



العدد الرابع - ابريل - 2026 - السنة الاولى

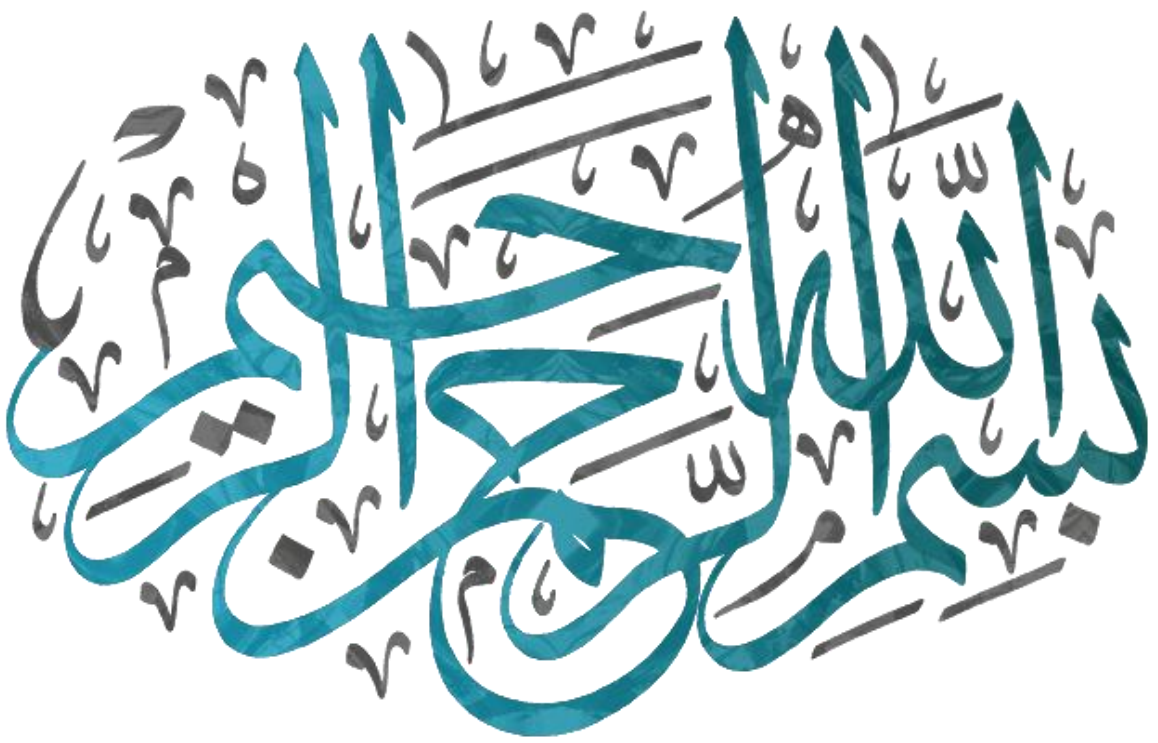
المجلة الأمريكية الدولية للعلوم التطبيقية والصرفة تصدر عن الأكاديمية الأمريكية الدولية للتعليم العالي والتدريب

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 والصرف

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

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

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 - الأكاديمية الأمريكية الدولية للتعليم العالي والتدريب - امريكا. (المصمم).
2. د. علي مولود ابراهيم - نائب عميد المعهد الأمريكي للدراسات البيولوجية والهندسية وابحاث 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 لغزير - 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.

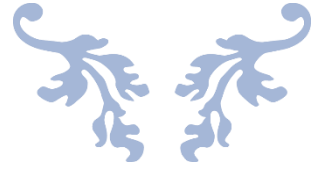
أعضاء الهيئة الاستشارية

- 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



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

009647808265313

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 بالملاحظة 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 بطاقتها. 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/ث².

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/ث²، 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

بتشابه التحديات وتعقد متطلبات التشغيل

تأثير المناطق الجوية (Air Effect):

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

حيث:

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

(p) .

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

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) :

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

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

إستهلاك البطارية المعقد (Battery Drain):

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

حيث:

$(P_{\{used\}})$: الطاقة المستهلكة

(δ) : معاملات إضافية مرتبطة بالطقس والاتصالات والإصطدامات

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 المنفّذة، 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/ث²، 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	الإصطدامات	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 لمواجهة 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 منفردةً، 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 ظلّ حلاً 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 استلزمتهما 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 جليلاً 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**