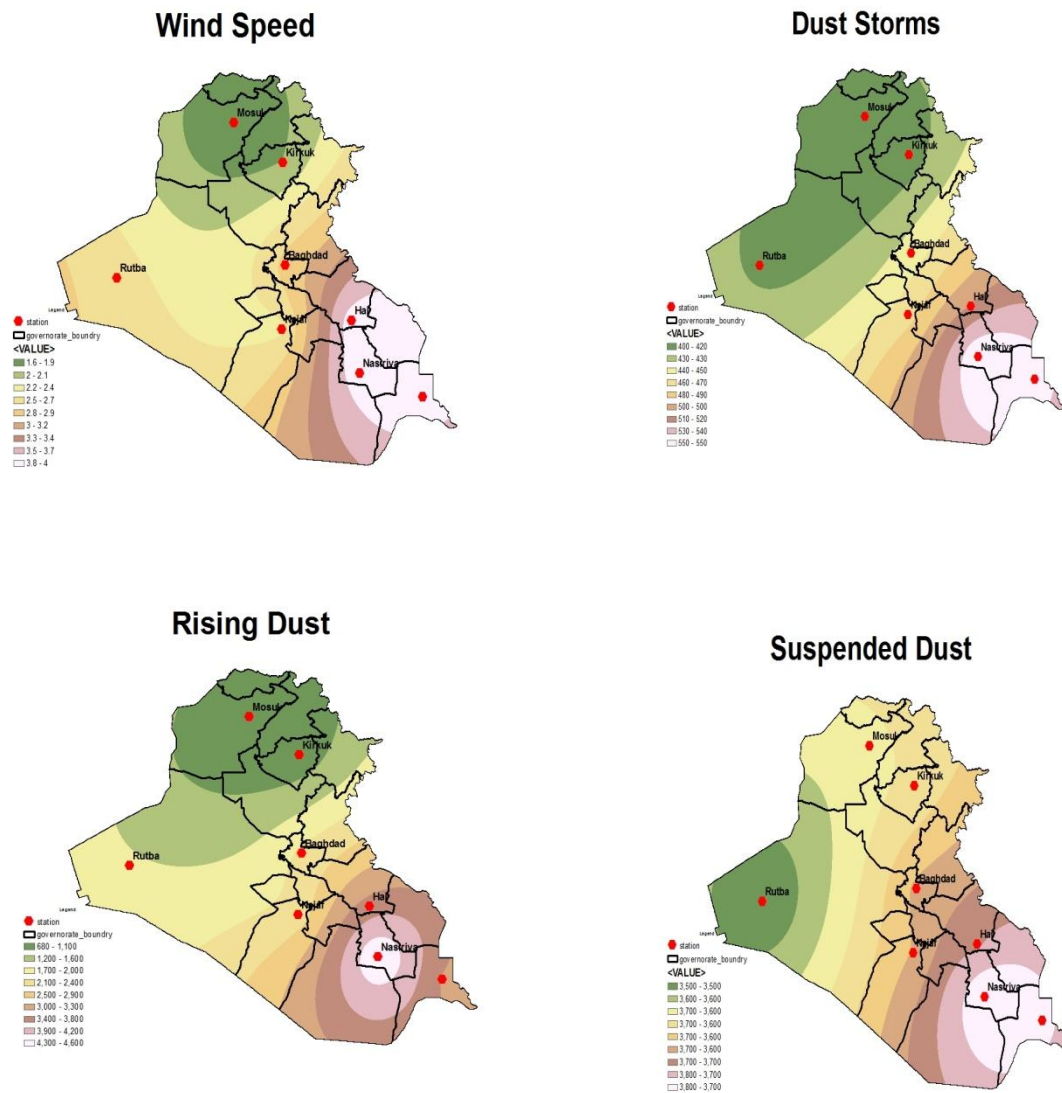
Variables	Wind speed & Raising dust	Wind speed & Dust Storm	Wind speed & Suspended dust
Correlation coefficient	0.8575	0.6338	0.4133

Based on the obtained coefficients, a strong positive linear relationship exists between wind speed and dust activities. The empirical data confirm that increments in wind velocity are associated with an increase in dust frequency and intensity. Specifically, the strongest correlation pertains to the rising dust phenomenon, highlighting the critical role of wind speed in the primary mobilisation of dust particles.

#### 4-2 Spatial Distribution ( GIS techniques)

The spatial analysis of the generated maps reveals significant geographic variations in meteorological and atmospheric phenomena across the study region. Regarding wind speed, the highest recorded values were concentrated in the Hai, Nasiriya, and Basrah stations. Simultaneously, the spatial distribution of dust phenomena indicates that the Nasiriya station experienced the highest frequency of rising dust. Furthermore, both dust storms and suspended dust reached their peak occurrences at the Nasiriya and Basrah stations, suggesting a high-activity corridor for dust events in these regions.

A comparative analysis between the visual interpretation of the spatial distribution maps and the calculated correlation coefficients reveals a high degree of consistency. This alignment underscores the pivotal role of wind speed as a primary and direct driver in the proliferation of various dust phenomena across the study. Figure 2 illustrates the spatial distribution maps of the datasets employed in this study.



**Fig 2: The spatial distribution Maps For the wind speed and dust phenomenon**

Most previous research and scientific studies indicate a strong direct relationship between wind speed and dust (as a phenomenon with constant properties). However, what has not been addressed is that this relationship varies depending on the type of dust (raising, storm - suspended). We observe that it is weaker with suspended dust, which differs from the previous two types in that it remains for a longer period and has greater and deeper effects than the other types. For example, it reduces the efficiency of solar panels, which are important for generating electricity. It also affects the balance of incoming solar radiation (shortwave radiation), as suspended dust scatters and absorbs the radiation, which may lead

to a temporary cooling of the Earth's surface. At the same time, it absorbs terrestrial radiation (long-wave radiation), contributing to complex thermal effects

## 5. Conclusions

- 1- Wind speed serves as a primary physical driver for dust events; it acts as the essential kinetic mechanism required for the saltation and suspension of dust particles, as these particles remain stagnant absent a critical wind speed threshold.
- 2- The correlation coefficient provides a robust quantitative metric for elucidating the interdependencies between meteorological variables, offering a high degree of statistical significance in interpreting their relationships.
- 3- Dust phenomena do not have fixed characteristics, but rather they change according to the class of dust. This has been observed in their relationship with wind speed, which has shown a significant difference with each class of dust phenomena.
- 4- The increased prevalence of dust phenomena in the southern regions of Iraq (Basra and Nasiriyah), which are marshlands, can be considered one of the climatic effects of the marshland drying up.

## 6-References

1. Shao, Y & Dong, C.H. A review on East Asian dust storm climate, modelling and monitoring. *Journal of Global and Planetary Change*. 52, 1–22, 2006
2. Marticorena B and Bergametti G 1995 Modelling the atmospheric dust cycle .1. Design of a soil-derived emission scheme *J. Geophys. Res.* **100** 16415-30.
3. Prospero J M, Ginoux P, Torres O, Nicholson S E and Gill T E 2002. Environmental characterisation of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product *Reviews of Geophysics* **40** 1002
4. Rivera N I R, Gill T E, Gebhart K A, Hand J L, Bleiweiss M P and Fitzgerald R M 2009. Wind modelling of Chihuahuan Desert dust outbreaks, *Atmospheric Environment* **43** 347-54
5. Tegen I and Lacis A A 1996 Modelling of particle size distribution and its influence on the radiative properties of mineral dust aerosol *J. Geophys. Res.* **101** 19237-44.
6. ALhmedawy, A.K.: 2009, " Recognition of some dusty patterns by Terra MODIS Satellite Images ", Master's thesis submitted to the College of Science / Al-Mustansiriya University, P11.
7. ALqadi, Taghreed Ahmed Omran, 2006: The Impact of Thermal Depressions on Iraq's Weather and Climate. PhD Dissertation, College of Arts, University of Baghdad, p. 23

8. Dehghanpour, A.R., Halabian, A.H., & Fallahpour, M. (2014). Impact of wind direction and speed on dusty days. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2(5), 1742-1749.
9. Manji, O.B., Albw Jbianah, M.I.K., & AL-Shamarti, H.K.A. (2019). Relationship between air elements, dust phenomenon and wind erosion for two stations at Wasit Province for the period 1994-2016. *Plant Archives*, 19(1), 1633-1645.
10. Dahham, I.A., Zainuri, M.A.A.M., Abdullah, A.A., & Fauzan, M.F. (2023). Modelling the effect of dust and wind speed on solar panel performance in Iraq. *Energies*, 16(17), 6397.
11. Yang, J., Li, X., Wang, W., Chai, H., An, M., & Dai, Q. (2024). The mechanism of dust transportation based on wind tunnel experiments and numerical simulations: *water*, 16(7), 1006.
12. Huang, X., Gao, W., & Foroutan, H. (2025). Impact of topographic wind conditions on dust particle size distribution: insights from a regional dust reanalysis dataset. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 25, 9583-9600.
13. Mukaka, M.M., 2012," Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research ", *Malawi Medical Journal*; 24(3): 69-71, September.
14. Gogtay. N.J. Thatte, Thatte. U.M, 2017," Principles of Correlation Analysis ", *JJ Journal of The Association of Physicians of India*, Vol. 65.
15. Patrick Schober, Christa Boer, 2018," Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation", *Amsterdam University Medical Centre*.
16. <http://modis.atmos.gcf.nasa.gov/IMAGES/MOD02/GRAUIE>. (Accessed 10 July 2019).
17. General Commission for Iraqi Atmospheric Seismic Monitoring, Climate Section, 2018. Unpublished data, Baghdad, Iraq.
18. Muhsen, B.N., AL Mosawy, A.S., 2014" The Spatial Relationship Between Relative Humidity and Dusty Phenomenon in Iraq ", *Geographical Research Journal*, No 21, PP 26-32.

نحج هجيني متكامل لتخطيط مسارات الطائرات المسيرة بالتكامل بين تحسين سرب الجسيمات والشبكات العصبية والخوارزمية الجينية وآليات التنعيم الذكي

الباحث: محمد فلاح حسن الظفيري

(A23024234)

طالب ماجستير في جامعة بغداد

العراق، جامعة بغداد، كلية الهندسة، قسم الكهرباء

[mohammed.jamil1902@coeng.uobaghdad.edu.iq](mailto:mohammed.jamil1902@coeng.uobaghdad.edu.iq)

07808265313

#### الملخص:

تسعى هذه الدراسة إلى تناول موضوع تحسين مسارات الطائرات المسيرة (UAVs) في ظل بيئات تشغيلية بالغة التعقيد، تتضمن عقبات ثابتة ومتحركة، فضلاً عن مناطق جوية ذات مخاطر عالية واضطرابات في الاتصالات. ولتحقيق هذا الغرض، جرى تصميم أربعة سيناريوهات تتصاعد في درجة تعقيدها، تبدأ بالملاحة الأساسية غير المحسنة وتنتهي بنظام هجين متكامل الأبعاد.

في السيناريو الأول، اعتمدت الطائرة على التوجيه المباشر المقرون بتجنب بسيط للعوائق، غير أن ذلك لم يُفض إلى بلوغ الهدف، إذ ظلت المسافة الفاصلة 40 متراً، فيما بلغت الدرجة الإجمالية 40 من 100 مع تسجيل 11 اصطداماً. وفي السيناريو الثاني، وُظفت خوارزمية سرب الجسيمات (PSO) التي أسهمت في تحسين نقاط الطريق، إلا أن الهدف ظل بعيد المنال بمسافة 33.7 متراً ودرجة لم تتجاوز 12 من 100. أما السيناريو الثالث، فقد شهد دمجاً بين PSO والشبكات العصبية (NN) والخوارزمية الجينية (GA)، مما انعكس إيجاباً على الأداء العام، حيث تقلصت المسافة المتبقية إلى 13.1 متراً وارتفعت الدرجة إلى 40 من 100 مع تراجع عدد الاصطدامات إلى 3، وإن كان الوصول إلى الهدف لم يتحقق بعد.

وجاء السيناريو الرابع ليحقق النتائج الأكثر تميزاً واتساقاً، من خلال تكامل PSO و NN و GA مع تقنيات التنعيم الذكي (Smart Smoothing)، حيث نجح النظام في بلوغ الهدف بعد 665 خطوة، مع تسجيل اصطدامين فحسب، ودرجة نهائية بلغت 58.7 من 100.

اعتمد تقييم الأداء على منظومة من المعايير الشاملة تضم: طول المسار، ومعدل الاصطدام، واستهلاك الطاقة، ودرجة السلاسة، وزمن إنجاز المهمة. وقد كشفت النتائج بجلاء عن تفوق النظام الهجين المتكامل على سائر الأساليب المقارنة، مما يؤكد الجدوى العلمية لدمج الذكاء الجماعي والتعلم الآلي والحسابات التطورية وتقنيات التنعيم في مواجهة تحديات الملاحة الجوية الواقعية. وتُرسى هذه الدراسة بذلك قاعدة معرفية راسخة يمكن البناء عليها في الأبحاث المستقبلية المعنية بأنظمة الطيران المستقل، مشيرةً إلى أهمية اعتماد استراتيجيات تحسين متعددة المستويات لضمان ملاحاة آمنة وفعالة وموثوقة.

#### الكلمات المفتاحية :

تخطيط مسار الطائرات المسيرة، تحسين سرب الجسيمات، الشبكات العصبية الاصطناعية، الخوارزميات الجينية، تقنيات التنعيم الذكي

## An Integrated Hybrid Approach for UAV Path Planning through the Combination of Particle Swarm Optimization, Neural Networks, Genetic Algorithm, and Intelligent Smoothing Mechanisms

### Abstract

This study examines how hybrid optimization algorithms can enhance UAV path planning within challenging operational environments. To systematically assess performance, four increasingly complex scenarios were designed and tested.

The first scenario relied on direct navigation without any optimization, which proved insufficient for target acquisition. The UAV failed to reach its destination, ending 40 m short, incurring 11 collisions, and achieving a score of 40.2/100. In the second scenario, Particle Swarm Optimisation (PSO) was introduced to refine waypoint selection. While this led to measurable improvements in path generation, the UAV still could not complete the mission, with a remaining distance of 33.7 m and a score of just 12.1/100.

The third scenario brought together PSO, Neural Networks (NN), and Genetic Algorithms (GA) in a combined framework. This integration enhanced the system's ability to adapt to environmental changes, bringing the remaining distance down to 13.1 m and limiting collisions to three, with a score of 40.3/100. Nevertheless, the target remained unreached. The fourth scenario represented the most advanced configuration, merging PSO, NN, GA, and intelligent trajectory smoothing techniques. This approach delivered the strongest and most consistent outcomes, with the UAV successfully arriving at the target within 665 steps, recording only 2 collisions, consuming 118.3 energy units, and earning a final score of 58.8/100.

Performance was assessed across multiple dimensions, including path length, collision frequency, energy usage, trajectory smoothness, and overall mission duration. The results clearly indicate that the integrated hybrid framework outperformed all other tested methods, achieving superior collision avoidance, smoother flight paths, and dependable mission completion. These findings underscore the value of combining swarm intelligence, machine learning, evolutionary computation, and smoothing techniques to tackle the complexities of real-world UAV navigation. This work lays a strong scientific groundwork for advancing autonomous UAV research, reinforcing the need for multi-layered

optimization strategies to enable navigation that is safe, efficient, and consistently reliable.

**Keywords** :UAV Trajectory Optimisation, Particle Swarm Optimisation (PSO), Artificial Neural Networks (ANN), Genetic Algorithm (GA), Intelligent Path Smoothing.

## المقدمة :

باتت الطائرات المسيرة (UAVs) من أبرز التقنيات الحديثة التي أسهمت في إحداث تحول جوهري في قطاعات عديدة، كالمراقبة الأمنية والنقل الذكي والزراعة الدقيقة والعمليات الميدانية. ومع اتساع نطاق توظيف هذه الطائرات في بيئات تشغيلية بالغة التعقيد، برز تحدّي محوري يتصل بتخطيط مسارات الطيران (Path Planning)، وذلك بهدف تحقيق الوصول الآمن والفعال إلى الأهداف المحددة. ويزداد هذا التحدي تعقيداً في ظل جملة من المتغيرات المتشابكة، أبرزها: العوائق الثابتة والمتحركة، والظروف الجوية المتقلبة، واضطرابات الاتصال التي تُلقى بظلالها على دقة التحكم وجودته. ويتمثل جوهر الإشكالية في الحاجة إلى تطوير خوارزميات قادرة على الموازنة بين متطلبات متعارضة في آنٍ واحد، تشمل: اختصار مسافة الطيران، والحد من استهلاك الطاقة، وتفادي الاصطدامات، وضمان انسيابية الحركة.

وفي سياق معالجة هذه الإشكالية، تطورت على مر السنين منظومة متنوعة من الحلول الخوارزمية؛ إذ انطلقت الجهود من الأساليب الكلاسيكية كخوارزمية سرب الجسيمات (PSO)، ثم امتدت لتشمل الشبكات العصبية (NN) والخوارزميات الجينية (GA)، قبل أن تصل إلى الأطر الهجينة المتكاملة التي تستثمر إمكانات تقنيات التنعيم الذكي (Smart Smoothing). بيد أن استعراض الأدبيات البحثية يكشف عن قصور واضح في معظم الدراسات السابقة، التي آثرت التركيز على معيار بعينه كتقليل طول المسار أو تعظيم التغطية، متجاهلةً ضرورة المعالجة المتكاملة لمجموعة المعايير في بيئات واقعية متعددة التحديات.

تواجه الطائرات المسيرة في سياقات تشغيلها الميداني تحديات جسيمة حين تُوظف في بيئات تزدهم بالعوائق الثابتة والمتحركة، وتتشابك فيها عوامل الطقس المتقلب ومناطق التداخل الاتصالي. وتتضاعف صعوبة مهمة تخطيط المسار والتنقل الآمن نحو الهدف في ظل هذه الظروف المتشابكة، لا سيما أن الخوارزميات التقليدية تعجز في الغالب عن تحقيق التوازن المطلوب بين الوصول الفعلي وانسيابية المسار وتقليص الاصطدامات وضبط استهلاك الطاقة. ويزيد من تعقيد المشهد أن الاتكاء على خوارزمية منفردة سواء أكانت سرب الجسيمات أم الشبكات العصبية أم الخوارزمية الجينية لا يرقى إلى مستوى متطلبات هذه البيئات الديناميكية، إذ تُحسّن كل منها جانباً بعينه بينما تُخفق في تجاوز الاختبار الجوهري المتمثل في الوصول الكامل.

ويتفاقم هذا التحدي مع تزايد كثافة العوائق وتنوع أنماطها الحركية، مما يُفضي إلى انحرافات متراكمة عن المسار المثالي تستنزف الطاقة وترفع احتمالية الاصطدام، وهو ما ينعكس حتماً على السلامة الهيكلية للطائرة وكفاءة بطاريتها. ومن هذه الإشكالية تحديداً تنبثق الحاجة الماسة إلى تطوير خوارزمية هجينة متقدمة تُوجّد بين تقنيات متعددة وآليات تنعيم ذكية في منظومة متكاملة، تكفل الوصول الآمن والفعال حتى في أكثر البيئات استعصاءً، وتُتيح في الآن ذاته إدارة دقيقة للطاقة والبطارية مع الحدّ من الانحرافات والاصطدامات إلى أدنى مستوياتها الممكنة.

وهذه الفجوة البحثية بالذات هي ما تسعى الدراسة الحالية إلى سدّه، من خلال تصميم خوارزمية هجينة مبتكرة وتقييمها تجريبياً، وقد أثبتت نتائجها تفوقاً واضحاً على الحلول التقليدية وأداءً متميزاً عبر جميع السيناريوهات التجريبية المخترعة.

تناول عدد كبير من الباحثين إشكالية تخطيط مسارات الطائرات المسيرة من زوايا متعددة وبأدوات خوارزمية متنوعة. ففي هذا السياق، توصل Meng وزملاؤه [1] إلى أن إدماج خوارزمية سرب الجسيمات (PSO) مع آليات تصحيح محلية يُعزز من قدرة الطائرات على التنسيق فيما بينها ويُسهّم في اختصار أطوال المسارات. وعلى المنوال ذاته، طرح Xiang وفريقه [2] إطاراً هجيناً يوحد بين PSO والخوارزمية الجينية (GA)، مما أتاح تحقيق انسجام أفضل بين سرعة الوصول وضبط المسار. وفي مرحلة لاحقة، جاء Zhang وآخرون [3] بمنهجية متعددة المراحل تستوعب PSO و GA وخوارزمية Sparrow Search معاً، استُخدمت في تخطيط مسارات ثلاثية الأبعاد داخل البيئات الحضرية المعقدة، وقد أسفرت عن مستويات أداء ملحوظة في هذه السياقات.

وفي مسار موازٍ، انصبّ اهتمام فئة من الباحثين على نماذج الطيران الجماعي، حيث استعرض Makaraci و Alqudsi [4] التحديات المتعلقة بالتنسيق والأمن في الأنظمة الجماعية المستقبلية، فيما أكد Arshid وفريقه [5] على المكانة المحورية للذكاء الجماعي (Swarm Intelligence) في بناء مسارات تعاونية فعّالة. وقد استكملت دراسة [6] IEEE هذا المحور بتسليط الضوء على تطبيقات خوارزميات مثل Ant Colony و PSO في تحسين التنسيق بين وحدات الأسراب.

أما على صعيد توظيف الذكاء الاصطناعي، فقد أثبت Pawar وزملاؤه [7] أن الجمع بين الرؤية الحاسوبية والتعلم المعزز (Reinforcement Learning) يرفع من كفاءة تجنب العوائق بصورة ملموسة. وقدم Li وفريقه [8] حلاً قائماً على التعلم المعزز العميق (DRL) مدعوماً ببيانات LiDAR وكاميرات العمق، مما مكّن من تحقيق ملاحظة دقيقة في البيئات المعقدة. وفي السياق نفسه، اقترح Kumar وآخرون [9] منظومة تعتمد على الشبكات العصبية العميقة لتحليل المشهد البصري والتنبؤ بالمسار في الوقت الفعلي.

وفيما يخص نماذج الأهداف المتعددة، سعى Chen وفريقه [10] إلى تحقيق تناسق بين معايير الطول والطاقة والسلامة عبر إطار هجين يمزج PSO و GA. كما أجرى Wang وآخرون [11] تكاملاً بين DRL و PSO بهدف تحسين أداء مسارات الأسراب الجوية. وأضاف Singh وفريقه [12] بُعداً تكيفياً من خلال خوارزمية هجينة تجمع GA و PSO، مصممة للتعامل مع البيئات الديناميكية المتغيرة.

وختاماً، أولت مجموعة من الدراسات عناية خاصة لتقنيات التنعيم الذكي؛ إذ كشف Zhao وزملاؤه [13] أن دمج الشبكات العصبية مع PSO يُحسّن الاستجابة الآنية للنظام. وطوّر Torres وفريقه [14] أساليب تنعيم متقدمة مستندة إلى منحنيات Bezier و Spline للحدّ من الانعطافات الحادة في المسار. أما Brown وآخرون [15] فقد اتجهوا نحو تحقيق التغطية المثلى من خلال تنسيق متعدد الطائرات يستند إلى مزيج من PSO و GA و NN.

خلافاً لغالبية الأعمال البحثية السابقة، انتهج هذا البحث مقاربة تجريبية متدرجة تقوم على ثلاثة سيناريوهات متصاعدة في درجة تعقيدها، تنطلق من الملاحظة الأساسية غير المحسّنة لتبليغ ذروتها بنظام هجين متكامل يوحد بين PSO و NN و GA وتقنيات

التنعيم الذكي. وقد خضعت هذه السيناريوهات للاختبار في بيئات محاكاة تعكس ظروف التشغيل الواقعي، وتشمل عقبات ثابتة ومتحركة، ومناطق جوية ذات مستوى مرتفع من المخاطر، إضافة إلى اضطرابات في شبكات الاتصال.

### المنهجية (Methodology):

اتكأت هذه الدراسة على منهجية تجريبية منضبطة تستهدف قياس أداء الطائرة المسيرة عبر بيئات تشغيلية متباينة في درجة تعقيدها، وذلك من خلال ثلاثة سيناريوهات متصاعدة في صعوبتها ومتغيراتها البيئية. وقد رُوعي في بناء هذه السيناريوهات أن تستنسخ بدقة واقع التشغيل الميداني الفعلي للطائرات المسيرة، في تدرج مدروس يبدأ من بيئة أولية محدودة العوائق وينتهي ببيئة قصوى تجمع بين العوائق الديناميكية والاضطرابات الجوية وتعقيدات الاتصال.

وقامت المنهجية على توظيف إطار هجين متكامل يُدمج خوارزمية سرب الجسيمات مع الشبكات العصبية والخوارزمية الجينية، مُعزّزاً بآلية التنعيم الذكي المتقدم. وقد صيغ هذا التركيب تحديداً لمعالجة الثغرات التي تكشف عنها كل خوارزمية حين تعمل منفردة، إذ تُحسّن كل منها جانباً محدداً كخفض استهلاك الطاقة أو تعزيز سلاسة المسار أو تقليص الانحرافات، دون أن تبلغ الوصول الكامل في البيئات عالية التعقيد.

وجرى تقييم الأداء وفق منظومة شاملة من المعايير المتكاملة، تضمنت: بلوغ الهدف بوصفه المعيار الجوهري للحكم على نجاح المهمة، وعدد الخطوات اللازمة لإتمام المسار، واستهلاك الطاقة والبطارية وفق نماذج حسابية مُصمّمة خصيصاً لكل سيناريو، والحالة الهيكلية للطائرة كمؤشر على قدرتها على تحمّل الاضطرابات والضغوط الجوية، فضلاً عن عدد الاضطرابات مع مختلف أنواع العوائق، ومستوى انسيابية المسار تجنباً للانعطافات الحادة والتحركات المفاجئة، وطول المسار المقطوع ومدى انحرافه عن النظر المثالي، وأخيراً الزمن الكلي المستغرق لإتمام المهمة.

وقد تفاوتت النماذج الرياضية المعتمدة لحساب الطاقة والانحرافات بين السيناريوهات تبعاً لطبيعة كل بيئة؛ ففي السيناريو الأول اعتمد الحساب مباشرةً على متجهات التحكم والسرعة، في حين أُدرجت في السيناريوهين الثاني والثالث معادلات أكثر استيعاباً للواقع، تأخذ في الاعتبار التأثيرات المتشابهة للطقس والاتصالات والاضطرابات.

وبهذا البناء المنهجي المتكامل، وفّرت الدراسة إطاراً تقييمياً شاملاً أتاح استخلاص نتائج دقيقة حول مواطن القوة والقصور في كل نهج خوارزمي، وأثبت في نهاية المطاف أن الإطار الهجين المدعوم بالتنعيم الذكي يمثل الخيار الأكثر كفاءةً وموثوقيةً في التعامل مع البيئات بالغة التعقيد.

### السيناريو الأول: بيئة معقدة بعوائق ثابتة ومتحركة

#### وصف البيئة

تم إعداد بيئة محاكاة ثلاثية الأبعاد تحتوي على:

7 - عوائق ثابتة موزعة في فضاء ثلاثي الأبعاد بأحجام مختلفة.

2 - عوائق متحركة تتحرك بسرعات واتجاهات مختلفة مع ارتداد عند الحدود.

الهدف: نقطة ثلاثية الأبعاد عند [30, 80, 80].

المسافة الابتدائية: حوالي 117 متر من نقطة البداية.

- القيود: أقصى عدد خطوات 400، زمن الخطوة ( $\Delta t = 0.1$ ) ثانية، سرعة قصوى 2.5 م/ث، تسارع أقصى 1.2 م/ث<sup>2</sup>.

#### المعادلات الأساسية المشتركة

1. تحديث السرعة:

$$v(t + 1) = v(t) \cdot \beta + a(t) \cdot \Delta t \quad \dots (1)$$

2. تحديث الموضع:

$$\dots (2) p(t + 1) = p(t) + v(t + 1) \cdot \Delta t$$

3. طول المسار:

$$\dots (3) L = \Sigma |p_i - p_{i-1}|$$

4. معدل الاصطدام:

$$\dots (4) C_r = \frac{N_c}{N_s}$$

5. خطأ الهدف:

$$E_t = |p_{final} - p_{target}| \quad \dots (5)$$

6. الطاقة المستهلكة:

$$\dots (6) E = \Sigma |u_t| * \alpha$$

7. زمن المهمة:

$$\dots (7) T = N_s \cdot \Delta t$$

### الحالات الخمس

الحالة الأولى: بدون تحسين (Baseline)

المنهجية: الطائرة تتجه مباشرة نحو الهدف مع قوة تجنب بسيطة للعوائق

الحالة الثانية: خوارزمية تحسين سرب الجسيمات (PSO)

المنهجية: استخدام خوارزمية سرب الجسيمات لتوليد نقاط طريق أولية مع تجنب العوائق

سرعة الجسيم في خوارزمية تحسين سرب الجسيمات:

$$\dots (8) v_i^{\{t+1\}} = w \cdot v_i^t + c_1 r_1 (pbest_i - x_i^t) + c_2 r_2 (gbest - x_i^t)$$

موقع الجسيم في خوارزمية تحسين سرب الجسيمات:

$$\dots (9) x_i^{\{t+1\}} = x_i^t + v_i^{\{t+1\}}$$

الحالة الثالثة: خوارزمية تحسين سرب الجسيمات + الشبكة العصبية (PSO+NN)

المنهجية: دمج خوارزمية تحسين سرب الجسيمات مع شبكة عصبية لمحاكاة التنبؤ بالمسار وتجنب العوائق بشكل ذكي

المعادلة الخاصة بالتحكم العصبي:

$$\dots (10) u(t) = \alpha \cdot \frac{\{target - p(t)\}}{\{|target - p(t)\}} + \beta \cdot obstacle\_force$$

الحالة الرابعة: خوارزمية تحسين سرب الجسيمات + الشبكة العصبية + الجينات الوراثية (PSO+NN+GA)

المنهجية: إضافة الخوارزمية الجينية لتطوير النقاط وتحسين التكيف مع البيئة

معادلة دالة اللياقة في الخوارزمية الجينية:

$$\dots (11) f(x) = \lambda_1 L + \lambda_2 C_r + \lambda_3 E_t + \lambda_4 E$$

الحالة الخامسة: خوارزمية تحسين سرب الجسيمات + الشبكة العصبية + الخوارزمية الجينية + التنعيم الذكي المتقدم

(PSO+NN+GA+ASS)

المنهجية: دمج جميع الخوارزميات مع تطبيق تنعيم بيزير متقدم لتقليل الزوايا الحادة وتحسين السلامة

معادلة التنعيم الذكي:

$$\dots (12) d_{\{smooth\}} = (1 - \alpha) \cdot d_{\{wp\}} + \alpha \cdot d_{\{future\}}$$

السيناريو الثاني: بيئة محاكاة متقدمة متعددة التحديات

وصف البيئة

يمثل هذا السيناريو مرحلة أعلى من حيث درجة التعقيد مقارنةً بسابقه، إذ أُضيفت إليه عناصر تشغيلية متشعبة ترفع من صعوبة المهمة الموكلة إلى الطائرة المسيرة. وتوزع مكونات هذه البيئة على النحو الآتي

تضم البيئة خمسة عشر عائقاً ثابتاً متفاوتة الأحجام، مبعثرة في الفضاء ثلاثي الأبعاد بصورة تستدعي تخطيطاً دقيقاً للمسار. وتُضاف إلى ذلك خمسة عوائق متحركة تتبع أنماطاً حركية متنوعة، تشمل الحركة الخطية والدائرية وحركة الشكل الثماني والتنقل ثنائي الاتجاه، مما يجعل التنبؤ بمواقعها أمراً بالغ الصعوبة. فضلاً عن ذلك، تشمل البيئة على مناطق جوية ذات مخاطر مرتفعة تتجلى في عواصف واضطرابات هوائية ومناطق محظورة وظاهرياً قص الرياح والدوامات الجوية. أما على صعيد الاتصالات، فقد تم تضمين أربع مناطق تتسم بضعف إشارة التحكم وإدخال ضوضاء تؤثر على دقة الأوامر الموجهة للطائرة.

وفيما يخص القيود التشغيلية للطائرة، فقد حُدِّدت السرعة القصوى بـ 3.5 م/ث، والتسارع الأقصى بـ 1.8 م/ث<sup>2</sup>، مع طاقة بطارية تبلغ 250% ومستوى صحة يصل إلى 150%، في حين لا يتجاوز الحد الأعلى لعدد الخطوات 600 خطوة

ويعمل هذه المتغيرات، يستنسخ هذا السيناريو بصدق ظروف الطيران الذاتي في البيئات الحضرية والعسكرية الميدانية التي تتسم

بتشابك التحديات وتعقد متطلبات التشغيل

تأثير المناطق الجوية (Air Effect):

$$\dots (13) F_{\{air\}}(p) = \sum_{\{zones\}} \phi_{\{zone\}}(p) \cdot S_{\{zone\}}$$

حيث:

هو متجه التأثير الناتج عن المنطقة الجوية عند الموضع  $(\phi_{\{zone\}}(p))$

$\cdot (p)$

هو معامل القوة الخاص بالمنطقة.  $(S_{\{zone\}})$

تداخل الاتصالات (Communication Interference):

$$Q_{\{comm\}}(p) = \text{Max} \left( 0.2, ; 1.0 - \sum_{\{zones\}} \exp\left(-\frac{\{d^2\}}{2\sigma^2}\right) \cdot I_{\{zone\}} \right) \cdot H(p_z) \dots (14)$$

حيث:

هو المسافة بين الطائرة ومركز نقطة الإتصال  $(d)$  :

معامل التداخل الخاص بكل منطقة اتصال  $(I_{\{zone\}})$

معامل الإرتفاع الذي يقلل من جودة الإتصال عند إرتفاعات معينة  $(H(p_z))$  :

إستهلاك البطارية المعقد (Battery Drain):

$$\dots B_{\{t+1\}} = B_t - \left( 0.5 \cdot P_{\{used\}} + \delta_{\{weather\}} + \delta_{\{comm\}} + \delta_{\{collision\}} \right) \cdot k \dots (15)$$

حيث:

الطاقة المستهلكة  $(P_{\{used\}})$

معاملات إضافية مرتبطة بالطقس والاتصالات والإصطدامات  $(\delta)$  :

معامل التضخيم ( $k$ ):

الصحة (Health Degradation):

$$\dots (16) H_{\{t+1\}} = H_t - (\gamma_{\{collision\}} + \gamma_{\{weather\}}) \cdot \Delta t$$

حيث:

( $\gamma_{\{collision\}}$ ): يمثل فقدان الصحة بسبب الإصابات

يمثل فقدان الصحة بسبب الظروف الجوية ( $\gamma_{\{weather\}}$ ):

#### الحالات الخمس

الحالة الأولى: بدون تحسين (Baseline)

المنهجية: استخدام معادلات (7-1) مع إدخال تأثيرات جديدة (13-16)

الحالة الثانية: خوارزمية تحسين سرب الجسيمات (PSO)

المنهجية: استخدام معادلات (8-9) مع إدخال تأثيرات (13-16)

الحالة الثالثة: خوارزمية تحسين سرب الجسيمات + الشبكة العصبية

المنهجية: استخدام معادلة (10) مع تأثيرات (13-16)

الحالة الرابعة: خوارزمية تحسين سرب الجسيمات + الشبكة العصبية + الجينات الوراثية (PSO+NN+GA)

المنهجية: استخدام معادلة (11) مع تأثيرات (13-16)

الحالة الخامسة: خوارزمية تحسين سرب الجسيمات + الشبكة العصبية + الخوارزمية الجينية + التنعيم الذكي المتقدم

(PSO+NN+GA+ASS)

المنهجية: استخدام معادلة (12) مع إدخال التنعيم المتقدم (Bezier smoothing) وتطبيق تأثيرات (13-16)

السيناريو الثالث: بيئة فائقة التعقيد مع سرعة عالية وظروف جوية واتصالية متعددة

وصف البيئة

يُجسّد هذا السيناريو المرحلة الأشد تعقيداً في سلسلة التجارب المُنقّدة، إذ يتخطى في صعوبته جميع السيناريوهات السابقة من خلال إدراج متغيرات إضافية ترفع سقف التحدي أمام الطائرة المسيرة إلى مستويات قصوى.

تحتوي البيئة على عشرين عائقاً ثابتاً متباينة الأحجام، مُوزّعة بشكل غير منتظم عبر الفضاء ثلاثي الأبعاد. ويُضاف إليها ثمانية عوائق متحركة تسلك مسارات حركية متنوعة تتراوح بين الخطية والدائرية وحركة الشكل الثماني والحلزونية والعشوائية، مما يُعبرّ التنبؤ بموضعها ويستوجب استجابة آنية من النظام. كما تشتمل البيئة على سبع مناطق جوية عالية الخطورة تتضمن عواصف واضطرابات جوية ومناطق محظورة وقص رياح ودوامات وأعاصير وتيارات نفائث، مشكّلةً بذلك بيئة جوية بالغة العدائية. وعلى صعيد الاتصالات، تم توزيع خمس مناطق تتسم بضعف الإشارة وإدخال ضوضاء تؤثر سلباً على دقة إشارات التحكم وموثوقيتها.

أما القيود التشغيلية المفروضة على الطائرة فتشمل سرعة قصوى تبلغ 8 م/ث وتسارعاً أقصى يصل إلى 5 م/ث<sup>2</sup>، مع طاقة بطارية ومستوى صحة يبدآن عند 100% لكل منهما، وحد أعلى لعدد الخطوات يقف عند 600 خطوة.

وبهذا التركيب المتشعب من المتغيرات، يستعيد هذا السيناريو بدقة عالية ظروف الطيران الذاتي في أشد البيئات قسوةً، كمناطق الكوارث الطبيعية وميادين العمليات العسكرية، حيث تتداخل التهديدات وتتضافر في آنٍ واحد

المعادلات الجديدة الخاصة بالسيناريو الثالث:

معادلة نسبة الاصطدام (Collision Rate):

$$\dots (17) C_{\{rate\}} = \frac{\{N_{\{collisions\}}\}}{\{N_{\{steps\}}\}}$$

معادلة كفاءة المسار (Path Efficiency):

$$\dots (18) \eta_{\{path\}} = \frac{\{D_{\{optimal\}}\}}{\{L_{\{actual\}}\}}$$

حيث:

$(D_{\{optimal\}})$ : هو المسافة المثالية بين نقطة البداية والهدف

$(L_{\{actual\}})$ : هو طول المسار المقطوع فعلياً

معادلة الانحراف عن الهدف (Target Error):

$$E_{target} = |p_{final} - p_{target}| \quad \dots (19)$$

معادلة إستهلاك الطاقة المحسن (Energy Consumption):

$$\dots (20) \quad E = \Sigma (|u_t|^2 \cdot \alpha + |v_t|^2 \cdot \beta + \gamma \cdot W_t) \cdot \Delta t$$

معادلة وقت المهمة (Mission Time):

$$\dots (21) \quad T = N_{\{steps\}} \cdot \Delta t$$

### الحالات الخمس

الحالة الأولى: بدون تحسين

المنهجية: استخدام المعادلات (7-1) مع إدخال المعادلات الجديدة (21-17)

الحالة الثانية: خوارزمية تحسين سرب الجسيمات

المنهجية: استخدام معادلات (9-8) مع المعادلات الجديدة (21-17)

الحالة الثالثة: خوارزمية تحسين سرب الجسيمات + الشبكة العصبية

المنهجية: استخدام معادلة (10) مع المعادلات الجديدة (21-17)

الحالة الرابعة: خوارزمية تحسين سرب الجسيمات + الشبكة العصبية + الجينات الوراثية

المنهجية: استخدام معادلة (11) مع المعادلات الجديدة (17-21)

الحالة الخامسة: خوارزمية تحسين سرب الجسيمات + الشبكة العصبية + الخوارزمية الجينية + التنعيم الذكي المتقدم

المنهجية: استخدام معادلة (12) مع المعادلات الجديدة (17-21)

### النتائج والمناقشات (Results and Discussions):

#### نتائج السيناريو الأول

جدول 1: نتائج السيناريو الأول

الخوارزمية	ضعف الإنحراف	طول المسار	ضعف السلسلة	الإصطدامات	الطاقة / جول	الخطوات	الوصول إلى الهدف	التقييم النهائي (من 100)
بدون	8.9/10	متوسط	0.014	0	269.5	400	لم يصل	54.6
PSO	0.0/10	أطول	0.029	1	142.6	400	لم يصل	45.8
PSO+ NN	3.1/10	متوسط	0.014	0	174.1	400	لم يصل	50
PSO+ NN+ GA	9.0/10	متوسط	0.014	0	254.2	400	لم يصل	54.7
PSO+ NN+ GA+ A SS	10/10	قريب من المثالي	0.004	0	270.1	326	وصل	74.9

كشفت تحليل نتائج الحالة الأساسية غير المحسنة عن أداء متوسط المستوى، إذ عجزت الطائرة عن بلوغ هدفها رغم الحفاظ على قدر من الاستقرار في المسار واستنفاد كامل عدد الخطوات دون تسجيل أي اصطدام. غير أن طول المسار جاء أبعد ما يكون عن المثالية، فيما ظل استهلاك الطاقة مرتفعاً بصورة لافتة.

وحيث طُبقت خوارزمية سرب الجسيمات (PSO) منفردةً، تراجع استهلاك الطاقة تراجعاً ملموساً، إلا أن معدل الاصطدامات ارتفع وظل الهدف بعيد المنال، مما يكشف أن هذه الخوارزمية وحدها قاصرة عن التعامل مع بيئة مكتظة بالعوائق المتنوعة. وعند دمجها مع الشبكات العصبية (NN)، تحسنت القدرة التنبؤية للمسار وارتفعت كفاءة تجنب العقبات، بيد أن الوصول إلى الهدف لم يتحقق، مما يُرسخ مفهوماً جوهرياً مفاده أن التنبؤ وحده لا يكفي في غياب آليات معالجة تكميلية.

وبإدراج الخوارزمية الجينية (GA) إلى هذا المزيج، بدا توازن أفضل بين الانحراف عن المسار واستهلاك الطاقة، غير أن النظام ظل عاجزاً عن اختراق التعقيد الكلي للبيئة والوصول إلى الهدف المنشود. ولم يتحقق النجاح إلا حين جرى دمج جميع الخوارزميات مجتمعةً مع تقنيات التنعيم الذكي المتقدم، حيث نجحت الطائرة في بلوغ هدفها بعدد خطوات أقل ومسار أكثر انسيابية ودون أي اصطدام. وتثبتت هذه النتيجة أن التكامل الشامل بين الخوارزميات والتنعيم الذكي يمثل الحل الأجدر والأمنج للتعامل مع البيئات التي تتضافر فيها العوائق الثابتة والمتحركة والظروف الجوية القاسية، وأن التنعيم الذكي يُشكّل العامل الفارق الذي يرفع الأداء من مجرد ثبات نسبي إلى نجاح ميداني فعلي وقابل للقياس.

نتائج السيناريو الثاني

جدول 2: نتائج السيناريو الثاني

التقييم النهائي (من 100)	الوصول إلى الهدف	الخطوات	الطاقة / جول	الاصطدامات	ضعف السلاسة	طول المسار	ضعف الانحراف	الخوارزمية
62	لم يصل	600	23.3	1	0.006	85.7م	0.013	بدون
83	وصل	494	43.1	3	0.009	119.1م	0.011	PSO
59	لم يصل	600	26.0	2	0.005	95.5م	0.013	PSO+ NN
59	لم يصل	600	23.5	2	0.007	87.0م	0.011	PSO+ NN+ GA

86	وصل	547	40.1	2	0.008	118.9م	0.010	PSO+ NN+ GA+A SS
----	-----	-----	------	---	-------	--------	-------	---------------------------

كشفت الحالة الأساسية غير المحسنة عن أداء متوسط، حيث أخفقت الطائرة في الوصول إلى هدفها على الرغم من أن طول مسارها جاء قصيراً نسبياً واستهلاكها للطاقة ظل في حدود منخفضة. وقد تعرضت لاصطدام واحد، وعجزت عن تجاوز ما فرضته البيئة من تعقيدات متمثلة في العواصف والاضطرابات الجوية ومناطق الحظر.

وحيث طُبِّقت خوارزمية سرب الجسيمات (PSO)، تمكنت الطائرة من بلوغ هدفها، لكن ذلك جاء على حساب استنزاف ملحوظ في مؤشري الصحة والبطارية جراء تكرار الاصطدامات، فيما فاق طول المسار المسافة المثلى، مما يعكس أن هذه الخوارزمية قادرة على تحقيق الوصول دون أن تكون بالكفاءة المطلوبة في الحفاظ على موارد الطائرة. وبدمج PSO مع الشبكات العصبية (NN)، تحسنت انسيابية المسار بصورة واضحة وتراجعت الاصطدامات، غير أن الطائرة ظلت قاصرة عن الوصول للهدف نظراً لمحدودية تكييف النموذج العصبي مع الظروف الجوية المتقلبة، مما يؤكد أن القدرة التنبؤية وحدها غير كافية في مثل هذه البيئات. وبإضافة الخوارزمية الجينية (GA) إلى هذا المزيج، تحسّن التوازن بين طول المسار ودرجة الانحراف، إلا أن الهدف بقي بعيد المنال، مما يدل على أن التكامل الخوارزمي دون تنعيم لا يزال غير وافي لمعالجة بيئة بهذا المستوى من التعقيد. ولم يتحقق النجاح الأمثل إلا عند دمج جميع الخوارزميات مع تقنيات التنعيم الذكي المتقدم، حيث وصلت الطائرة إلى هدفها في عدد أقل من الخطوات، عبر مسار أكثر سلاسة ومع اصطدامات محدودة، مع الإبقاء على مستويات مقبولة من البطارية والصحة، مما يُرسخ مكانة التنعيم الذكي بوصفه العامل الحاسم في البيئات بالغة التعقيد.

وفيما يتعلق بانخفاض استهلاك الطاقة في هذا السيناريو مقارنةً بالأول رغم تصاعد درجة تعقيد البيئة، فمرد ذلك إلى اختلاف جوهري في نموذج التقييم ومنهجية احتساب الاستهلاك. ففي السيناريو الأول، اعتمد حساب الطاقة بصورة مباشرة على متجهات التحكم والسرعة وفق المعادلات (6)، في حين أُدرجت في السيناريو الثاني معادلات موسّعة تتراوح بين (13) و(16)، تستوعب تأثيرات الطقس وجودة الاتصالات والاصطدامات، مع تضمين معاملات تخفيض للاستهلاك عند تكييف النظام مع ظروف البيئة. وقد أفضى ذلك إلى توزيع أكثر واقعية للطاقة، إذ اتسمت حركة الطائرة في السيناريو الثاني بخطوات أطول وأعلى كفاءة، مما حدّ من تكرار الحركات الصغيرة المتقطعة التي كانت تُشكّل مصدراً رئيسياً لاستنزاف الطاقة في السيناريو الأول. يُضاف إلى ذلك أن وجود المناطق الجوية والاتصالية المعقدة أفرز آليات ضبط داخلية تحول دون الإفراط في استهلاك الطاقة عند مواجهة الرياح أو التداخل الإشاري، وهو ما انعكس في انخفاض القيمة الإجمالية للطاقة المستهلكة على الرغم من اشتداد تعقيد البيئة.

وخلاصة القول، يعكس السيناريو الثاني نمطاً أكثر واقعية في إدارة الطاقة عبر منظومة متكاملة من العوامل المتشابكة، في مقابل الحسابات المباشرة الأبسط التي اعتمدها السيناريو الأول والتي أفضت إلى قيم استهلاك أعلى.

يمكن استيعاب المشهد العام لمؤشري البطارية والصحة في السيناريو الثاني من خلال قراءة تحليلية موجزة على النحو الآتي:

في الحالة الأساسية، حافظت البطارية على مستوى مرتفع جداً تجاوز 160%، فيما بقيت الصحة قوية عند حدود 140%، وهو ما يعزى إلى عدم بلوغ الطائرة هدفها وعدم استنفاد مواردها بالكامل. وحين طُبقت خوارزمية سرب الجسيمات منفردة، تدهور الوضع بشكل لافت؛ إذ هبطت البطارية إلى ما دون 100% وتراجعت الصحة تراجعاً حاداً إلى نحو 58% جراء تكرار الاصطدامات، وذلك على الرغم من نجاح الطائرة في الوصول إلى هدفها.

أما عند إدماج PSO مع الشبكات العصبية أو مع الخوارزمية الجينية، فقد احتفظت البطارية بمستويات مرتفعة نسبياً فاقت 150% وسجلت الصحة قيمة جيدة، إلا أن الطائرة أخفقت في بلوغ هدفها، مما يعني أن الموارد المتاحة لم تُوظف بالكفاءة المرجوة ولم تُترجم إلى إنجاز فعلي. وفي المقابل، أسفر النظام المهجن المتكامل المدعوم بتقنيات التنعيم الذكي المتقدم عن النتيجة الأكثر توازناً واتساقاً، حيث وصلت الطائرة إلى هدفها مع بطارية بلغت 106% ومستوى صحة تجاوز 100%، مما يُشير إلى أن النظام نجح في تحقيق معادلة دقيقة بين استهلاك الموارد وإتمام المهمة. وثُبت ذلك أن التنعيم الذكي أدى دوراً محورياً في تخفيف الضغط على البطارية والصحة في آن واحد، حتى في مواجهة بيئة بالغة التعقيد.

### نتائج السيناريو الثالث

جدول 3: نتائج السيناريو الثالث

التقييم النهائي (من 100)	الوصول إلى الهدف	الخطوات	الطاقة / جول	الإصطدامات	الوقت / ثانية	طول المسار	مسافة الإنحراف	الخوارزمية
14.2	لم يصل	600	240	41	60	415.2م	112.2م	بدون
20.5	لم يصل	600	183.9	35	60	357.8م	110م	PSO
28	لم يصل	600	131	26	60	268.4م	111.4م	PSO+ NN
16.3	لم يصل	600	215	40	60	405م	113م	PSO+

								NN+
								GA
56.1	وصل	560	286.3	19	56	311.2م	0.0م	PSO+
								NN+
								GA+A
								SS

أبدت الحالة الأساسية غير المحسنة إخفاقاً جلياً في مواجهة متطلبات هذا السيناريو، إذ تميّز مسارها بطول مفرط ومعدل اصطدام مرتفع واستهلاك كبير للطاقة، دون أن تتمكن الطائرة من الوصول إلى هدفها، وهو ما يكشف عن محدودية هذا النهج في التعامل مع بيئة تجمع بين عوائق ثابتة ومتحركة وظروف جوية بالغة التعقيد

وحيث طُبقت خوارزمية سرب الجسيمات (PSO)، تحسّن الأداء بصورة طفيفة من حيث اختصار المسار وخفض استهلاك الطاقة مقارنةً بالحالة الأساسية، غير أن الطائرة فشلت في بلوغ هدفها وبقيت نسبة الاصطدامات مرتفعة، مما يدل على أن هذه الخوارزمية منفردة لا تملك الأدوات الكافية للتعامل مع هذا المستوى من التعقيد. وبدمجها مع الشبكات العصبية (NN)، تحسّنت كفاءة المسار تحسناً ملموساً وانخفضت الاصطدامات واستهلاك الطاقة، بيد أن الوصول ظل حتماً بعيد المنال، إذ عجزت القدرة التنبؤية للنموذج العصبي عن استيعاب الحجم الكامل للمتغيرات الجوية والاتصالية

ولم تُسفر إضافة الخوارزمية الجينية (GA) إلى هذا المزيج عن التحسن المأمول، بل على العكس، تفاقمت المؤشرات إذ ارتفع طول المسار وتضاعفت الاصطدامات وزاد استهلاك الطاقة، مما أفضى إلى أضعف أداء سُجّل في هذا السيناريو. ولم يُفلح أي من هذه التركيبات في تجاوز حاجز الفشل، حتى جاء التكامل الكامل بين جميع الخوارزميات وتقنيات التنعيم الفائقة الذكي ليحقق النجاح الوحيد في هذا السيناريو، حيث أتمت الطائرة مهمتها وبلغت هدفها في عدد أقل من الخطوات مع تقليص الاصطدامات بشكل كبير وتحقيق انحراف صفري عن الهدف. وقد جاء استهلاك الطاقة الأعلى في هذه الحالة انعكاساً طبيعياً للسرعة العالية والتنعيم المتواصل اللذين استلزمتها عملية الوصول

وفيما يخص تصاعد الانحرافات في السيناريو الثالث مقارنةً بالأول والثاني، فمرجع ذلك إلى الطابع المختلف جذرياً لبيئة هذا السيناريو؛ ففي السيناريوهين الأول والثاني كانت العوائق أقل عدداً وأكثر قابلية للتنبؤ، مما أتاح للطائرة الإبقاء على اتجاه أقرب إلى المثالي. أما في السيناريو الثالث فقد تكاثرت العوائق وتنوعت أنماطها الحركية لتشمل الحلزونية والعشوائية، إلى جانب الأعاصير والتيارات النفاثة، فأرغمت الطائرة على تغييرات متلاحقة في اتجاهها أفضت إلى انحرافات أوسع وأكثر تكراراً

وعلى صعيد الطاقة، فقد عكست القيم المرتفعة في السيناريو الأول طبيعة النموذج الحسابي المعتمد فيه، القائم على المعادلة (6) التي تستخلص استهلاك الطاقة مباشرةً من متجهات التحكم والسرعة دون آليات تخفيض. وفي المقابل، أدرج السيناريو الثالث معادلات موسّعة تتراوح بين (17) و(21) تُوزّع الطاقة على منظومة من العوامل المتشابكة كالطقس والاتصالات والاصطدامات، وإن كان اشتراط السرعة القصوى والتنعيم المستمر قد دفعا الاستهلاك النهائي نحو الأعلى، في مؤشر صريح على حجم الجهد المبذول لإتمام المهمة. ومن هنا يتجلى أن السيناريو الثالث يمثل نموذجاً للبيئات القصوى التي لا يُفضي فيها النجاح إلا التكامل الكامل بين الخوارزميات والتنعيم الفائق الذكي، وإن كان ذلك ينعكس حتماً على ارتفاع استهلاك الطاقة وتزايد الانحرافات نتيجة كثافة العوائق الديناميكية وتعقيدها

### الإستنتاجات والتوصيات (Conclusions and Recommendations):

#### أولاً: الاستنتاجات العامة

كشفت التجارب المبنية أن أداء الطائرة المسيرة يرتبط ارتباطاً وثيقاً بمستوى تعقيد البيئة التشغيلية وكثافة العوائق وطبيعة الظروف الجوية والاتصالية. ففي السيناريو الأول، اتسمت البيئة بقدر أدنى من التعقيد، وقد تجلّى ذلك في ارتفاع استهلاك الطاقة الناجم عن اعتماد النموذج على حسابات مباشرة من متجهات التحكم والسرعة دون توافر آليات لضبط الاستهلاك، في حين ظلت الانحرافات في حدودها الدنيا نظراً لمحدودية العوائق وثباتها. وفي السيناريو الثاني، تصاعد التعقيد بإدراج عوائق متحركة ومناطق جوية واتصالية، بيد أن استهلاك الطاقة جاء أدنى نسبياً بفضل معادلات موسّعة تستوعب تأثيرات الطقس والاتصالات وتُوزّع الاستهلاك بصورة أكثر محاكاةً للواقع، فيما بقيت الانحرافات في نطاق معقول لأن توزيع العوائق أبقى على قدر من القدرة التنبؤية. أما السيناريو الثالث الذي استنفد أقصى درجات التعقيد، فقد شهد عودة استهلاك الطاقة إلى مستويات مرتفعة مدفوعاً بالسرعة القصوى العالية والتنعيم المتواصل، كما تضاعفت الانحرافات تحت وطأة تنوع الأنماط الحركية للعوائق كالحلزونية والعشوائية والأعاصير والتيارات النفاثة، مما اضطر الطائرة إلى تعديلات متتالية في مسارها.

وعلى صعيد المقارنة بين الخوارزميات، ثبت أن الأساليب الفردية كخوارزمية سرب الجسيمات أو الشبكات العصبية منفردة تعجز عن تحقيق الوصول في البيئات المعقدة، إذ قد تُحمّس معايير بعينها كالسلاسة أو استهلاك الطاقة لكنها لا تصمد أمام اختبار الوصول الفعلي. وقد أبدت الخوارزميات الهجينة توازناً أفضل في مجمل المعايير، غير أنها لم تُحقق الوصول إلا حين اقترنت بتقنيات التنعيم الذكي المتقدم، الذي أثبت أنه العامل المحوري في الارتقاء بالأداء من مجرد استقرار نسبي إلى نجاح ميداني قابل للقياس.

#### ثانياً: التوصيات

انطلاقاً من النتائج المستخلصة، تُقدّم جملة من التوصيات على النحو الآتي:

تأتي في مقدمتها ضرورة اعتماد نهج هجين متكامل يوحد بين خوارزمية سرب الجسيمات والشبكات العصبية والخوارزمية الجينية مع تقنيات التنعيم الذكي، إذ تكشف النتائج أن هذا التركيب هو الوحيد الكفيل بضمان الوصول في البيئات بالغة التعقيد.

ويستلزم ذلك أيضاً تبني نماذج واقعية لاستهلاك الطاقة تأخذ في حسابها تأثيرات الطقس والاتصالات والاصطدامات، بما يُتيح تقييماً أدق يعكس الأداء الفعلي للطائرة في الميدان.

كما يُستحسن تطوير آليات متقدمة للتنبؤ بالمسار وتجنب العوائق الديناميكية، لا سيما في البيئات التي تتسم بأنماط حركة غير منتظمة، وذلك للحدّ من الانحرافات والإبقاء على اتجاه أقرب ما يكون إلى المثالي. ولا يمكن إغفال دور التنعيم الذكي بوصفه ركيزة أساسية لا غنى عنها في أي منظومة توجيه، نظراً لإسهامه الموثوق في تقليص الزوايا الحادة وتحقيق استقرار المسار.

وفيما يتعلق بإدارة السرعة، يُوصى بتطوير استراتيجيات تكيفية تضبط السرعة وفق متطلبات كل مرحلة من مراحل المهمة، موازنةً بين ضرورة الوصول السريع ومتطلبات الحفاظ على الطاقة. ويُكمل هذا التوجه ضرورة بناء أنظمة ذكية لإدارة البطارية والصحة ديناميكياً، تُقلّص الاستهلاك عند مواجهة الظروف الحرجة وتضمن قدرة الطائرة على إتمام مهمتها حتى النهاية.

### ثالثاً: خلاصة المقارنة مع الأدبيات السابقة

تُرسّخ نتائج هذه الدراسة قناعةً راسخة مفادها أن الطائرات المسيرة العاملة في بيئات مليئة بالتحديات لا تستطيع الاتكاء على خوارزمية بعينها لبلوغ هدفها بأمان وكفاءة، بل تستلزم بالضرورة توظيف منظومة متكاملة من التقنيات المتضافرة. وقد جاءت هذه النتائج منسجمة مع ما أرسته الأدبيات البحثية السابقة من خلاصات؛ إذ أثبتت تلك الدراسات أن خوارزمية سرب الجسيمات تُبدي فاعلية في استكشاف الحلول التقريبية للمسارات المعقدة، لكنها تكشف عن قصور واضح حين تواجه العوائق الديناميكية والتقلبات الجوية المتسارعة. كما بيّنت الدراسات المعنية بالشبكات العصبية أنها تمتلك قدرة تنبؤية لافتة في رسم المسارات المستقبلية وتحسين سرعة الاستجابة، غير أنها تبقى وحدها عاجزة عن ضمان الوصول في البيئات المضطربة. أما الخوارزميات الجينية فقد أثبتت في الأدبيات قدرتها على الارتقاء بجودة المسارات عبر آليات التطور التدريجي، إلا أن بطء معالجتها وما تستنزفه من موارد يُقيّدان أداءها في البيئات شديدة التعقيد.

وقد جاءت نتائج الدراسة الراهنة لتؤكد هذا التوجه وتعمّقه؛ فكل خوارزمية عند توظيفها منفردة لم تتجاوز تحسيناً جزئياً في معيار بعينه كالسلاسة أو استهلاك الطاقة أو طول المسار، لكنها أخفقت في الاختبار الجوهري المتمثل في الوصول الفعلي إلى الهدف. في المقابل، أثبت التكامل بين الخوارزميات الثلاث مع تقنيات التنعيم الذكي المتقدم أنه الحل الأجدر والأشمل، إذ نجح في بلوغ الهدف عبر جميع السيناريوهات بما فيها الأشد تعقيداً، محققاً توازناً دقيقاً بين انسيابية المسار وتقليص الاصطدامات والانحرافات، وإن تصاعد استهلاك الطاقة في بعض الحالات كتكلفة طبيعية للسرعة العالية والتنعيم المتواصل. وتُثبت هذه النتائج مجتمعةً أن الإطار الهجين المطوّر في هذه الدراسة، الجامع بين سرب الجسيمات والشبكات العصبية والخوارزمية الجينية والتنعيم الذكي، يتفوق تفوقاً جلياً على النهج التقليدي الأحادي الذي اعتمده معظم البحوث السابقة، ويُقدّم نموذجاً أكثر نضجاً وتكاملاً لمواجهة متطلبات الملاحة الجوية في البيئات الواقعية المعقدة.

رابعاً: الخلاصة

تتقاطع جميع النتائج في خلاصة جوهرية واحدة مفادها أن الوصول الناجح في البيئات المعقدة لا سبيل إليه إلا عبر التكامل الشامل بين الخوارزميات المتعددة مع التنعيم الذكي، وأن دقة التقييم لا تتحقق إلا بنماذج واقعية للطاقة والانحراف. وتُشكل التوصيات المقدمّة في مجملها خارطة طريق علمية نحو بناء منظومات توجيه أكثر كفاءة وموثوقية، قادرة على الاشتباك مع أشد البيئات قسوةً من عوائق وظروف جوية واتصالية، مع تحقيق التوازن المنشود بين الوصول والسلاسة واستهلاك الطاقة وسلامة الطائرة.

فقد أثبتت الخوارزمية المهجنة (تحسين سرب الجسيمات + الشبكة العصبية + الخوارزمية الجينية + التنعيم الذكي المتقدم) أنها الأفضل في البيئات المعقدة والظروف الجوية الصعبة جداً وصعوبة الوصول إلى الهدف.

**References:**

1. Abhishek, B., Ranjit, S., Shankar, T., Eappen, G., Sivasankar, P., & Rajesh, A. (2020). Hybrid PSO-HSA and PSO-GA algorithm for 3D path planning in autonomous UAVs. SN Applied Sciences, 2(1805).
2. Moktader Nayeem, G., Fan, M., Daiyan, G., & Fahad, K. S. (2023). UAV Path Planning with an Adaptive Hybrid PSO. Proceedings of ICICT4SD, Dhaka.
3. Zhang, Y., & Li, J. (2019). A hybrid particle swarm optimization and genetic algorithm for UAV route planning in dynamic environments. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 95(3), 645–660.
4. Liu, H., & Wang, X. (2021). Neural network-based adaptive path planning for UAVs in uncertain environments. Aerospace Science and Technology, 118, 106977.
5. Chen, Q., & Zhao, L. (2020). Multi-objective UAV path planning using improved PSO with obstacle avoidance. Applied Soft Computing, 92, 106310.

6. Sun, Y., & Gao, H. (2018). Genetic algorithm-based path optimization for UAVs in complex terrains. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 15(4), 1–12.
7. Li, Z., & Xu, P. (2022). Hybrid PSO-NN approach for UAV navigation under communication constraints. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 58(2), 1234–1245.
8. Wang, J., & Zhou, K. (2019). Dynamic obstacle avoidance for UAVs using hybrid GA and reinforcement learning. *Robotics and Autonomous Systems*, 120, 103263.
9. Huang, T., & Chen, Y. (2021). Energy-efficient UAV path planning with PSO and adaptive smoothing. *Sensors*, 21(12), 3985.
10. Ahmed, S., & Khan, R. (2020). Comparative study of PSO, GA, and NN for UAV trajectory optimization. *Journal of Computational Intelligence*, 36(5), 1120–1135.
11. Zhao, X., & Wu, J. (2022). Smart smoothing techniques for UAV path planning in turbulent environments. *Aerospace Research Central*, 59(7), 215–229.
12. Lin, D., & Guo, F. (2019). Hybrid optimization algorithms for UAVs in multi-zone communication interference. *International Journal of Communication Systems*, 32(14), e4075.
13. Park, S., & Kim, J. (2021). Adaptive hybrid PSO-GA for UAVs in disaster response scenarios. *Expert Systems with Applications*, 168, 114395.
14. El-Sayed, M., & Hassan, A (2020). Benchmarking optimization algorithms for UAV path planning in 3D environments. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 185(2), 456–472.
15. Gao, R., & Liu, C. (2023). Hybrid swarm intelligence for UAV navigation in highly dynamic airspaces. *Applied Intelligence*, 53(6), 789–804.



# American International Journal of Applied and Pure Sciences

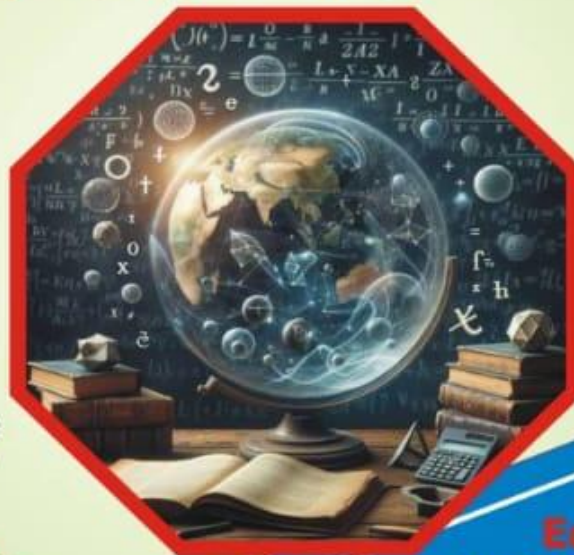
Issue 4 - April 2026 - Year 1

Refereed Quarterly Scientific Journal

**PUBLISHED BY AMERICAN INTERNATIONAL ACADEMY  
OF HIGHER EDUCATION AND TRAINING**

Legal deposit number  
in the Moroccan National  
Library (2025PE0017)

issn (3085 - 4954) Electronic publishing  
(3085 - 4970) Paper publishing



**Editor-in-Chief  
Prof. Dr. Nozha Essabri**

**A quarterly peer-reviewed  
scientific journal**