الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الشهيد حمه لخضر – الوادي
كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم البيولوجيا

رقم الترتيب: .....

رقم التسلسلي: .....

مذكرة تخرج

لنيل شهادة ماستر أكاديمي

الميدان: علوم الطبيعة والحياة

الشعبة: علوم بيولوجية

التخصص: التنوع البيئي وفيزيولوجيا النبات

الموضوع:

المساهمة في دراسة النشاطية البيولوجية للجزء الخضري من نبات عنب الذئب (*Solanum nigrum* L.).

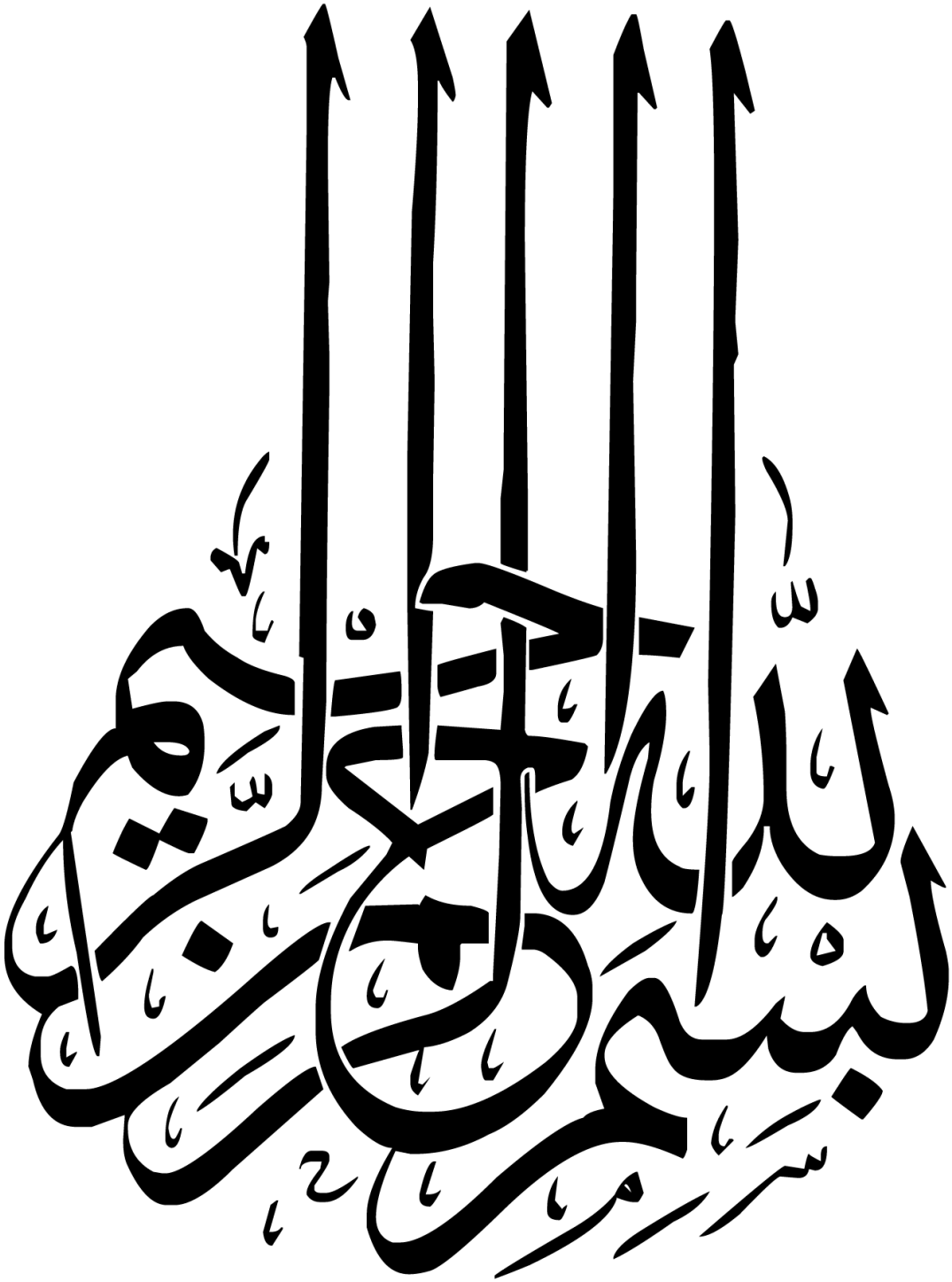
إعداد الطالبتين: كنزة شراد ومروة بن سالم

نوقشت بتاريخ: 2026/06/11

لجنة المناقشة:

نفوسي فطيمة	جامعة الوادي	رئيسا
فاطمة علية	جامعة الوادي	مشرفا
حمادة سمرة	جامعة الوادي	مناقشا

الموسم الجامعي: 2026/2025


بسم الله الرحمن الرحيم

الملخص:

في إطار تثمين الثروة النباتية وتطوير تطبيقات الكيمياء الخضراء، أنجزت هذه الدراسة التي تهدف إلى تقييم المحتوى الفيتوكيميائي والأنشطة البيولوجية للمستخلص المائي للجزء الخضري لنبات عنب الذئب (*Solanum nigrum* L.) النامي بريا في منطقة غمرة لشمالية بالوادي، الجزائر، وإجراء مقارنة مع نقاط الكربون النانوية المشتقة منه عبر تقنية التحلل الحراري المستدام. أظهر التقدير الكمي غنى المستخلص المائي بالمركبات الأيضية الثانوية، حيث بلغ محتوى عديدات الفينول الكلية قيمة 93.402 ± 0.562 mg GAE/g Ex، والفلافونويدات 43.150 ± 0.146 mg QE/g Ex، والتانينات المكثفة 25.438 ± 0.698 mg CE/g Ex وبالمقارنة مع نقاط الكربون، أظهر المستخلص المائي كفاءة فائقة كمضاد للأكسدة في اختبار كسح الجذر الحرة DPPH بقيمة IC_{50} = 41.099 ± 0.352 µg/mL والقدرة الاختزالية بقيمة $EC_{0.5}$ = 39.844 ± 0.168 µg/mL مقارنة بنقاط الكربون. وفي المقابل، أسفرت الصياغة النانوية الخضراء عن تميزا نوعيا في تعزيز الخصائص المضادة للالتهاب؛ حيث تفوقت نقاط الكربون في اختبار تثبيط تمسخ ألبومين مصل البقر (IC_{50} = 10.016 ± 0.055 mg/mL)، وحماية غشاء كريات الدم الحمراء بنسبة (64.984 ± 0.853 %). علاوة على ذلك، سجلت الجسيمات النانوية كفاءة عالية في حجب الأشعة فوق البنفسجية بعامل حماية من الشمس (SPF = 59.731 ± 0.281) متفوقة على واقي الشمس التجاري المرجعي. أما في الجانب الميكروبيولوجي، فقد أبدى المستخلص نشاطا إيجابيا قاتلا للبكتيريا ضد سلالتي *E. coli* و*S. aureus* بتركيز مثبط وقاتل متماثل (MIC = MBC = 80 mg/mL)، في حين اقتصر نشاط نقاط الكربون على التثبيط الخلوي لسلالة *E. coli* بقطر تثبيط بلغ 14 mm. من خلال هذه النتائج يمكن القول أن التخليق النانوي الأخضر يمثل استراتيجية واعدة لتعديل وتعزيز الأداء الوظيفي للمستخلصات الطبيعية، مما يفتح آفاقا واعدة لتوظيفها كبدائل حيوية مستدامة وآمنة في الصناعات الصيدلانية ومستحضرات التجميل الواقية من الأشعة فوق البنفسجية.

الكلمات المفتاحية: *Solanum nigrum* L.، المستخلص المائي، نقاط الكربون النانوية، الكيمياء الخضراء، مضادات الأكسدة، مضادات الالتهاب، معامل الحماية من الشمس، المضادات البكتيرية.

Abstract:

In the framework of valorizing plant resources and advancing green chemistry applications, this study evaluates the phytochemical profile and biological activities of the aqueous extract from the aerial parts of *Solanum nigrum* L., growing wild in the Guemar region (El Oued, Algeria). A comparative analysis was conducted against carbon dots synthesized via a sustainable thermal pyrolysis technique. Quantitative estimation revealed that the aqueous extract is highly rich in secondary metabolites, with total polyphenol, flavonoid, and condensed tannin contents of 93.402 ± 0.562 mg GAE/g Ex, 43.150 ± 0.146 mg QE/g Ex, and 25.438 ± 0.698 mg CE/g Ex, respectively. Regarding antioxidant capacity, the aqueous extract demonstrated superior efficiency compared to the carbon dots, exhibiting a remarkable DPPH radical scavenging activity (IC_{50} = 41.099 ± 0.352 µg/mL) and ferric reducing antioxidant power ($EC_{0.5}$ = 39.844 ± 0.168 µg/mL). Conversely, the green nano-formulation yielded a qualitative enhancement in anti-inflammatory properties; the carbon dots excelled in inhibiting bovine serum albumin denaturation IC_{50} = (IC_{50} = 10.016 ± 0.055 mg/mL) and protecting red blood cell membranes by 64.984 ± 0.853 %. Furthermore, the synthesized nanoparticles displayed an exceptional photoprotective capacity with a sun protection factor (SPF = 59.731 ± 0.281), significantly outperforming the commercial reference sunscreen. Microbiologically, the extract exhibited potent bactericidal activity against *E. coli* and *S. aureus* strains, with identical minimum inhibitory and bactericidal concentrations (MIC = MBC = 80 mg/mL), whereas the antibacterial effect of the carbon dots was limited to growth inhibition of *E. coli* with an inhibition zone diameter of 14 mm. These findings indicate that green nano-synthesis represents a promising strategy to modulate and enhance the functional performance of natural extracts, opening new horizons for their integration as safe and sustainable bio-alternatives in pharmaceutical and photoprotective cosmetic formulations.

Keywords: *Solanum nigrum* L.; Aqueous extract; Carbon dots; Green chemistry; Antioxidant; Anti-inflammatory; Sun Protection Factor; Antibacterial.

Résumé:

Dans le cadre de la valorisation des ressources végétales et du développement des applications de la chimie verte, cette étude évalue le profil phytochimique et les activités biologiques de l'extrait aqueux des parties aériennes de *Solanum nigrum* L., poussant à l'état sauvage dans la région de Guemar (El Oued, Algérie). Une étude comparative a été menée avec des points de carbone synthétisés par une technique de pyrolyse thermique durable. L'analyse quantitative a révélé la richesse de l'extrait aqueux en métabolites secondaires, avec des teneurs en phénols totaux, flavonoïdes et tannins condensés de 93.402 ± 0.562 mg EAG/g Ex, 43.150 ± 0.146 mg EQ/g Ex et 25.438 ± 0.698 mg EC/g Ex, respectivement. En termes de potentiel antioxydant, l'extrait aqueux a montré une efficacité supérieure à celle des points de carbone, affichant une activité remarquable de piégeage des radicaux DPPH (IC_{50} = 41.099 ± 0.352 µg/mL) et un pouvoir réducteur ($EC_{0.5}$ = 39.844 ± 0.168 µg/mL). En revanche, la nanoformulation verte a induit une amélioration qualitative des propriétés anti-inflammatoires; les points de carbone se sont distingués par l'inhibition de la dénaturation de l'albumine de sérum bovin (IC_{50} = 10.016 ± 0.055 mg/mL) et la stabilisation de la membrane des globules rouges à hauteur de (64.984 ± 0.853 %). De plus, les nanoparticules ont enregistré une efficacité photoprotectrice exceptionnelle avec un facteur de protection solaire (FPS = 59.731 ± 0.281), surpassant l'écran solaire commercial de référence. Sur le plan microbiologique, l'extrait a révélé une activité bactéricide puissante contre les souches d'*E. coli* et d'*S. aureus*, avec des concentrations minimales inhibitrices et bactéricides identiques (CMI = CMB = 80 mg/mL), tandis que l'effet des points de carbone s'est limité à l'inhibition de la croissance d'*E. coli* avec un diamètre de zone d'inhibition de 14 mm. Ces résultats confirment que la nanosynthèse verte constitue une stratégie prometteuse pour moduler et optimiser les performances fonctionnelles des extraits naturels, ouvrant des perspectives prometteuses pour leur intégration en tant que bio-alternatives durables et sûres dans les industries pharmaceutiques et les formulations cosmétiques de protection solaire.

Mots-clés: *Solanum nigrum* L.; Extrait aqueux; Points de carbone; Chimie verte; Antioxydant; Anti-inflammatoire; Facteur de Protection Solaire; Antibactérien.

شكر وتقدير

الحمد لله حمدا كثيرا طيبا مباركا فيه، نحمده سبحانه وتعالى الذي وفقنا وأعاننا على إتمام هذا العمل المتواضع، وأنعم علينا بالصحة والعافية، ومدنا بالعزيمة والصبر حتى بلغنا هذه المرحلة.

نتقد بخالص الشكر وعظيم الامتنان إلى المشرفة **"د. فاطمة عليه"**، على ما قدمته لنا من توجيهات قيمة، ونصائح سديدة، ومتابعة دائمة كان لها الأثر الكبير في إنجاز هذه المذكرة وإثراء مختلف جوانبها العلمية والمنهجية.

كما نتوجه بجزيل الشكر والتقدير إلى أعضاء لجنة المناقشة المحترمين، لقبولهم مناقشة هذا العمل وتقويمه، وما سيقدمونه من ملاحظات قيمة تسهم في تطويره وتحسينه.

ونتقدم كذلك بخالص عبارات الامتنان إلى جميع أساتذة تخصص التنوع الحيوي وفيزيولوجيا النبات بجامعة الشهيد حمه لخضر، على ما بذلوه من جهود في سبيل تعليمنا وتوجيهنا طوال مشوارنا الدراسي.

ولا يفوتنا أن نعبر عن شكرنا وتقديرنا لكل من ساهم من قريب أو بعيد في إنجاز هذا العمل، ولكل من قدم لنا يد العون والدعم. ونتوجه بأسمى عبارات الشكر والعرفان إلى عائلتينا الكريمتين اللتين كانتا السند والداعم الأول لنا طوال سنوات الدراسة، بما قدمتاه من تشجيع وصبر ودعوات صادقة كانت سببا في مواصلة الطريق وتحقيق هذا الإنجاز.

وفي الأخير نسأل الله تعالى أن يجزي الجميع خير الجزاء، وأن يجعل هذا العمل خالصا لوجهه الكريم.

والحمد لله رب العالمين.

إهداء

إلى من أضاءوا دربي قبل أن أخطو أولى خطواتي، إلى من غرسوا في روحي حب المعرفة، وعلموني أن الحياة لا تعاش إلا بالحكمة والصبر والوفاء...

إلى روح **"والدي العزيز"** التي تسكن قلبي رحمه الله..

إلى **"والدتي الغالية"** أدامها الله نورا في حياتي..

إلى العقد المتين الذي يزين عنقي، وإلى السند الذي لا يتصدع مهما اشتدت العواصف..

إلى **"أخي وأخواتي"** الأعزاء..

إلى من جمعتنا طريق واحدة وحلم مشترك، وكانت رفيقة في كل محطة من محطات هذا المشوار، إلى صديقتي **"مروة بن سالم"**.

إلى من أمسكت بيدي في هذه الرحلة العلمية، وأضاءت لي دروبها بعلمها وصبرها وعطائها، إلى أستاذتي الفاضلة **"فاطمة عليه"** المشرفة الكريمة..

وإلى كل يد مدت لي العون، وكل قلب دعا لي بالتوفيق من قريب أو من بعيد..

وإلى كل طالب علم يسعى بعلمه لخدمة دينه وأمته..

أهدي هذا الجهد المتواضع سائلة المولى عز وجل أن يجزي الجميع خير الجزاء في الدنيا والآخرة.

"كنزة شراد"

إهداء

بسم الله الرحمن الرحيم، والحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، والصلاة والسلام على سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم..

أهدي ثمرة جهدي وتعب سنوات الدراسة هذه..

إلى **"أمي الغالية"** مصدر الحنان والدعاء، حفظها الله وأدامها نعمة في حياتي..

إلى **"أبي العزيز"** الذي علمني معنى الصبر والاجتهاد، وكان دائما سندا وداعما لي..

إلى **"إخوتي وأخواتي"** الأعزاء، الذين شاركوني لحظات الفرح والتعب دمتم لي نعمة وسندا..

كما أهدي هذا العمل إلى جميع أفراد عائلتي الكريمة، وإلى مشرفتي الفاضلة الدكتورة **"فاطمة عليه"** على توجيهاتها ودعمها القيم..

وإلى جميع أساتذتي الأفاضل الذين كان لهم الفضل في مسيرتي العلمية..

إلى صديقتي ورفيقة دربي **"كنزة شراد"**، شكرا لرفقتك الجميلة ودعمك الدائم..

كما أهدي هذا العمل إلى كل صديقة قدمت لي كلمة طيبة أو دعوة صادقة..

وأخيرا، أهديه إلى نفسي التي صبرت واجتهدت حتى وصلت إلى هذه اللحظة.

"مروة بن سالم"

المحتويات

الملخص: ..... **i**

الشكر والتقدير ..... **iv**

الإهـــــداء ..... **iv**

قائمة الجداول ..... **ix**

قائمة الأشكال ..... **x**

قائمة المختصرات ..... **xi**

مقدمة **1**

الفصل الأول: الدراسة المرجعية لنبات عنب الذئب **4**

1. التعريف بالنبات والتصنيف العلمي 5

2. الوصف المرفولوجي وتوزيع الجغرافي 6

3. التركيب الكيميائي الحيوي للنبات 8

4. النشاطية البيولوجية للنبات 10

5. الأهمية الإيكولوجية والتنوع الحيوي 11

الفصل الثاني: المواد والطرق **12**

1. المواد والكواشف الكيميائية 13

2. الأجهزة المستعملة 13

3. المادة النباتية 13

4. طرق الاستخلاص 14

1.4. الاستخلاص المائي 14

2.4. تحضير نقاط الكربون 14

5. الطرق التحليلية الكمية المعتمدة 15

1.5. تقدير المحتوى الكلي للمركبات الفينولية 15

2.5. تقدير المحتوى الكلي للفلافونويدات 15

3.5. تقدير المحتوى الكلي للتانينات المكثفة 15
6. طرق تقييم النشاطية البيولوجية 16
1.6. تقييم النشاط المضاد للأكسدة 16
2.6. النشاطية المضادة للالتهاب 17
3.6. تحديد معامل الحماية من أشعة الشمس 18
4.6. النشاطية المضادة للبكتيريا باستخدام طريقة الانتشار في الآبار 19
5.6. تحديد التركيز المثبط الأدنى والتركيز القاتل الأدنى 20
7. المعالجة الإحصائية للبيانات 20
الفصل الثالث: النتائج والمناقشة 21
1. التقدير الكمي لعديدات الفينول، الفلافونويدات والتانينات المكثفة 22
2. دراسة النشاط المضاد للأكسدة 23
3. النشاطية المضادة للالتهاب 26
4. تحديد معامل الحماية من الشمس 28
5. النشاط المضاد للبكتيريا 29
خاتمة 32
قائمة المراجع 32
الملاحق 32

قائمة الجداول

الجدول رقم (1): الوضعية التصنيفية لنبات عنب الذئب *S.nigrum* 6

الجدول رقم (2): المكونات الكيميائية النباتية الرئيسية في *S. nigrum* 8

الجدول رقم (3): قيم جداء المعايرة المستخدمة في حساب عامل الحماية من الشمس (SPF) 19

الجدول رقم (4): تقييم فعالية المضادة للالتهاب في المختبر (*In Vitro*) للعينتين المختبرتين 26

الجدول رقم (5): قيم SPF لكل من المستخلص الخام، CDs وواقي الشمس التجاري 29

الجدول رقم (6): مناطق التثبيط للنشاط المضاد للبكتيريا 30

الجدول رقم (7): التقييم المختبري للحد الأدنى من التركيز المثبط والحد الأدنى من التركيز القاتل .. 31

قائمة الأشكال

الشكل رقم (1): نبات عنب الذئب *Solanum nigrum* 5

الشكل رقم (2): رسم توضيحي تشريحي لنبات *S. nigrum* 7

الشكل رقم (3): التوزيع العالمي لنبات عنب الذئب *S.nigrum* وفق قاعدة بيانات 8

الشكل رقم (4): تقدير المحتوى الكلي عديدات الفينول والفلافونويدات والتانينات 22

الشكل رقم (5): تقييم القدرة المضادة للأكسدة (IC_{50}) و($EC_{0.5}$) للمستخلص المائي وCDs 24

قائمة المختصرات

AgNPs: Silver Nanoparticlesجسيمات الفضة النانوية

AL: Alanine Aminotransferaseإنزيم ناقلة أمين الألانين

ALP: Alkaline Phosphataseإنزيم الفوسفاتاز القلوي

APG: Angiosperm Phylogeny Groupمجموعة تصنيف كاليبات البذور الحديثة

AST: Aspartate Aminotransferaseإنزيم ناقلة أمين الأسبارتات

ATCC: American Type Culture Collectionالمجموعة الأمريكية للمزارع النسيجية

BSA: Bovine Serum Albuminألبومين مصل الأبقار

CCl4: Carbon Tetrachlorideرابع كلوريد الكربون

CDs: Carbon Dotsالنقاط الكربونية النانوية

CF: Correction Factorمعامل التصحيح

CFU: Colony Forming Unitوحدة تكوين المستعمرات البكتيرية

CLSI: Clinical and Laboratory Standards Instituteمعهد المعايير السريرية والمخبرية

DMSO: Dimethyl Sulfoxideثنائي ميثيل السلفوكسيد

GC-MS: Gas Chromatography-Mass Spectrometryكروماتوغرافيا الغاز ومطيافية الكتلة

HAT: Hydrogen Atom Transferانتقال ذرة الهيدروجين

HCl: Hydrochloric Acidحمض الهيدروكلوريك

HDAC: Histone Deacetylaseإنزيم نزع الأستيل من الهيستونات

L.: Linnaeusالعالم الذي قام بتسمية النوع النباتي

LPS: Lipopolysaccharideعديد السكاريد الدهني

MBC: Minimum Bactericidal Concentrationالحد الأدنى من التركيز القاتل للبكتيريا

MHA: Mueller-Hinton Agarوسط مولر-هينتون الصلب

MIC: Minimum Inhibitory Concentration الحد الأدنى من التركيز المثبط للنمو

ND: Not Determined غير محدد

NI: No Inhibition عدم وجود تثبيط

PBS: Phosphate Buffered Saline محلول ملحي معادل بالفوسفات

ROS: Reactive Oxygen Species أنواع الأكسجين التفاعلية

RP-HPLC: Reverse Phase High Performance Liquid Chromatography كروماتوغرافيا السائل عالية الأداء بالطور العكسي

SD: Standard Deviation الانحراف المعياري

SET: Single Electron Transfer انتقال إلكترون مفرد

SPF: Sun Protection Factor عامل الحماية من الشمس

TBS: Tris Buffered Saline محلول ملحي معادل بالتريس

TEM-HR: High Resolution Transmission Electron Microscopy المجهر الإلكتروني النافذ عالي الدقة

UVB: Ultraviolet B الأشعة فوق البنفسجية من النوع B

XRD: X-ray Diffraction حيود الأشعة السينية

مقدمة

مقدمة

على الرغم من التطورات غير المسبوقة التي حققها الطب الحديث، يشهد العالم المعاصر عودة ملحوظة نحو الطب الشعبي والصيدلة التقليدية؛ إذ تشير الإحصائيات إلى أن أكثر من 80 % من سكان القارة الإفريقية يعتمدون بشكل أساسي على الطب التقليدي كمنظومة صحية متكاملة، باعتباره مزيجا من المعارف المتوارثة، والخبرات المتداولة، والممارسات التطبيقية المستخدمة للوقاية أو تشخيص أو علاج الأمراض الجسدية والنفسية (World Health Organization, 2023). وتعد دراسة النباتات الطبية منهجا مهما لفحص الروابط بين المكونات البيولوجية والثقافية للبيئة، إذ تعتبر الدراسات الإثنوبوتانية من أفضل الوسائل لاكتشاف النباتات الطبية الواعدة أو إعادة تقييم الأنواع المعروفة (Gadikou, et al., 2022). ومن الجدير بالذكر أن الأهمية العلاجية والفيزيولوجية للنباتات الطبية تعزى إلى غناها بالمركبات الكيميائية النباتية؛ مثل: الفينولات، الفلافونويدات، الكاروتينات، والكلوروفيلات، وغيرها، التي تتمتع بخصائص مضادة للأكسدة والالتهاب، ومعدلة للمناعة، ومنظمة للعمليات الأيضية، مما يعزز الصحة العامة ويقلل مستويات الإجهاد التأكسدي، كما يلعب دورا مهما في الوقاية من العديد من الاعتلالات المزمنة كأمراض القلب، داء السكري، السرطان والأمراض العصبية (Hemmami, et al., 2023).

تعد الجزائر، بموقعها الاستراتيجي في حوض البحر الأبيض المتوسط، خزانا وراثيا غنيا بالتقاليد الطبية العريقة والمعارف النباتية، التي غالبا ما يتم توارثها شفهيا. لذلك، فإن هذه الثروة المعرفية باتت مهددة بالاندثار نتيجة غياب التوثيق الأكاديمي المنظم لخبرات الأجيال السابقة. وتتميز الصحراء الجزائرية بتباين مناخي يوفر تنوعا بيولوجيا كبيرا لم يحظ بالدراسة والتقييم الكافيين حتى الآن (Rahman, et al., 2026). ومن هذا المنطلق، وتماشيا مع توجيهات منظمة الصحة العالمية والمبادرات الدولية كاتفاقية الأمم المتحدة بشأن التنوع البيولوجي، تبرز الحاجة الملحة لحماية المعارف الأصلية، واستدامة الاستغلال الحيوي للموارد الطبيعية، وضمان التوزيع العادل للمنافع الناجمة عن المواد الجينية للنباتات (Hassaine & Benmalek, 2023; World Health Organization, 2023).

وضمن هذا التنوع الحيوي، يعتبر نبات *Solanum nigrum* L. من أهم النباتات التابعة لفصيلة Solanaceae، وهو نبات عشبي حولي واسع الانتشار، يعود موطنه الأصلي إلى المنطقة الأوراسية. قد استخدمت أوراقه وثماره الناضجة في الغذاء وفي الممارسات التقليدية. واستخدم أيضا في الطب الشعبي الإفريقي، الطب الأيورفيدي، والطب الصيني التقليدي لعلاج القرح، والإسهال، والتهابات الجلد، والحمى، والجروح، وآلام المفاصل، والعدوى، ويرتبط ذلك باحتوائه على مركبات نشطة ذات خصائص بيولوجية ساهمت في أهميته العلاجية والغذائية (Ogundola, Bvenure, Ehigie, & Afolayan, 2022; Kong, Li, Zhang, Luo, & Cao, 2026; Mohyuddin, et al., 2022).

ويحتوي النبات على عدة مركبات حيوية، من بينها عديدات الفينول، الفلافونويدات، القلويدات، الجليكوسيدية الستيرويدية (SGAs)، والسابونينات الستيرويدية (Mohyuddin, et al., 2022)، ومن أمثلة هذه المركبات: Solanine، Solamargine، Solasonine وSolasodine (Gebarowska, et al., 2022)، وتنسب معظم الأنشطة البيولوجية لهذا النبات إلى مركبات SGAs، حيث تم التعرف على ما يقارب 188 مركبا كيميائيا في النبات (Kong, Li, Zhang, Luo, & Cao, 2026; Zhang, Lv, & Li, 2023). وقد أظهر النبات أنشطة بيولوجية متعددة شملت النشاط المضاد للبكتيريا، والمضاد للفطريات، والمضاد للأكسدة، والمضاد للالتهاب (Gebarowska, et al., 2022; Zhang, Lv, & Li, 2023; Mohyuddin, et al., 2022)، وأظهرت المركبات الحيوية الموجودة في النبات أيضا إمكانات دوائية واعدة يمكن الاستفادة منها في تطوير مضادات للأورام، وتقليل مقاومة الأدوية، وإنتاج المستحضرات الصحية والمكملات الغذائية (Zhang, Lv, & Li, 2023). وعلاوة على ذلك، استخدم نبات *S. nigrum* في تحضير الجسيمات النانوية باعتباره مصدرا حيويا آمنا، حيث أظهرت هذه الجزيئات نشاطا مضادا للبكتيريا تجاه *Escherichia coli* و *Staphylococcus aureus*، إضافة إلى امتلاكها تطبيقات حيوية وعلاجية وبيئية واعدة (Mohammed, et al., 2026).

وانطلاقا من المعطيات السابقة، وتأكيدا على العلاقة الوثيقة بين فيزيولوجيا النبات (محتواه من الأيضات الثانوية) وخصائصه البيولوجية والعلاجية (Aouadi et *al.*, 2024)، وفي ظل بروز نقاط الكربون النانوية (CDs) في السنوات الأخيرة كمواد نانوية واعدة بفضل خصائصها الفيزيائية والكيميائية المميزة، كالتوافق الحيوي الجيد، وانخفاض السمية، إضافة إلى الثبات العالي (Pei et *al.*, 2025)، تتبلور أهداف هذه الدراسة في تقديم مساهمة علمية لتقييم النشاطية البيولوجية للجزء الخضري (الأوراق والسيقان) لنبات عنب الذئب *S. nigrum* المجموع من منطقة غمرة الشمالية (ولاية الوادي، الجزائر)، وذلك من خلال مقارنة فعالية مستخلصه المائي الخام مع نقاط الكربون النانوية (CDs) المحضرة منه بطريقة صديقة للبيئة.

ومن هذا المنطلق، تصاغ إشكالية الدراسة في التساؤل الآتي:

- **ما مدى الفاعلية البيولوجية المحتملة للمستخلص المائي ونقاط الكربون النانوية المحضرة من الجزء الخضري لنبات *S. nigrum*، خاصة المضادة للأكسدة، البكتيريا، والالتهاب؟**

وللإجابة عن هذه الإشكالية والتحقق من الفرضيات المسطرة، تم الاعتماد على خطة عمل قسمت بموجبها المذكرة إلى ثلاثة فصول رئيسية:

- **الفصل الأول:** يقدّم مسحًا مرجعيًا حول النبات محل الدراسة، متضمنًا تعريفه وتصنيفه العلمي، وخصائصه المورفولوجية، وتوزيعه الجغرافي، وتركيبته الكيميائية وأهم مركباته الثانوية، بالإضافة إلى نشاطاته البيولوجية الواردة في الدراسات السابقة ودوره في التنوع الحيوي.

- **الفصل الثاني:** وتناول الشطر التطبيقي للدراسة من خلال وصف العينة النباتية وطرق تحضيرها، طرق تحضير المستخلص الخام ونقاط الكربون النانوية، وطرق التحليل الكمي وتقييم الأنشطة البيولوجية المعتمدة، وصولا إلى أساليب التحليل الاحصائي المعتمدة.
- **الفصل الثالث:** خصص لعرض النتائج المتحصل عليها مع مناقشتها وتفسيرها ومقارنتها بالدراسات السابقة في إطار التنوع الحيوي وفيزيولوجيا النبات.

وفي الأخير اختتمت المذكرة بخلاصة عامة تلخص أهم الاستنتاجات، وتبرز الأهمية العلمية للدراسة، مع تقديم توصيات وآفاق للبحث المستقبلي والاستغلال الأمثل للنبات.

الفصل الأول: الجانب النظري للدراسة

1. التعريف بالنبات والتصنيف العلمي

1.1. التعريف بنبات عنب الذئب *Solanum nigrum*. L

يصنف نبات الباذنجان الأسود، والمعروف علميا وشعبيا باسم "عنب الذئب" (*S. nigrum* L)، كعشبة حولية تنتمي إلى الفصيلة الباذنجانية (Solanaceae) ذات الأهمية الحيوية والبيئية البالغة (Fournier, 2016). يظهر هذا النوع النباتي مرونة بيئية وتكيفية عالية حيث يتوزع جغرافيا وبشكل رئيسي في البيئات المضطربة، مثل الأراضي البور، الحقول القديمة، وجوانب الطرق، بالإضافة إلى تواجده الديناميكي على أطراف الغابات وفي النظم البيئية الزراعية والأراضي المزروعة. من الناحية التطبيقية والفيزيولوجية، *S. nigrum* من الأعشاب الطبية الشائعة ذات القيمة الحيوية المزدوجة؛ إذ يمتلك خصائص أيو_كيميائية (Phytochemical) تؤهله للاستخدام الصيدلاني، فضلا عن تصنيفه كأحد النباتات البرية الصالحة للأكل، مما يجعله نموذجا واعدا للدراسات البيئية والفيزيولوجية المتقدمة (Atanu et *al.*, 2011).

الشكل رقم (1): نبات عنب الذئب **Solanum nigrum** *(Ahmed et* al., *2024)*.

أ. 1 تصنيف العلمي Scientific classification:

وفقا للنظام العالمي الحديث لتصنيف النباتات المغطاة البذور (APG)، يصنف نبات *S. nigrum* كما هو موضح في الجدول أدناه:

الجدول رقم (1): الوضعية التصنيفية لنبات عنب الذئب *S.nigrum* (Haroun & Hanka, 2020).

التصنيف العلمي	المرتبة التصنيفية	
Plantae	Kingdom	**المملكة**
Tracheophyta	Division	**الشعبة**
Spermatophytina	Subdivision	**تحت الشعبة**
Magnoliopsida	Class	**الصف**
Solanales	Order	**الرتبة**
Solanaceae	Family	**الفصيلة**
Solanum	Genre	**الجنس**
Solanum nigrum. L	Species	**النوع**

2. الوصف المرفولوجي وتوزيع الجغرافي

الوصف المرفولوجي:

- **الجذر:** وتدي مركزي (Taproot system)، متفرع بشكل جيد ومتوسط العمق (Ahmed et *al.*, 2024.).
- **الساق**: يتميز ساق *S. nigrum*. ببنية أسطوانية متفرعة يتراوح ارتفاعها بين 60 و100 سم، وتتدرج طبيعته السطحية من شبه أملس (Glabrescent) إلى زغبي مغطى بشعيرات بسيطة منحنية. يتخذ الساق لونا اخضر داكنا تتخلله بقع أرجوانية داكنة تتركز عند العقد (Nodes)، مع تحوله إلى النسيج الخشبي تدريجيا عند القاعدة لدعم صلابة النبات الهيكلية (Bean, 2012).
- **الأوراق:** توزع أوراق *S. nigrum*. بشكل متبادل وبسيط، وتظهر أحيانا في أزواج غير متساوية في الأجزاء العلوية، حيث تكون مغطاة بشعيرات دقيقة ذات حواف مهدبة. يتراوح لون النصل البيضوي إلى الرمحي بين الأخضر الداكن، وتتميز الحواف بكونها مموجة أو مسننة بأسنان عريضة غير منتظمة (Sinuate-dentate)، ونادرا ما تكون كاملة الحواف (Lonchamp, 2026).
- **النورة (Inflorescence):** محدودة (Cyme)، بسيطة، إبطية، يتراوح عدد أزهارها 3 إلى 10 أزهار متباعدة على شمراخ ينحني عند تشكل الثمار.
- **الأزهار:** تتميز أزهار *S. nigrum*. بكونها خنثى، صغيرة الحجم، وخماسية القطع ذات أعناق منحنية. يتكون الكأس من سبلات ملتحمة جرسية الشكل، بينما يتخذ التويج شكلا نجميا ملتحم البتلات، بلون أبيض أو كريمي عند الأطراف وأصفر مخضر عند القاعدة. يتألف الطلع من أسدية فوق تويجية متساوية الطول، تتجمع متوكها الصفراء في مخروط بارز يحيط بالقلم، في حين يتكون المتاع من مبيض علوي كروي أملس، وقلم مغطى بشعيرات متشابكة في نصفه السفلي، يمتد مستواه ليوازي قمة المتوك تقريبا (Dumas, 2012)

- **الثمار والبذور**: تميز ثمار *S. nigrum*. بكونها عنبة (Berry) كروية الشكل بقطر يتراوح بين 6–11 مم، حيث يتدرج لونها من الأخضر في مرحلة عدم النضج إلى الأسود القاتم أو البنفسجي المسود عند النضج الكامل، مع احتفاظها بكأس دائم. تضم الثمرة بذورا عديدة مفلطحة ذات شكل دمعي ولون أصفر شاحب (Hyland et *al.*, 2020).

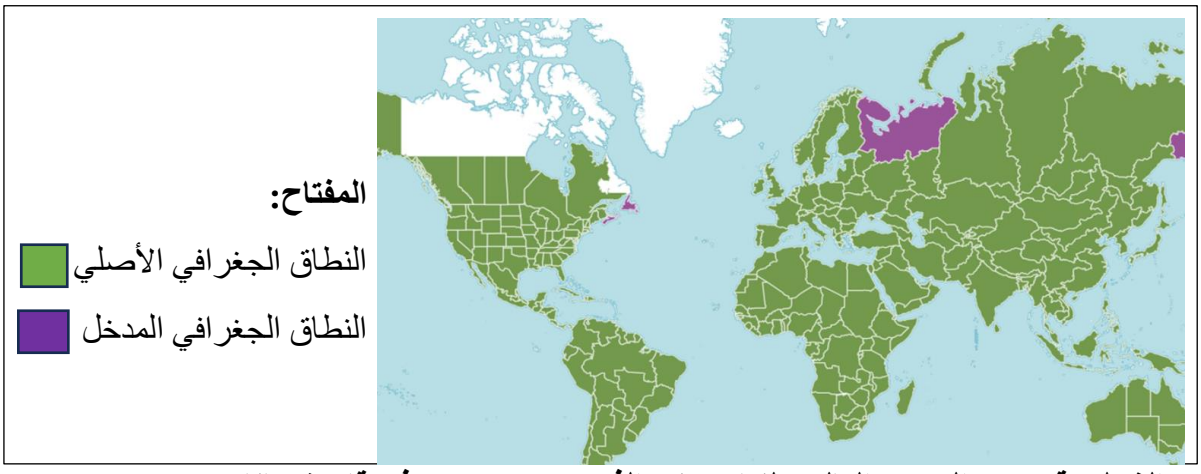
***الشكل رقم (2): رسم توضيحي تشريحي لنبات* S. nigrum L.** (Dumas, 2012).

يوضح الشكل الأجزاء الرئيسية المميزة لنبات *S. nigrum* L.، حيث تمثل (a) الجذور الليفية الرفيعة والقصيرة، بينما تظهر (b) الزهرة من المنظر العلوي مع التويج النجمي الخماسي الشكل. وتمثل (c) الكأس الزهري المتصل بالسويقة الزهرية، في حين توضح (d) الأسدية المتطاولة ذات اللون الأصفر. أما الجزء (e) فيبرز سداة مفردة موضحا المتك والخيط الحامل له، بينما يمثل (f) المدقة بما تحتويه من مبيض علوي وقلم وميسم. ويظهر الجزء (g) الثمرة الناضجة الكروية ذات اللون الأسود المائل إلى البنفسجي، في حين يوضح (h) البذرة.

ب. التوزيع الجغرافي:

يمثل النطاق الأوراسي وإقليم شمال أفريقيا المركز الجغرافي الحيوي الأرجح للموطن الأصلي لنبات الباذنجان الأسود (*S. nigrum*)، بالتزامن مع توطنه الطبيعي في شبه جزيرة كيب بجنوب أفريقيا. وبفضل مرونته الفيزيولوجية العالية وقدرته الفائقة على التكيف البيئي (Ecological plasticity)، بات النبات حاليا من الأنواع واسعة الانتشار عالميا (Cosmopolitan species)؛ حيث يتواجد بكثافة في جنوب أفريقيا، إلى جانب استيطانه الناجح في الأقاليم المعتدلة والاستوائية لكل من أمريكا الشمالية، أستراليا، ونيوزيلندا. ونظرا لقدرته التنافسية العالية في غزو النظم البيئية المستحدثة والمضطربة، يصنف هذا النوع في بعض تلك

المناطق كعشبة ضارة او نبات غاز (Invasive species)، مما يجعله نموذجا هاما لدراسة آليات التكيف الفيزيولوجي والتنوع الحيوي تحت تأثير التغيرات البيئية (World Flora Online, 2026).

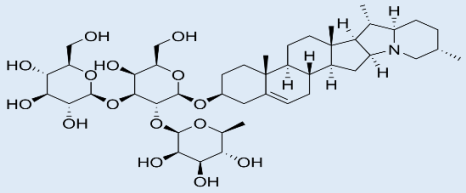
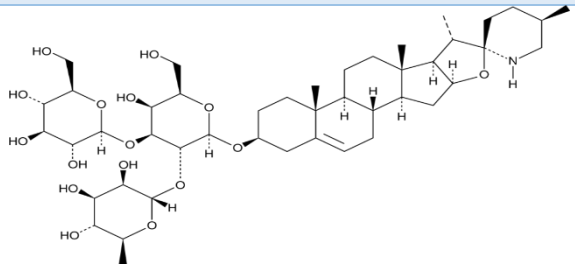


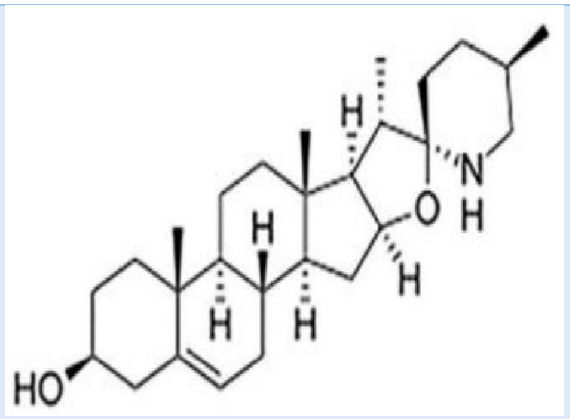
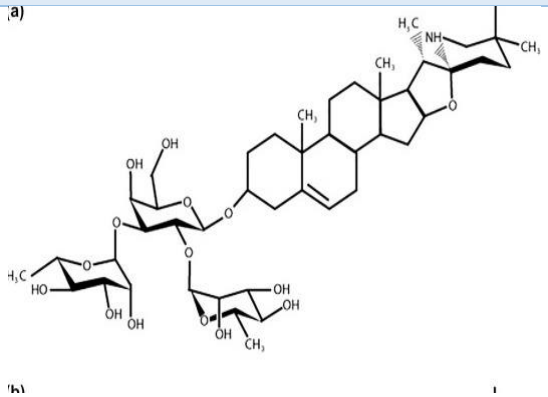
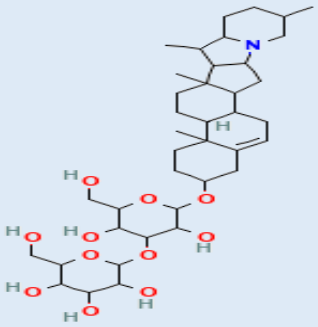
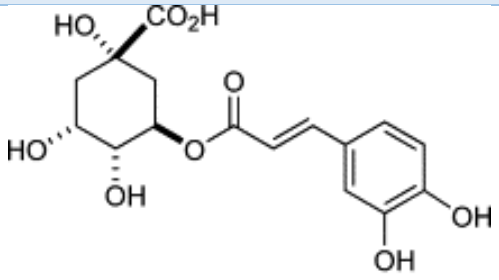
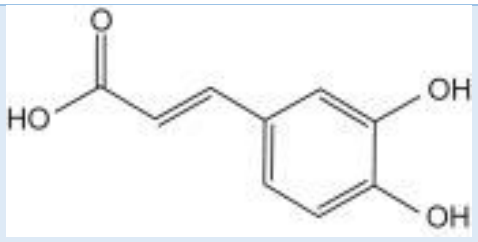
الشكل رقم (3): التوزيع العالمي لنبات عنب الذئب *S.nigrum* وفق قاعدة بيانات (Royal Botanic Gardens, Kew, n.d).

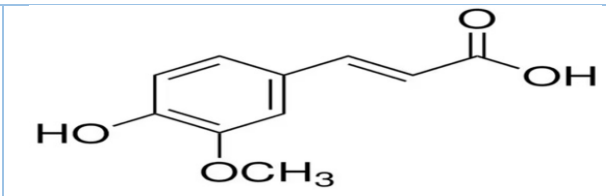
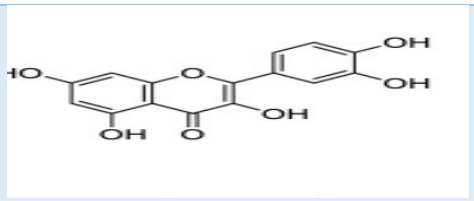
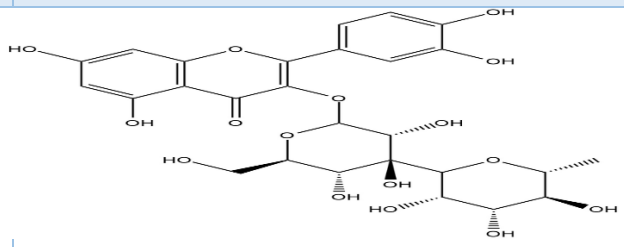
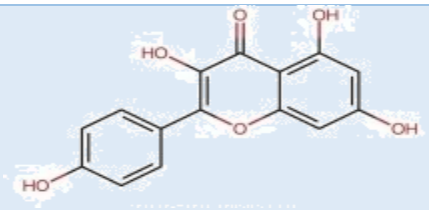
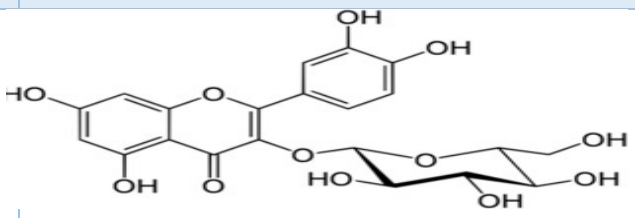
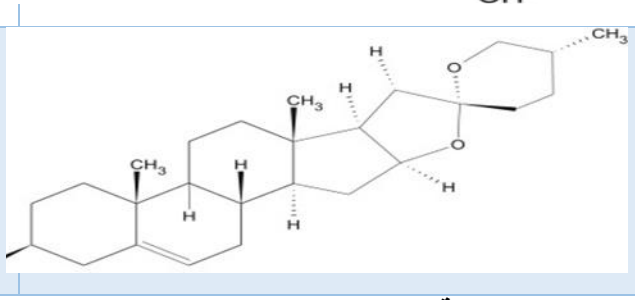
3. التركيب الكيميائي الحيوي للنبات (Phytochemistry)

أظهرت الدراسات أن نبات *S. nigrum* يحتوي على مجموعة متنوعة من المركبات الثانوية، خاصة القلويدية السكرية مثل السولانين والسولاسونين، والتي تلعب دورًا مهمًا في النشاطات البيولوجية للنبات (Rani et *al.*, 2017).

الجدول رقم (2): المكونات الكيميائية النباتية الرئيسية في *S. nigrum* L.

المجموعة الكيميائية	المركبات الموجودة في النبات		المرجع
القلويدات الستيرويدية	Solanine		(Paul et al. 2025)
	Solasonine		(Paul et al. 2025)

(Kalantari Khandani et *al.*, 2019)		Solasodin	
(Gürbüz et *al.*, 2018)		α-Solamargine	القلويدية السكرية
(MolGenie, 2026)		β-Solanine	
(Plazas et *al.*,2013)	 Chlorogenic acid	Chlorogenic acid	المركبات الفينولية
(Omar, 2018)		Caffeic acid	

	Ferulic acid		(Jacobo-Velázquez, et al 2025)
الفلافونويدات	Quercetin		(Osman, et al 2016)
	Rutin		(Surendran et *al.*, 2020)
	Kaempferol		(Jin, 2023)
	Isoquercitrin		(Serotkin & Kolesarova, 2022)
الصابونين	Sapogenins		(Srinivasa & Naidu, 2021)

4. النشاطية البيولوجية للنبات (الدراسات السابقة): Biological Activities :

أثبتت الدراسات المخبرية (*In vitro*) وعلى الحيوانات (*In vivo*) فاعلية مستخلصات النبات في عدة مجالات؛ لعل أهمها:

- **النشاط المضاد للأورام:** تشير الدراسات الحديثة (Zhang, Lv, & Li, 2023) بالإضافة الى (Lan et *al.*, 2023). إلى أن نبات عنب الذيب يحضى بتنوع كيميائي وفير، حيث يحتوي النبات على ما يزيد عن 180 مركبا نشطا؛ أهمها السولاسونين الذي يعمل على تثبيط نمو الخلايا السرطانية عبر تنظيم التعبير الجيني وتثبيط إنزيمات HDAC؛

- **حماية الكبد (Hepatoprotective):** أظهرت مستخلصات هذا النبات أيضا قدرة عالية على تقليل مستويات إنزيمات الكبد (ALT, AST, ALP والبيليروبين) في النماذج المصابة بتسمم CCl_4. (chen et al . 2022 ; Lin et al ,. 2008)؛
- **النشاط المضاد للميكروبات:** ظهر المستخلصات الإيثانولية لنبات *S. nigrum* L. فعالية تثبيطية ملحوظة ضد البكتيريا سالبة الغرام، لاسيما سلالات *E. coli*، *Klebsiella sp*، و*S. typhimurium*، *Shigella sp* (Kalwar et *al.*, 2015; Silivano et *al.*, 2018). ويعزى هذا النشاط التثبيطي مباشرة الى غنى المستخلص بالمركبات الفينولية والفلافونويدات، والتي تعمل كمستقبلات ثانوية قادرة على زعزعة استقرار الأغشية الخلوية البكتيرية وكبح نموها الحيوي؛
- **تسكين الآلام ومضاد للالتهاب**: حسب النتائج الواردة في دراسة (Ibrahim et *al.*, 2018) الى أن نبات *S. nigrum* L. يحتوي على مركبات حيوية ذات قدرة تثبيطية للألم، مما يدعم إمكانية تطوير مستخلصاته كبدائل طبيعية أو مكملات لتسكين الآلام المختلفة.

5. الأهمية الإيكولوجية والتنوع الحيوي:

يعد *S. nigrum* موردا نباتيا استراتيجيا ضمن منظومة المحاصيل البرية، نظرا لتعدد أدواره الوظيفية التي تتجاوز نطاق الاستخدام التقليدي لتشمل أبعادا بيئية وتطبيقية بالغة الأهمية. فعلى صعيد الأمن الغذائي، يمثل هذا النبات مستودعا جينيا ثمينا يحتضن آليات وراثية متطورة للتكيف مع الإجهادات البيئية القاسية، ولا سيما الملوحة والجفاف، مما يجعله مادة خاما لا غنى عنها في برامج تحسين المحاصيل الزراعية وتعزيز قدرتها على مجابهة تغيرات المناخ المتسارعة (Dempewolf et *al.*, 2014; Sangija et *al.*, 2021). فضلا عن ذلك، يكتسب *S. nigrum* أهمية استثنائية في مجال المعالجة البيئية الحيوية بالنباتات (Phytoremediation)، إذ يمتلك قدرة فائقة على تراكم المعادن الثقيلة كالكادميوم والرصاص وعزلها داخل انسجته، وهي خاصية تؤهله ليكون أداة بيولوجية فعالة لإصلاح التربة الملوثة واستعادة توازنها البيئي (Bekele, 2019). وعلى مستوى استدامة النظم البيئية يسهم هذا النوع إسهاما محوريا في صون سلامة التربة من خلال تشكيلة غطاء نباتيا يحد من ظاهرة الانجراف، كما يفعل النشاط الميكروبي في منطقة الجذور (Rhizosphere) ويعزز دورة المغذيات فيها، منا ينعكس إيجابيا على خصوبة التربة واتزان المنظومة البيئية برمتها (Kiran et *al.*, 2024; Luo et *al.*, 2026). وبهذا التكامل الوظيفي، يتجلى *S. nigrum* بوصفه نموذجا نباتيا متعدد الأبعاد يستحق الدراسة والتوظيف العلمي المعمق في سياق التنمية الزراعية والبيئة المستدامة.

الفصل الثاني: المواد والطرق

1. المواد والكواشف الكيميائية (Chemical Reagents and Materials)

المواد والكواشف

في هذه الدراسة تم استخدام كواشف ومحاليل مختلفة النقاوة؛ شملت: الماء المقطر، الميثانول CH_3OH، وثنائي ميثيل سلفوكسيد (DMSO)، بالإضافة إلى المحلول الملحي الفيزيولوجي (NaCl 0.9%). والمحلول المنظم (TBS) و(PBS) بـ pH (6.6; 6.4)؛ على التوالي. إلى جانب بعض المركبات المرجعية مثل الكيرسيتين (Quercetin)، والكاتشين (Catechin)، وحمض الغاليك (Gallic Acid)، حمض الأسكوربيك (Ascorbic Acid)، وحمض الساليليك (Salicylic Acid) والأسبرين. ومجموعة من الكواشف الكيميائية، تمثلت في: كاشف Folin –Ciocalteu، وكربونات الصوديوم (Na_2CO_3)، وكلوريد الألمنيوم ($AlCl_3$)، كلوريد الحديد الثلاثي ($FeCl_3$)، وفيريسيانيد البوتاسيوم $K_3[Fe(CN)_6]$ وحمض الثلاثي كلورو الأسيتيك (TCA)، الفانيلين (Vanillin)، إضافة إلى وسط الزرع البكتيري (Mueller-Hinton Agar).

المادة البكتيرية:

تم اعتماد أربع سلالات بكتيرية لاختبار النشاط الميكروبيولوجي، وهي: *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 و*Bacillus subtilis* ATCC 25973، *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 و*Escherichia coli* ATCC 25922،

2. الأجهزة المستعملة (Apparatus / Equipment):

في هذا العمل تم اعتماد على جملة من الأجهزة المخبرية لعل أهمها: جهاز المطياف الضوئي للأشعة فوق البنفسجية–المرئية (UV–Visible spectrophotometer)، جهاز قياس الرقم الهيدروجيني(pH meter) والميزان الحساس (Balance)، جهاز الطرد المركزي (Centrifugeuse) وجهاز الخلط (Vortex) جهاز الرج المغناطيسي (Magnetic stirrer) كذلك تم استعمال جهاز الموجات فوق الصوتية (Ultrasonic bath) وجهاز التبخير الدوار (Rotavapor)، جهاز الحمام المائي (Water bath) والفرن (Drying oven) جهاز التعقيم بالبخار (Autoclave) تم الاعتماد على الحاضنة (Incubator) وتم كذلك استخدام جهاز قياس العكارة (Turbidity measurement device).

3. المادة النباتية (Plant Material):

تم جمع الأجزاء الهوائية (الأوراق والسيقان) لنبات *S.nigrum* خلال شهر نوفمبر من منطقة غمرة الشمالية ببلدية قمار، ولاية الوادي (الجزائر)، ذات الإحداثيات (33.5674049°N, 6.7641090°E)، وقد تم اختيار موقع نمو طبيعي يخلو من أي تدخل بشري (دون سقي أو تسميد) لضمان الحصول على عينة تعكس

الخصائص البيولوجية الأصلية للنبات في بيئته الطبيعية. جمعت العينات باستعمال مقص حاد مع إزالة الأجزاء المتضررة أو المصابة، ثم وضعت مباشرة في أوعية نظيفة ومعقمة.

أما فيما يخص تحضير العينة النباتية، فقد تمت وفق خطوات معيارية شملت أولا غسل الأجزاء النباتية بالماء الجاري لإزالة الأتربة والشوائب العالقة، ثم تجفيفها في ظروف مضبوطة تتمثل نشرها على سطح نظيف ومعقم في مكان مظلل جيد التهوية، بدرجة حرارة الغرفة، وبعيدا عن أشعة الشمس المباشرة والرطوبة والغبار، وذلك لضمان الحفاظ على المكونات الكيميائية الحيوية ومنع تدهورها. بعد ذلك، تم تقطيع المادة النباتية المجففة ثم طحنها للحصول على مسحوق نباتي خشن متجانس يسهل التعامل معه لاحقا، وأخيرا تم حفظ المسحوق في علب زجاجية محكمة الإغلاق، بعيدة عن الرطوبة والضوء، إلى حين استعماله في الدراسات المخبرية.

4. طرق الاستخلاص (Extraction Methods)

1.4. الاستخلاص المائي (Aqueous Extraction)

تم تحضير المستخلص المائي للنبات اعتمادا على تقنية النقع (Maceration)، حيث استخدم 20 غ من المسحوق النباتي وأضيف إلى 400 مل من الماء المقطر. ترك المزيج لمدة 24 ساعة في الظلام عند درجة حرارة الغرفة، مع تكرار عملية الاستخلاص ثلاث مرات لضمان استخلاص أكبر قدر ممكن من المركبات الفعالة. بعد ذلك، رشح المستخلص باستخدام ورق ترشيح Whatman N°01، ثم ركز باستخدام المبخر الدوار (Rotavap ®) عند درجة حرارة 60°م. وأخيرا، حفظ المستخلص عند 4°م إلى حين إجراء التحاليل (Alia et *al.*, 2026).

2.4. تحضير نقاط الكربون (Carbon Dots Preparation)

تم تحضير نقاط الكربون (CDs) باستخدام طريقة التحلل الحراري (Pyrolysis) الموصوف عند (Singh et *al.*, 2025)، مع بعض التعديلات الطفيفة، حيث استخدم 10 غ من المادة النباتية وسخنت عند 180°م لمدة 3 ساعات في فرن مخبري إلى غاية الحصول على مادة كربونية سوداء. بعد التبريد، طحنت العينة وشتتت في 100 مل من الماء المقطر، ثم عرضت للموجات فوق الصوتية لمدة 30 دقيقة لتحسين التشتت. عقب ذلك، أجري الطرد المركزي عند 4000 دورة/دقيقة لمدة 30 دقيقة، وتم ترشيح المعلق باستخدام ورق ترشيح من نوع Whatman N°01 للحصول على محلول صاف، الذي جفف تحفظ المستخلص الناتج عند 4°م إلى حين الاستعمال.

5. الطرق التحليلية الكمية المعتمدة (Quantitative Analytical Methods)

1.5. تقدير المحتوى الكلي للمركبات الفينولية (TPC)

تم تقدير المحتوى الكلي للمركبات الفينولية في المستخلص النباتي باستخدام كاشف Folin–Ciocalteu؛ وفقا للطريقة الموصوفة من قبل (Alia et *al.*, 2021)، مع اعتماد حمض الغاليك كمركب مرجعي قياسي.

عمليا مزج 0.2 مل من المستخلص النباتي مع 1 مل من الكاشف بتركيز 10 %. بعد حضن المزيج لمدة 3 دقائق، أضيف إليه 0.8 مل من محلول Na_2CO_3 بتركيز 7.5 %. خلط بعدها المزيج جيدا ثم ترك ليتفاعل في الظلام عند درجة حرارة الغرفة لمدة 30 دقيقة. بعد ذلك، قيست امتصاصيته الضوئية عند طول الموجة 750 نانومتر باستخدام جهاز UV-Vis Spectrophotometer. في الأخير تم التعبير عن النتائج النهائية بوحدة ملغ مكافئ لحمض الغاليك لكل غ من المستخلص (mg GAE/g Ex).

2.5. تقدير المحتوى الكلي للفلافونويدات (TFC)

تم تقدير المحتوى الكلي للفلافونويدات في المستخلص النباتي باستخدام طريقة $AlCl_3$، وذلك وفقا للطريقة المعتمدة من طرف (علية، 2022).

تجريبيا تم مزج أحجام متساوية بمقدار 0.750 مل من المستخلص النباتي و$AlCl_3$ ذو تركيز 2 %. ثم حضن المزيج في الظلام عند درجة حرارة الغرفة لمدة ساعة كاملة لضمان اكتمال التفاعل وتشكيل المعقد الملون. وبعد انتهاء فترة الحضن، تم قياس الامتصاصية الضوئية للمزيج بجهاز المطيافية الضوئية عند طول الموجة 420 نانومتر.

حسبت النتائج بالاعتماد على منحنى القياس المعياري للكيرسيتين، وتم التعبير عنها بوحدة ملغ مكافئ للكيرسيتين لكل غ من المستخلص (mg EQ/g Ex).

3.5. تقدير المحتوى الكلي للتانينات المكثفة (TTC)

تم تحديد محتوى التانينات المكثفة في المستخلص النباتي باستخدام طريقة Vanillin–HCl، وذلك وفقا للبروتوكول الموضح عند (Alia et *al.*, 2026)، مع اعتماد الكاتيشين كمركب مرجعي قياسي، حيث تم خلط 0.1 مل من المستخلص النباتي أو المحلول القياسي مع 0.750 مل من محلول الفانيلين المحضر حديثا في الميثانول بتركيز 4%، متبوعا بإضافة 0.375 مل من HCl المركز. بعد ذلك، حضن المزيج التفاعل عند درجة حرارة ثابتة (حوالي 20° م) لمدة 15 دقيقة. ثم قيست شدة امتصاصيته الضوئية عند الطول الموجي 500 نانومتر باستخدام جهاز قياس الطيف الضوئي UV-Vis. بينما حسبت التراكيز بالاعتماد على منحنى معايرة الكاتيشين، وتم التعبير عن النتائج النهائية بوحدة mg CE/g Ex.

6. طرق تقييم النشاطية البيولوجية

1.6. تقييم النشاط المضاد للأكسدة

اختبار DPPH

تم تقييم قدرة المستخلص النباتي على تثبيط الجذر الحرة الـ DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) وفقا للطريقة المذكورة عند Alia وآخرون (2021). وذلك باختصار من خلال مزج أحجام متساوية (1 مل) من المستخلص النباتي (المحضر بتراكيز مختلفة) مع محلول الـ DPPH المذاب في الميثانول بتركيز 0.1×10^{-3} مول/ل. بعد الرج الخفيف للأنابيب، تحضن في الظلام عند درجة حرارة الغرفة لمدة 15 دقيقة. ثم تقاس الامتصاصية الضوئية لكل أنبوب مقابل أنبوب تحكم فارغ (شاهد) عند طول موجة ثابت مقدر بـ 517 نانومتر، لتحسب بعدها النسبة المئوية للتثبيط (1%) باستخدام المعادلة التالية:

$$I (\%) = [(Ac - As) / Ac] \times 100$$

حيث تمثل Ac امتصاصية محلول الشاهد (Control) الخالي من المستخلص، بينما تمثل As امتصاصية محلول العينة المختبرة (Sample).

استخدم حمض الأسكوربيك كمركب مرجعي قياسي للمقارنة. ولتحديد كفاءة المستخلص المضادة الأكسدة حسبت قيمة التركيز (IC_{50}) انطلاقا من المعالة الخطية لمنحى لنسب التثبيط مقابل التراكيز المستعملة؛ حيث تشير القيم المنخفضة لهذا التركيز إلى الفعالية الأفضل للمستخلص.

اختبار FRAP

قدرت القدرة الاختزالية للمستخلص النباتي استنادا إلى البروتوكول الموضح عند Tlili وفريقه (2025)، والذي يعتمد على خلط 0.250 مل من المستخلص النباتي مع 0.625 مل من محلول PBS (0.2 مول/ل؛ pH = 6.6)، متبوعا بإضافة 0.625 مل من $[K_3Fe(CN)_6]$ بتركيز 1%. ثم حضن المزيج عند درجة حرارة ثابتة قدرها 50°م لمدة 20 دقيقة، ثم ترك ليبرد في درجة حرارة الغرفة. بعدها تم إيقاف التفاعل من خلال إضافة 0.625 مل من TCA (10%) للمزيج، ثم أخضع لعملية الطرد المركزي عند سرعة 3000 دورة/الدقيقة لمدة 10 دقائق. بعدها أخذ 0.625 مل من الطافي، ومزج مع حجم مماثل من الماء المقطر، و0.125 مل FeCl3 بتركيز 0.1 %. في الأخير قيست الامتصاصية الضوئية عند الطول الموجي 700 نانومتر وحسبت الفعالية الاختزالية من خلال تحديد قيمة $EC_{0.5}$ انطلاقا من المنحنى البياني للامتصاصية بدلالة التركيز.

2.6. النشاطية المضادة للالتهاب

اختبار حماية غشاء كريات الدم الحمراء (Erythrocyte Membrane Stabilization Assay)

تم تقييم الفعالية المضادة للالتهاب للمستخلص النباتي والنقاط الكربونية المختبرة من خلال قدرتهما على تثبيت غشاء كريات الدم الحمراء وحمايته من التحلل المستحث حراريا مخبريا باتباع البروتوكول الوارد عند Faruq et al. (2014).

عمليا تم تحضير مجموعة من أنابيب التفاعل شملت: الشاهد السالب (Control)، الشاهد الإيجابي (Standard)، والعينتين المختبرتين، حيث تم وضع حجم 01 مل من معلق كريات الدم الحمراء محضرة بتركيز 10 % في كل أنبوب. بعدها، أضيف01 مل من الماء المقطر إلى أنبوب الشاهد السالب، وأضيف حجم مماثل من حمض الساليليك بتركيز 0.1 مع/ مل في أنبوب الشاهد الموجب، كذلك في الأنابيب الخاصة بالعينات، أضيف 01 مل من كل المستخلص والـ CDs بتركيز ثابت قدره 0.5 ملغ/مل. كما تم إضافة إلى جميع الأنابيب 01 مل من المحلول المنظم TBS pH = 6.4. ثم رجت الأنابيب بلطف لضمان التجانس، وحضنت في حمام مائي عند درجة حرارة ثابتة قدرها 56°م لمدة 30 دقيقة. لإيقاف التفاعل الكيميائي والحراري فجأة، نقلت الأنابيب مباشرة إلى حمام ماء بارد، ثم أخضعت لعملية الطرد المركزي عند سرعة 2500 دورة/الدقيقة لمدة 5 دقائق. في الأخير، سحبت الطبقة الطافية وقيست امتصاصيتها الضوئية عند طول الموجة 556 نانومتر.

قدرت النسبة المئوية لتثبيت الغشاء (أو تثبيط التحلل الدموي) باستخدام المعادلة الرياضية التالية:

$$\text{Inhibition of Hemolysis (\%)} = [(Ac - As) / Ac] \times 100$$

حيث تمثل Ac امتصاصية محلول الشاهد السالب (المحفز بالماء المقطر)، بينما تمثل As امتصاصية محلول العينة المختبرة (المستخلص أو المركب النانوي أو حمض الساليليك).

اختبار تمسخ ألبومين مصل البقر (BSA)

تم تقييم الكفاءة المضادة للالتهاب للمستخلص النباتي والنقاط الكربونية النانوية من خلال قدرتهما على تثبيط التمسخ الحراري لـ BSA مخبريا، بالاعتماد على الطريقة الموضح عند Bailey-Shaw وآخرين (2017).

تجريبيا، حضر محلول الـ BSA بتركيز 0.4 % باستخدام المحلول ذو الـ pH: 6.4. بالتوازي مع ذلك، حضرت سلسلة تراكيز مختلفة لكل من المستخلص وCDs والأسبرين المستعمل كمركب مرجعي إيجابي (1.25 – 40 ملغ/مل). بعدها في كل أنبوب اختبار تم دمج 01 مل من محلول الـ BSA مع 0.5 مل

من التراكيز المحضرة للعينات المختبرة، ثم عدل الحجم النهائي لجميع الأنابيب إلى 2.5 مل باستخدام الماء المقطر. وبالمثل، أعيدت نفس الخطوات مع محلول الشاهد (Control) الذي يحتوي على الـ BSA والماء المقطر فقط دون إضافة أي مستخلص. بعد ذلك حضنت جميع الأنابيب في البداية عند درجة حرارة 37°م لمدة 15 دقيقة، ثم أخضعت لصدمة حرارية في حمام مائي عند درجة حرارة ثابتة 70°م لمدة 10 دقائق. عقب ذلك، تركت الأنابيب لتبرد تلقائيا في درجة حرارة الغرفة، ثم قيست العكارة الناجمة عن التمسخ بواسطة جهاز المطيافية الضوئية عند طول موجي قدره 660 نانومتر، وحسبت النسبة المئوية لتثبيط تمسخ البروتين في النهاية من باستخدام المعادلة الرياضية التالية:

$$\text{Inhibition of Denaturation (\%)} = [(Ac - As) / Ac] \times 100$$

حيث تمثل Ac امتصاصية محلول الشاهد، بينما تمثل As امتصاصية محلول العينة المختبرة.

تشير القيم المنخفضة للامتصاصية مقارنة بالشاهد إلى كفاءة أعلى في حماية البروتين من التمسخ. ولتحديد كفاءة العينات بدقة، تم حساب قيم IC_{50} انطلاقا من المنحنى البياني لنسب التثبيط مقابل التراكيز المستخدمة.

3.6. تحديد معامل الحماية من أشعة الشمس (SPF)

تم تقدير معامل الحماية من الشمس (SPF) خارج الجسم الحي لنبات عنب الذئب *(S. nigrum)* انطلاقا من عينتين تمثلتا في المستخلص الخام والنقاط الكربونية النانوية المصنعة حيويا استنادا إلى للربوتوكول الموصوف عند (Mosa et *al.*, 2023)، حيث ابتدأت العملية بتحضير عينتي الاختبار من خلال نقع 2 غ من المستخلص الخام أو CDs في 50 مل من الماء المقطر عند درجة حرارة غليان لمدة 20 دقيقة، الذي تم من خلاله الحصول على المحلول الأم ذو تركيز 4000 ملغ/ل تقريبا. ولتحضير العينات النهائية الموجهة للقياس، خفف المحلول المحضر للحصول على التركيز النهائي المقدر بـ 800 مل/ل. بعدها سجلت قياسات الامتصاصية الضوئية للعينات باستخدام جهاز الامتصاص الضوئيUV-Vis Spectrophotometer ضمن المجال الطيفي للأشعة فوق البنفسجية من نمط (UVB) المحصور بين 290 نانومتر و320 نانومتر، مع أخذ القراءات بفاصل مسحي ثابت 5 نانومتر. ولحساب قيمة الـ SPF العددية تم تطبيق المعادلة الموصوفة عند Mansur وفريقه (1986):

$$SPF = CF \times \sum_{290\ nm}^{320\ nm} \left(EE\ (\lambda) \times I\ (\lambda) \times Abs\ (\lambda)\right)$$

حيث يمثل CF معامل التصحيح المعياري ويساوي 10. ويمثل EE(λ): أثر الحماية الطيفي، بينما يعبر I(λ): عن شدة الإشعاع الشمسي عند كل طول موجي (λ)، ويمثل Abs (λ): قيمة الامتصاصية الضوئية المقاسة مخبريا للعينات عند الطول الموجي المقابل.

تم اعتماد قيم حاصل الضرب الثابت EE(λ) × I(λ) لكل طول موجي بناء على القيم المرجعية القياسية المحددة من قبل (Sayre et *al.*, 1979)، والموضحة في الجدول التالي:

الجدول رقم (3): قيم جداء المعايرة المستخدمة في حساب عامل الحماية من الشمس (SPF) (Sayre et al., 1979; Mansur et al.,1986)

λ (nm)	EE x I (normalized)
290	0.0150
295	0.0817
300	0.2874
305	0.3278
310	0.1864
315	0.0837
320	0.0180
Total	1

4.6. النشاطية المضادة للبكتيريا باستخدام طريقة الانتشار في الآبار :

تم تقييم الفعالية المضادة للبكتيريا لكل من المستخلص النباتي والنقاط الكربونية النانوية ضد سلالتين بكتيريتين مرجعيتين: الأولى سالبة الغرام والمتمثلة في *E. coli* والثانية موجبة الغرام تمثلت في *S. aureus*، وذلك باستخدام طريقة الانتشار في الآبار على وسط آغار Mueller-Hinton.

في البداية حضرت المعلقات البكتيرية انطلاقا من مزارع ميكروبية حديثة التنشيط، ثم عدلت كثافتها البصرية (العكارة) بدقة لتتوافق مع معيار القياس ماكفارلاند 0.5 (0.5 McFarland standard) والذي يكافئ كثافة خلية تبلغ حوالي 1.5×10^8 CFU/mL، وذلك باستخدام المحلول الملحي الفيزيولوجي المعقم (NaCl 0.9 %). بعد ذلك، نشر المعلق البكتيري بشكل متجانس وغزير على سطح أطباق بيتري المعبئة بوسط الزرع الآغار MH. أنشئت بعدها في هذه الأطباق آبار متساوية الأقطار (6 mm) بواسطة ثاقب فلين معقم، ثم ملئت بـ 50 ميكرولتر من محاليل العينات المختبرة المحضرة بتراكيز متسلسلة تدريجيا شملت: 10، 20، 40، و80 ملغ/مل وبالتوازي. مع ذلك، أدرج محلول ملحي فيزيولوجي معقم (NaCl 0.9 %) كشاهد سلبي لضمان خلوه من أي تأثير ثبيطي على النمو البكتيري.

حضنت الأطباق الملقحة عند درجة حرارة ثابتة (37° م) لمدة 24 ساعة. وإثر انتهاء فترة الحضن، قيست أقطار مناطق التثبيط المتشكلة حول الآبار بدقة باستخدام قدم قنوة رقمية.

اعتبر ظهور منطقة تثبيط واضحة يتجاوز قطرها الكلي 6 مم دليلا على وجود نشاط مضاد للبكتيريا، حيث استخدم قطر التثبيط كمؤشر كمي مباشر للمقارنة بين الفعاليات الحيوية للعينات وفقا للمنهجية القياسية الموصوفة عند (Bonev et *al.*, 2008).

5.6. تحديد التركيز المثبط الأدنى (MIC) والتركيز القاتل الأدنى (MBC) للمستخلص النباتي (Ex) و (CDs)

تقييم النشاط المضاد للبكتيريا لكل من المستخلص النباتي (Ex) والنقاط الكربونية النانوية (CDs) بالاعتماد على تقنية التخفيف المتسلسل في صفائح الميكروتيتر ذات 96 بئرا، وفق التوصيات المعيارية للجنه المعايير المخبرية والسريرية (CLSL)، وذلك في مواجهة اربع سلالات بكتيرية مرجعية تمثل طيفا واسعا من الكائنات المسببة للأمراض، تشمل للبكتيريا سالبة الغرام: *E.coli* و*P.aeruginosa* ، إضافة إلى البكتيريا موجبه الغرام :*S.aureus* و*B .subtilis* حُضِّرت المعلقات البكتيرية انطلاقا من مزارع طازجة في الطور اللوغاريتمي للنمو ،وضُبطت كثافتها الضوئية وفق معيار ماكفار لاند 0.5، المقابل لتركيز يبلغ نحو 1.5×10^8 وحدة مكونة للمستعمرة في كل مليليتر (ml/CFU)، ثم خففت لاحقا الي التركيز الملائم للاختبار . اجريت تخفيفات متسلسلة ثنائية لكل من (Ex) و(CDs) في وسط مولر ـ هينتون السائل (Mueller_Hinton Broth)، للحصول على نطاق تركيزي يمتد من 2.5 الى 80mg/ml. اضيف في كل بئر 100 µL من المادة المختبرة و50 µL من اللقاح البكتيري ،فيما خصصت آبار للتحكم الايجابي لمتابعه النمو ،وآبار للتحكم السلبي للتحقق من انعدام التلوث ،مع الحرص على ابقاء تركيز ثنائي مثيل سلفوكسيد (DMSO) دون عتبة 1٪ لاستبعاد اي تأثير مثبط ناجم عن المذيب .حضنت الصفائح عند 37ْC لمدة تتراوح بين 18و24 ساعة، وعرف الحد الادنى للتثبيط (MIC) بوصفة ادنى تركيز لا تلاحظ عنده عكارة مرئيه في وسط الزرع ،وهو ما يعبر عن التثبيط الكامل للنمو البكتيري . اما الحد الادنى للقتل (MBC)، فقد حدد بإعادة زرع 3 µL من مزيج الابار غير المعكرة على اطباق اجار مولر- هينتون (MHA) وحضنها لمدة 24ساعة اضافية؛ اذ يمثّل MBC ادنى تركيز لا يسجل عنده اي نمو بكتيري في اعقاب اعادة الزرع، وهو ما يُشير الى التأثير القاتل للمادة المختبرة لا المثبِّط فحسب (Schwalbe et *al.*,2007).

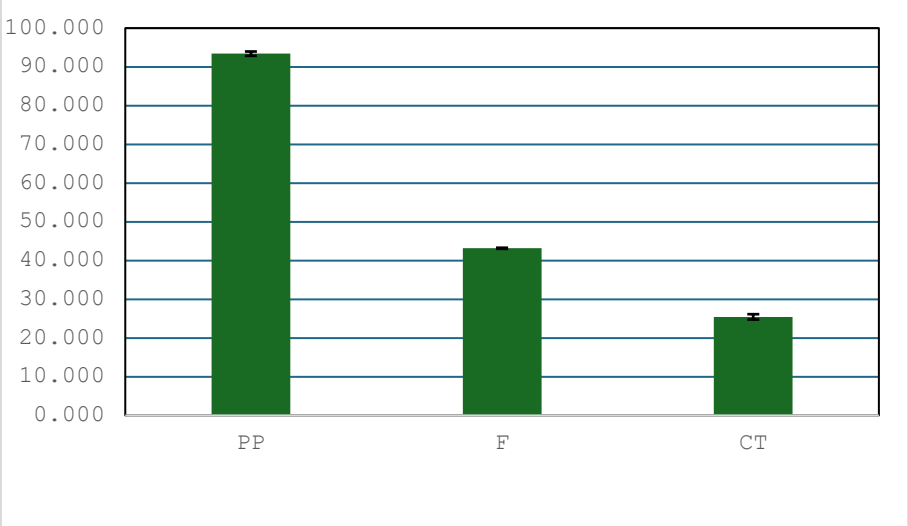
7. المعالجة الإحصائية للبيانات

أجريت جميع القياسات المتعلقة بالدراسة في ثلاثة مكررات (n = 3) لضمان دقة وموثوقية النتائج. وتم تحليل البيانات إحصائيا باستخدام برنامج Microsoft Excel 2016، حيث عبر عن النتائج على شكل المتوسط الحسابي ± الانحراف المعياري (Mean ± SD).

الفصل الثالث: النتائج والمناقشة

1. التقدير الكمي لعديدات الفينول، الفلافونويدات والتانينات المكثفة

تم تحديد المحتوى الكمي للمركبات الفينولية في المستخلص الخام بالاعتماد على طرق قياس الطيف الضوئي، وذلك بالاستعانة بمنحنيات معايرة دقيقة (انظر الملحق 01). وتم توحيد التركيزات النهائية والتعبير عنها بوحدة mg ES/g Ex.



الشكل رقم (4): تقدير المحتوى الكلي عديدات الفينول والفلافونويدات والتانينات في نبات عن الذيب (*S. nigrum*)

PP: عديدات الفينول؛ F: الفلافونويدات؛ TC: التانينات المكثفة. تمثل القيم المتوسط الحسابي لثلاثة تكرارات ± الانحراف المعياري.

من خلال النتائج الموضحة في الشكل أعلاه نلاحظ أن المحتوى الكمي لعديدات الفينول الكلية في المستخلص المدروس قد بلغ 93.402 ± 0.562 mg GAE/g Ex وهو مستوى عال يدل على وفرة النبات بالمركبات ذات النشاط المضاد للأكسدة. و عند مقارنته بالدراسات السابقة، تبين أن القيمة المتحصل عليها تقع ضمن النطاق الأعلى للقيم المسجلة في دراسة Aouadi وآخرون (2024) و التي تراوحت بين 11.33 – 109.17 mg GAE/g Ex. وأعلى من القيم مسجلة في دراسة Ogundola ومساعدوه (2022) حيث كانت قيمهم ما بين 51.28 – 66.72 mg GAE/g Ex، كذلك تجاوزت القيم التي أوردتها دراسة Hayat وفريقه (2025) والتي أبلغت أن هذا المحتوى تراوح ما بين 9.633 – 24.500 mg GAE/g Ex. وبالمقارنة مع دراسة Mukasa-Tebandeke وآخرون (2022)، المنجزة على عينة من أوغندا، نلاحظ وجود تقارب واضح، حيث كانت قيمتهم المسجلة 97.85 ± 0.15 mg GAE/g Ex.

أما فيما يخص الفلافونويدات، فقد بلغ محتواها في دراستنا 43.150 ± 0.146 mg QE/g Ex، وهي قيمة تتماشى مع الحد الأعلى للنطاق الذي وثقه Aouadi وآخرون (2024). كما تصنف ضمن المستوى العال بالنسبة للدراسات الأخرى، إذ تجاوزت الحد الأدنى الذي ذكر في دراسة Ogundola ومساعدوه (2022) والمقدر بـ 35.23 mg QE/g Ex، والقيم الواردة في دراسة Hayat وفريقه (2025) – 25.468)

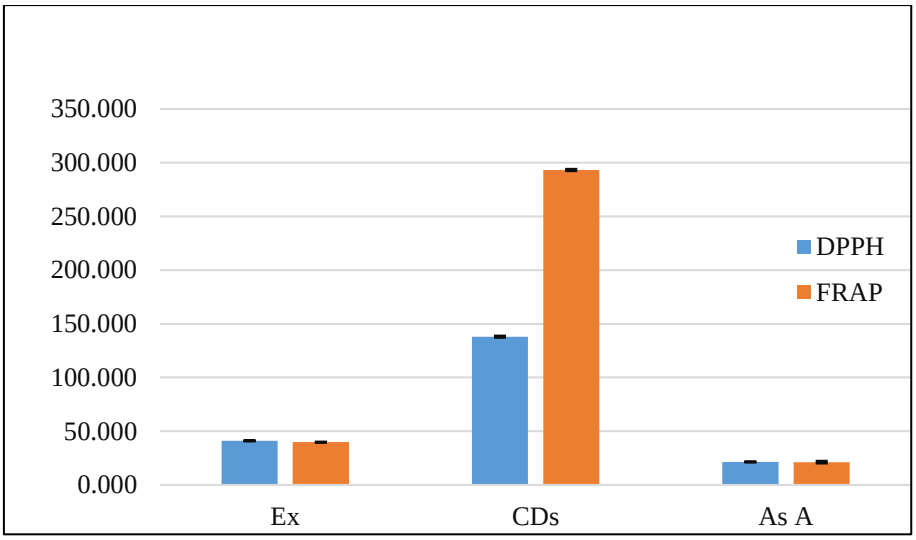
(26.658 mg QE/g Ex، وكذلك النتيجة المتحصل عليها في دراسة Mukasa-Tebandeke وآخرون (2022) والمقدرة بـ (16.40 ± 0.40 mg QE/g Ex).

أما بالنسبة للتانينات مكثفة، أظهرت نتاجنا أن المستخلص يحتوي على كمية مرتفعة منها، حيث بلغت 25.438 ± 0.698 mg CE/g Ex. وبالمقارنة مع الدراسات الأخرى، تبين وجود تفوق طفيف مقارنة بما سجلته دراسة Aouadi وآخرون (2024) (22.5 mg TAE/g Ex)، حيث أشارت هذه دراسة أن الماء باعتباره مذيب قطبي يمتلك قدرة في اختراق الأنسجة النباتية المختلفة واستخلاص المركبات الفينولية المعقدة بكفاءة أكبر، مما انعكس على ارتفاع تركيز التانينات في مستخلص. في حين ذكر في دراسة Ogundola ومساعدوه (2022) أن تراكم التانينات في *S. nigrum* يرتبط بشكل وثيق بالظروف البيئية، إذ صرحت هذه دراسة بوجود انخفاض نسبي في محتوى التانينات مقارنة بنتائجنا. ومن جهة أخرى توافقت مع ما ذكر عند Uusiku وفريقه (2017)، حيث أبلغ أن نبات عنب الذيب يعد من أغنى النباتات الخضراء المحتوية على التانينات.

تظهر النتائج المتوصل إليها أن غنى المستخلص المائي لنبات *S. nigrum* بالمركبات الفينولية؛ حيث يعزى هذا المحتوى المرتفع إلى كفاءة الماء كمذيب قطبي عالي القدرة على استخلاص المركبات الحاملة للمجموعات الهيدروكسيلية. ومن جهة أخرى، فإن التباين الملاحظ بين نتائج هذه الدراسة والدراسات السابقة قد يرجع إلى تضافر عدة عوامل وراثية وبيئية؛ حيث تؤثر الظروف المناخية، وطبيعة التربة، والموقع الجغرافي، ومرحلة نمو النبات بشكل مباشر في تنظيم المسارات الأيضية المسؤولة عن تخليق هذه المستقلبات الثانوية. علاوة على ذلك، تلعب بروتوكولات العمل المعتمدة دورا حاسما في تحديد كفاءة وجودة هذا المحتوى.

2. دراسة النشاط المضاد للأكسدة

أظهرت نتائج (الشكل 02) النشاط المضاد للأكسدة لاختبار الجذر الحر DPPH واختبار القدرة الاختزالية للأيونات الحديد (FRAP) لمستخلصي نبات *S. nigrum*؛ المتمثلة في: المستخلص المائي والنقاط الكربونية النانوية (CDs)، تباينا واضحا في كفاءتهما المضادة للأكسدة والاختزال.



الشكل رقم (5): تقييم القدرة المضادة للأكسدة (IC_{50}) و($EC_{0.5}$) للمستخلص المائي وCDs باستخدام اختباري DPPH وFRAP

Ex: المستخلص؛ CDs: الجسيمات الكربون النانوية؛ As A: حمض الأسكوربيك. تمثل القيم المتوسط الحسابي ± الانحراف المعياري (n = 3).

كشفت النتائج أن حمض الأسكوربيك أظهر أعلى فعالية مضادة للأكسدة وأكبر قدرة اختزالية مقارنة ببقية العينات المختبرة، يليه المستخلص المائي، ثم CDs. ففي اختبار DPPH، بلغت قيمة IC_{50} لحمض الأسكوربيك 21.397 ± 0.330 µg/mL، بينما سجل المستخلص المائي قيمة 352 ± 41.099 µg/mL، في حين انخفضت الفعالية بشكل ملحوظ في CDs ليسجل قيمة IC_{50} = 137.996 ± 0.722 µg/mL.

يعزى النشاط العال للمستخلص المائي إلى غناه بالمركبات الفينولية، والفلافونويدية، والتانينات الفعالة، والتي تمتلك وفرة من مجموعات الهيدروكسيل (-OH) القادرة على تثبيط الجذور الحرة عبر آليتي نقل الإلكترون أحادي الجزيء (SET) أو نقل ذرة الهيدروجين (HAT)، محولة جذر DPPH إلى جزيء مستقر، وهو ما يفسر الانخفاض التدريجي في الامتصاصية الضوئية عند 517 nm (Gulcin et *al.*, 2023، Alwasel, 2023). كما أظهرت العينات سلوكا طرديا يعتمد على التركيز؛ إذ يتيح ارتفاع التركيز إلى توفير كمية أكبر من المانحات الهيدروجينية اللازمة للاختزال (Islam et *al.*, 2023، Aiten et *al.*, 2024)، وهو النمط ذاته الذي رصده Sudhanshu وآخرون (2012) عند دراسة مستخلص *S. nigrum*.

وعند مقارنة هذه النتائج بالأبحاث السابقة، أظهر المستخلص المائي في هذه الدراسة تفوقا مضادا للأكسدة بحوالي عشرة أضعاف مقارنة بالمستخلص الميثانولي لأوراق النبات في دراسة Abdessattar & Belloum (2020) الذي سجل IC_{50} = 410 µg/mL، مما يؤكد كفاءة قطبية الماء في استخلاص المركبات الحيوية الفعالة والحفاظ عليها. كما أظهرت نتائجنا فعالية أعلى مقارنة بالمستخلص الكحولي للثمرة في دراستي Veerapagu وآخرين (2018) (IC_{50} = 70.73 µg/mL)، وGuediri وآخرين (2019) (IC_{50} = 123 µg/mL). ويعود هذا التباين إلى استخدام الأوراق في دراستنا، وهي المقر الرئيسي للتصنيع الحيوي

للمركبات الفينولية مقارنة بالثمرة التي تمثل مقرا للتخزين الحيوي. وفي المقابل، أظهرت دراسة Ogundola وآخرين (2022) قيمة IC_{50} أقل (11.20 µg/mL)، وهو اختلاف يرتبط بالظروف البيئية وطرق الاستخلاص.

أما بالنسبة لـ CDs، يعود انخفاض فعاليتها مقارنة بالمستخلص إلى ظروف الكربنة الحرارية أثناء التخليق الأخضر، والتي تستهلك أو تعدل جزءا من المجموعات الهيدروكسيلية المانحة للهيدروجين، مما يتطلب تركيزا أعلى لتحقيق تثبيط بنسبة % 50، وهو سلوك متوافق مع ما توصلت إليه دراسة Malavika (2025). وقد أكدت عدة دراسات سابقة أيضا أن تباين هذا النشاط يتأثر تبعا لطرق التحضير والخصائص الفيزيوكيميائية (Wibowo et *al.*, 2026؛ Roy et *al.*, 2021).

وبالمثل، أظهرت نتائج اختبار FRAP (الشكل 02) تباينا واضحا في الكفاءة الاختزالية بين العينات؛ إذ تصدر حمض الأسكوربيك المجموعة بأعلى قدرة اختزالية بقيمة $EC_{0.5}$ = 21.217 ± 0.974 µg/mL، يليه المستخلص المائي بقيمة 39.844 ± 0.168 µg/mL، في حين سجلت CDs قيمة $EC_{0.5}$ مرتفعة بلغت 293.242 ± 0.773 µg/mL، مما يدل على انخفاض قدرتها الاختزالية مقارنة ببقية العينات. وتجدر الإشارة إلى أن الدراسات التي أجرت اختبار FRAP على الـ CDs المصنعة حيويا من نبات *S. nigrum* تعد نادرة جدا، مما يضفي على نتائج دراستنا الحالية قيمة علمية مضافة وأسبقية في هذا المجال.

تعتمد آلية هذا الاختبار على كفاءة المجموعات المانحة للإلكترونات في اختزال معقد الحديديك (Fe^{3+}–TPTZ) إلى الشكل الحديدوزي (Fe^{2+}–TPTZ) مما ينتج عنه لون أزرق داكن يمكن قياسه عند 700 nm (Gulcin, 2025؛ Ponnusamy et *al.*, 2025). وتتوافق القدرة الاختزالية العالية للمستخلص النباتي طرديا مع زيادة التركيز وغناه بالمركبات الفينولية القادرة على منح الإلكترونات، وهو ما يتفق أيضا مع ما ذكره Maharana وآخرون (2010) وMohyuddin وآخرون (2022) لنبات *S. nigrum*. كما تدعم دراسة George وآخرون (2022) هذه الدقة، حيث عزا الباحثون الكفاءة الاختزالية العالية للأوراق إلى دور المستقلبات الثانوية في كسر سلاسل الجذور الحرة. وتؤكد مراجعة Girotra وآخرين (2024) نجاح هذه المستخلصات كعوامل اختزال وتغليف حيوية لتوليف جسيمات نانوية مستقرة.

أما الانخفاض الملحوظ في نشاط الـ CDs، فيفسره التفكك البنيوي للمركبات الفينولية الأصلية بفعل الحرارة وإعادة تنظيمها في شبكة كربونية أكثر استقرارا، مما قلل كثافة المجموعات السطحية الناقلة للإلكترونات (Durak et *al.*, 2026). ومع ذلك، فإن احتفاظ الـ CDs بقدرة اختزالية معتمدة على التركيز يعد دليلا تجريبيا قاطعا على نجاح التصنيع الأخضر واستمرار فاعلية بعض المجموعات الوظيفية على سطحها النانوي. وعموما، يعكس هذا التباين العام بين العينات تمايز تركيبها الكيميائي وخصائصها الفيزيوكيميائية في تثبيط الجذور الحرة.

3. النشاطية المضادة للالتهاب

يعرض الجدول (4) النسبة المئوية للتثبيط الكلي لانحلال كريات الدم الحمراء للعينتين المختبرتين المقارنة مع حمض الساليسيليك كمركب مرجعي قياسي.

الجدول رقم (5): تقييم فعالية المضادة للالتهاب في المختبر (*In Vitro*) للعينتين المختبرتين باستخدام اختباري التثبيط الحراري لتمسخ ألبومين المصل البقري (BSA) وتثبيط انحلال غشاء كريات الدم الحمراء

Test Extract	Total inhibition of hemolysis (%)	Inhibition of BSA denaturation (IC_{50}: mg/mL)
Ex	63.823± 0.463	16.879 ± 0.022 mg/mL
CDs	64.984 ± 0.853	10.016 ± 0.055 mg/mL
Salicylic acid	74.667 ± 0.861	/
Aspirin	/	6.937 ± 0.019 mg/mL

EX: المستخلص؛ CDS: الجسيمات النانوية؛ تمثل القيم المتوسط الحسابي ± الانحراف المعياري (n = 3).

تكشف النتائج المتحصل عليها عن تباين ملحوظ في الكفاءة حماية للعينات المختبرة للأغشية الخلوية؛ إذ سجل المركب القياسي أعلى نسبة تثبيط للانحلال الغشائي بلغت % 0.861 ± 74.667، في أبدت كل من جسيمات CDs والمستخلص بنسب تثبيط متقاربة % 0.853 ± 64.984 و% 0.463 ±63.823، على التوالي.

ويعزى هذا التأثير الوقائي المزدوج (للمستخلص والـ CDs) إلى ارتباطهما البنيوي بالغشاء الخلوي لكريات الدم الحمراء، مشكلين حاجزا فيزيائيا وكيميائيا يكبح الجذور الحرة، ويقيد أكسدة الدهون الفوسفورية، مما يحمي الغشاء من التمزق والانحلال (Aouadi et *al.*, 2025). وفي ذات السياق، أوضح Kowalczyk وزملاؤه (2022)، أن المركبات الفينولية - لا سيما الفلافونويدات المتواجدة في نباتات جنس *Solanum*- تمتلك طبيعة كيميائية تتيح لها التفاعل المنظم مع سطح الغشاء الخلوي لتعزيز استقراره الهيكلي وتقليل نفاذية العوامل التأكسدية. وينعكس هذا التأثير تكامليا مع دور التانينات المتواجدة في المستخلص، والتي تتميز بقدرتها على الارتباط الانتقائي بالبروتينات الهيكلية لغشاء الكريات، مما يكسبه صلابة بنيوية تمنع تشكل المسام المجهرية المسؤولة عن تسرب المحتوى الخلوي (Olchowik-Grabarek et *al.*, 2020). وتتماشى هذه المؤشرات مع ما سجله Batool وفريقه (2025)، إذ حقق مستخلص مماثل نسبة تثبيط بلغت % 0.73 ± 70.52، حيث أعزيت كفاءته أساسا للمركبات الفينولية. وتكتسب هذه المعطيات بعدا تطبيقيا واعدا عند ربطها بالأمراض الانحلالية كالملاريا، حيث تعتمد آلية العدوى بطفيليات *Plasmodium* بشكل رئيسي على اختراق غشاء كريات الدم الحمراء وتدميرها (Birru et *al.*, 2022).

أما كفاءة الحماية الملاحظة عند الـ CDs، فيعزى إلى طبيعتها النانوية الفريدة ومساحتها السطحية التي تزيد من فرص ارتباطها بالأغشية الحيوية. علاوة على ذلك، فإن بروتوكول التوليف الحيوي الأخضر

يسهم في تركيز المبادئ النباتية الفعالة وتثبيتها على سطح هذه الجسيمات، مما يضاعف قدرتها التثبيطية. وقد أكدت دراسة Zia وآخرون (2025)، أن تطوير هذه الصيغ النانوية يعزز التوافق والاستقرار الحيوي للأغشية الخلوية. ويدعم هذا الطرح ما أفاد به Albandar (2025) بأن هذه الجسيمات تشكل موادا كربونية عضوية خالية من المعادن الثقيلة، مما يمنحها سمية تراكمية منخفضة جدا مقارنة بالأنظمة النانوية المعدنية التقليدية، وهو ما عززه أيضا Pei وآخرون (2025) بتأكيدهم على أن الخصائص السطحية المتقدمة للـ CDs ترفع من كفاءة التوافق الدموي (Hemocompatibility)، مما يرسخ مكانتها كناقل نانوي آمن في تطبيقات الطب الحيوي.

بناء على هذه المعطيات مجتمعة، يتبين أن كلا من المستخلص المائي والنقاط الكربونية لنبات *S. nigrum* يمتلكان إمكانات واقية للأغشية الحيوية تقارب تلك المسجلة للمركبات المرجعية المضادة للالتهاب، مما يؤهلهما كبدائل طبيعية مستدامة وآمنة للعقاقير الاصطناعية في دعم استقرار الأغشية الخلوية وتطوير مضادات الالتهاب.

أما اختبار تثبيط تمسخ بروتين BSA يعتبر نموذجا مخبريا قياسيا ومعتمدا على نطاق واسع لتقييم النشاط المضاد للالتهاب خارج الجسم الحي (*In vitro*)؛ وتكمن أهمية هذا الاختبار في الحساسية العالية لبروتين الـ BSA تجاه المؤثرات الحرارية، حيث يقيس كفاءة المركبات المختبرة في تثبيت البنية الفراغية (الثانوية والثلاثية) للبروتين ومنع تفككها تحت تأثير الإجهاد الحراري، وهو ما يعد مؤشرا أوليا دالا على الفعالية المضادة للالتهاب (Nirmala et *al.*, 2023).

أظهرت نتائج الدراسة الحالية (الجدول 01) أن الفاعلية التثبيطية لتمسخ البروتين تعتمد بشكل مباشر على طبيعة المادة المختبرة؛ حيث سجل المركب المرجعي القياسي (الأسبرين) أعلى كفاءة تثبيطية، حيث كانت $IC_{50} = 6.937 \pm 0.019$ mg/mL. وفي المقابل، أظهرت جزيئات CDs تفوقا ملحوظا قدرت تثبيط أعلى قدرت بـ $IC_{50} = 10.016 \pm 0.055$ mg/mL مقارنة بالمستخلص المائي الخام الذي سجل قيمة $IC_{50} = 16.879 \pm 0.022$ mg/mL. وبما أن انخفاض قيمة الـ IC_{50} يعكس كميا ارتفاع الفعالية البيولوجية، فإن هذه المعطيات تؤكد أن عملية التحويل النانوي للمستخلص حسنت بوضوح الكفاءة التثبيطية للـ CDs لتشكل تقاربا نوعيا من كفاءة المركب القياسي، وهي نتيجة تنسجم مع المبدأ العلمي العام الذي رسخته دراسة Hermanoto وآخرون (2026) بتأكيدها أن الجسيمات النانوية المحضرة حيويا تظهر نشاطا مضادا للالتهاب يتفوق على مستخلصاتها الخام في هذا الاختبار.

على الصعيد الجزيئي، تعزى الفعالية التثبيطية للمستخلص المائي إلى غناه بالمركبات الفينولية - لا سيما الفلافونويدات والتانينات - حيث تمتلك هذه المستقلبات الثانوية القدرة على التفاعل مع الجزيئات البروتينية عبر روابط هيدروجينية وتداخلات كارهة للماء غير تساهمية، مما يحافظ على الاستقرار البنيوي للبروتين. وفي ذات السياق، أكدت دراسة Aouadi وفريقه (2026) أن مستخلص نبات *S. nigrum* يثبط

تمسخ البروتين نمطيا وبشكل يعتمد على التركيز، نظرا لقدرة مركباته الفعالة على الارتباط ببقايا الأحماض الأمينية المكشوفة على سطح البروتين، مما يحول دون انكشاف المناطق الكارهة للماء الداخلية وتجمعها العشوائي، وهي الخطوة المحورية المحفزة للتمسخ الحراري.

من جهة أخرى، فإن تفوق الـ CDs على المستخلص الخام لا يعود لتآزر كيميائي مباشر بينهما في الوسط التفاعلي - إذ عوملا كعينتين مستقلتين - بل يرجع أساسا إلى الخصائص الفيزيوكيميائية الفريدة الناجمة عن تكنولوجيا التصنيع النانوي. فالحجم النانوي الدقيق للـ CDs والارتفاع الكبير في نسبة مساحة السطح إلى الحجم يتيحان وفرة في المواقع التفاعلية النشطة، فضلا عن مرونتها الفائقة في الارتباط ببقايا الأحماض الأمينية وتثبيت البنية الثلاثية لبروتين الـ BSA مقارنة بالجزيئات الحرة (Sharma et *al.*, 2023). ويعزز هذا الطرح ما أوضحته مراجعة Qi وفريقه (2023) من أن المساحة السطحية الواسعة للنقاط الكربونية وتوافقها الحيوي يسهلان ارتباطها بالبروتينات الحيوية. كما يتوافق هذا التميز النانوي مع ما وضحه Aouadi وآخرون (2026) من أن الجسيمات النانوية المصنعة بالتوليف الأخضر من أوراق نبات *S. nigrum*. تمتلك كفاءة تثبيطية متفوقة مقارنة بالمواد الخام الحرة، مما يثبت نجاعة التحويل النانوي كاستراتيجية لتعزيز الفعالية البيولوجية للمستخلصات النباتية.

وعند وضع هذه النتائج في سياق مقارن مع الدراسات السابقة، يتضح تباين السلوك الحيوى تبيعاً للمنظور الفسيولوجي والبوتاني؛ حيث سجل المستخلص المائي لأوراق نبات من نفس الجنس وهو *S. aethiopicum* قيمة IC_{50} = 50.20 µg/mL (Adtutu & Olukorede, 2021) وهو تباين جوهري يعزى إلى اختلاف الأنواع النباتية، والمحتوى الفيتوكيميائي الكمي والنوعي، والظروف البيئية للموقع الجغرافي. أما بالنسبة للأنظمة النانوية، فقد بينت دراسة Thokchom وآخرون (2023) أن الجسيمات الكربونية المحضرة من أوراق نبات *Centella asiatica* أظهرت كفاءة تثبيط بلغت IC_{50} =106.20 ug/mL. ورغم تباين القيم الرقمية، فإن هذه الدراسات تتماشى مع توجهات عملنا الحالي في إثبات فاعلية الأنظمة النانوية الخضراء، وتبرز الأثر الحاسم للمصدر النباتي وظروف التصنيع في تحديد الخصائص السطحية والفيزيائية للجسيمات المنتجة، وبالتالي التحكم في كفاءتها البيولوجية.

4. تحديد معامل الحماية من الشمس (SPF)

تم تقييم معامل الحماية من الشمس لكل من المستخلص الخام وCDs، مع المقارنة بواقي شمسي تجاري La Roche-Posay® Anthelios Invisible Fluid SPF 50^+.

الجدول رقم (6): قيم SPF لكل من المستخلص الخام، CDs وواقي الشمس التجاري

Sample	SPF
Ex	25.474±0.253
CDs	59.731±0.281
Anti-S	58.925±0.418

تظهر نتائجنا (الجدول 05) اختلافا واضحا في الفعالية الواقية من الأشعة فوق البنفسجية لنبات *S.nigrum* تبعا لطريقة التحضير، حيث سجل المستخلص المائي الخام عامل حماية ضوئية بقيمة 25.474 (0.253 ±)، وهو نشاط متوسط يعزى إلى قدرة المركبات الفينولية المستخلصة على امتصاص هذه الأشعة. وتعد هذه القيمة أعلى بوضوح من النتيجة التي توصل إليها Suswidiantoro وآخرون (2025)، والتي لم تتجاوز 2.19، ويرجع هذا التفاوت إلى اختلاف طرق الاستخلاص، بجانب تأثير الظروف البيئية في تحفيز تراكم المستقلبات الثانوية.

في المقابل، حققت CDs المحضرة من النبات نفسه طفرة نوعية في الأداء الضوئي، إذ بلغت قيمة SPF لها (59.731 ± 0.281)، وتتقارب هذه النتيجة مع كفاءة المركب المرجعي التجاري Anti-S (58.925 ± 0.418). ويعزى هذا التحسن الضوئي إلى التغير البنيوي المصاحب للتحول النانوي؛ حيث تتشكل نواة كربونية محاطة بمجموعات وظيفية غنية بالإلكترونات تعزز الانتقالات الإلكترونية لامتصاص الأشعة، فضلا عن قدرتها على تبديد الطاقة الممتصة حركيا (بشكل غير إشعاعي)، مما يرفع استقرارها الضوئي ويحميها من التحلل مقارنة بالمستخلص التقليدي.

وتتكامل هذه الآلية مع ما أورده Ngoc وفريقه (2023) حول الخصائص الفوتونية للنقاط الكربونية المستخلصة من النباتات، وكذا دراسة Machado وآخرون (2025) التي أكدت دور هذه الجسيمات النانوية في رفع قيم SPF والثبات الضوئي للتركيبات الصيدلانية. بناء على ذلك، تقدم ال CDs- المحضرة بديلا حيويا، مستداما، وعالي الكفاءة لتطوير واقيات شمس آمنة في مجال الصيدلة والتجميل.

5. النشاط المضاد للبكتيريا

تعد طريقة الانتشار في الآغار بالحفر من أكثر التقنيات استخداما في التقييم الأولي للنشاط المضاد للبكتيريا للمستخلصات النباتية، حيث تتيح دراسة العلاقة بين قدرة المركبات الحيوية على الانتشار داخل الوسط الصلب وتشكل مناطق التثبيط.

الجدول رقم (7): مناطق التثبيط (مم) للنشاط المضاد للبكتيريا

Bacterial strains	Ex	CDs	DMSO
	mg/mL80		1%
E. coli	NI	14	NI
S. aureus	NI	NI	NI

Ex: المستخلص المائي، CDs: النقاط الكربونية، NI = عدم حدوث تثبيط

أظهرت النتائج نشاطا مضادا للبكتيريا محدودا للمستخلص المائي، حيث لم يسجل المستخلص أي تأثير ضد السلالتين البكتيريتين المختبرتين عند التركيز المعتمد (80 µg/mL)، حيث أظهرت بالمقابل النقاط الكربونية نشاط مضاد للبكتيريا ضد سلالة *E. coli*، حيث بلغ قطر التثبيط 14 mm عند نفس التركيز. في حين غاب النشاط عند التراكيز الأدنى. ولم يظهر أي نشاط تجاه *S. aureus*. كما أكدت نتائج المراقبة غيابا كاملا لأي نشاط تثبيطي للمذيب المستخدم (1%) DMSO تجاه السلالتين.

تشير هذه النتائج إلى النشاط المضاد البكتيريا يعتمد على تفاعل معقد بين تركيز المركبات الفعالة، ونوع المستخلص، طبيعة الكائنات الدقيقة، وخصائص نظام الاختبار. كما تلمح إلى أن تحويل هذه المواد إلى جسيمات نانوية لا يضمن بالضرورة تحسين النشاط الحيوي، وتتوافق هذه النتائج مع ما ورد في الدراسات، حيث أكدت دراسة Upadhyay وآخرون (2015)، أن النشاط المضاد للبكتيريا لنبات *nigrum* .*S*يكون أكثر فاعلية عند استخدام المذيبات العضوية (كالكلوروفورم)، نظرا لقدرتها العالية على استخلاص المركبات الأيضية متوسطة وغير القطبية الكفيلة باختراق الأغشية الخلوية البكتيرية وزعزعة استقرارها. وفي السياق ذاته، أشار Abbas وفريقه (2014) أن المستخلصات المائية للنبات تمتلك نشاطا مضادا للميكروبات ضعيفا جدا مقارنة بالمستخلصات العضوية حتى عند استخدام تراكيز مرتفعة، مما يدعم النتائج السلبية المسجلة في هذه الدراسة.

في المقابل، يفسر التباين المسجل في نتائج CDs بين السلالتين إلى الاختلافات البنيوية والفسيولوجية للجدار الخلوي بين البكتيريا موجبة وسالبة الغرام. تمتلك البكتيريا سالبة الغرام (مثل *E. coli*) غشاءً خارجياً غنيا بالدهنية السكرية (LPS) سالب الشحنة، مما يحفز حدوث تجاذب كهروستاتيكي قوي مع السطح النشط للنقاط الكربونية. هذا التآثر الكهربائي يؤدي إلى إخلال بسلامة الغشاء البلازمي، وزيادة نفاذيته، وتدفق المحتوى الخلوية إلى الخارج، بالتوازي مع تحفيز إنتاج أنواع الأكسجين التفاعلية المسببة للإجهاد التأكسدي والتثبيط الخلوي (Zhang et *al.*, 2023). في المقابل، تتميز البكتيريا موجبة الغرام (مثل *S. aureus*)، بجدار خلوي سميك غني بالبروتينات السكرية، والتي تعمل كحاجز فيزيائي يمنع اختراق الجسيمات النانوية. وعليه، فإن زيادة كفاءة المواد النانوية ضد البكتيريا موجبة الغرام يتطلب استراتيجيات هندسة سطحية

دقيقة، مثل زيادة كثافة الشحنات الموجبة على سطح الجسيمات لتعزيز الالتصاق والاختراق الخلوي (Gasti et *al.*, 2020).

وبشكل عام، تؤكد هذه النتائج أن المستخلص يمتلك فعالية بيولوجية محدودة، إلا أنه يمثل مورد فعالة وواعدة لتخليق مواد نانوية ذات نشاط مضاد للبكتيريا سالب الغرام، مما يبرز الإمكانات الكبيرة لتقنيات النانو الأخضر في تحويل الموارد النباتية إلى أنظمة وظيفية متقدمة ذات تطبيقات حيوية واعدة في مجال مكافحة الميكروبات.

تحديد التركيز المثبط الأدنى (MIC) والتركيز القاتل الأدنى (MBC)

يوضح الجدول أناه نتائج تقييم الفعالية المضادة للبكتيريا لكل من المستخلص النباتي ونقاط الكربون، وذلك من خلال تحديد التركيز المثبط الأدنى والتركيز القاتل الأدنى.

الجدول رقم (8): التقييم المختبري للحد الأدنى من التركيز المثبط (MIC) والحد الأدنى من التركيز القاتل (MBC) وتحديد التأثير المبيد للبكتيريا للمستخلص الخام وCDs

	Ex				CDs			
	MIC	**MBC**	**MBC / MIC**	**Antibacterial effect**	**MIC**	**MBC**	**MBC / MIC**	Antibacterial effect
	mg/mL				mg/mL			
E. Coli	80	80	1	Bactericide	>80	>80	ND	-
P. aeruginosa	>80	>80	ND	-	>80	>80	ND	-
S. aureus	80	80	1	Bactericide	>80	>80	ND	-
S. subtilis	>80	>80	ND	-	>80	>80	ND	-

Ex: المستخلص المائي، CDs: النقاط الكربونية، ND: غير محدد، 80<: تركيز مرتفع جدا غير فعال ضمن المجال المختبر

يتيح التحديد الكمي لقيم MIC وMBC فهما دقيقا لطبيعة السلوك البيولوجي للمركبات المختبرة؛ حيث يعد تماثل قيمتي MIC وMBC (أي تحقيق النسبة MBC/MIC = 1) مؤشرا فيزيولوجيا قاطعا على التأثير القاتل المباشر (Bactericidal effect).

كشفت النتائج عن وجود نشاط انتقائي واضح للمستخلص النباتي تجاه *S. aureus* (غرام موجبة) و *E. Coli* (غرام سالبة) بتركيز موحد وثابت بلغ 80 mg/mL لكلا المؤشرين (MBC = MIC). وعلى النقيض لم تبد جسيمات CDs أي نشاط مثبط أو قاتل تجاه أي من السلالات الأربع المختبرة، حيث تجاوزت قيم MBC وMIC أعلى تركيز مستخدم (>80 mg/mL).

وعند مقارنة هذه النتائج بما ورد في الدراسات السابقة، يتبين وجود تباينات واضحة مرتبطة بطبيعة الجزء النباتي المستخدم، ونوع المذيب، وآليه الاستخلاص والتحضير. فقد أظهرت دراسة Kusuma وآخرون (2019) المعتمدة على عصير ثمار *S. nigrum* سلوكا انتقائيا تجاه *E. coli* مقارنة بـ *S. aureus*، إذ سجلت قيم MIC وMBC أقل بالنسبة للبكتيريا *E. coli* (MIC = 30 %, MBC = 45 %) مقابل (MIC = 45 %, MBC = 60 %) في بكتيريا *S. aureus*، ورجحوا ذلك إلى غنى الثمار بالمركبات الفينولية والتانينات الذائبة في الماء ذات القدرة على التأثير في الغشاء الخارجي للبكتيريا سالبة الغرام. بينما أظهر مستخلص الأوراق في دراستنا الحالية كفاءة قاتلة متساوية ضد السلالتين عند تركيز موحد، وهو ما يبرز بوضوح التباين الديناميكي في توزيع الاستقلاب الثانوي بين الأعضاء النباتية المختلفة.

تؤكد المقارنة مع دراسة Zubair وفريقه (2011) الدور المحوري لطبيعة المذيب؛ حيث سجل مستخلصهم الميثانولي الخام للأوراق قيمة MIC مرتفعة ضد *E. coli* بلغت 180 mg/mL، ثم انخفضت بشكل ملحوظ عند الفصل التجزيئي باستخدام كسرn-butanol لتصل إلى 80.4 mg/mL، وهي قيمة تكاد تطابق ما حققناه في دراستنا الحالية. يشير هذا التوافق إلى أن بروتوكول الاستخلاص المعتمد لدينا قد نجح في تركيز المركبات القطبية الفعالة (كالفلافونويدات، السابونينات، والغليكوزيدات). أما بالنسبة ل *S. aureus*، فقد سجلت ذات الدراسة في بعض الكسور قيمة أدنى من القيم الحالية (34.3 – 34.8 mg/mL)، وهو اختلاف قد يعزى إلى التباين الجغرافي والمناخي الذي يؤثر على المركبات الكيميائية للنبات، إلى جانب ظاهرة التداخل الكيميائي داخل المستخلصات الخام، لا سيما مع القلويدات السكرية (Glycoalkaloids). كما تتوافق مقاومة *B. subtilis* في الدراسة الحالية مع ما ورد في دراسة Zubair وفريقه (2011)، حيث أظهروا أن فعالية المستخلص الخام تجاه هذه السلالة يفوق (300 mg/mL)، لكن تحسن بشكل واضح بعد الفصل باستخدام إيثيل الأسيتات (30.2 mg/mL)، مما يدل على أن بعض المركبات الموجودة في المستخلص الخام قد تحد من وصول المركبات النشطة إلى الجدار الخلوي للبكتيريا.

ومن جهة أخرى، تبرز المقارنة مع دراسة Beigomi & Valizadeh (2025) اختلافا في طبيعة السلوك المضاد للبكتيريا. فقط سجل المستخلص الإيثانولي لديهم قيم MBC وMIC بلغت 25 mg/mL و50mg/mL؛ على التوالي ضد *S. aureus* بنسبة MBC/MIC = 2، وهي نسبة تصنف ضمن التأثير التثبيط القوي أكثر من كونها تأثيرا قاتلا. في حين تميزت الدراسة الحالية بتحقيق نسبة MBC/MIC = 1، مما يؤكد السلوك القاتل الواضح للمستخلص النباتي. ويحتمل أن يعود هذا الاختلاف إلى طبيعة المذيب المستخدم، وكفاءة استخلاص المركبات الفعالة، فضلا عن اختلاف الخصائص الجينية والفيسيولوجية للسلالات البكتيرية المختبرة. كما يتفق ارتفاع مقاومة *P. aeruginosa* في الدراسة الحالية مع ما هو معروف عن الدور الوقائي للغشاء الخارجي الغني بالليبيد عديد السكاريد، الذي يمثل حاجزا فيزيائيا يحد من اختراق المركبات النباتية.

أما بالمقارنة مع دراسة Pei وآخرون (2025)، التي استخدمت جسيمات كربونية مطعمة بالفوسفور (P-CDs) مشتقة من *S. nigrum*، فقد أظهرت فعالية أعلى بكثير عند تراكيز منخفضة جدا مقارنة بدراستنا، إذ سجلت قيمةMIC< بلغت 0.27 mg/mL ضد *E. coli* و*S. aureus*، ويعزى ذلك إلى تأثير التطعيم الفوسفوري في تعزيز الشحنات السطحية وتحفيز إنتاج أنواع الاكسجين التفاعلية، مما يزيد من كفاءة التفاعل مع الخلايا البكتيرية. ومع ذلك، فإن الدراسة الحالية تنفرد بإثبات التماثل الكامل بين MIC وMBC عبر تحديد قيمة MBC عددية مطلقة متطابقة مع MIC، بينما اقتصرت الدراسة المذكورة على متابعة منحنيات النمو دون تحديد قيم MBC بصورة كمية، مما يبقي احتمال السلوك الكابح. وفي ضوء محدودية فعالية الجسيمات الكربونية الخام، تبدو استراتيجيات التحسين، مثل التعديل السطحي الكيميائي أو التطعيم بالعناصر المعدنية أو الدمج مع مستخلصات نباتية فعالة، مسارات واعدة لتعزيز النشاط الحيوي في الدراسات المستقبلية.

خاتمة

خاتمة

تندرج هذه الدراسة ضمن مسعى علمي تكاملي يرمي إلى استثمار التنوع النباتي المحلي في تطوير أنظمة نانوية خضراء ذات الوظائف بيولوجية متعددة من خلال تقييم الإمكانات الفيتو كيميائية والبيولوجية للمستخلص المائي لأوراق نبات عنب الذيب (*S. nigrum*.) النامي في البيئة الصحراوية لمنطقة الوادي الجزائر، وتوظيف مادة أولية لتخليق نقاط كربونية نانوية خضراء (CDs) باستعمال تقنية التحلل الحراري الصديقة البيئة، وتتجلى القيمة البحثية للدراسة في تقييم مدى الكفاءة هذا مستخلص النباتي الخام ومشتقاته النانوية كبدائل طبيعية مستدامة ذات فعالية حيوية واعدة في مجالات مكافحة الإجهاد التأكسدي، والالتهابات، والنمو البكتيريا، بالإضافة إلى تعزيز الحماية من الأشعة فوق البنفسجية مقارنة بالمركبات الصيدلانية الاصطناعية المرجعية.

لتحقيق هذه الأهداف، اعتمدت منهجية متكاملة ومتعددة المراحل؛ إذ جمعت الأجزاء الهوائية للنبات من موقع طبيعي بمنطقة قمار، وجففت وطحنت وفق البرتوكولات معيارية معتمدة. أعد المستخلص المائي بتقنية النقع (Maceration)، في حين حضرت النقاط الكربونية النانوية بطريقة التحلل الحراري (Pyrolysis) المدعومة بالتشتيت بالأمواج فوق الصوتية والطرد المركزي. قدر المحتوى الكلي للمركبات الفينولية بكاشف Folin-Ciocalteu، وللفلافونويدات بطريقة $AlCl_3$، وللتانينات المكثفة بطريقة Vanillin-HCl. قيم النشاط المضاد للأكسدة باختباري DPPH وFRAP، وارتكز تقييم النشاط المضاد للالتهابات على اختباري تثبيط انحلال غشاء كريات دم الحمراء وتمسخ ألبومين مصل البقرة (BSA). وحسب معامل الحماية من الشمس (SPF). بالقياس طيفي في مجال UVB بمعادلة Mansur، فيما قيمت الفعالية المضادة للبكتيريا بطريقة الانتشار في الآبار على الغار وبالتخفيف المتسلسل لتحديد الحد الأدنى من التركيز المثبط (MIC) والقاتل (MBC) وفق معايير معهد CLSI وذلك في مواجهة سلالات بكتيرية مرجعية سالبة وموجبة الغرام.

كشفت التحاليل الكيميائية الحيوية عن غنى المستخلص المائي بالمركبات الفينولية؛ إذ بلغ المحتوى الكلي للمركبات الفينولية 93.402 ± 0.562 mg GAE/g، و للفلافونويدات 43.150 ± 0.146 mg /QE/g، و للتانينات المكثفة 25.438 ± 0.698 mg/CE/g وعي قيم تعكس كفاءة الماء كمذيب قطبي عالي القدرة على انتزاع المركبات الحاملة للمجموعات الهيدروكسيلية من الأنسجة النباتية. و في ما يتعلق بالنشاط المضاد للأكسدة، أظهر المستخلص المائي فعالية تثبيطية معتبرة لجذر DPPH بقيمة IC_{50} = 41.099 ± 0.352 ug/ml، وقدرة اختزالية بقيمة $EC_{0.5}$ = 39.844 ± 0.168 ug/ml، في حين سجلت النقاط الكربونية قيما أدنى بسبب التعديل الجزئي لمجموعات الهيدروكسيل أثناء التخليق الحراري. أما في الفعالية المضادة للالتهاب، فقد حققت كلتا العينتين نسب تثبيط لانحلال الغشاء بلغت و% 0.853 ± 64.984 و % 0.463 ± 63.823 على التوالي، مقاربة كفاءة حمض الساليسيليك المرجعي .(% 0.861 ± 74.667) وفي اختبار تثبيط تمسخ BSA،

تفوقت النقاط الكربونية بقيمة IC50 = 10.016 ± 0.055 mg/mL مقارنة بالمستخلص الخام (IC_{50} = 16.879 mg/mL ± 0.022)، وفي مجال الحماية من الأشعة فوق البنفسجية، حققت النقاط الكربونية طفرة نوعية إذ بلغت قيمة SPF لها 59.731 ± 0.281، أعلى من أداء الواقي الشمسي التجاري المرجعي (58.925 ± 0.418)، في مقابل (25.474 ± 0.253) للمستخلص الخام، مما يعكس التحول البنيوي المعزز للانتقالات الإلكترونية الممتصة للأشعة. في المقابل، أبدى المستخلص نشاطا قاتلا مباشرا (MBC /MIC=1) ضد كل من E. coli وS. aureus. عند تركيز موحد 80 mg /mL، بينما أظهرت النقاط الكربونية نشاطا تثبيطيا انتقائيا تجاه E. coli فحسب في اختبار الانتشار في الآغار (قطر تثبيط 14 mm)، دون أن تسجل فعالية مثبطة أو قاتلة اختبار MIC /MBC.

تجيب هذه النتائج مجتمعة إجابة علمية موثقة عن الإشكالية المطروحة؛ إذ تثبت أن كلا من المستخلص المائي والنقاط الكربونية لنبات *S. nigrum* يمتلكان إمكانات بيولوجية حقيقية ومتمايزة وظيفيا. فالمستخلص الخام يتميز بفعالية مضادة للأكسدة والبكتيريا مرتبطة بغناه الفيتوكيميائي، في حين أعادت الهندسة النانوية توجيه الخصائص الوظيفية بما أفضى إلى تحسن ملموس في النشاط المضاد للالتهاب ومعامل الحماية من الشمس، مع تراجع نسبي في النشاط المضاد للأكسدة والبكتيريا. وتتجلى الإضافة العلمية لهذا العمل في أنه يقدم للمرة الأولى توصيفا بيولوجيا مقارنا بين المستخلص المائي الخام ومشتقاته النانوية الكربونية الخضراء المصنعة من نبات ينمو في بيئة صحراوية قاسية، مؤكدا نجاعة مبادئ الكيمياء الخضراء في تحويل مورد نباتي محلي إلى نظام نانوي وظيفي متعدد الأبعاد البيولوجية، قابل للتوظيف في مجالات الصيدلة والحماية التجميلية بوصفه بديلا طبيعيا مستداما.

انطلاقا من هذه المعطيات، توصي الدراسة بالتوجهات البحثية الآتية لاستكمال هذا المسار العلمي: أولا، إجراء توصيف بنيوي وفيزيائي متقدم للنقاط الكربونية يشمل المجهر الإلكتروني النافذ عالي الدقة (HR-TEM) لتحديد التوزيع الحجمي والبنية المورفولوجية، وحيود الأشعة السينية (XRD) لتقييم درجة التبلور، وقياسات جهد زيتا (Zeta potential) لفهم خصائص الشحنة السطحية وآليات الالتصاق الخلوي. ثانيا، تطوير البنية السطحية للنقاط الكربونية بتشويبها بعناصر غير متجانسة كالنيتروجين والفوسفور لتعزيز الكفاءة الفلورية والنشاط الحيوي، مما يتوافق مع التوجهات الراهنة في علم النانو الأخضر. ثالثا، الانتقال من النماذج المخبرية (*in vitro*) إلى الاختبارات على الخلايا والكائنات الحية (*in vivo*) لفهم المسارات الجزيئية المرتبطة بالأنشطة البيولوجية المثبتة، وتقييم السمية الحيوية وتحديد حدود الأمان الخلوي قبل اقتراح أي تطبيقات علاجية. رابعا، تطوير صيغ صيدلانية وتجميلية مبتكرة تدمج النقاط الكربونية في مستحضرات واقية من الشمس، مع دراسة استقرارها الفيزيائي والكيميائي وحركية تحررها الحيوي على المدى البعيد، بغية تقديم بدائل نانوية خضراء ومستدامة للمرشحات الكيميائية التقليدية.

قائمة المراجع

قائمة المراجع

1. المراجع باللغة العربية:

علیه، ف. (2022). المساهمة في دراسة العلاقة الفيتوكيميائية والفيزيولوجية التطفلية بين نبات الذنون الطفيلي Cistanche violace (Desf.) Beck. والنباتات المضيفة له الزيتة Limoniastrum guyoniaum Dur. والباقل Haloxylon articulatum Bioss. أطروحة مقدمة لنيل شهادة الدكتوراه LMD، جامعة الوادي.

2. المراجع باللغة الأجنبية:

Abbas, M. S., Ahmad, S., Shaukat, S. S., Khan, M. A., & Ahmed, W. (2014). *Comparative antimicrobial activity of aqueous and organic solvent extracts of Solanum nigrum L.* Pakistan Journal of Botany, 46(5), 1915–1920.

Adetutu, O. A., & Olukorede, A. O. (2021). *Evaluation of in vitro anti-inflammatory potential of aqueous Solanum aethiopicum (garden egg) leaf extract.* Journal of Biomedicine and Biosensors, 1(1), 1–14.

Ahiya, A. I., Bhatnagar, S., Morrisey, J. M., Beck, J. R., & Vaidya, A. B. (2022). *Dramatic consequences of reducing erythrocyte membrane cholesterol on Plasmodium falciparum*. Microbiology Spectrum, 10(1), e00158-22. https://doi.org/10.1128/spectrum.00158-22

Ahmed, M. S., et al. (2024). A comprehensive overview on pharmacological and therapeutic insights of Solanum nigrum Linn.

Bean, A. R. (2012). Solanum. In DELTA Intkey – Australian Solanaceae (Version 25 January 2023). DELTA Intkey https://keyserver.lucidcentral.org/weeds/data/media/Html/solanum_nodiflorum.htm.

Alia, F., Chouikh, A., Djahra, A. B., Brahim, A. B., Nani, S., & Tliba, A. (2021).*Comparative study of some physicochemical and biological properties of the effect of host species variation on the relationship of the Saharan parasitic plant Cistanche violacea (Desf.) Beck. Notulae Scientia Biologicae,* 13(4), 11054. https://doi.org/10.15835/nsb13411054

Alia, F., Tlili, M. L., Touati, S., Sahraoui, Z., & Ba, I. (2026). *Phytochemical profiling and biological activity assessment of aqueous extract from sweet pomegranate (Punica granatum L.) fruit peels collected in the El Oued region, Algeria. Acta Periodica Technologica*. https://doi.org/10.2298/APT251201007A

Aliyu, N. O., Welcome, M. O., Medugu, N., Asalu, A., Odu, I., Ogundeko, T. O., Imrana, J., & Adeburo, B. (2025). *Phytochemical evaluation and pharmacological activities of leaf and*

fruit extracts of African black nightshade – Solanum nigrum Linn. (NIPRD H 7357). Path of Science, 11(1). https://doi.org/10.22178/pos.113-6

Anuar, N. K. K., Tan, H. L., Lim, Y. P., So'aib, M. S., & Abu Bakar, N. F. (2021). *A review on multifunctional carbon dots synthesized from biomass waste:* Design, fabrication, characterization and applications. Frontiers in Energy Research, 9, Article 626549. https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.626549

Aouadi, A., Abd El-Mordy, F. M., & Messaoudi, M. (2025). *Exploring antioxidant, antibacterial and anti-hemolytic activities of Atriplex halimus L.: Optimizing extraction conditions to enhance bioactive and pharmaceutical properties*. Natural Product Communications. https://doi.org/10.1177/1934578X251410057

Aouadi, A., Nesrat, H. S., Zemmouli, N., Bouafia, A., Aouadi, S., & Laouini, S. E. (2026). *Green synthesis of magnesium oxide nanoparticles using Solanum nigrum L. leaf extract: A multifaceted approach for sustainable biomedical and photoprotective applications. Journal of Macromolecular Science, Part A. Advance online publication.* https://doi.org/10.1080/01932691.2025.2607125

Aouadi, A., Saoud, D. H., Rebiai, A., Ibrahim, M. H., Messaoudi, M., Alia, K., Zidane, H., Atoki, A. V., & Abd El-Mordy, F. M. (2024). *Chemical composition's effect on Solanum nigrum Linn.'s antioxidant capacity and erythrocyte protection: Bioactive components and molecular docking analysis.* Open Life Sciences, 19(1), 20220944. https://doi.org/10.1515/biol-2022-0944

Aouadi, A., Saoud, D. H., Rebiai, A., Ibrahim, M. H., Messaoudi, M., Alia, K., Zidane, H., Atoki, A. V., & Abd El-Mordy, F. M. (2024). *Chemical composition's effect on Solanum nigrum Linn.'s antioxidant capacity and erythrocyte protection: Bioactive components and molecular docking analysis.* Open Life Sciences, 19(1), 20220944. https://doi.org/10.1515/biol-2022-0944

Aouadi, A., Saoud, D. H., Rebiai, A., Ibrahim, M. H., Messaoudi, M., Alia, K., Zidane, H., Atoki, A. V., & Abd El-Mordy, F. M. (2024). *Chemical composition's effect on Solanum nigrum Linn.'s antioxidant capacity and erythrocyte protection: Bioactive components and molecular docking analysis.* Open Life Sciences, 19(1), 20220944. https://doi.org/10.1515/biol-2022-0944

Atanu, F. O., Ebiloma, U. G., & Ajayi, E. I. (2011*). A review of the pharmacological aspects of Solanum nigrum Linn. Biotechnology and Molecular Biology Review*, 6*(1)*, 1–7. http://www.academicjournals.org/BMBR

Bailey-Shaw, Y. A., Williams, L. A., Green, C. E., Rodney, S., & Smith, A. M. (2017). *In vitro evaluation of the anti-inflammatory potential of selected Jamaican plant extracts using the bovine serum albumin protein denaturation assay. International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 47(1), 145–153.

Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibnsouda, S. K. (2016). *Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review.* Journal of Pharmaceutical Analysis, 6(2), 71–79. https://doi.org/10.1016/j.jpha.2015.11.005

Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibnsouda, S. K. (2016). *Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review*. Journal of Pharmaceutical Analysis, 6(2), 71–79. https://doi.org/10.1016/j.jpha.2015.11.005

Batool, A., Ajwa, Z. S., Saleem, I., & Hussain, F. (2025). *Chemical fingerprint and bioactivities of Solanum nigrum L. and Solanum melongena L.—A comparative assessment of two Solanaceae species*. Kashmir Research Journal of Sciences, 4(2). https://doi.org/10.63147/krjs.v4i2.142

Batool, N., Raban, M. Z., Seaman, K. L., Westbrook, J. I., & Wabe, N. (2025). *Use of complementary medicines among older adults living in 23 residential aged care facilities in Australia. BMC Complementary Medicine and Therapies*, 25, Article 64. https://doi.org/10.1186/s12906-025-04811-3

Beigomi, M., & Valizadeh, M. (2025). *Investigation of the antimicrobial properties of ethanolic extracts of Momordica charantia, Nerium oleander, Solanum nigrum, and Hyssopus officinalis on food pathogens.* Zahedan Journal of Research in Medical Sciences, 27(2), Article e160194. https://doi.org/10.5812/zjrms-160194

Bekele, T. (2019). *Bioprospecting Potential of Solanum nigrum for Access and Benefit Sharing Agreement. Genetic Resources Access and Benefit Sharing Directorate*.

Bonev, B., Hooper, J., & Parisot, J. (2008). *Principles of assessing bacterial susceptibility to antibiotics using the agar diffusion method*. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 61(6), 1295–1301.

Books of Dante. (2016, April 20). *La morelle noire (Solanum nigrum). Dans P.-V. Fournier, Dictionnaire des plantes médicinales et vénéneuses de France.* https://booksofdante.wordpress.com/tag/solanum-nigrum/

Chen X, Dai X, Liu Y, Yang Y, Yuan L, He X, Gong G. *Solanum nigrum* L.: *insight into current research on traditional uses, phytochemistry and pharmacology. Front Pharmacol*. 2022;13:918071

Dempewolf, H., Eastwood, R., Guarino, L., Khoury, C. K., Müller, J., & Toll, J. (2014). Adapting agriculture to climate change: A global initiative to collect, conserve, and use crop wild relatives. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 38(*4*), 369-377. https://doi.org/10.1080/21683565.2013.870629

Dumas, J.-F. (2012, January 13). *La morelle noire – Solanum nigrum. Écologique : le blog de Jean François DUMAS*. http://ecologie.revolublog.com/la-morelle-noire-solanum-nigrum-a3686602

Dumas, J.-F. (2026). La morelle noire (*Solanum nigrum*). Jean-François Dumas - *Botanique et Phytothérapie*. https://www.jfdumas.fr/La-morelle-noire-Solanum-nigrum_a138.html

Faruq, A. A., Ibrahim, M., Mahmood, A., Chowdhury, M. M. U., Rashid, R. B., Kuddus, M. R., & Rashid, M. A. (2014). Pharmacological and phytochemical screenings of ethanol extract of *Leea macrophylla* Roxb. *Innovations in Pharmaceuticals and Pharmacotherapy*, 2(1), 321–327.

Gadikou, K. J., Atakpama, W., Egbelou, H., Kombate, B., Batawila, K., & Akpagana, K. (2022). Valeur d'importance d'usage des plantes médicinales vulnérables de la région maritime du Togo. Revue Agrobiologia, 12(2), 3009–3023. https://www.agrobiologia.net

Gadikou, K. J., Atakpama, W., Egbelou, H., Kombate, B., Batawila, K., & Akpagana, K. (2022). Valeur d'importance d'usage des plantes médicinales vulnérables de la région maritime du Togo. Revue Agrobiologia, 12(2), 3009–3023. https://www.agrobiologia.net

Gasti, T., Dixit, S., Hiremani, V. D., Chougale, R. B., Masti, S. P., Vootla, S., & Mudigoudra, B. S. (2020). Synthesis and characterization of carbon dots from bio-waste and their surface functionalization for enhanced antibacterial activity. Journal of Cluster Science, 31(6), 1315–1327. https://doi.org/10.1007/s10876-019-01739-1

Gasti, T., Dixit, S., Sataraddi, S. P., Hiremani, V. D., Masti, S. P., Chougale, R. B., & Malabadi, R. B. (2020). Physicochemical and biological evaluation of different extracts of edible *Solanum nigrum* L. *leaves incorporated chitosan/poly(vinyl alcohol) composite films. Journal of Polymers and the Environment*, 28, 2918–2930. https://doi.org/10.1007/s10924-020-01832-6

Gębarowska, E., Łyczko, J., Rdzanek, M., Wiatrak, B., Pląskowska, E., Gołębiowska, H., Kuźniarski, A., & Gębarowski, T. (2022). Evaluation of Antimicrobial and Chemopreventive Properties and Phytochemical Analysis of *Solanum nigrum* L. Aerial

Parts and Root Extracts. Applied Sciences, 12(14), 6845. https://doi.org/10.3390/app12146845

Gębarowska, E., Łyczko, J., Rdzanek, M., Wiatrak, B., Pląskowska, E., Gołębiowska, H., Kuźniarski, A., & Gębarowski, T. (2022). Evaluation of Antimicrobial and Chemopreventive Properties and Phytochemical Analysis of Solanum nigrum L. Aerial Parts and Root Extracts. Applied Sciences, 12(14), 6845. https://doi.org/10.3390/app12146845

Gębarowska, E., Łyczko, J., Rdzanek, M., Wiatrak, B., Pląskowska, E., Gołębiowska, H., Kuźniarski, A., & Gębarowski, T. (2022). Evaluation of antimicrobial and chemopreventive properties and phytochemical analysis of *Solanum nigrum* L. aerial parts and root extracts. Applied Sciences, 12(14), 6845. https://doi.org/10.3390/app1214684

Gębarowska, E., Richter, M., & Krasowska, A. (2022). Influence of extraction solvent on phytochemical profile and antimicrobial properties of *Solanum nigrum* L. extracts. Molecules, 27(14), 4521. https://doi.org/10.3390/molecules27144521

Guediri, I. (2022). Etude in vitro de l'activité biologique des différents extraits de *Solanum nigrum* L. (El-Oued) [Doctoral dissertation, Université Kasdi Merbah Ouargla].

Guediri, I., Boubekri, C., & Ouanissa, S. (2019). Evaluation of the antioxidant activity of *Solanum nigrum* by radical scavenging activity using DPPH [Master's thesis, University of El Oued]. http://archives.univ-eloued.dz/handle/123456789/33396

Gulcin, İ. (2025). Antioxidants: A comprehensive review. Archives of Toxicology, 99, 1893–1997. https://doi.org/10.1007/s00204-025-03997-2

Gulcin, İ., & Alwasel, S. H. (2023). DPPH radical scavenging assay. Processes, 11(8), 2248. https://doi.org/10.3390/pr11082248

Gürbüz, N., Uluişik, S., Frary, A., Frary, E., & Doğanlar, S. (2018). Health benefits and bioactive compounds of eggplant. *Food Chemistry, 268*, 602–610.

Haroun, M., & Hanka, M. (2020). Mémoire de Master en Toxicologie. Université Echahid Hamma Lakhdar – El Oued, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, *Département de Biologie Cellulaire et Moléculaire,*

Hassaïne, S., & Benmalek, S. (2023). Medicinal plants traditionally used in the Algerian Sahara: An ethnobotanical study. Vegetos, 36, 400–426. https://doi.org/10.1007/s42535-022-00423-1

Hassaïne, S., & Benmalek, S. (2023). Medicinal plants traditionally used in the Algerian Sahara: An ethnobotanical study. Vegetos, 36, 400–426. https://doi.org/10.1007/s42535-022-00423-1

Hemmami, H., Seghir, B. B., Zeghoud, S., Ben Amor, I., Kouadri, I., Rebiai, A., Zaater, A., Messaoudi, M., Benchikha, N., Sawicka, B., & Atanassova, M. (2023). Desert endemic plants in Algeria: A review on traditional uses, phytochemistry, polyphenolic compounds and pharmacological activities. Molecules, 28(4), 1834. https://doi.org/10.3390/molecules28041834

Hemmami, H., Seghir, B. B., Zeghoud, S., Ben Amor, I., Kouadri, I., Rebiai, A., Zaater, A., Messaoudi, M., Benchikha, N., Sawicka, B., & Atanassova, M. (2023). Desert endemic plants in Algeria: A review on traditional uses, phytochemistry, polyphenolic compounds and pharmacological activities. Molecules, 28(4), 1834. https://doi.org/10.3390/molecules28041834

Hermanto, D., Ismillayli, N., & Wirawan, R. (2026). Electrolysis synthesis of biogenic silver nanoparticles using Asian pennywort extract and their anti-inflammatory activity. TIS. https://doi.org/10.48048/tis.2026.11629

Herqash, R. N., Fantoukh, O. I., Alqahtani, A. S., Shahat, A. A., Ahamad, S. R., & Alqahtani, A. M. (2024). GC-MS and RP-HPLC analysis reveals phytochemical compositions and antioxidant potential in *Solanum schimperianum*, *Solanum cordatum*, and *Solanum nigrum* extracts from Saudi Arabia. Egyptian Journal of Chemistry, 67(9), 13–34. https://doi.org/10.21608/ejchem.2024.283184.9599

Ibrahim, A., Alnaeli, G., Misbah, A., Abuzanoona, A., Emhemed, S., Almahdi, M., & Mustafa, H. (2018). The Evaluation of Analgesic activity of *Solanum Nigrum*. *Libyan Journal of Medical Research*, 12(*2*). DOI: https://doi.org/10.54361/

INRA. (2026). *Solanum nigrum* L. : *Morelle noire*. HYPPA (Hypermédia pour la Protection des Plantes - Adventices). http://www.dijon.inra.fr/bga/hyppa/hyppa-f/solni_fh.htm

Islam, M. R., Kamal, M. M., Kabir, M. R., Hasan, M. M., Haque, A. R., & Hasan, S. M. K. (2023). Phenolic compounds and antioxidants activity of banana peel extracts: Testing and optimization of enzyme-assisted conditions. Measurement: Food, 10, 100085. https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2023.100085

Jacobo-Velázquez, D. A. (2025). Ferulic acid: Mechanistic insights and multifaceted applications in metabolic syndrome, food preservation, and cosmetics. *Molecules*, 30*(18)*, 3716.

Jin, S., Zhang, L., & Wang, L. (2023). *Kaempferol as a potential neuroprotective agent in neurodegenerative diseases*: From chemistry to medicine. Biomedicine & Pharmacotherapy, 165, 115215.

Kalantari Khandani, S., Mehrabani, M., Sharififar, F., Pardakhty, A., Pournamdari, M., & Pakravanan, M. (2019). Development and validation of an RP-HPLC method for determination of solasodine. *Journal of Young Pharmacists*, 11*(1),* 21–25.

Kalwar, K. (2015). Antimicrobial, antioxidant activity and Biochemical analysis of Water, Ethanol and Acetone Extract of different parts of *Solanum Nigrum* l. (Black Night Shade). *International Research Journal of Biological Sciences*, 4*(5)*, 19-22.

Karonen, M. (2022). Insights into Polyphenol–Lipid Interactions: Chemical Methods, Molecular Aspects and Their Effects on Membrane Structures. Plants, 11(14), 1809. https://doi.org/10.3390/plants11141809

Kaur, J. A., Singh, P., Adnan, M., Patel, M., & Sasidharan, S. (2025). Green synthesis of eco-friendly fluorescent carbon dots from *Polyalthia longifolia* leaves for enhanced photoactivated antimicrobial activity and biocompatibility. *Chemical Physics Impact*, 100955. https://doi.org/10.1016/j.chphi.2025.100955

Khalil, I., Abbas, S., Zaman, M. A., Hayat, S., & Inayat, I. (2025). Battling between phytochemical and synthetic drugs for control of Ascaridia galli – a comparative analysis. World's Poultry Science Journal, 81(4), 1361–1381. https://doi.org/10.1080/00439339.2025.2516788

Kiehlbauch, J. A., Hannett, G. E., Salfinger, M., Archinal, W., Monserrat, C., & Carlyn, C. (2000). Use of the National Committee for Clinical Laboratory Standards guidelines for disk diffusion susceptibility testing in New York state laboratories. *Journal of Clinical Microbiology*, 38(9), 3341–3348.

Kiran, S., et al. (2024). Genetic Diversity and Ecological Significance of *Solanum nigrum* L. *Plants*, 13(*15*), 2015.

Kong, B., Li, X., Zhang, Z., Luo, W., & Cao, Y. (2026). Haplotype-resolved genome of hexaploid *Solanum nigrum*: Insights into origin, evolution, and steroidal glycoalkaloid biosynthesis. Cell Reports, 45(3), 117037. https://doi.org/10.1016/j.celrep.2026.117037

Kong, B., Li, X., Zhang, Z., Luo, W., & Cao, Y. (2026). Haplotype-resolved genome of hexaploid Solanum nigrum: Insights into origin, evolution, and steroidal glycoalkaloid biosynthesis. Cell Reports, 45(3), 117037. https://doi.org/10.1016/j.celrep.2026.117037

Koutamehr, M. E., Moradi, M., Tajik, H., Molaei, R., Khakbaz Heshmati, M., & Alizadeh, A. (2023). Sour whey-derived carbon dots: Synthesis, characterization, antioxidant activity and antimicrobial performance on foodborne pathogens. LWT, 184, 114978. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114978

Kusuma, S. A. F., Wardati, Y., & Anggraeni, W. (2019). Antibacterial spectrum assessments of *Solanum nigrum* L. fruit juice. Drug Invention Today, 11(1), 125–129.

Lan, X., Lu, M., Fang, X., Cao, Y., Sun, M., Shan, M., ... & Wang, W. (2023). Anti-Colorectal Cancer Activity of Solasonin from *Solanum nigrum* L. via Histone Deacetylases-Mediated p53 Acetylation Pathway. *Molecules*, 28*(18)*, 6649.

Lisjak, M., Špoljarević, M., Ravlić, J., Lončarić, Z., & Galić, L. (2026). Phenolic compounds and antioxidant activity: Analytical methods and current knowledge—A review. Methods and Protocols, 9(2), 60. https://doi.org/10.3390/mps9020060

Machado, G. T., Chiabai, C. R., Orgino, I. S., Ferraz, L. N., França, F. D., Partelli, F. L., Souza, P. E. N., Fernandes, A. S., Júlio, A. L. G., Baby, A. R., Andrade, G. R. S., & Pessoa, F. V. L. S. (2025). Upcycled carbon dots as multifunctional boosters for broad-spectrum photostable sunscreens. Photochem, 5(4), 461–478. https://doi.org/10.3390/photochem5040032

Maharana, L., Kar, D. M., Pattnaik, S., Sahu, P. K., & Si, S. C. (2010). *In vitro* antioxidant activity of aqueous leaf extract of *Solanum nigrum* Linn. Pharmacologyonline, 3, 333–345.

Malavika, V., Rajan, M. R., Soundhariya, N., Prethika, J., et al. (2025). Comparative evaluation of chemically and green-synthesized carbon quantum dots for aquatic applications. Journal of Environmental Nanotechnology, 14(3), 505–515. https://doi.org/10.13074/jent.2025.09.2531737

Mansur, J. D. S., Breder, M. N. R., Mansur, M. C. D. A., & Azulay, R. D. (1986). Determinação do fator de proteção solar por espectrofotometria. Brasileiros de Dermatologia, 121-124.

Mat Zin NA. 2016. Comparative study of antioxidant activity and phytochemical constituents in young leaves of *Solanum nigrum* and Anacardium occidentale. Bachelor of Science (Hons.) Biology Dissertation, Faculty of Applied Sciences, Universiti Teknologi MARA, Malaysia

Mohammed, S. J., Ali, K. M., Mustafa, F. S., Najmuldeen, H. H., Alghofaili, F., Sidiq, M. K., & Kayani, K. F. (2026). Encapsulation of carbon dots in medicinal chemistry: A comprehensive review of recent advances and applications. RSC Advances, 16(17), 14984–15019. https://doi.org/10.1039/d5ra09695b

Mohammed, S. J., Ali, K. M., Mustafa, F. S., Najmuldeen, H. H., Alghofaili, F., Sidiq, M. K., & Kayani, K. F. (2026). Encapsulation of carbon dots in medicinal chemistry: A comprehensive review of recent advances and applications. RSC Advances, 16(17), 14984–15019. https://doi.org/10.1039/d5ra09695b

Mohyuddin, A., Kurniawan, T. A., Khan, Z.-u.-d., Nadeem, S., Javed, M., Dera, A. A., Iqbal, S., Awwad, N. S., Ibrahium, H. A., Abourehab, M. A. S., Rabea, S., Elkaeed, E. B., Asghar, M. N., & Saeed, S. (2022). Comparative insights into the antimicrobial, antioxidant, and nutritional potential of the *Solanum nigrum* complex. Processes, 10(8), 1455. https://doi.org/10.3390/pr10081455

Mohyuddin, A., Kurniawan, T. A., Khan, Z.-u.-d., Nadeem, S., Javed, M., Dera, A. A., Iqbal, S., Awwad, N. S., Ibrahium, H. A., Abourehab, M. A. S., Rabea, S., Elkaeed, E. B., Asghar, M. N., & Saeed, S. (2022). Comparative insights into the antimicrobial, antioxidant, and nutritional potential of the Solanum nigrum complex. Processes, 10(8), 1455. https://doi.org/10.3390/pr10081455

Mosa, F. A., Alsaady, F. Z., & Naser, H. I. (2023). Determination of sun protection factor (SPF) number of some aqueous botanical extracts by ultraviolet spectrophotometry. *Journal of Science*, 15, 17–24.

Mukasa-Tebandeke, I. Z., Karume, I., Ssebuwufu, J., Wasajja, H. Z., & Nankinga, R. M. (2022). Phytochemical screening and quantification of total phenolics and flavonoids in *Solanum nigrum* from different geographical regions of Uganda. African Journal of Pure and Applied Chemistry, 16(3), 85–98.

Muntean, D., & Vulpie, S. (2023). Antioxidant and Antibacterial Activity of Plant Extracts. Antibiotics, 12(7), 1176. https://doi.org/10.3390/antibiotics12071176

Ngoc, L. T. N., Moon, J.-Y., & Lee, Y.-C. (2023). Plant extract-derived carbon dots as cosmetic ingredients. Nanomaterials, 13(19), 2654. https://doi.org/10.3390/nano13192654

Nirmala, A. R., Permatasari, L., Muliasari, H., & Deccati, R. F. (2023). Review: Analysis of optimal conditions of bovine serum albumin (BSA) protein denaturation inhibition method in anti-inflammatory activity testing of various plant leaf extracts. Journal of Agromedicine and Applied Pharmacy, 3(2). https://doi.org/10.31764/jafp.v3i2.20953

Ogundola, A. F., Bvenura, C., Ehigie, A. F., & Afolayan, A. J. (2022). Effects of soil types on phytochemical constituents and antioxidant properties of *Solanum nigrum*. South African Journal of Botany, 151, 325–333. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.09.048

Ogundola, A. F., Bvenura, C., Ehigie, A. F., & Afolayan, A. J. (2022). Effects of soil types on phytochemical constituents and antioxidant properties of Solanum nigrum. South African Journal of Botany, 151, 325–333. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.09.048

Ogundola, A. F., Bvenura, C., Ehigie, A. F., & Afolayan, A. J. (2022). Effects of soil types on phytochemical constituents and antioxidant properties of *Solanum nigrum*. South African Journal of Botany, 151, 325–333. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.09.048

Omar, S. H. (2018). Biophenols: Impacts and prospects in anti-Alzheimer drug discovery. In Discovery and Development of Neuroprotective Agents from Natural Products *(pp. 103–148)*.

Osman, A. G., Chittiboyina, A. G., & Khan, I. A. (2016). Cytoprotective role of dietary phytochemicals against cancer development via induction of phase II and antioxidant enzymes. *In Advances in Molecular Toxicology*

Paul, P., Kamal, R., Rai, A., Awasthi, A., & Bhatia, R. (2025). Phytochemical marvels: *Solanum nigrum*'s journey from plant to diabetes treatment. *South African Journal of Botany, 177*, 561-571

Pei, S., Wang, Y., Cai, S., Yan, K., Luo, K., & Ma, Y. (2025). Synthesis of sulfur-doped carbon quantum dots from *Solanum nigrum* for ciprofloxacin detection in yogurt samples and antibacterial activity. RSC Advances, 15(2), 1120–1132. https://doi.org/10.1039/d5ra04505c

Pei, S., Yan, K., Cai, S., Zou, H., Luo, K., & Ma, Y. (2025). *Solanum nigrum* L.-derived carbon dots: Antimicrobial applications and detection of ciprofloxacin in milk samples. LWT, 230, 118217. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.118217

Pei, S., Yan, K., Cai, S., Zou, H., Luo, K., & Ma, Y. (2025). Solanum nigrum L.-derived carbon dots: Antimicrobial applications and detection of ciprofloxacin in milk samples. LWT, 230, 118217. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.118217

Pei, S., Yan, K., Cai, S., Zu, H., Luo, K., & Ma, Y. (2025). *Solanum nigrum* L.-derived carbon dots: Antimicrobial applications and detection of ciprofloxacin in milk samples. LWT - Food Science and Technology, 215, Article 118217. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.118217

Plazas, M., Andújar, I., Vilanova, S., Hurtado, M., Gramazio, P., Herraiz, F. J., & Prohens, J. (2013). Breeding for chlorogenic acid content in eggplant: Interest and prospects. *Notulae*

Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 41*(1)*, 26–35. https://doi.org/10.15835/nbha4119036

Ponnusamy, A., Murugan, G., Mittal, A., Saetang, J., Prodpran, T., Rhim, J.-W., & Benjakul, S. (2025). Carbon dots derived from polyphenols by hydrothermal carbonization: Spectral, antioxidant, and antimicrobial properties and cytotoxicity assessment. Food Biophysics, 20, 89. https://doi.org/10.1007/s11483-025-09983-6

Qi, J., Zhang, R., Liu, X., Liu, Y., Zhang, Q., Cheng, H., Li, R., Wang, L., Wu, X., & Li, B. (2023). Carbon dots as advanced drug-delivery nanoplatforms for anti-inflammatory, antibacterial, and anticancer applications: A review. ACS Applied Nano Materials, 6(11). https://doi.org/10.1021/acsanm.3c01207

Rahman, M. A., Kamal, M. M., Hasan, M. Z., Himel, R. H., Ullah, A., Saikat, M. I., Sowrov, M. T. I., Islam, R., Alam, A., & Islam, N. (2026). Phytochemical composition, bioactive compounds, and antioxidant activities of different parts of *Solanum nigrum* and *Solanum villosum*. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 71, 103907. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2025.103907

Rahman, M. A., Kamal, M. M., Hasan, M. Z., Himel, R. H., Ullah, A., Saikat, M. I., Sowrov, M. T. I., Islam, R., Alam, A., & Islam, N. (2026). Phytochemical composition, bioactive compounds, and antioxidant activities of different parts of Solanum nigrum and Solanum villosum. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 71, 103907. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2025.103907

Rani, Y. S., Reddy, V. J., Basha, S. J., Koshma, M., Hanumanthu, G., & Swaroopa, P. (2017). *A review on Solanum nigrum*. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 9(*12*), 1–7.

Rao N, Sudhanshu, Mittal S, Menghani E. 2012. Antioxidant activity of *Solanum surattense* and *Solanum nigrum* methanolic extract: an in vitro evaluation. Research Journal of Pharmaceutical Dosage Forms and Technology, 4(6):332–335.

Roy, S., Ezati, P., Rhim, J.-W., & Molaei, R. (2021). Turmeric-derived sulfur-functionalized carbon dots. Journal of Materials Science. https://doi.org/10.1007/s10853-021-06804-2

Royal Botanic Gardens, Kew. (2026). *Solanum nigrum* L. *Plants of the World Online*. https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:30048260-2

Royal Botanic Gardens, Kew. (n.d.). *Solanum nigrum* L. Plants of the World Online. https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:30048260-2

Sangija, F., Martin, H., & Matemu, A. (2021). African nightshades (Solanum nigrum complex): The potential contribution to human nutrition and livelihoods in sub-Saharan Africa. *Food and Energy Security*, 10*(3)*, e272. https://doi.org/10.1002/fes3.272

Sayre, R. M., Agin, P. P., LeVee, G. J., & Marlowe, E. (1979). A comparison of in vivo and in vitro testing of sunscreening formulas. Photochemistry and photobiology, 29(3), 559-566.

Schwalbe, R., Steele-Moore, L., & Goodwin, A. C. (2007). *Antimicrobial susceptibility testing protocols*. CRC Press.

Serotkin, A. F., & Kolesarova, A. (2022). *Plant molecules and their effects on health and female reproduction*. Elsevier

Sharifi-Rad, J., Cruz-Martins, N., López-Jornet, P., Pons-Fuster López, E., Harun, N., Yeskaliyeva, B., et al. (2021). Natural coumarins: Exploring the pharmacological complexity and underlying molecular mechanisms.

Sharma, A., Choi, H.-K., & Lee, H.-J. (2023). Carbon dots for the treatment of inflammatory diseases: An appraisal of *in vitro* and *in vivo* studies. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2023, Article 3076119, 1–17. https://doi.org/10.1155/2023/3076119

Sharma, N., Sharma, A., & Lee, H.-J. (2025). The antioxidant properties of green carbon dots: A review. Environmental Chemistry Letters, 23(4), 1061–1109. https://doi.org/10.1007/s10311-025-01831-w

Shen, L., Zhang, J., & Liu, Y. (2025). Nitrogen-doped carbon dots derived from biomass without external chemical additives: Synthesis, optical properties, and antimicrobial efficacy. Journal of Nanobiotechnology, 23(1), 45–58. https://doi.org/10.1186/s12951-025-03102

Silivano, K., Joseph, K., & Ssennyonjo, A. (2018). Antibacterial Activity of Solanum nigrum Leaves Extract against Some Selected Enteric Bacteria. *International Journal of Innovative Analyses and Emerging Technology*. Link to Study

Silivano, O., Mwambete, K. D., & Erasto, P. (2018). Antimicrobial activity of aqueous, ethanolic and methanolic extracts of *Solanum nigrum* leaves against selected pathogenic bacteria. African Journal of Microbiology Research, 12(18), 415–422. https://doi.org/10.5897/AJMR2018.883

Srinivasa, O. M., & Naidu, M. M. (2021). *Fenugreek (Trigonella foenum-graecum L.): A promising source of nutraceuticals*. In *Studies in Natural Products Chemistry* (*Vol. 71, pp. 141–184*). *Elsevier*

Surendran, V., Bali, N. N., Archana, D., & Lathasree, K. (2020). Quality by Design (QbD) approach for development of a stability-indicating HPLC method for estimation of rutin in nanoparticles. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences, 56*.

Suswidiantoro, V., Reptiana, D. C., Islam, H. N., Asy Syifa, H., Nissa, M. K., Zahra, A., Baity, E. N., Indah, W. C., Safutri, W., Dwiningrum, R., Pratiwi, M., & Pisacha, I. M. (2025). Formulasi Sediaan Krim Tabir Surya Ekstrak Etanolik Daun Leunca (*Solanum nigrum* L.) Dan Uji Sun Protection Factor (SPF). Journal of Innovative and Creativity, 5(2) .https://joecy.org/index.php/joecy/article/view/1873

Thokchom, B., Bhavi, S. M., Abbigeri, M. B., Shettar, A. K., & Yarajarla, R. B. (2023). Green synthesis, characterization and biomedical applications of *Centella asiatica*-derived carbon dots. Carbon Letters, 33, 1057–1071. https://doi.org/10.1007/s42823-023-00505-

Tlili, M. L., Alia, F., Bahri, E., Beyat, T., Redouan, K., & Lanez, E. (2025). Effects of multiple spices and processing methods on the organoleptic quality of pork. *Acta Periodica Technologica*. Advance online publication. https://doi.org/10.2298/APT241114003T

Upadhyay, R. K., Ahmad, S., & Singh, R. (2015). Screening of antimicrobial potential of *Solanum nigrum* extracts against clinical isolates of bacteria and fungi. Journal of Acute Disease, 4(2), 118–124. https://doi.org/10.1016/S2221-6189(15)30020-X

Uusiku, N. P., Oelofse, A., Duodu, K. G., Bester, M. J., & Faber, M. (2017). Screening of traditional South African leafy vegetables for specific anti-nutritional factors before and after processing. Food Science and Technology, 37(3), 362–371. https://doi.org/10.1590/1678-457X.20416

Varghese, M., & Balachandran, M. (2021). Antibacterial efficiency of carbon dots against Gram-positive and Gram-negative bacteria: A review. Journal of Environmental Chemical Engineering, 9(6), Article 106821. https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106

Veerapagu, M., Jeya, K. R., Sankaranarayanan, A., & Rathika, A. (2018). *In vitro* antioxidant properties of methanolic extract of *Solanum nigrum* L. fruit. The Pharma Innovation Journal, 7(5), 371–374. http://www.thepharmajournal.com/archives/2018/vol7issue5/PartF/7-5-53-731.pdf

Vijayalakshmi, M., & Ruckmani, K. (2016). Ferric reducing antioxidant power assay in plant extract. Bangladesh Journal of Pharmacology, 11(3), 570–572. https://doi.org/10.3329/bjp.v11i3.27663

Wang, X., Wu, T., Yang, Y., Zhou, L., Wang, S., Liu, J., Zhao, Y., Zhang, M., Zhao, Y., Qu, H., Kong, H., & Zhang, Y. (2023). Ultrasmall and highly biocompatible carbon dots

derived from natural plant with amelioration against acute kidney injury. Journal of Nanobiotechnology, 21, 63. https://doi.org/10.1186/s12951-023-01795-5

Wayne, P. (2010). Performance standards for antimicrobial susceptibility testing: 20th informational supplement (CLSI document M100-S20). Clinical and Laboratory Standards Institute.

Wibowo, A., Khan, M. J., Sawatdee, S., Pornputthapitak, W., Tuntithavornwat, S., Srifa, A., Posoknistakul, P., Pornsuwan, S., Laosiripojana, N., Jiang, Y., Sansanaphongpricha, K., & Sakdaronnarong, C. (2026). Structure–property relationships in saccharide-derived carbon dots: Tuning oxygen functionalities and sp2 domains for antioxidant performance. Journal of Colloid and Interface Science, 710, 139939. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2026.139939

World Flora Online. (2026). *Solanum nigrum* L. Retrieved April 21, 2026

World Health Organization. (2023). WHO Traditional Medicine Global Summit 2023 meeting report: Gujarat Declaration. Journal of Ayurveda and Integrative Medicine. https://doi.org/10.1016/j.jaim.2023.100821

World Health Organization. (2023). WHO Traditional Medicine Global Summit 2023 meeting report: Gujarat Declaration. Journal of Ayurveda and Integrative Medicine. https://doi.org/10.1016/j.jaim.2023.100821

Zhang, H., Lv, J. L., Zheng, Q. S., & Li, J. (2023). Active components of *Solanum nigrum* and their antitumor effects: A literature review. *Frontiers in Oncology*, 13, 1329957

Zhang, H., Lv, J., Zheng, Q., & Li, J. (2023). Active components of *Solanum nigrum* and their antitumor effects: A literature review. Frontiers in Oncology, 13, 1329957. https://doi.org/10.3389/fonc.2023.1329957

Zhang, H., Lv, J., Zheng, Q., & Li, J. (2023). Active components of Solanum nigrum and their antitumor effects: A literature review. Frontiers in Oncology, 13, 1329957. https://doi.org/10.3389/fonc.2023.1329957

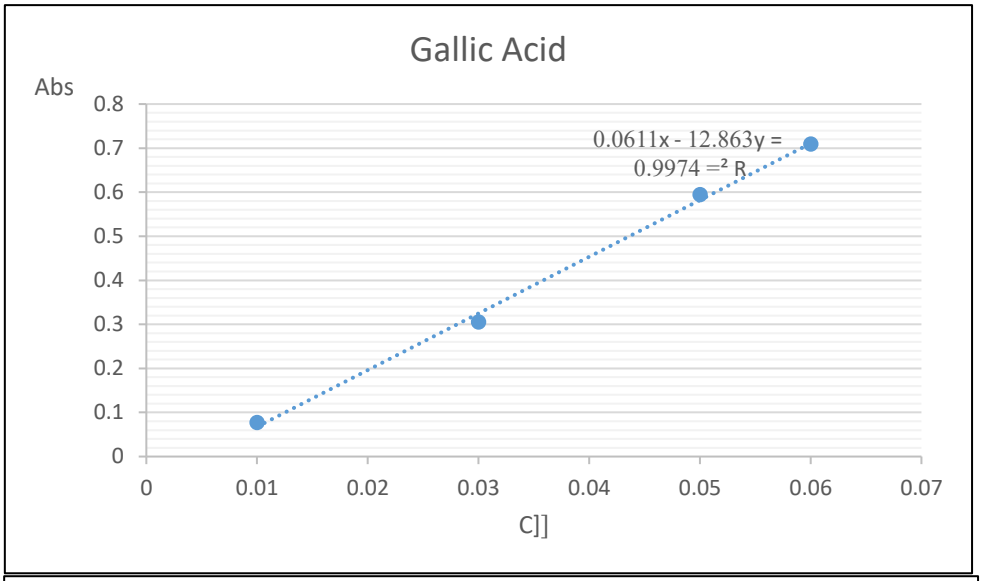
Zhang, Y., Wang, J., Wu, X., Chang, R., Luo, H., Yang, J., Wu, Q., Xu, Z., & Zhong, Y. (2025). Synthesis of carbon dots as an antibacterial and antioxidant agent. Frontiers in Chemistry, 13, 1627543. https://doi.org/10.3389/fchem.2025.1627543

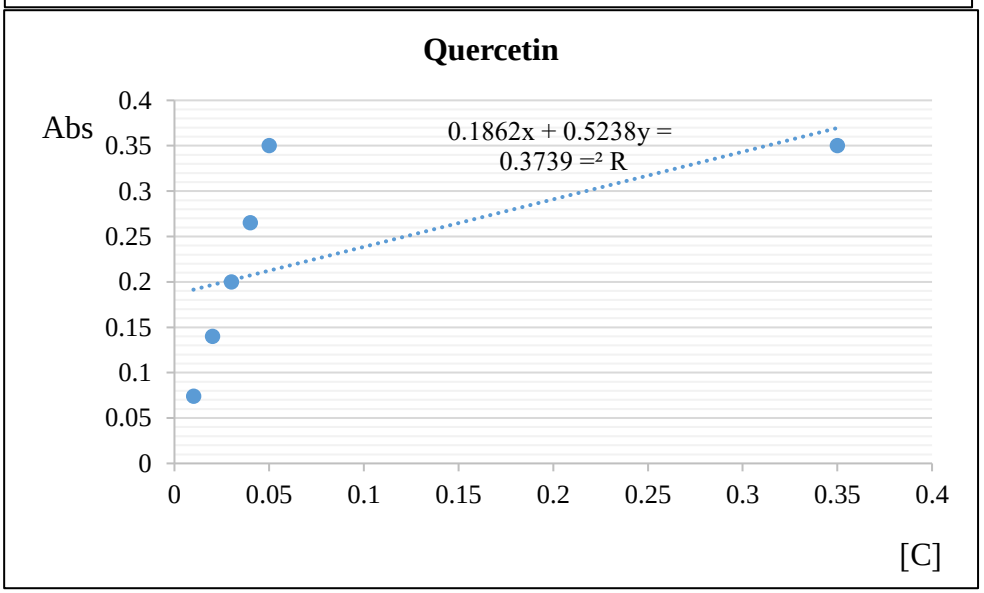
Zhu, C., Chen, Z., Gao, S., Goh, B. L., Samsudin, I. B., Lwe, K. W., Wu, Y., Wu, C., & Su, X. (2019). Recent advances in non-toxic quantum dots and their biomedical applications. Progress in Natural Science: Materials International, 29(6), 628–640. https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2019.11.007.

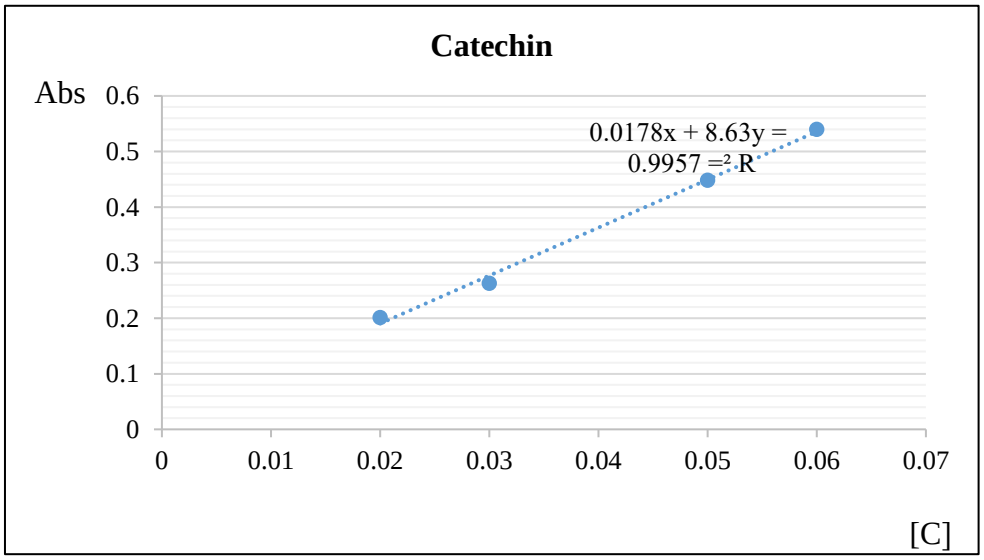
Zubair, M., Rizwan, K., Rasool, N., Afshan, N., Shahid, M., & Ahmed, V. (2011). Antimicrobial potential of various extract and fractions of leaves of *Solanum nigrum*. International Journal of Phytomedicine, 3(1), 63–67.

الملاحق

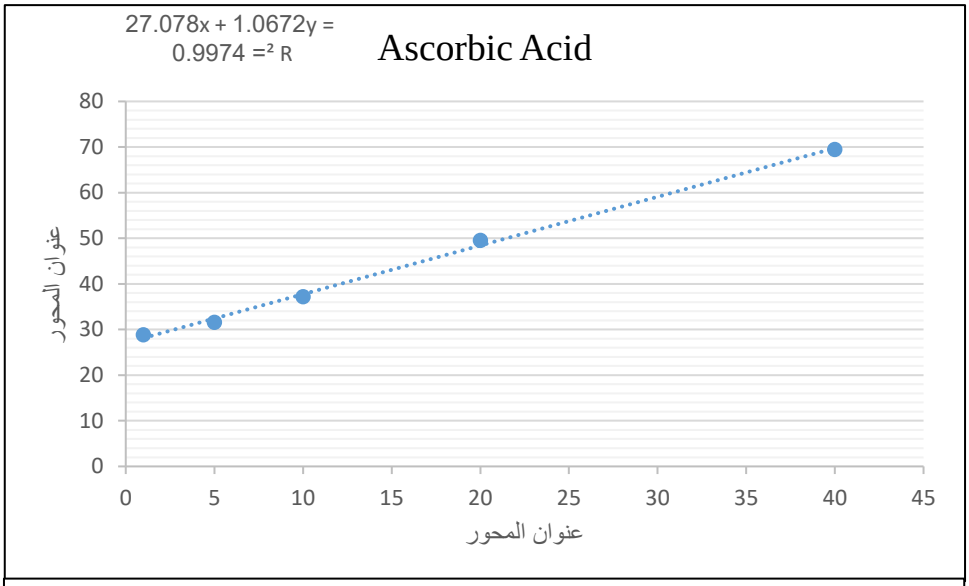
الملحق رقم (1): التقدير الكمي للمركبات الفينولية والفلافونويدات والتانينات

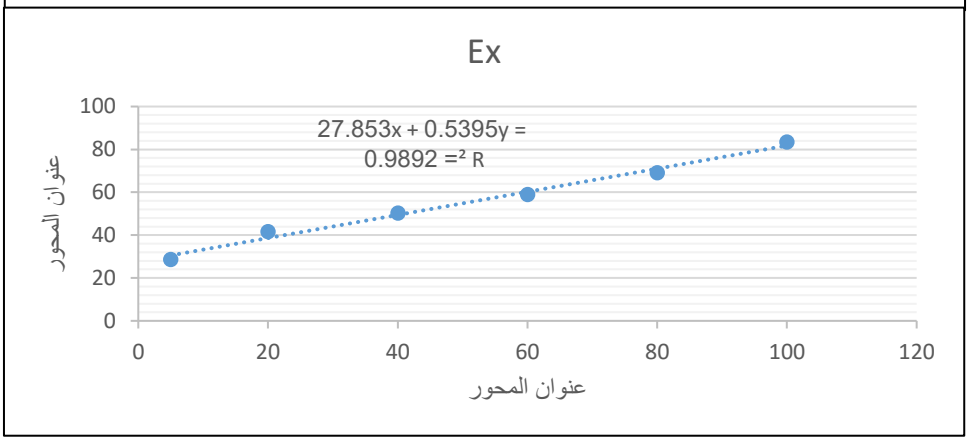


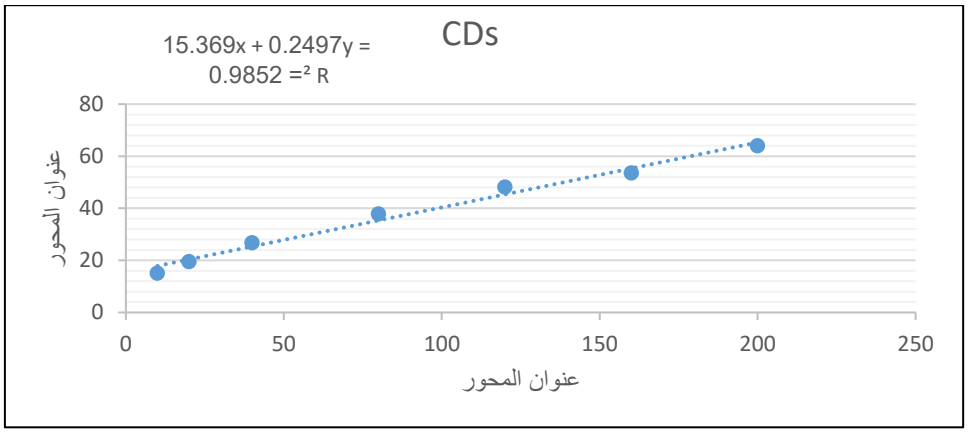




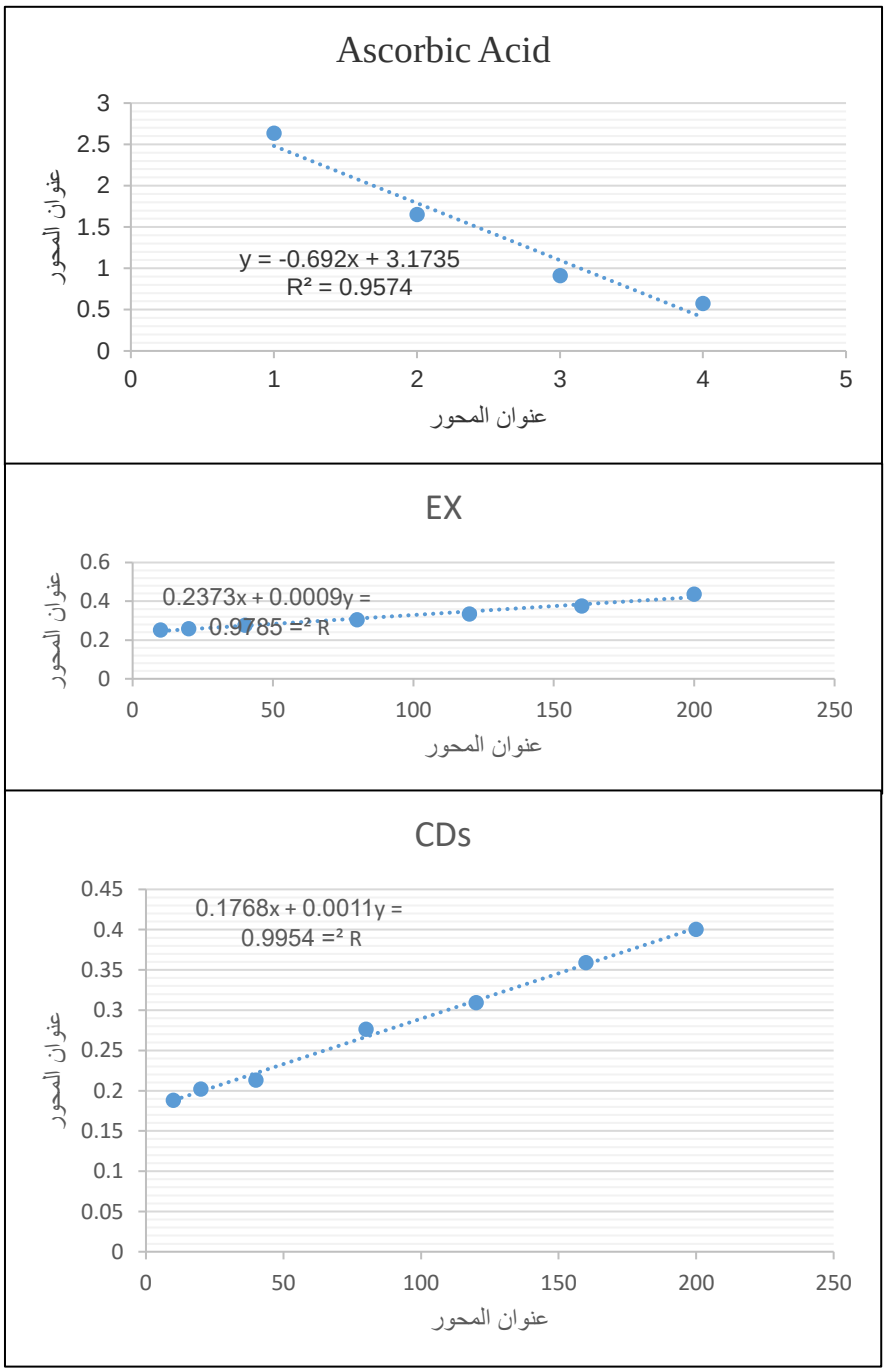
الملحق رقم (2): DPPH







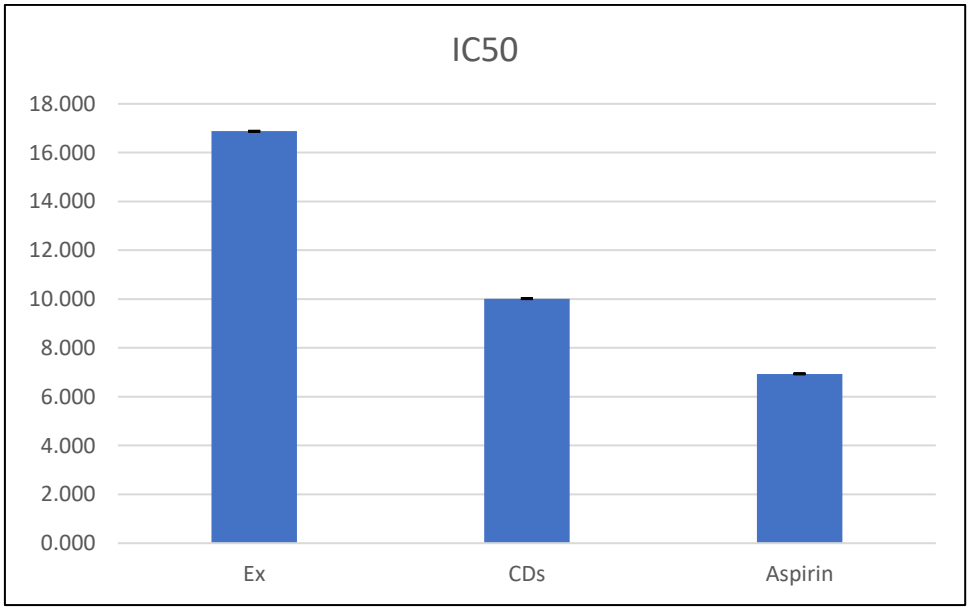
الملحق رقم (3): FRAP



الملحق رقم (4): SFP

الفيئات الوصفية	قيمة SPF المرجعية
حماية ضعيفة	**4--14**
حماية متوسطة	**15--29**
حماية عالية	**30--59**
حماية عالية جدا	**≥ 60**
International Standard ISO 24444 (2019) - Cosmetics - Sun Protection Test methods -in-vivo determination of the sun protection factor (SPF).	**Réf.**

الملحق رقم (5): BSA



Anova: Two-Factor With Replication						
SUMMARY	Ex	CDs	Total			
PP						
Count	3	3	6			
Sum	280.2068	0	280.2068			
Average	93.40226	0	46.70113			

Variance	0.316296	0	2617.321			
F						
Count	3	3	6			
Sum	129.4505	0	129.4505			
Average	43.15017	0	21.57509			
Variance	0.021237	0	558.5897			
CT						
Count	3	3	6			
Sum	76.31518	0	76.31518			
Average	25.43839	0	12.7192			
Variance	0.487847	0	194.3287			
DPPH						
Count	3	3	6			
Sum	123.2956	413.9888	537.2844			
Average	41.09855	137.9963	89.54741			
Variance	0.123776	0.521785	2817.008			
FRAP						
Count	3	3	6			
Sum	119.5333	879.7273	999.2606			
Average	39.84444	293.2424	166.5434			
Variance	0.028272	0.597796	19263.41			
SPF						
Count	3	3	6			
Sum	76.42084	179.1916	255.6124			
Average	25.47361	59.73054	42.60207			
Variance	0.064007	0.079222	352.1183			
Hemolysis						
Count	3	3	6			
Sum	191.4705	194.9505	386.421			
Average	63.8235	64.98351	64.4035			
Variance	0.214572	0.727914	0.780684			
Inti inflammatory						

Count	3	3	6			
Sum	50.63834	30.04669	80.68504			
Average	16.87945	10.01556	13.44751			
Variance	0.000487	0.003012	14.13527			
Total						
Count	24	24				
Sum	1047.331	1697.905				
Average	43.6388	70.74604				
Variance	558.6577	9506.904				
ANOVA						
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Sample	111237.1	7	15891.01	79798.65	5.36E-66	4.718627
Columns	8817.629	1	8817.629	44278.8	7.66E-52	13.11745
Interaction	120264.5	7	17180.64	86274.66	1.54E-66	4.718627
Within	6.372444	32	0.199139			
Total	240325.6	47				
بما أنP-value> P (=0.001						
	فهذا دليل على فروق معنوية بين Exو CDs					