الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعـليـم العالي والـبحث الـعلـمي
جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي
كلية العلوم الطبيعة والحياة
قسم البيولوجيا

مذكرة تخرج

لنيل شهادة ماستر أكاديمي

ميدان: علوم الطبيعة و الحياة

شعبة: علوم بيولوجية

تخصص: التنوع الحيوي وفيزيولوجيا النبات

الموضوع:

المساهمة في دراسة النشاطية البيولوجية لكأس ثمار نبات الباذنجان (*Solanum melongena* L.).

من إعداد الطلبة:

هدى معمري – ريان حنكه

أمام لجنة المناقشة المكونة من:

• د. عادل غربي	أستاذ محاضر "ب"	جامعة الوادي	رئيسا
• د. فاطمة علية	أستاذ محاضر "ب"	جامعة الوادي	مشرفا
• د. أم الخير باشي	أستاذ محاضر "ب"	جامعة الوادي	ممتحنا

الموسم الجامعي: 2026/2025

بسم الله الرحمن الرحيم

شكر وتقدير

تتقدم بالشكر الجزيل لله عز وجل على توفيقه وتوفيقه لنا، وعلى ما أنعم به علينا من علمٍ وإرشاد، مما مكّننا من إتمام هذا البحث بنجاح.

كما تتقدم بخالص الشكر والامتنان إلى مشرفتنا، الدكتورة فاطمة علية، على دعمها المتواصل، ونصائحها القيّمة، وإرشادها العلمي الثاقب، وتوجيهها لنا طوال فترة البحث. ونشكرها أيضا على صبرها وتفانيها، وعلى جهودها المبذولة لإثراء هذه الدراسة وضمان دقتها العلمية.

ونعرب لها عن تقديرنا العميق واحترامنا الكبير، ونتمنى لها الصحة والعافية والتوفيق والنجاح في مسيرتها العلمية والمهنية. نسأل الله أن يجزيها خير الجزاء، وأن يبارك في علمها وعملها.

كما تتقدم بخالص الشكر والتقدير لأعضاء لجنة التحكيم على موافقتهم على تقييم هذا العمل، وعلى الوقت الثمين الذي خصصوه لقراءته ومراجعته. ونخص بالشكر ملاحظاتهم البنّاءة، وملاحظاتهم العلمية القيّمة، وإرشاداتهم الحكيمة، التي أسهمت في تحسين هذا البحث وإثرائه.

كما تتقدم بجزيل الشكر والامتنان لجميع أساتذة كلية العلوم الطبيعية والحياة بجامعة الوادي على توجيهاتهم ودعمهم ومساندتهم الأكاديمية طوال مرحلتنا البحثية وحتى إنجاز هذا العمل.

وأخيرا، نتوجه بالشكر الجزيل لكل من ساهم، بشكل مباشر أو غير مباشر، في إتمام هذه الدراسة، ونسأل الله أن يجزيهم خير الجزاء على عونهم وكرمهم.

الإهداء

بسم الله نبدأ، وبحمده ننتهي، والصلاة والسلام على من علّمنا أن طلب العلم فريضة، وأن الصبر مفتاح الفرج.

في هذا العام 2026، لا أحتفل بانتهاء مرحلة دراسية فحسب، بل أحتفل بتحقق أحلام بدت يوماً بعيدة المنال، وأقف اليوم على عتبات المستقبل حاملةً في قلبي حصاد سنوات من الجد والاجتهاد، وأملاً يضيء دروب البدايات الجديدة.

أهدي تخرجي . . .

إلى أبي العزيز (شكري)، الذي كان سندي الأول ومصدر إلهامي ودعمي، وإلى أمي الحبيبة (اسيا) التي أحاطتني بحنانها ودعواتها وكانت سبباً في وصولي إلى هذه المرحلة.

إلى إخوتي الأعزاء (صورية، أماني، شفاء، عبد القادر. وإلى ابن اختي سيف الدين وزوج اختي جلال) . . .

كنتم دائماً السند القريب والداعم الصادق، تساندونني بصمت ومحبة. بوجودكم كان الطريق أخف، وكان الأمل أقرب. لكم مني خالص المودة والامتنان، وتشاركوني فخر هذه اللحظة الجميلة.

إلى رفيقات الدرب وشريكات الذكريات والنجاحات، شكراً لكنّ على دعمكن المتواصل ومساندتكن الصادقة طوال مسيرتي الدراسية، وعلى كل كلمة تشجيع وكل لحظة وقفتن فيها إلى جانبي. كان لوجودكن أثر جميل في تخفيف مشقة الطريق وجعل هذه الرحلة أكثر قوة وجمالاً (نهاد ورحمة)

وإلى جميع صديقاتي العزيزات . . .

اللواتي قدمن لي الدعم والمساندة والكلمة الطيبة، فكان لوجودهن أثر جميل في تخفيف مشقة الطريق.

وأخيراً . . . إلى نفسي

إلى قلبي الذي صبر، وروحي التي تحملت التعب، وإرادتي التي لم تتراجع أمام الصعاب، وإلى جهدي الذي سعى بلا كلل حتى بلغ هذه اللحظة. أهدي هذا الإنجاز لنفسي، تقديراً لكل ما بذلته من صبر واجتهاد وثبات.

وفي الختام . . .

الحاضر يضيق الكلمات حين تتسع المشاعر، لكن عزاءنا أننا سنمضي في الحياة لنثبت أننا كنا هنا، وأننا تعلمنا لننفع ونبني ونترك أثراً طيباً.

شكراً لكل من ساندني ووقف إلى جانبي، وشكراً لهذه اللحظة التي ستبقى محفورة في الذاكرة ما حييت.

معمري هدى

الاهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

(فَرِحِينَ بِمَا اتاهُمُ اللَّهُ مِن فَضْلِهِ)

هذه اللحظة لا تورث ولا تشترى، لقد دفعت ثمنها عمري وشبابي، سهري، خوفي، ودموعي، هي لهفة الوصول، ودمعة الحزن، فرحة العمر هذه هي النهاية السعيدة لبدايات أعظم وأصبح حلمي حقيقة.

أهدي تخرجي إلى من هم كل ما أملك، إلى العمود الثابت في عثرات أيامي، إلى من هم في الحياة حياة، إلى من بذلوا جهد السنين من أجلي "أبي وأمي".

كما أهدي تخرجي إلى أخوتي، إلى من وقفوا بجانبي في السراء والضراء، ولكل روح عانقتني بالحب والدعوات. شكراً لكل من كان في طريقي، استندت عليه أو مر عابراً، شكراً لكل من علمني كلمة أو مهارة.

حنكة ريان

تهدف هذه الدراسة تثمين الكأس الزهري الدائم لنبات الباذنجان (*Solanum melongena* L.) كنفايات حيوية زراعية واعدة، واستكشاف قدراتها الصيدلانية وتطبيقاتها في مجالات تقنية النانو والترميم النسيجي الجلدي. تضمن العمل شقين أساسيين؛ أولهما تحضير المستخلص المائي الخام عن طريق النقع، وثانيهما الاصطناع الأخضر المستدام للجسيمات الكربونية النانوية أو ما يعرف بنقاط الكربون باستخدام آلية التحلل الحراري الجاف، متبوعا بتوصيف بنيوي دقيق بواسطة تقنية حيود الأشعة السينية. أظهرت نتائج التقدير الكمي غنى المستخلص المائي بالمركبات الفينولية الكلية، تلتها الفلافونويدات، ثم التانينات المكثفة والقابلة للتحلل، على التوالي. وأثبتت نتائج XRD الطبيعة شبه البلورية المتميزة لنقاط الكربون المصنعة مع ظهور قمة حيود رئيسية حادة عند زاوية $2\theta \approx 28°$ تعود للمستوى البلوري (002). في التقييم البيولوجي، تفوق المستخلص الخام في الفعالية المضادة للأكسدة (DPPH وFRAP) مقارنة بـ CDs محققا قيم قريبة جدا من حمض الأسكوربيك المرجعي. وعلى العكس من ذلك، أظهرت نقاط الكربون كفاءة تثبيطية بكتيرية انتقائية ممتازة ضد البكتيريا موجبة الغرام *Staphylococcus aureus*. علاوة على ذلك، أظهرت CDs تفوقا ملحوظا في الفعالية المضادة للالتهاب عبر اختبار استقرار غشاء خلايا الدم الحمراء وتثبيط تمسخ ألبومين مصل الأبقار. وفي الدراسة الكيميائية الضوئية، منح المستخلص كفاءة حماية شمسية حيوية فائقة، مع تسجيل قدرة تحفيز ضوئي متميزة لكلا المركبين في تفكيك صبغة أزرق الميثيلين. وأخيرا، أكدت التجارب الحيوية على جردان *Wistar* المصابة بحروق جلدية كفاءة فسيولوجية استثنائية للكريمة المصاغة بالمستخلص الخام ونقاط الكربون في تسريع حركية انكماش الجروح ومعدلات الانغلاق النسيجي، متفوقة فسيولوجيا على المرهم التجاري المرجعي. تفتح هذه الدراسة آفاقا واعدة لدمج مستخلصات كأس الباذنجان ونقاط كربونه النانوية في الصياغات الصيدلانية والتجميلية المتقدمة لعلاج الآفات الجلدية والحماية الضوئية.

الكلمات المفتاحية: كأس ثمار الباذنجان؛ نقاط الكربون؛ التئام الجروح؛ مضادات الأكسدة؛ مضادات البكتيريا؛ الحماية الشمسية؛ حيود الأشعة السينية.

This study investigates the biomedical and pharmaceutical potential of the persistent fruit calyx of eggplant (*Solanum melongena* L.) as a valuable agrowaste bioresource, exploring its capabilities in nanotechnology and cutaneous tissue repair. The research framework comprised two main axes: the preparation of a crude aqueous extract via maceration, and the green synthesis of carbon quantum dots (CDs) through dry pyrolysis, followed by structural characterization using X-ray Diffraction. Quantitative phytochemical screening unveiled a high abundance of total polyphenols, followed by flavonoids, condensed tannins, and hydrolyzable tannins. XRD analysis confirmed the semi-crystalline nature of the synthesized CDs, exhibiting a sharp primary diffraction peak at $2\theta \approx 28°$ corresponding to the (002) graphitic lattice plane. In bio-assays, the crude extract exhibited superior antioxidant performance (DPPH and FRAP) closely matching ascorbic acid, whereas the nano-synthesized CDs displayed remarkable selective antibacterial efficacy against Gram-positive *Staphylococcus aureus*, denoting a true bactericidal mode of action. Furthermore, CDs demonstrated superior anti-inflammatory capacity, erythrocyte membrane stabilization and inhibiting bovine serum albumin denaturation. Photochemically, the crude extract afforded exceptional bioprotective sun protection factor, and both entities elicited powerful photocatalytic degradation of methylene blue dye. Crucially, *in vivo* evaluations on second-degree burn models in *Wistar* rats revealed outstanding physiological efficacy of creams formulated with the crude extract and CDs, accelerating wound contraction dynamics and yielding near-complete tissue closure rates, outperforming the commercial benchmark. These findings indicate that eggplant calyx and its nano-derived carbon dots represent highly promising natural alternatives for advanced wound healing and photoprotective applications.

Keywords: *Solanum melongena* L.; Calyx; Carbon Dots; Wound Healing; Antioxidant; Antibacterial; Sun Protection Factor; X-ray Diffraction.

Cette étude vise à valoriser le calice floral persistant de l'aubergine (*Solanum melongena* L.) en tant que bio-déchet agricole prometteur, et à explorer ses potentialités pharmacologiques ainsi que ses applications dans les domaines de la nanotechnologie et de la réparation tissulaire cutanée. Ce travail s'articule autour de deux axes principaux: d'une part, la préparation d'un extrait aqueux brut par macération, et d'autre part, la synthèse verte et durable de nanoparticules de carbone, communément appelées points de carbone, via un mécanisme de pyrolyse sèche. Cette synthèse a été suivie d'une caractérisation structurelle rigoureuse par diffraction des rayons X. Les résultats du dosage phytochimique quantitatif ont révélé la grande richesse de l'extrait aqueux en composés phénoliques totaux, les flavonoïdes, tandis que les tannins condensés et hydrolysables. Par ailleurs, les analyses par DRX ont confirmé la nature semi-cristalline distinctive des points de carbone synthétisés, avec l'apparition d'un pic de diffraction principal aigu à un angle de $2\theta \approx 28°$, correspondant au plan cristallin graphitique (002). Sur le plan de l'évaluation biologique, l'extrait brut a manifesté une supériorité remarquable en termes d'activité antioxydante (tests DPPH et FRAP) par rapport aux CDs, affichant des valeurs d'IC_{50} très proches de celles de l'acide ascorbique de référence. À l'inverse, les points de carbone ont révélé une excellente efficacité antibactérienne sélective contre la bactérie à Gram positif *Staphylococcus aureus*, De plus, les CDs ont démontré une performance anti-inflammatoire majeure, marquée par un taux de stabilisation de la membrane des érythrocytes et une inhibition de la dénaturation de l'albumine de sérum bovin. Dans l'étude phytochimique et photochimique, l'extrait a offert une efficacité de bioprotection solaire exceptionnelle avec un facteur de protection solaire. De même, une capacité de photocatalyse remarquable a été enregistrée pour les deux composés dans la dégradation du colorant bleu de méthylène. Enfin, les investigations *in vivo* menées sur des rats *Wistar* soumis à des brûlures du second degré ont confirmé l'efficacité physiologique extraordinaire des crèmes formulées à base d'extrait brut et de points de carbone. Ces formulations ont accéléré de manière significative la cinétique de contraction des plaies, atteignant des taux de fermeture tissulaire quasi-complets, surpassant ainsi sur le plan physiologique la pommade commerciale de référence. Ces découvertes ouvrent des perspectives prometteuses pour l'intégration des extraits de calice d'aubergine et de leurs points de carbone nanométriques dans des formulations pharmaceutiques et cosmétiques avancées dédiées au traitement des lésions cutanées et à la photoprotection.

Mots-clés: Calice de *Solanum melongena* L.; Points de Carbone; Cicatrisation des plaies; Antioxydant; Antibactérien; Facteur de Protection Solaire; Diffraction des Rayons X.

الشكر والتقدير.....
إهداء.....
الملخص.....
Abstract.....
Résumé.....
الفهرس .....
قائمة الصور .....
قائمةالجداول .....
قائمة الإختصارات .....
المقدمة.....2

الفصل الأول: المقاربة البيولوجية والفسيولوجية للنباتات الطبية في الترميم الجلدي

1) النباتات الطبية كأنظمة حيوية لإنتاج النواتج الأيضية الثانوية 5
2) البيولوجيا النظامية لنبات الباذنجان .*Solanum melongena* L. 5
1.2. المكانة التصنيفية وفق نظام APG IV 5
2.2. الوصف المورفو-فسيولوجي للكأس (The Calyx) 6
3.2. المركبات الفعالة في نبات الباذنجان.....7
3) الآليات الفيزيولوجية والبيولوجية لترميم الجلد ودور النواتج النباتية في تعزيز الالتئام.....8
1.3. الدور الوظيفي والمناعي للجلد: التوازن النسيجي والنظام الحسي الحركي.....8
2.3. المسارات البيولوجية لتئام الجروح (Wound Healing Cascade).....9
1.2.3 مرحلة الارقاء (Hemostasis).....9
2.2.3 مرحلة الالتهاب (Inflammatory Phase).....9
3.2.3 مرحلة التكاثر الخلوي (Proliferativ Phase) 9
4.2.3 مرحلة اعادة التشكيل (Remodeling Phase).....9
3.3. آليات تأثير المستخلصات النباتية والنواتج الفيتوكيميائية في الترميم الجلدي.....10
1.3.3 مكافحة الاجهاد التأكسدي والحد من التلف الخلوي 10
2.3.3 تعديل الاستجابة الالتهابية 10
3.3.3 تحفيز الطور التكاثري واعادة البناء الظهاري.....10
4.3.3 تنظيم النسيج خارج الخلوي (ECM).....11
5.3.3 النشاط المضاد للميكروبات 11

الفصل الثاني: المواد المخبرية والكواشف

1. الكواشف والمواد الكيميائية.....13
2. الأجهزة والمعدات التقنية.....13
3. تحضير المستخلص المائي ونقاط الكربون (CDs) 14
1.3. جمع وتحضير المادة النباتية.....14
2.3. تحضير المستخلص المائي الخام.....14
3.3. تحضير وتوصيف جزيئات CDs 14
1.3.3. تحضير نقاط الكربون.....14
2.3.3. وصف بنية CDs بواسطة جهاز XRD 15
4. الدراسة الفيتوكيميائية 15
1.4. تقدير المحتوى الكمي لعديدات الفينول الكلية.....15
2.4. تقدير المحتوى الكلي للفلافونويدات.....15
3.4. تقدير التانينات القابلة للتحلل.....16
4.4. تقدير التانينات المكثفة.....16
5. دراسة النشاطية البيولوجية.....16
1.5. النشاطية المضادة للأكسدة.....17
1.1.5. اختبار الجذر الحرة $DPPH^{\bullet}$ 17
2.1.5. اختبار القدرة الإرجاعية للحديد (FRAP) 16
2.5. النشاطية المضادة للبكتيريا (Antibacterial activity) 17
1.2.5. تقييم النشاط المضاد للبكتيريا باستخدام طريقة الانتشار من الآبار.....18
2.2.5. تحديد التراكيز المثبطة الدنيا (MIC) والتراكيز القاتلة الدنيا (MBC).....17
3.5. النشاطية المضادة للالتهاب (Anti-inflammatory activity).....18
1.3.5. اختبار تثبيط تمسخ ألبومين مصل الأبقار (BSA Assay).....19
2.3.5. تقييم كفاءة استقرار غشاء خلايا الدم الحمراء.....19
6.الدراسة الفاعلية الكيميائية الضوئية 20
1.6. تحديد معامل الحماية الشمسية (SPF).....20
2.6. تقييم التحلل الضوئي لصبغة أزرق الميثيلين 20
7. دراسة الفعالية المضادة للجروح والحروق الجلدية.....20
1.7. المادة الحيوانية 21
2.7. تحضير الكريمة (المادة الصيدلانية).....22
3.7. استحداث الجروح.....21
4.7. قياس مساحة سطح الإصابة والنسبة المئوية لإلتآم (لانكماش) الجرح.....22

الفصل الثالث: النتائج والمناقشة

1) التقدير محتوى الكمي لعديدات الفينول.....24
2) تحليل حيود الأشعة السينية (XRD) 25
3) تقييم النشاط المضاد للأكسدة 27
4) تقييم الفعالية المضادة للبكتيريا.....28
5) تقييم النشاط المضاد للالتهاب 30
6)تقييم نتائج SPF والتحلل الضوئي (الثبات الضوئي).....30
7) خصائص الكريمة 30
8) تقييم حركية التئام الجروح وكفاءة انغلاق النسيجي (*In Vivo*).....30
أولا: حركية انكماش مساحة سطح الجرح 35
ثانيا: المعدل المئوي لانغلاق الجروح 36
الخاتمة 39
المراجع 42
الملاحق 51

الشكل (01): الشكل العام لنبات الباذنجان (*Solanum melongena*)..... 6
الشكل (02): التنظيم البنيوي والوظيفي للجلد مع إبراز التفاعلات بين البشرة والأدمة وتوزيع الخلايا المناعية المشاركة في الحفاظ على التوازن النسيجي للجلد وسلامة الحاجز الجلدي..... 9
الشكل (03): التمثيل التسلسلي لمراحل إلتئام الجروح 10
الشكل (04): التقييم الكمي للمحتوى الفينولي الإجمالي للمستخلص المائي 24
الشكل (05): نمط حيود الأشعة السينية (XRD) للجسيمات الكربونية النانوية المحضرة 25
الشكل (06): قيم IC_{50} و $EC_{0.5}$ للنشاط المضاد للأكسدة للعينات المدروسة..... 27
الشكل (07): قيم عامل الحماية من الشمس (SPF) للعينتين المختبرتين مقارنة بواق شمسي. ... 31
الشكل (08): تقييم نشاط التحلل الضوئي للمستخلص (أ) ونقاط الكربون(ب)..... 32
الشكل (09): الشكل النهائي لمنتج الكريمة العلاجية الموجهة لعلاج الحروق والتئام الجروح 34
الشكل (10): تقييم ديناميكية التئام الجروح في النموذج الحيواني ؛(أ): مساحة سطح الجرح؛(ب): معدل انغلاق الجروح ..... 35.

الجدول (01): التصنيف العلمي لنبات *Solanum melongena* L. 5
الجدول (02): ملخص لأليات تأثير المركبات النباتية الثانوية لمراحل ألتئام الجلد 11
الجدول (03): قيم جداء المعايرة المستخدمة في حساب عامل الحماية من الشمس (SPF) 20
الجدول (04): النشاطية المضادة للبكتيريا للمستخلص المائي ونقاط الكربون المشتقة. 28
الجدول (05): قيم التركيز المثبط الأدنى، والتركيز القاتل الأدنى، والتأثير المضاد للبكتيريا للمستخلص الخام والجسيمات الكربونية النانوية..... 29
الجدول (06): نتائج تقييم النشاط المضاد للالتهاب للمستخلص الخام وCDs. 30

XRD: X-Ray Diffraction (حيود الأشعة السينية)

DPPH : 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (جذر حر)

FRAP: Ferric Reducing Antioxidant Power (القدرة الاختزالية للحديد)

MIC: Minimum Inhibitory Concentration (التركيز المثبط الأدنى)

MBC: Minimum Bactericidal Concentration (التركيز القاتل الأدنى)

BSA: Bovine Serum Albumin (ألبومين مصل الأبقار)

SPF: Sun Protection Factor (معامل الحماية الشمسية)

RBC: Red Blood Cells (كريات الدم الحمراء)

PBS: Phosphate Buffered Saline (المحلول الملحي المنظم بالفوسفات)

PB: Phosphate Buffer (المحلول المنظم الفوسفاتي)

MHA: Mueller-Hinton Agar

MHB: Mueller-Hinton Broth

DMSO: Dimethyl Sulfoxide (ثنائي ميثيل سلفوكسيد)

EDTA: Ethylenediaminetetraacetic Acid

GAE: Gallic Acid Equivalent

QE: Quercetin Equivalent

CE: Catechin Equivalent

TAE: Tannic Acid Equivalent

UV-Vis: Ultraviolet-Visible Spectrophotometer

ROS: Reactive Oxygen Species (أنواع الأكسجين التفاعلية)

VEGF: Vascular Endothelial Growth Factor

PDGF: Platelet-Derived Growth Factor

TGF-β: Transforming Growth Factor Beta

NF-κB: Nuclear Factor Kappa B

IL: Interleukin

TNF-α: Tumor Necrosis Factor Alpha

ECM: Extracellular Matrix

TRP: Transient Receptor Potential

APG IV: Angiosperm Phylogeny Group IV

المقدمة

تشكل إدارة النفايات الحيوية الزراعية وتثمينها أحد أهم الركائز الاستراتيجية للاقتصاد الأخضر المستدام والتنمية المستدامة في الوقت الراهن (Ahmed and al., 2021). ففي ظل التحديات البيئية والصحية العالمية المتزايدة، يتجه البحث العلمي المكثف نحو استغلال المخلفات الثانوية للصناعات الزراعية والغذائية كمصادر بديلة وآمنة للمركبات الأيضية الثانوية ذات الأنشطة البيولوجية والصيدلانية المتعددة، بدلا من التخلص منها بطرق تؤثر سلبا على البيئة (Sadh and al., 2018). وتعد الفصيلة الباذنجانية (Solanaceae) من أبرز العائلات النباتية التي تحظى باهتمام بالغ في هذا السياق؛ نظرا لانتشارها الواسع وقيمتها الاقتصادية العالية وعوائد مخلفاتها الحيوية الضخمة (Kaunda and Zhang, 2019).

يعتبر نبات الباذنجان (*Solanum melongena* L.) أحد أهم محاصيل الخضار الأساسية المستهلكة عالميا (Gürbüz and al., 2018). وفي حين تركز أغلب الدراسات والصناعات الغذائية على استغلال لب الثمار وقشورها (Plazas and al., 2014)، يظل الكأس الزهري الدائم (Persistent calyx) الذي يحيط بالثمرة ويصاحبها طوال مراحل نموها ونضجها طاقة حيوية ومادة فيتوكيميائية مهملة تصنف ضمن النفايات الزراعية (Docimo and al., 2016). ومع ذلك، تشير المعطيات الفسيولوجية والمورفولوجية الحديثة إلى أن هذا التركيب الكأسي الدائم يرتبط بنشاط أيضي مكثف يعكس تراكم مستويات معتبرة من المركبات الفينولية، الفلافونويدات، والتانينات، والتي تطورت أساسا كآليات دفاع نباتية فسيولوجية ضد الإجهادات الحيوية والبيئية (Fiesel and al., 2022).

في المقابل، يشهد مجال الطب الحيوي وتقنية النانو طفرة غير مسبوقة من خلال دمج الأصول النباتية في الاصطناع الأخضر المستدام للمواد النانوية المتقدمة (Nasrollahzadeh and al., 2019). ومن بين هذه المواد، تبرز النقاط الكربونية أو ما يعرف بنقاط الكربون النانوية (Carbon Quantum Dots - CDs) كفئة فريدة من الجسيمات النانوية القائمة على الكربون (Jelinek, 2017). وتتميز هذه النقاط النانوية، المصنعة بآليات صديقة للبيئة، بخصائص فيزيائية وكيميائية استثنائية، تشمل صغر حجمها، وارتفاع مساحة سطحها النوعية، ووفرة المجموعات الوظيفية على سطحها، إلى جانب نفاذيتها الخلوية العالية (Sharma and al., 2022). هذه الخصائص تفتح آفاقا واعدة لتحسين الكفاءة البيولوجية للمستخلصات الخام عبر تحويلها إلى صياغات نانوية قادرة على تعزيز الفعاليات العلاجية (Singh and al., 2025).

وانطلاقا من المعطيات السابقة، وتأكيدا على العلاقة الوثيقة بين فيزيولوجيا النبات المتعلقة بمحتواه الأيضي الثانوي وخصائصه البيولوجية والعلاجية، وفي ظل وجود ثغرة معرفية واضحة متعلقة بالتوصيف البنيوي الدقيق والتقييم الحيوي المقارن للكأس الزهري لثمار الباذنجان ومشتقاته النانوية الكربونية؛ حيث تكاد تنعدم في الأبحاث والدراسات المنشورة معلومات حول كفاءتهما المشتركة في مكافحة البكتيريا، تثبيط الالتهابات، التحفيز الضوئي، الحماية الشمسية، وتسريع التئام الحروق وتجديد الأنسجة. وعليه تبلورت

أهداف هذه الدراسة المتمثلة في المساهمة في تثمين الموارد الطبيعية والتنوع البيولوجي لولاية الوادي (الجزائر)، من خلال دراسة النشاطية البيولوجية لكأس ثمار نبات الباذنجان (*S. melongena*) ومقارنة 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 والفسيولوجية المحتملة للمستخلص المائي ونقاط الكربون النانوية المحضرة من الكأس الثمري لنبات *S. melongena*، خاصة فيما يتعلق بالأنشطة المضادة للأكسدة، البكتيريا، والالتهاب، وقدرتها على التحفيز الضوئي، الحماية الشمسية، وتسريع التئام الحروق الجلدية المعقدة؟

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

- **الفصل الأول:** تمثل في دراسة المقاربة البيولوجية والفسيولوجية للنباتات الطبية في الترميم الجلدي، مع التركيز على دورها كأنظمة حيوية لإنتاج النواتج الأيضية الثانوية ووظيفتها في الاعتلالات الجلدية والوقاية المناعية.
- **الفصل الثاني:** وتناول الشطر التطبيقي للدراسة التجريبية من خلال وصف العينة النباتية وطرق تحضيرها، إلى جانب طرق تحضير المستخلص المائي الخام واصطناع نقاط الكربون النانوية، بالإضافة إلى بروتوكولات التحليل الكمي وتوصيف بنية جسيماتCDs المحضرة بواسطة (XRD)، وصولا إلى طرق تقييم الأنشطة البيولوجية مخبريا وحيويا على النماذج الحيوانية، مع تحديد أساليب التحليل الإحصائي المعتمدة .
- **الفصل الثالث:** خصص لعرض النتائج التجريبية المتحصل عليها مع مناقشتها وتفسيرها العلمي، ومقارنتها بالمعطيات البيبليوغراقية السابقة في إطار التنوع الحيوي وفيزيولوجيا النبات والتطبيقات النانوية المستدامة .

وفي الأخير، اختتمت المذكرة بخلاصة عامة تلخص أهم الاستنتاجات الفسيولوجية والتطبيقية المحققة، وتبرز الأهمية العلمية والبيئية للدراسة، مع تقديم توصيات وآفاق للبحث المستقبلي والاستغلال الأمثل لهذه النفايات الحيوية الزراعية.

الفصل الأول: المقاربة البيولوجية والفسيولوجية للنباتات الطبية في الترميم الجلدي.

1) النباتات الطبية كأنظمة حيوية لإنتاج النواتج الأيضية الثانوية

تمثل النباتات الطبية منظومة حيوية معقدة تمتلك قدرة أيضية متخصصة على تخليق وتراكم مجموعة واسعة من النواتج الأيضية الثانوية، والتي تعد من أهم المركبات الحيوية ذات الفعالية الصيدلانية. وقد ارتبط استعمال النباتات الطبية بالممارسات العلاجية البشرية منذ آلاف السنين، ولا تزال المستحضرات النباتية التقليدية تشكل ركيزة علاجية أساسية في العديد من الأنظمة الصحية، خاصة في الدول النامية (Bhatia and al., 2015).

تعد النواتج الأيضية الثانوية مركبات عضوية متخصصة تخلق داخل الخلايا النباتية عبر مسارات أيضية معقدة متفرعة عن الأيض الأولي، إلا أنها لا تشارك بصورة مباشرة في عمليات النمو والتطور الأساسية للنبات، بل تقوم بوظائف فسيولوجية وبيئية دقيقة ترتبط بقدرة النبات على التكيف والبقاء في ظروف محيط نموه. وتشمل هذه المركبات مجموعة واسعة من المواد الحيوية، من أبرزها القلويدات، التربينات والمركبات الفينولية، التي تتميز بتنوع كبير يجسد من خلال خصائصها البيولوجية المتعددة (Dhaniaputri and al., 2022)؛ حيث تلعب النواتج الأيضية الثانوية دورا محوريا في آليات الدفاع النباتي ضد مسببات الأمراض والحشرات والإجهادات البيئية المختلفة، كما تسهم في تنظيم التوازن التأكسدي، والحماية من الأشعة فوق البنفسجية، وتعديل العديد من التفاعلات الحيوية المرتبطة بالاستجابات الفسيولوجية داخل النبات. وقد أدى التقدم في مجالات الكيمياء الحيوية والتقنيات الحيوية إلى تزايد الاهتمام العلمي بعزل هذه المركبات وتوصيفها البنيوي والكيميائي الحيوي، نظرا لقدرتها على التفاعل مع مسارات نقل الإشارات الخلوية والتنظيم الإنزيمي داخل الأنظمة الحية، الأمر الذي جعلها محورا مهما في الأبحاث الصيدلانية الحديثة (Guerriero and al., 2018). وتشير الدراسات إلى أن آلاف الأنواع النباتية تمتلك استعمالات علاجية موثقة، مما يعكس الأهمية البيولوجية والتطبيقية الكبيرة للتنوع النباتي كمصدر طبيعي للمركبات النشطة حيويا (Wawrosch and Zotchev, 2021).

2)البيولوجيا النظامية لنبات الباذنجان (*Solanum melongena* L.)

1.2المكانة التصنيفية للنبات وفق نظام APG IV

يصنف نبات *S. melongena* ضمن جنس *Solanum* التابع لفصيلة Solanaceae، وهي إحدى أكثر المجموعات التصنيفية تعقيدا وتنوعا، نظرا لما تبديه الأنواع المنتمية إليها من تقارب شكلي كبير وتداخل في الصفات التشخيصية، الأمر الذي يجعل الفصل التصنيفي بينها اعتمادا على المعايير المورفولوجية التقليدية وحدها محدود الدقة. وترتكز البيولوجيا النظامية لهذه المجموعة على المقاربة التكاملية التي تجمع بين التحليل المورفولوجي، والدراسات السيتوجينية، والواسمات الجزيئية، والمعطيات الفيليوجينية، بهدف تحديد الحدود التصنيفية وفهم العلاقات التطورية داخل جنس *Solanum* (Knapp and al., 2013).

وفي هذا السياق التصنيفي، يعد *S. melongena* من الأنواع الزراعية الأكثر أهمية ضمن الجنس، حيث يتميز بتعدد أشكاله المورفولوجية وتباينه الجيني المرتبط بصفات الثمار وأنماط النمو، الأمر الذي أدى إلى توصيف عدة متغيرات نباتية داخل النوع، من بينها *S. melongena* var. esculentum ذات الثمار المستديرة أو البيضية، و*S. melongena* var. serpentinum ذات الثمار المطاولة، و *S. melongena* var. depressum ذات النمو القزمي المبكر، وهو تصنيف يعكس اتساع القاعدة الوراثية للباذنجان ومدى خضوعه للانتخاب الزراعي والتهجين عبر المسارات التطورية المختلفة (Soumyamol and Sheeba, 2023; Shah and al., 2013).

جدول (1): التصنيف العلمي لنبات *S. melongena*

المملكة (Kingdom)	Plantae
الشعبة (Division)	Tracheophyta
الطائفة (Class)	Magnoliopsida
الرتبة (Order)	Solanales
الفصيلة (Family)	Solanaceae
الجنس (Genus)	Solanum
النوع (Species)	*S. melongena*

(APG IV, 2016)

الشكل1: الشكل العام لنبات الباذنجان (*S. melongena*) (Akerman, 2024).

2.2. الوصف المورفو-فسيولوجي للكأس (The Calyx)

يمثل الكأس الزهري في الباذنجان تركيبا زهريا دائما (Persistent calyx) يتميز بأهمية مورفولوجية ووظيفية في آن واحد. يتكون من خمس سبلات ملتحمة قاعديا (Gamosepalous) تكون بنية كأسية خماسية الفصوص، تحيط بالزهرة ثم بالثمرة بعد الإخصاب، حيث يبقى مرتبطا بها خلال مراحل النمو المختلفة. ويظهر هذا الكأس تباينا واضحا بين الأصناف من حيث الشكل والحجم ووجود الأشواك أو غيابها، وهو ما

يعد صفة تصنيفية مهمة في التمييز بين الأصناف داخل النوع (Choudhury, 1976; Bose and al., 2002; Tiwari and al., 2021).

من الناحية الوظيفية، يؤدي الكأس دورا وقائيا أساسيا، إذ يحمي البرعم الزهري والثمار الحديثة من العوامل البيئية والإجهادات الحيوية، كما يساهم في دعم قاعدة الثمرة أثناء تطورها. ويعد استمراره بعد الإزهار من السمات المميزة للفصيلة الباذنجانية، حيث يظل الكأس بارزا ومحيطا بالثمرة حتى النضج.

أما من الناحية الفسيولوجية، فيرتبط الكأس بنشاط أيضي يعكس تراكم بعض المركبات الثانوية مثل المركبات الفينولية والأنثوسيانينات، والتي تلعب دورا في آليات الدفاع النباتي ضد الإجهادات المختلفة. كما أن التباين في لون الكأس قد يعكس اختلافا في مستويات هذه المركبات ونشاطها الحيوي داخل الأنسجة (Zhang and al., 2022).

2.3. المركبات الفعالة في نبات الباذنجان

يتميز الباذنجان (Eggplant) باحتوائه على مجموعة واسعة من المركبات الحيوية الفعالة ذات الأهمية الغذائية والدوائية، مما يجعله من النباتات الغنية بالمستقلبات الثانوية ذات النشاط البيولوجي المرتفع. وتشمل هذه المركبات الأحماض الفينولية، والفلافونويدات، والأنثوسيانينات، والكاروتينات، والغليكوألكالويدات، إضافة إلى الصابونينات والتانينات والكومارينات والتربينات، والتي تتوزع بدرجات متفاوتة في مختلف أجزاء النبات من جذور وأوراق وسيقان وثمار (Gürbüz and al., 2018؛ Contreras-Angulo and al., 2022). ويعد حمض الكلوروجينيك (Chlorogenic acid) من أكثر المركبات الفينولية وفرة في ثمار الباذنجان، حيث يمتلك قدرة عالية على تثبيط الإجهاد التأكسدي وحماية الخلايا من الضرر الناتج عن الجذور الحرة، كما تحتوي قشور الثمار على مركبات أنثوسيانينية، خاصة الناسونين (Nasunin)، المسؤول عن اللون البنفسجي الداكن والمتميز بخصائصه المضادة للأكسدة. ويضم الباذنجان أيضا كاروتينات مهمة مثل اللوتين والزياكسانثين المرتبطين بحماية صحة العين، إلى جانب الغليكوألكالويدات الستيرويدية مثل α-solamargine وα-solasonine التي أظهرت أنشطة مضادة للسرطان والطفيليات (Gürbüz and al., 2018).

وقد أظهرت التحاليل الكيميائية النباتية النوعية وجود القلويدات في جميع المستخلصات المائية والميثانولية والهكسانية، بينما سجلت الفلافونويدات في الأوراق بجميع المستخلصات وفي الثمار ضمن المستخلص الميثانولي فقط، كما تم الكشف عن التانينات والكومارينات في الأوراق والثمار، في حين ظهرت الصابونينات بصورة رئيسية في الثمار والسيقان في المستخلصات عالية القطبية، وهو ما يعكس التنوع الكيميائي الحيوي للباذنجان وقدرته على إنتاج مركبات دفاعية استجابة لعوامل الإجهاد البيئي (Contreras-Angulo and al., 2022). إضافة إلى ذلك، يحتوي الباذنجان على تراكيز معتبرة من المركبات الكيميائية النباتية مثل الفينولات والفلافونويدات والتانينات والصابونينات، والتي ترتبط بعدة خصائص علاجية، منها

خفض الكوليسترول وتنظيم ضغط الدم والمساهمة في الوقاية من بعض الاضطرابات المرضية، مما يعزز من قيمته كنبات غذائي ووظيفي ذي أهمية صحية وصيدلانية كبيرة (Ossamulu and al., 2014).

3) الآليات الفيزيولوجية والبيولوجية لترميم الجلد ودور النواتج النباتية في تعزيز الالتئام

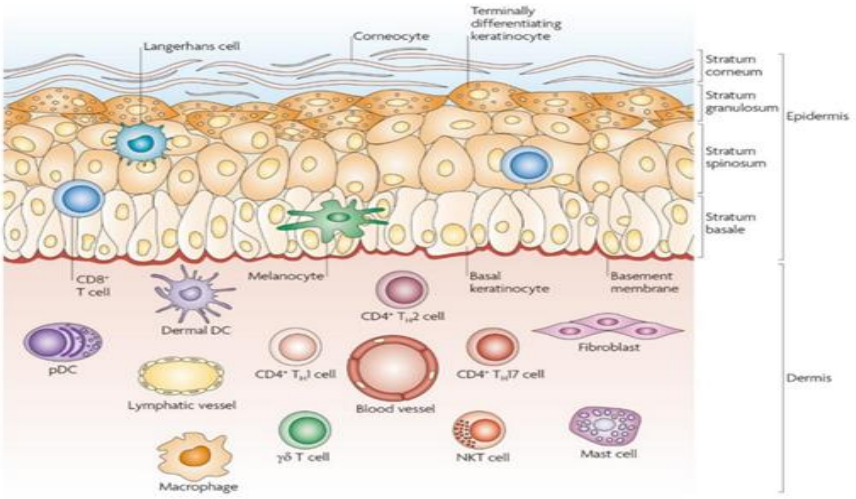
1.3. الدور الوظيفي والمناعي للجلد: التوازن النسيجي والنظام الحسي الحركي

يمثل الجلد نظاما حيويا ديناميكيا متعدد الطبقات، ويشكل خط الدفاع الفيزيائي والمناعي الأول ضد العوامل البيئية الخارجية. يعتمد الحفاظ على التوازن النسيجي للجلد (Tissue homeostasis) على آليات خلوية دقيقة تضمن استمرارية بنيته ووظيفته؛ حيث تعد الخلايا الجذعية المتواجدة في الطبقة القاعدية للبشرة (Basal layer) المحرك الأساسي لتجدد الخلايا الكيراتينية (Keratinocytes) وتعويض التالف منها نتيجة التمايز الفيزيولوجي أو الإصابات الميكانيكية. تساهم هذه الخلايا في الحفاظ على سلامة الوحدات الجلدية المختلفة عبر شبكات إشارات خلوية معقدة توازن بين التكاثر، التمايز، وحالة السكون الخلوي لضمان استقرار البنية النسيجية (Blanpain and Fuchs, 2009).

من الناحية الوظيفية، يعتمد الاستقرار الداخلي للحاجز الجلدي على تكامل محكم بين الجهاز العصبي، والغدد الصماء، والجهاز المناعي، حيث يؤدي أي خلل في هذا التنسيق المشترك إلى اضطراب وظيفة الحاجز، وهو ما ينعكس سريريا في مظاهر مرضية كالالتهاب المزمن، الجفاف، فرط الحساسية، وتسارع الشيخوخة الجلدية (Jiao and al., 2020).

يتميز الجلد أيضا بامتلاكه نظاما حسيا حركيا عالي التنظيم يعتمد على شبكة واسعة من المستقبلات الحسية. تشمل هذه المنظومة المستقبلات الميكانيكية (Mechanoreceptors) مثل أجسام ميسنر (Meissner's corpuscles)، وأجسام باسيني (Pacinian corpuscles)، ومعقدات ميركل (Merkel discs)، وأجسام روفيني (Ruffini endings)، إضافة إلى النهايات العصبية الحرة. تقوم هذه البنى بتحويل المنبهات الميكانيكية (كاللمس والضغط) إلى إشارات عصبية تنتقل عبر ألياف عصبية متخصصة من نوع Aβ للإحساس غير المؤلم، وألياف Aδ وC لنقل الإشارات الألم والحرارة (Marzvanyan and Alhawaj, 2019).

بالإضافة إلى ذلك، يملك الجلد مستقبلات حرارة وألم تعتمد على قنوات أيونية متخصصة (مثل قنوات TRP) ونواقل عصبية كالغلوتامات والمادة ب (Substance P)، مما يضمن استجابة دقيقة للحفاظ على الاتزان الحراري والحماية النسيجية. في هذا السياق، تظهر البشرة بحد ذاتها خصائص إدراكية متقدمة، إذ تتكامل خلاياها (الكيراتينية، الميلانينية، خلايا لانغرهانس، وخلايا ميركل) وظيفيا مع الألياف العصبية ضمن إطار ما يعرف بـالنظام العصبي المناعي الجلدي (Neuro-immuno-cutaneous system) (Boulais and Misery, 2008)، كما هو موضح في الشكل التالي.



الشكل2: التنظيم البنيوي والوظيفي للجلد مع إبراز التفاعلات بين البشرة والأدمة وتوزيع الخلايا المناعية المشاركة في الحفاظ على التوازن النسيجي للجلد وسلامة الحاجز الجلدي (Jiao and al., 2020).

2.3. المسارات البيولوجية لتئام الجروح (Wound Healing Cascade)

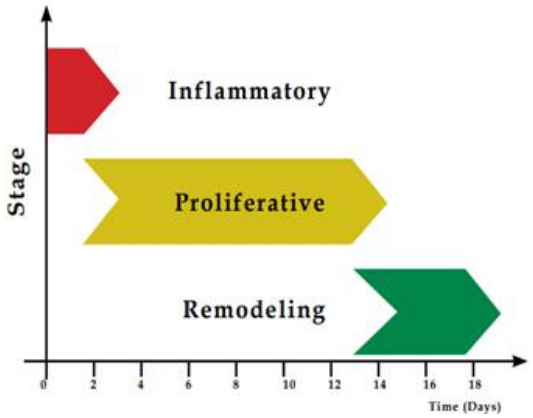
عند حدوث إصابة جلدية تتجاوز سلامة النسيج، تحفز آليات ترميم منظمة تخضع لتنسيق زمني ومكاني دقيق، وتمر عبر أربع مراحل متتابعة ومترابطة: الإرقاء، الالتهاب، التكاثر الخلوي، وإعادة تشكيل النسيج خارج الخلوي (Velnar and al., 2009; Qing, 2017).

1.2.3. **مرحلة الإرقاء (Hemostasis):** تفعل مباشرة بعد الإصابة نتيجة تنشيط الصفائح الدموية وتشكيل خثرة الفيبرين (Fibrin clot) لوقف النزيف. تمثل هذه الخثرة نسيج مؤقت لتجنيد الخلايا، وتعمل كمستودع لإطلاق عوامل النمو الحيوية مثل: عامل النمو المشتق من الصفائح (PDGF)، وعامل النمو التحويلي (TGF-β)، وعامل النمو البطاني الوعائي (VEGF) (Velnar and al., 2009; Qing, 2017).

2.2.3. **مرحلة الالتهاب (Inflammatory Phase)**: تتميز بانتقال خلايا Neutrophils لتطهير موضع الجرح عبر البلعمة وإطلاق الأنواع التفاعلية للأكسجين (ROS) والإنزيمات الحاملة. بعدها تهاجر خلايا Monocytes التي تتمايز إلى خلايا Macrophages؛ المسؤولة وظيفيا على تفعيل النمط الالتهابي (M1) والنمط المرمم (M2)، حيث يساهم هذا التحول في تنظيم الانتقال إلى بيئة إصلاحية عبر إفراز السيتوكينات التنظيمية (IL-1, TNF-α, IL-6) وعوامل النمو (Velnar and al., 2009; Qing, 2017).

3. 2.3. مرحلة التكاثر الخلوي (Proliferativ Phase): تتضمن تزامن ثلاث عمليات حيوية: تكون الأوعية الدموية الجديدة (Angiogenesis) بتحفيز من VEGF، وتكاثر وهجرة الخلايا الليفية (Fibroblasts) والخلايا الكيراتينية، وتشكيل النسيج الحبيبي (Granulation tissue) الغني بالكولاجين من النمط الثالث (Type III collagen) لإغلاق سطح الجرح وإعادة بناء الحاجز الظهاري.

4.2.3. **مرحلة إعادة التشكيل (Remodeling Phase):** تمثل ذروة النضج البنيوي، حيث يستبدل الكولاجين من النمط الثالث بالكولاجين من النمط الأول (Type I collagen) الأكثر متونة وتنظيما، تحت تأثير تنظيمي دقيق للسيتوكينات المضادة للالتهاب مثل TGF-β1 وIL-10، مما يرفع المقاومة الميكانيكية للنسيج ويقلل من التشكل غير الطبيعي للندبات (Velnar and al., 2009; Gonzalez and al., 2016)، (الشكل 3).



الشكل 3: التمثيل التسلسلي لمراحل إلتئام الجروح (Gonzalez and al., 2016)

3.3. آليات تأثير المستخلصات النباتية والنواتج الفيتوكيميائية في الترميم الجلدي

في سياق البحث عن مقاربات علاجية تدعم التئام الجروح، تبرز النباتات الطبية والنواتج الفيتوكيميائية الثانوية (مثل الفلافونويدات، الفينولات، التربينات، القلويدات، والصابونينات) كوسائط علاجية واعدة نظرا لتعدد آلياتها البيولوجية وتوافقها الحيوي العالي مقارنة بالعلاجات الموضعية التقليدية (Vitale and al., 2022; El-Sherbeni and Negm, 2023). وتتداخل هذه المركبات مع مراحل الالتئام وفق الآليات الآتية:

1.3.3. مكافحة الإجهاد التأكسدي والحد من التلف الخلوي: تعمل المركبات الفينولية والفلافونويدات كعوامل مانحة للإلكترونات لتعادل بفعالية الأنواع التفاعلية للأكسجين (ROS) المفرطة الناتجة عن الالتهاب. هذا النشاط المضاد للأكسدة يحمي الدهون الغشائية، البروتينات، والحمض النووي (DNA) من التلف، ويهيئ بيئة خلوية ملائمة لبدء وإتمام الترميم النسيجي (Atanasov and al., 2015; Shah and Amini-Nik, 2017).

2.3.3. تعديل الاستجابة الالتهابية: تساهم النواتج النباتية في كبح الالتهاب غير المنظم (الذي يعيق شفاء الجروح) عن طريق تثبيط المسارات الالتهابية الرئيسية مثل العامل النووي المعزز لسلسلة كابا الخفيفة في الخلايا البائية النشطة (NF- κB)، وخفض مستويات السيتوكينات المحرضة على الالتهاب مثل عامل نخر الأورام ألفا (TNF- α) والانترلوكين (IL-1β) (Shah and Amini-Nik, 2017).

3.3.3. تحفيز الطور التكاثري وإعادة البناء الظهاري: تحفز المركبات النباتية (بما فيها عديدات الفينول) هجرة وتكاثر الخلايا الليفية والخلايا الكيراتينية نحو حواف الجرح. كما تعزز من التعبير الجيني الخاص

بعامل النمو الوعائي VEGF، مما يسرع من عملية تكوين الأوعية الدموية الجديدة وتغذية النسيج الحبيبي، لاسيما في الجروح المزمنة أو المرتبطة باعتلالات السكري (Thangapazham and al., 2013; Kota and al., 2024).

4.3.3. تنظيم النسيج خارج الخلوي (ECM): تتدخل هذه المستخلصات في ضبط عملية تخليق الكولاجين وترسبه المنظم، مما ينعكس إيجابا على الخصائص الميكانيكية للنسيج النهائي ويحد من تشكل الندبات (Sharma and al., 2022; El-Sherbeni and Negm, 2023).

5.3.3. النشاط المضاد للميكروبات: تمتلك هذه النواتج الفيتوكيميائية قدرة جوهرية على تثبيط نمو الكائنات الحية الدقيقة الممرضة في موضع الإصابة، مما يمنع حدوث العدوى الثانوية ويضمن استمرار التئام دون انقطاع (Vitale and al., 2022).

جدول 2: تلخيص لآليات تأثير المركبات النباتية الثانوية في مراحل التئام الجلد.

المجموعة الكيميائية النباتية	الآلية البيولوجية الرئيسية	المرحلة المستهدفة في الالتئام	التأثير النسيجي الناتج
الفينولات والفلافونويدات	موازنة مستويات الـ ROS وتثبيط مسار NF- κB	الالتهابية / التكاثرية	حماية الخلايا من التلف، وخفض السيتوكينات الالتهابية(TNF-α)
التربينات والتربينويدات	تحفيز هجرة الخلايا الكيراتينية والليفية.	التكاثرية	تسريع إعادة الظهارة الجلدية (Re-epithelialization).
عديدات الفينول	تعزيز التعبير عن VEGF وترسيب الكولاجين.	التكاثرية وإعادة التشكيل	تحسين التروية الدموية وتنظيم بنية النسيج الحبيبي.
القلويدات والصابونينات	كبح نمو الميكروبات وتحفيز انقسام الخلايا القاعدية.	الإرقاء / الالتهابية	منع العدوى الموضعية وتأمين بيئة الالتئام.

(معمري وحنكة، 2026)

الفصل الثاني: المواد والطرق المتبعة

1. الكواشف والمواد الكيميائية

أُجريت جميع التحاليل باستخدام كواشف عالية النقاء؛ حيث وشملت قائمة المواد المستخدمة ما يلي: كاشف فولين-سيوكالتو (Folin-Ciocalteu)، كربونات الصوديوم (Na_2CO_3)، كلوريد الألومنيوم ($AlCl_3$)، حمض الهيدروكلوريك (HCl)، الفانيلين، حمض الغاليك، الكيرستين، الكاتشين، حمض التانيك، حمض الأسكوربيك، الجذر الحر DPPH•، فيريسيانيد البوتاسيوم [$K_3Fe(CN)_6$]، حمض ثلاثي كلور الأسيتيك (TCA)، كلوريد الحديديك ($FeCl_3$)، الأسبرين، حمض الساليسيليك، أوساط زرع البكتيريا Mueller-Hinton agar (MHA) و Mueller-Hinton broth (MHB)، المحلول الملحي المنظم (PBS)، المحلول المنظم الفوسفاتي (PB)، كريم واق من الشمس من العلامة التجارية (ACM®)، محلول ملحي فيزيولوجي NaCl (0.9 %)، مرهم مرجعي من العلامة التجارية (Mebo®)، معلق كرات الدم الحمراء البشرية (RBC)، المضاد الحيوي المرجعي Gentamicin، Tween-20، مادة ميثيل بارابين (Mandhyl paraben)، صبغة أزرق الميثيلين (Mandhylene blue dye)، إيثانول (70 %)، ثنائي إيثيل الإيثر، بالإضافة إلى ألبومين المصل البقري(BSA) . كما تضمنت المذيبات المستخدمة: الميثانول، الماء المقطر، الماء منزوع الأيونات (Deionized water)، ثنائي ميثيل سلفوكسيد (DMSO)، الغليسرين والفازلين الخام.

2. الأجهزة والمعدات التقنية

أُجريت التحاليل الفيتوكيميائية ومختلف الاختبارات البيولوجية باستخدام أجهزة ومعدات دقيقة، شملت على وجه الخصوص: مطحنة كهربائية، جهاز المطيافية الضوئية (UV-Vis spectrophotomander)، ميزان حساس، جهاز قياس الرقم الهيدروجيني (pH-mander)، جهاز طرد مركزي (Centrifuge)، حمام مائي مضبوط الحرارة(Thermostatically controlled water bath) ، حمام بالموجات فوق الصوتية (Ultrasonic bath)، جهاز الرج مغناطيسي (Magnandic stirrer)، جهاز المزج الدوام (Vortex)، حاضنة (Incubator)، جهاز التبخير الدوار (Rotary evaporator)، فرن حراري (Oven)، جهاز التجفيف بالتجميد (Freeze-drying the filtered solution)، موقد حراري (Bunsen burner)، جهاز حيود الأشعة السينية (X-ray diffractomander: XRD)، كاشف ماكفارلاند (McFarland 0.5)، عمود التدفق الرقائقي (Hotte à flux laminaire)، قدم قنوية رقمية(Digital Caliper) ، جهاز التعقيم (Autoclave)، جهاز قارئ الصفائح الميكروية (Microplate reader)، جهاز مزج عالي السرعة (High-shear homogenizer)، لوح تسخين (Hot plate)، أطباق بتري معقمة، أطباق معايرة دقيقة ذات 96 بئرا (96-well microplates)، ثاقب معقم (Cork borer)، خلاط آلي، كاميرا رقمية، ماصات دقيقة متغيرة الحجم (Variable volume micropipandtes)، أنابيب اختبار، أنابيب سحب الدم مفرغة من الهواء تحتوي على مادة EDTA، عبوات عاتمة، ماسحة طبية معقمة، قضيب معدني وشفرات حلاقة.

3. تحضير المستخلص المائي ونقاط الكربون(CDs)

1. جمع وتحضير المادة النباتية

جمعت ثمار الباذنجان (*S. melongena*) من السوق المحلية لولاية الوادي (الجزائر) خلال شهر سبتمبر من عام 2025. فور الحصول على العينات غسلت جيدا بالماء الجاري لإزالة العوالق والشوائب السطحية. بعد ذلك، فصلت كؤوس الثمار عن بقية الأجزاء النباتية، ونشرت لتجف في الظل عند درجة حرارة الغرفة. بعد التجفيف التام، سحقت العينات باستخدام مطحنة كهربائية للحصول على مسحوق جد ناعم ومتجانس، ثم حفظ في عبوات زجاجية عاتمة محكمة الإغلاق تحت ظروف جافة وباردة وبعيدا عن الإضاءة إلى حين استخدامها.

2. تحضير المستخلص المائي الخام

حضر المستخلص المائي باستخدام طريقة النقع (Maceration)، وذلك مزج 20 g من المسحوق النباتي مع 400 mL من الماء المقطر (1:20w/v)، بعد الرج الجيد للمزيج ترك في الظلام في درجة حرارة الغرفة لمدة 24 h. كررت عملية الاستخلاص ثلاث مرات متتالية على الكتلة النباتية المتبقية لضمان الاستخلاص التام للمركبات النشطة حيويا. عقب ذلك، جمعت الرشحات الثلاث وأخضعت للتبخير بواسطة جهاز التبخير الدوار ثم للتجفيف في الفرن الحراري مضبوط عند درجة حرارة ثابتة 60°C حتى الجفاف التام. في الأخير، حفظ المستخلص المستحصل عليه في عبوات زجاجية معقمة ومحكمة الإغلاق عند درجة حرارة 4°C (ElNaker and al., 2021)؛ لحين استخدامها في مختلف الاختبارات البيولوجية.

3. تحضير وتوصيف جزيئات CDs

إلى جانب المستخلص المائي الخام تم تحضير النقاط الكربونية في صورتها الصلبة، ووصف بنيتها بالاعتماد على تقنية حيود الأشعة السينية (DRX).

1).تحضير نقاط الكربون

حضرت نقاط CDs باستخدام طريقة التحلل الحراري (Pyrolysis). وذلك من خلال كربنة 10 g من المادة في فرن مخبري عند درجة حرارة180°C لمدة 3h؛ مما أدى إلى تشكل مادة صلبة ذات لون بني مائل إلى السواد. بعد التبريد، سحقت المادة النباتية المتفحمة باستخدام هاون ومدقة للحصول على مسحوق ناعم، ثم جرى تشتيتها في 100 mL من الماء منزوع الأيونات. ولضمان تجانس المعلق واستقراره، خضع المزيج للمعالجة بجهاز الموجات فوق الصوتية لمدة 30 min. بعدها، فصل المحلول الناتج بالطرد المركزي عند سرعة 4000 rpm لمدة 30 min؛ وذلك لفصل الجسيمات كبيرة الحجم. ثم رشح السائل الطافي (Supernatant) باستخدام ورق الترشيح (Whatman N° 01) لإزالة أي مواد متبقية غير متفاعلة. وفي الأخير، تم الحصول على النقاط الكربونية عن طريق التجفيف بتجميد (Freeze-drying) المحلول المرشح، وحفظه عند درجة حرارة 4°C إلى غاية استخدامه لاحقا.

1.1.3وصف بنية CDs بواسطة جهاز XRD

للتأكد من نجاح عملية التحضير والحصول على جسيمات CDs ضمن النطاق النانوي، تم الاعتماد على تحليل حيود الأشعة السينية كأداة فيزيائية مرجعية. وتم إجراء عملية المسح على نطاق θ 2 يتراوح-0 80°C، بمعدل مسح قدره 2 min، مما سمح بفحص تفصيلي للبنية البلورية لنقاط الكربون.

للتحليل، تم استخدام إشعاع (λ = 0.1546 nm) Cu-Kα، وتم تشغيل الجهاز عند جهد 40 kV وتيار 40 Am لضمان الحصول على نتائج حيود مثالية، حيث تم وضع حوالي 1 mg من مسحوق نقاط الكربون الجاف في حامل العينات للتحليل. وتم تجميع مخطط حيود XRD وتحليله باستخدام برنامج Origin 2026.

4. الدراسة الفيتوكيميائية

1.4. تقدير المحتوى الكمي لعديدات الفينول الكلية (TPC)

تم تقدير المحتوى الكلي لمركبات الفينول في المستخلص النباتي باستخدام الطريقة اللونية؛ والتي تعتمد على مبدأ التحليل الطيفي لشدة اللون الناتج من تفاعل أكسدة - اختزال بين مركبات الفينول المتواجدة في العينة وكاشف Folin–Ciocalteu.

تطبيقيا تم الاعتماد على البروتوكول المذكور عند Alia and *al*., (2021)، وذلك من خلال مزج 0.2 mL من تراكيز مختلفة من مستخلص النبات مع 1 mL من محلول الكاشف (10% v/v)، و0.8 mL من محلول Na_2CO_3 (7.5% w/v). بعد الرج الجيد حضنت الأنابيب في الظلام لمدة 30 min عند درجة حرارة المختبر.

وبعد الحضن قيست الامتصاصية الضوئية للعينات عند طول الموجة λ= 760 nm باستخدام جهاز المطيافية الضوئية. أنشئ المنحنى القياسي باستخدام سلسلة من التركيزات المختلفة لحمض الغاليك (10- 120 µg/mL). أما النتائج فتم التعبير عنها بوحدة ملليغرام من مكافئ حمض الغاليك لكل غرام من وزن المستخلص النباتي (mg E GA/g mL).

2.4. تقدير المحتوى الكلي للفلافونويدات (TFC)

تم تحديد المحتوى الكلي للفلافونويدات في المستخلص الخام بالاعتماد على طريقة التفاعل اللوني بوجود $AlCl_3$، وذلك كم خلال قياس الطيف الضوئية للمركب الملون الناتج من التفاعل بين $AlCl_3$ ومجموعات الهيدروكسيل في الفلافونويدات.

تطبيقيا تم هذا التفاعل من خلال مزج 750 µL من التراكيز المختلفة للمستخلص الخام مع حجم مساو من محلول $AlCl_3$ (2% w/v). بعد الرج حضنت العينات في الظلام لمدة 1 hعند درجة حرارة المختبر. بعدها قيست الامتصاصية الضوئية عند الطول الموجي λ = 420 nm باستخدام جهاز UV-Vis Spectrophotomander.

أُنشئ المنحنى القياسي لمركب الكرستين بالاعتماد على سلسلة من التركيزات المختلفة (10-50 µg/mL)؛ وتم التعبير عن القيمة الكمية لمحتوى الفلافونويدات الكلية بـ mg EQ/g Ex.

3.4. تقدير التانينات القابلة للتحلل (HT)

تم تقدير التانينات القابلة للتحلل المائي للعينة النباتية وفقا للبروتوكول التجريبي وذلك عبر مرحلتين أساسيتين:

- أولا: تحضير المستخلص وذلك بمزج 0.25 g من مسحوق المادة النباتية مع 50 mL (80%) من الميثانول في دورق مخروطي مع التحريك المستمر عند درجة حرارة الغرفة لمدة 6 h متواصلة. بعد الترشيح ينقل الراشح إلى الطرد المركزي 2000 rpm لمدة 10 min. بعدها يفصل السائل الطافي، ثم يخفف بمعامل تخفيف مناسب تمهيدا للقياس اللوني.

- ثانيا: يسخن 5 mL من محلول (KIO_3 2.5 %) مسبقا في حمام مائي مضبوط عند T= 30°C لمدة 7 min، بعدها يضاف إليه 1 mL من المستخلص النباتي المخفف؛ ثم يترك المزيج ليتفاعل في الحمام المائي عند نفس درجة الحرارة لمدة دقيقتين إضافيتين. وفور انتهاء زمن التفاعل، تقاس الامتصاصية الضوئية للمزيج باستخدام جهاز القياس الطيفي الضوئي عند λ = 550 nm.

للمعاير حضر المنحنى القياسي لحمض التانيك بتراكيز مختلفة (10-70 µg/mL)، أما النتائج فتم التعبير عنها بـ mg ANDA/g Ex.

4.4. تقدير التانينات المكثفة (CT)

تم تقدير محتوى التانينات المكثفة في المستخلص باستخدام تفاعل Vanillin-HCl، حيث تم إنشاء منحنى معايرة باستخدام الكاتيشين (20-60 µg/mL). ففي البداية، تم خلط 0.1 mL من المستخلص المائي أو محلول الكاتيشين القياسي مع 0.75 mL (4% w:v) من محلول فانيلين المحضر حديثا في الميثانول، و 0.375 mL من HCl المركز. بعدها حضنت الأنابيب عند T = 20°C لمدة 15 min. ثم تم قياس الامتصاصية الضوئية عند طول الموجة λ = 500 nm، وتم التعبير عن محتوى التانينات المكثفة بوحدة مليغرام مكافئ كاتيشين لكل غرام مستخلص (mg EC/g Ex).

5. دراسة النشاطية البيولوجية

يهدف هذا الجزء إلى تقييم الخصائص الحيوية للمواد المحضرة، من خلال إجراء مقارنة مخبرية دقيقة بين قدرة المستخلص النباتي الخام والجسيمات النانوية الكربونية على تثبيت الجذور الحرة، ومقاومة الميكروبات، والحد من الالتهابات.

1.5. النشاطية المضادة للأكسدة (Antioxidant activity)

1.1.5. اختبار الجذر الحرة DPPH•

يعتمد هذا الاختبار على قدرة المركبات المانحة للهيدروجين على إرجاع الجذر الحر ذو الون البنفسجي (DPPH) إلى المركب المستقر (DPPH-H) ذو اللون الأصفر.

يتم هذا الاختبار من خلال تحضير سلسلة تراكيز مختلفة من كل من المستخلص النباتي وC-Dots المذابة في الميثانول، ثم يمزج حجم 750 µL من كل منها مع حجم مساو من محلول جذور DPPH• (0.1 mM). بعد الخلط الجيد، تحضن العينات في مكان مظلم عند درجة حرارة المختبر لمدة 30 min. بعد ذلك، تم قياس الامتصاصية الضوئية للخليط عند طول الموجة λ = 517 nm .

تم استخدام حمض الأسكوربيك (Ascorbic Acid) كمركب مرجعي للمقارنة، أما النتائج فتم الحصول عليها من خلال حساب النسبة المئوية لتثبيط جذر DPPH• لكل عينة باستخدام العلاقة الواردة عند Chaouche وفريقه (2013)، والمتمثلة في:

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

حيث تمثل I (%) النسبة المئوية للتثبيط، و Ac: امتصاصية محلول التحكم السالب، و As: امتصاصية العينة المختبرة.

2.1.5. اختبار القدرة الإرجاعية للحديد (FRAP)

تم تحديد القدرة الإرجاعية (أو الاختزالية) للمستخلص المدروس والـ C-dots وفقا للطريقة التي وصفت عند علية (2022)، حيث خلطت 250 µL من التركيزات المختلفة (10-200 µg/mL) لكل عينة مع 625 µL من PB (0.2 M, pH 6.6) و 625 µL من محلول (1 %) $K3[Fe(CN)_6]$. حضن المزيج في حمام مائي عند T = 50°C لمدة 20 min. بعد ذلك، أوقف التفاعل بإضافة (10 %) 625 µL من HCl. ثم أخضع لعملية الطرد المركزي 3000 t/min لمدة 10 min، بعدها أخذ 625 µL من الطافي وخلط مع 625 µL من الماء المقطر و125 µL من محلول (0.1 %) $FeCl_3$ المحضر حديثا.

قيست قيم الامتصاصية عند طول الموجية قدره λ = 700 nm، واستخدم حمض الأسكوربيك كمرجع قياسي. يتم حساب قيم $EC_{0.5}$ والذي تعرف بأنه التركيز الفعال المكافئ لامتصاصية قدرها 0.5 nm عن انطلاقا من المعادلة الخطية منحنى الانحدار والتعبير عن النتائج بوحدة (µg/mL).

2.5. النشاطية المضادة للبكتيريا (Antibacterial activity)

يهدف هذا الجزئية من الدراسة إلى تقييم القدرة التثبيطية لكل من المستخلص النباتي الخام والجسيمات النانوية CDs تجاه سلالات بكتيرية مرجعية.

السلالات البكتيرية

استخدمت في هذه الدراسة أربع سلالات بكتيرية، تضمنت سلالتين سالبتي الجرام *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 و*Escherichia coli* ATCC 25922، إلى جانب سلالتين موجبتي الجرام

Staphylococcus aureus ATCC 25923 و*Bacillus subtilis* ATCC 25973. وقد تم الحصول على جميع السلالات من معهد باستور الجزائر.

1.2.5. تقييم النشاط المضاد للبكتيريا باستخدام طريقة الانتشار من الآبار

تم إجراء تقييم الفعالية المضادة للبكتيريا للمستخلص النباتي والنقاط الكربونية باستخدام طريقة الانتشار من الآبار على وسط آجار مولر هنتون (MHA)، لهذا الغرض تم اختبار: سلالة من البكتيريا سالبة الجرام *E.coli*، وسلالة من البكتيريا موجبة الجرام *S. aureus* كنموذجين مختلفين.

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 (NaCl 0.9 %). بعد ذلك، نشر المعلق البكتيري بشكل متساو ومتجانس على سطح أطباق بيتري المعبئة بـ MHA. أنشئت بعدها في هذه الأطباق آبار متساوية الأقطار (6 mm) بواسطة ثاقب فلين معقم، ثم ملئت بـ 50 µL من محاليل العينات المختبرة المذابة في DMSO (1 % v/v) وبتراكيز متسلسلة تدريجيا (10-80 mg/mL) بالتوازي.

بعد ذلك حضن الأطباق المحضر عند T = 37°C لمدة 24 h. تم تقدير الفعالية المضادة للبكتيريا عن طريق قياس قطر منطقة التثبيط حول كل بئر باستخدام القدم القنوية، حيث اعتبر ظهور منطقة تثبيط واضحة يتجاوز قطرها الكلي 6 mm دليلا على وجود نشاط مضاد للبكتيريا، حيث استخدم قطر التثبيط كمؤشر كمي مباشر للمقارنة بين الفعاليات الحيوية للعينات. ولحساب القطر الصافي للتثبيط الفعلي (ΔD) الناجم عن كل عينة، طبقت المعادلة التالية:

$$\Delta D\ (mm) = D_{total} - D_{well}$$

حيث تمثل: D_{total}: القطر الإجمالي لمنطقة التثبيط المقاسة بما فيها قطر البئر؛ D_{well}: قطر البئر المعياري (6 mm).

ولتقييم صحة النتائج استخدام الجنتاميسين (Gentamicin) كعنصر تحكم إيجابي، ومحلول DMSO 1% والمحلول الملحي الفيزيولوجي كعنصري تحكم سالبين لضمان خلوهما من أي تأثير ثبيطي على النمو البكتيري.

2.2.5. تحديد التراكيز المثبطة الدنيا (MIC) والتراكيز القاتلة الدنيا (MBC)

تم تحديد قيم MIC وMBC لكل من المستخلص المائي وCDs بالاعتماد على طريقة التخفيف الميكروي القياسية في وسط MHB داخل ألواح دقيقة ذات 96 بئرا، وذلك تبعا مع المبادئ الصادرة عن معهد المعايير السريرية والمخبرية (CLSI). وقد أجري الاختبارين على أربع سلالات مرجعية: *E. coli* و*P. aeruginosa*، و*S. aureus* و*B. subtilis*.

في البداية تم تذويب العينتين المختبرتين في DMSO 1 % (w/v)، ثم خضعت لسلسلة من التخفيفات المضاعفة (1:2) في MHB للحصول على مجموعة من التراكيز: (2.5-80 mg/mL). وتم ضبط المعلقات

البكتيرية المعيارية (0.5 McFarland) للوصول إلى التركيز النهائي داخل الألواح. بعد فترة حضانة عند T = 37°C لمدة 24 h. منها تم (CMI) الذي يعرف على أنه أدنى تركيز لم يظهر عكارة مرئية.

بعد ذلك، تم تحديد CMB عن طريق نقل عينة (3 µL) من الآبار السابقة وزرعها في أطباق بها MHA؛ حيث يمثل هذا الأخير أدنى تركيز لم يظهر أي نمو للمستعمرات البكتيرية بعد إعادة حضن الأطباق لمدة 24 h أخرى.

3.5. النشاطية المضادة للالتهاب (Anti-inflammatory activity)

1.3.5. اختبار تثبيط تمسخ ألبومين مصل الأبقار (BSA Assay)

تم تقييم القدرة المضادة للالتهاب للمستخلص النباتي والنقاط الكربون باستخدام اختبار تثبيط التمسخ الحراري لألبومين المصل البقري (BSA). تجريبيا، أضيف كل 500 µL من التراكيز المختلفة لعينتي الاختبار (1.25-80 mg/mL) 1 mL من محلول BSA (0.3 % W/V) المذاب في المحلول TBS (pH: 6.4)، ثم عدل الحجم النهائي إلى 2.5 mL بواسطة الماء المقطر.

لضمان دقة المقارنة، استخدم الأسبرين (Aspirin) كمركب مرجعي قياسي (ضابط إيجابي)، في حين استخدم الماء المقطر كعنصر ضابط سلبي. خضع كل مزيج تفاعلي لحضن أولي عند T = 37°C لمدة 15 min، تلاه حضن ثان اللعينات ثمل في الجهد حراري عند T = 70°C لمدة 10 min. بعد تبريد العينات في ظروف المختبر القياسية، تم قياس الامتصاصية الضوئية عند λ = 660 nm. والأخير، حسبت النسبة المئوية لتثبيط تمسخ البروتين باستخدام المعادلة التالية:

$$\text{Anti-Denaturation Activity (\%)} = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}})/A_{\text{control}}] \times 100$$

2.3.5. تقييم كفاءة استقرار غشاء خلايا الدم الحمراء

تم تقييم فعالية استقرار غشاء خلايا الدم الحمراء باستخدام اختبار التحلل الدموي المستحث بالمحلول منخفض التوتر (Hypotonicity-induced hemolysis). اشتمل المنهج التجريبي على أربع مجموعات اختبار موزعة كالتالي: مجموعة المستخلص الخام، مجموعة CDs، بالإضافة إلى مجموعة ضابطة سلبية (الماء المقطر)، إلى جانب مجموعة ضابطة إيجابية استخدم فيها حمض الساليسيليك كمركب مرجعي قياسي.

عمليا، تمت إضافة 1 mL من المعلق المخفف لكريات الدم الحمراء البشرية (RBCs: 10 %) إلى كل أنبوب اختبار إلى 1 mL من المحاليل المختبرة: المستخلص أو حمض الساليسيليك (500 µg/mL) لكل منها، أو الماء المقطر. ولإحداث التحلل الدموي عولجت جميع الأنابيب بمحلول منخفض التوتر؛ وذلك بإضافة 1 mL من المحلول الفوسفات المنظم (pH: 7.4). عقب ذلك، حضنت الأنابيب في حمام مائي T = 56°C لمدة 30 min، ثم نقلت مباشرة لتبرد تحت تيار من الماء الجاري، ثم فصلت عبر الطرد المركزي عند 2500 rpm لـ 5 min. في النهاية تم رصد كفاءة التحلل من خلال قياس الامتصاصية الضوئية للمحلول الطافي عند

λ = 556 nm، وحسبت النسبة المئوية لتثبيط التحلل الدموي (والتي تعكس درجة استقرار الغشاء) باستخدام المعادلة التالية:

$$I\ (\%) = [Abs_{control} - Abs_{sample}) / Abs_{control}] \times 100$$

4.5. الدراسة الفاعلية الكيميائية الضوئية

1.4.5. تحديد معامل الحماية الشمسية (SPF)

تم تقييم كفاءة الحماية الضوئية للمستخلص والـ C-dots من خلال تعيين عامل الحماية من الشمس (SPF) مخبريا (*in vitro*). باختصار، حضرت محاليل العينات المختبرة (المستخلص، CDs وكريم واقي شمس) بتركيز 0.5 mg/mL، وقيست قيم امتصاصيتها ضمن النطاق الطيفي للمجال 290-320 nm، وبفارق زيادة قدره 5 nm. وحسبت قيمة عامل الحماية من الشمس باستخدام معادلة:

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

حيث: EE: طيف التأثير الحركي للاحمرار (Erythemal effect spectrum)؛ I: شدة الإشعاع الشمسي (Solar intensity spectrum)؛ Abs: امتصاصية العينة المختبرة؛ CF: عامل التصحيح (Correction factor = 10).

يجدر الإشارة إلى أن قيم جداء المعايرة (EE × I) ثابت عند نفس طول موجة الامتصاص الضوئي (λ)؛ وذلك كما هو موضح في الجدول أدناه:

الجدول 03: قيم جداء المعايرة المستخدمة في حساب عامل الحماية من الشمس (SPF)

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

2.4.5. تقييم التحلل الضوئي لصبغة أزرق الميثيلين (The photocatalytic degradation of Mandhylene Blue Dye)

قيمت الكفاءة التحفيزية الضوئية لكل من المستخلص النباتي والنقاط الكربونية في تفكيك صبغة الميثيلين الأزرق تحت تأثير الإشعاع الضوئي، باستخدام تقنية الصفائح الميكروية ذات الـ 96 بئرا-96) well microplate) نظام عالي الإنتاجية.

في البداية حضر محلول الصبغة بتركيز 10 mg/L. وفي المقابل، حضرت سلسلة من التراكيز المتضاعفة للعينتين المختبرتين (شملت: 0.625، 1.25، 2.5، 5، 10، 20، و40) معبر عنها بـ mg/mL.

تجريبيا، أضيف لكل بئر من الصفيحة المكروبية 200 µL من محلول الصبغة و10 µL من مختلف التركيز المحضرة، ثم مزجت بواسطة خلاط ألي لضمان تجانس مكونات وسط التفاعل. بعد ذلك، خضعت الصفيحة لإشعاع ضوئي مستمر وصادر عن مصدر ضوئي مضبوط الشدة لمعايرة عملية التحلل الضوئي. ولضمان دقة النتائج، أدرج نظامان للمقارنة؛ الأول تمثل في الشاهد المظلم (Dark control) وهي نماذج معزولة تماما عن الضوء، تحتوي على مزيج من الصبغة مع العينات المختبرة. أما الثاني فتمثل في الشاهد السالب (Negative control) وهو عبارة عن نموذج معرض للضوء يحتوي على محلول الصبغة النقي فقط.

تم تتبع حركية التحلل من خلال قياس شدة الامتصاصية الضوئية عند طول الموجة $\lambda = 665$ nm، وذلك باستخدام جهاز قارئ الصفائح الميكروية، حيث أجريت القياسات عند فترات زمنية متتابعة (0-120 min) من بدء التعرض للضوء، حيث يعتبر الانخفاض في قيم الامتصاص الضوئي مؤشرا على التفكك البنيوي للصبغة. وفي الأخير حسبت النسبة المئوية للتحلل الضوئي (Photodegradation %) وفقا للمعادلة التالية:

$$\text{Photodegradation (\%)} = [(A_0 - A_t) / A_0] \times 100$$

حيث تمثل (A_0) قيمة شدة الامتصاصية الابتدائية عند الزمن (0 min)، بينما تمثل (A_t) قيمة شدة الامتصاصية عند فترات القياس الزمنية المختلفة (t: min).

5.5. دراسة الفعالية المضادة للجروح والحروق الجلدية

1.5.5. المادة الحيوانية

تمثلت المادة الحيوانية في جردان بيضاء من سلالة ويستار (*Wistar strain albino*)، بعمر 7 أسابيع تقريبا، وتتراوح أوزانها بين 185 g - 135، تم تأمينها من مزرعة معهد باستور في الجزائر. وقد تمت العناية بالحيوانات تحت ظروف بيئية خاضعة لرقابة محكمة في مختبر الحيوانات التابعة لكلية علوم الطبيعة والحياة بجامعة الوادي، حيث ضبطت $T = 22 \pm 2°C$، ودورة إضاءة متعاقبة (L/D) 12:12، ورطوبة نسبية 40 %. كما تم اعتماد نظام غذائي متوازن ومصاغ بدقة يحتوي على: البروتينات، الدهون، الكربوهيدرات، والفيتامينات، بالإضافة إلى الماء المعدني. وجدير بالذكر أن جميع التجارب الحيوانية المجراة قد خضعت لبروتوكولات صارمة تتماشى مع المعايير الدولية المعتمدة في أخلاقيات التعامل مع الحيوانات التجريبية.

2.5.5. تحضير الكريمة (المادة الصيدلانية)

تم تحضير الكريمة باستخدام طريقة استحلاب طورين مختلفين (Trituration mandhod)؛ وهي الطريقة الأنسب لدمج السوائل أو الجسيمات المسحوقة ناعما وغير القابلة للذوبان. تنطلق هذه العملية من خلال تسخين كل من الطور المائي والطور الزيتي بشكل منفصل؛ حيث يتكون الطور المائي من مادة الميثيل بارابين (مادة حافظة) والماء منزوع الأيونات، في حين يتكون الطور الزيتي من المستخلص المائي أو النقاط الكربونية، الفازلين الخام، الغليسيرين، بالإضافة إلى Tween-20 باعتباره عامل مستحلب.

بعد ذلك، يدمج الطوران معا عن طريق الإضافة التدريجية قطرة فقطرة داخل جهاز مزج عال السرعة مع التقليب المستمر لمدة 15 min بسرعة 2000 t/min. ثم تخفض سرعة الدوران إلى 1000 t/min لمدة 5 min، تلتها 500 t/min لمدة 5 min ثانية. في النهاية تحصلنا على كريم جلدي عشبي متجانس ومستقر بالخلاصة المائية للمادة النباتية أو بجزيئات CDs. وبنفس الطريقة تم تحضير قاعدة الكريمة الخالية من المواد الفعالة.

1.2.5.5.استحداث الجروح

تم استحداث الجروح بالاعتماد على طريقة الحرق؛ وذلك من خلال تحديد منطقة موحدة وواضحة على السطح العلوي للفئران، ثم يتم حلق فراء هذه المنطقة بواسطة شفرة حلاقة معقمة. بعدها عقمت بواسطة بالإيثانول (70 % v/v). في المقابل تم تسخين قضيب معدني أسطواني الشكل ذو قطر 10 mm لمدة 30 s، ثم طبق على المنطقة المحلوقة للفئران لمدة 20 s.

في خطوة موالية، تم توزيع الحيوانات على خمس مجموعات، ضمت كل مجموعة ثلاثة حيوانات. لم تتلق المجموعة 1 (مجموعة الشاهد السلبي) أي علاج. بينما عولجت المجموعة 2 بالكروبوبول فقط (قاعدة الكريمة الخالية من المواد الفعالة). وعولجت المجموعة 3 (مجموعة الشاهد الإيجابي) المرهم المرجعي (Mebo®). أما المجموعتان 4 و5 بالكريمتين المختبرتين المحتوية على الخلاصة النباتية أو المحتوية على جزيئات CDs؛ على التوالي. للعلاج طبق لكل فأر موضعيا 100 mg من وسيلة العلاج مرة واحدة يوميا بدءا من استحداث الحرق إلى غاية الشفاء التام.

- **قياس مساحة سطح الإصابة والنسبة المئوية لإلتآم (لانكماش) الجرح**

تم تتبع حدود الجرح باستخدام تطبيق التصوير Wound Capture كل 3 أيام، ثم حسبت المساحة سطح الجرح بتطبيق العلاقة الرياضية التالية:

$$A\ (mm^2) = \pi \times r^2$$

حيث؛ π: ثابت رياضي ≈ 3.14159. r: نصف القطر.

يتم حساب النسبة المئوية لانكماش الجرح؛ بتطبيق العلاقة الآتية:

$$\text{Wound closure rate (\%)} = [(A_{t=0} - A_{t=\Delta t}) / A_{t=0}] \times 100$$

حيث؛ $A_{t=0}$: مساحة الابتدائية للجرح (في اليوم 0)، $A_{t=\Delta t}$: مساحة الجرح في اليوم t.

6. التحليل الإحصائي

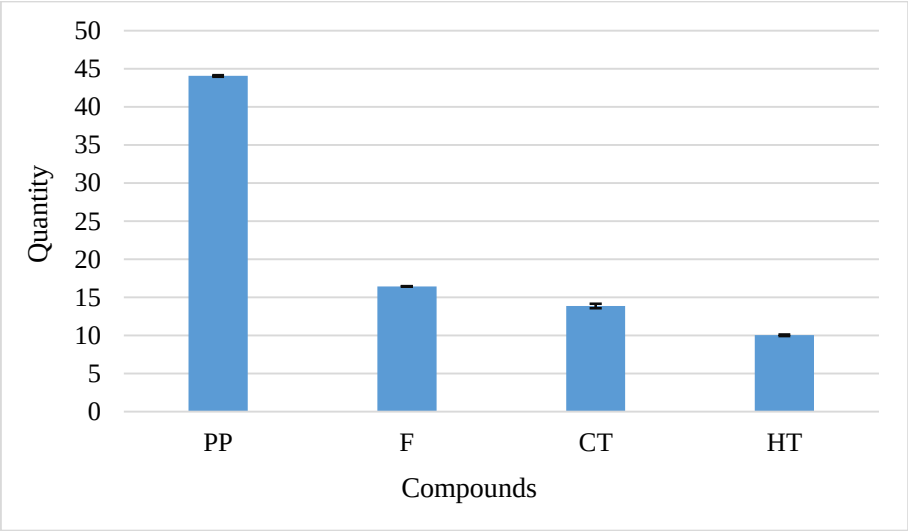
أُجريت جميع التحاليل البيولوجية والفيتوكيميائية بثلاثة تكرارات (n = 3). وعبر عن النتائج عن طريق المتوسط الحسابي ± الانحراف المعياري (Mean ± SD). وللتحقق من الفروق بين المجموعات المختلفة، طبق تحليل التباين (ANOVA)، حيث اعتمد مستوى الدلالة الإحصائية عند قيمة احتمال $\rho <$ 0.001، وأشير إليها بالرمز (***). علما أن جميع البيانات قد عولجت وأجريت مختلف التحاليل الإحصائية

باستخدام برنامج Microsoft Excel (إصدار 2016).

الفصل الثالث: النتائج والمناقشة

1. تقدير المحتوى الكمي لعديدات الفينول

يعرض الشكل أدناه المحتوى الكمي للمركبات متعددة الفينول في المستخلص المدروس، والتي تم الحصول عليها اعتمادا على المعادلات الخطية لمنحنيات المعايرة الخاصة بالمركبات القياسية المستعملة.



الشكل (04): التقييم الكمي للمحتوى الفينولي الإجمالي في المستخلص المائي لكأس ثمرة الباذنجان (*S. melongena* L.)

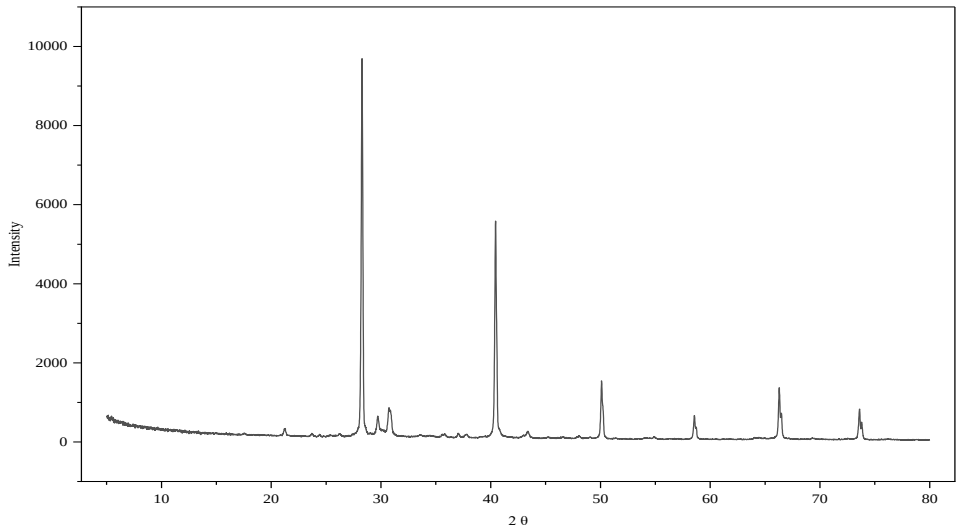
PP: عديدات الفينول الكلية؛ F: الفلافونويدات؛ CT: التانينات المكثفة؛ HT: التانينات المنحلة؛ القيم عبارة عن المتوسط الحسابي ± الانحراف المعياري (n =3).

من خلال النتائج الموضحة في الشكل، نلاحظ وجود تباين جوهري بين مستويات المركبات الفينولية المقدرة في المستخلص المدروس، وبشكل منطقي تصدرت عديدات الفينول الكلية القائمة مسجلة أعلى تركيز، تلاتها الفلافونويدات. وفي المقابل، أظهرت التانينات المكثفة والمنحلة تراكيز أقل نسبيا.

يشير التفوق الكمي لعديدات الفينول الكلية، مقارنة بالكسور الفرعية، إلى غناء المستخلص بتراكيز عالية من مجموعة متنوعة من المركبات الفينولية التي لا تقتصر فقط على الفلافونويدات والتانينات المقدرة، مما يجعله مصدرا واعدا لمضادات الأكسدة الطبيعية. وتجدر الإشارة إلى أن الفلافونويدات تشكل جزءا كبيرا من هذا المحتوى الفينولي الإجمالي. علاوة على ذلك، من المرجح أن يعكس توزيع هذه الخصائص الفيتوكيميائية المحددة في كأس ثمار الباذنجان وظائف فيزيولوجية محددة للنبات، سواء في الاستجابة للإجهاد البيئي أو كجزء من آليات الدفاع الثانوية. وتتفق هذه النتائج مع الدراسات السابقة التي تؤكد غنى الباذنجان بالمركبات الفينولية، ولا سيما دراسة Niño-Medina وآخرون (2017)، التي أبرزت غنى الباذنجان بهذه المركبات، وتحديدا الفلافونويدات.

2. تحليل حيود الأشعة السينية (XRD)

تعد تقنية حيود الأشعة السينية (XRD) أداة تشخيصية محورية لتحديد الحالة البلورية والتركيب الطوري للمواد النانوية الكربونية. يعرض الشكل (05) نمط XRD للجسيمات الكربونية النانوية المصنعة انطلاقا من مسحوق المادة النباتية لكأس ثمار الباذنجان.



الشكل (05): نمط حيود الأشعة السينية (XRD) للجسيمات الكربونية النانوية (CDs) المحضرة من كأس ثمار *S. melongena*

كشفت نتائج تحليل XRD وجود قمم حيود واضحة عند قيم مختلفة من زاوية 2θ، مع ظهور قمة رئيسية ذات شدة مرتفعة عند $2\theta \approx 28°$. وتجدر الإشارة إلى أن شدة هذه القمة ودقتها، مقارنة بالجسيمات الكربونية النانوية التقليدية التي تظهر قمة عريضة وواضحة عند $2\theta \approx 25°$، تشير إلى درجة عالية من الانتظام البنيوي والتنظيم البلوري في العينة المحضرة، وهو ما يتم تأكيده من خلال القمة الحادة الثانوية المقابلة للمستوى. كما تم ملاحظة عدة قمم أخرى أقل شدة لكنها واضحة ومحددة موزعة على مدى زاوي مختلف، مما يدل على امتلاك الجسيمات النانوية المحضرة درجة معينة من التنظيم البنيوي والطبيعة شبه البلورية. كما تظهر خلفية الحيود ارتفاعا عريضا طفيفا في المجال الزاوي المنخفض، وهذه الخاصية ترتبط غالبا بالمواد الكربونية النانوية ذات الطبيعة غير المتبلورة جزئيا. وعليه تشير هذه النتائج إلى أن الجسيمات المحضرة تتكون من مناطق منظمة وأخرى غير متبلورة، وهو ما يعد من الخصائص الشائعة للجسيمات الكربونية النانوية.

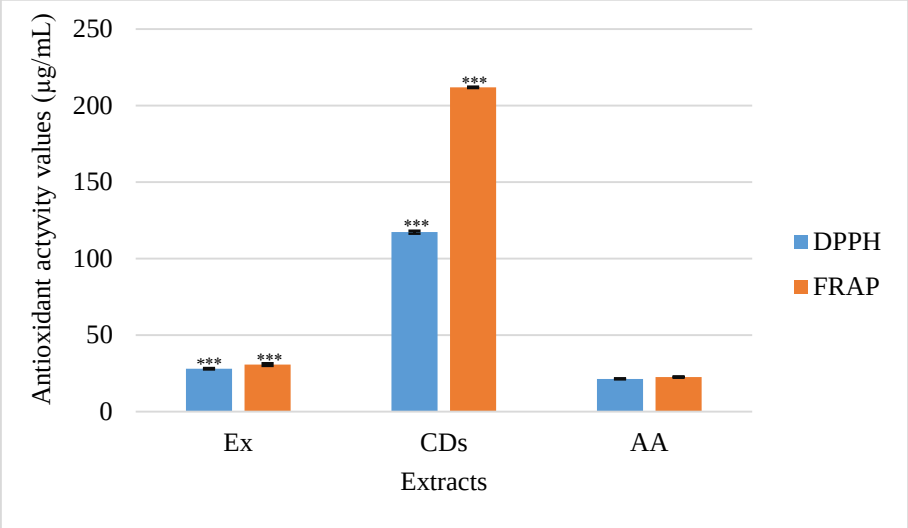
تتفق هذه النتائج جزئيا مع ما ورد في دراسة Shahwar وفريقه (2026)، التي أظهرت وجود قمم حيود مميزة تدل على الطبيعة البلورية للجسيمات النانوية المحضرة باستعمال مستخلصات قشور *S. melongena*. كما دعمت أيضا هذه الدراسة فرضية امتلاك هذه الجسيمات بنية منظمة جزئيا، وهو ما يتماشى مع النتائج المتحصل عليها في دراستنا. ومع ذلك قد يعزى اختلاف مواقع القمم وشدتها وعددها إلى

اختلاف طبيعة الجسيمات النانوية المحضرة، بالإضافة إلى تأثير ظروف التحضير، ودرجة المعالجة الحرارية، ونوع المركبات العضوية المرافقة في العينة النباتية المختبرة.

عموما؛ تؤكد نتائج XRD المتحصل عليها نجاح عملية تحضير الجسيمات الكربون النانوية، كما تشير إلى امتلاكها خصائص بنيوية قد تكون مرتبطة بفعاليتها البيولوجية والتطبيقية المختلفة. ويمكن تفسير الطبيعة شبه البلورية للجسيمات بوجود توازن بين المناطق المتبلورة والمناطق غير المتبلورة داخل البنية النانوية، الأمر الذي قد يساهم في تحسين خصائصها الفيزيائية والكيميائية، مثل زيادة المساحة السطحية ورفع النشاطية الحيوية.

3. تقييم النشاط المضاد للأكسدة

يعرض الشكل أدناه قيم IC_{50} و$EC_{0.5}$ للنشاط المضاد للأكسدة لكل من المستخلص النباتي، الجسيمات الكربونية النانوية مقارنة بحمض الأسكوربيك، والتي تم الحصول عليها اعتمادا على منحنيات نسب التثبيط والمعايرة الخاصة باختباري DPPH و FRAP.



الشكل (06): قيم IC_{50} و$EC_{0.5}$ للنشاط المضاد للأكسدة للعينات المدروسة.

Ex: المستخلص المائي الخام؛ CDs: نقاط الكربون النانوية؛ AA: حمض الأسكوربيك؛ القيم عبارة عن المتوسط الحسابي ± الانحراف المعياري (n =3)؛ ***: التباين المعنوي بين كل عينة والمركب المرجعي ($p = 0.001$).

يلاحظ من خلال هذه النتائج وجود اختلاف واضح في النشاط المضاد للأكسدة بين العينات المدروسة في كلا الاختبارين، حيث سجلت عينة CDs أعلى قيم للـ IC_{50} و$EC_{0.5}$ مقارنة بجميع العينات الأخرى. في حين أظهر المستخلص الخام والمركب القياسي فعالية بيولوجية قصوى تجلت في اختبار DPPH في قيم IC_{50}، وقيم $EC_{0.5}$ في اختبار FRAP.

يشير تقارب في الفعالية بين Ex و AA، إلى أن المستخلص النباتي الخام يمتلك خصائص مضادة للأكسدة قوية قد تعود إلى غناه بالمركبات الفينولية أو الفلافونويدية التي يرجح أنها فقدت فاعليتها أو تم تعديل بنيتها أثناء عملية تصنيع CDs.

تتوافق نتائجنا مع ما ورد في دراسة Kadoglidou ومساعدوه (2022)، التي أقرت من خلال اختباري DPPH وFRAP عن وجود اختلاف واضح في النشاط المضاد للأكسدة تبعا للجزء النباتي والتركيب الكيميائي، حيث سجلت قشرة الباذنجان نشاطا مضادا للأكسدة أعلى من اللب نتيجة غناها بالمركبات الفينولية والأنثوسيانينات. وهو ما يدعم نتائج دراستنا التي أظهرت ارتباط الفعالية المضادة للأكسدة بطبيعة المركبات النشطة وتركيزها. ويرتبط النشاط المضاد للأكسدة بشكل أساسي بكمية ونوعية المركبات الكيميائية التي تمتلك مجموعات وظيفية قادرة على منح أو فقدان الالكترونات أو البروتونات التي تعمل على تثبيت واختزال الجذور الحرة. كما يمكن أن تؤثر طبيعة السطح وحجم الجسيمات النانوية على كفاءة التفاعل مع الجذور الحرة (Kadoglidou and al. 2022)، وهو ما قد يفسر انخفاض نشاط عينة الـ CDs مقارنة بالمستخلص الخام.

4. تقييم الفعالية المضادة للبكتيريا

يوضح الجدول (04) النشاط الأولي المضاد للميكروبات للمستخلص المائي لكأس ثمار نبات *S. melongena* ونقاط الكربون المشتقة منه عند التركيز 80 mg/mL، مقارنة مع المضاد الحيوي القياسي الجنتاميسين (1 mg/mL) والشاهد السلبي DMSO (1%)، وذلك من خلال القياس القطري لمناطق التثبيط المعبر عنها (mm).

الجدول (04): النشاطية المضادة للبكتيريا للمستخلص المائي (Ex) ونقاط الكربون المشتقة (CDs).

Exs / BS	Ex	CDs	Gentamicin	DMSO
	80 mg /mL		1 mg/mL	1%
E. coli	NI	NI	20	NI
S. aureus	NI	14	16	NI

IN: لا يوجد تثبيط؛ Exs: المستخلصات المدروسة؛ BS: السلالات البكتيرية المختبرة

أظهرت النتائج أن المستخلص الخام لم يبدي أي نشاط تثبيطي ملحوظ ضد كلا السلالتين البكتيريتين عند التركيز المختبر. وبالمثل، لم تظهر CDs أي نشاط تثبيطي ضد *E. coli*. وعلى النقيض من ذلك، أظهر نشاط تثبيطي معتبر ضد سلالة *S. aureus*، حيث بلغت منطقة التثبيط 14 mm، مما يشير إلى تحسسه الانتقائي تجاه البكتيريا موجبة الغرام مقارنة بالسالبة الغرام. كما هو متوقع أبدى الجنتاميسين تأثيرا قويا ضد كلتا السلالتين مقدر بقطر تثبيط بلغ 20 mm عند *E. coli* مقابل 16 mm عند *S.aureus*. في حين لم يبد DMSO أي تأثير، مما يؤكد أن النشاط المضاد للبكتيريا يعود للمادة المدروسة وليس للمذيب المستعمل.

ولتوفير تقييم كمي دقيق للخصائص المضادة للبكتيريا، قمنا بتحديد قيم التركيز الأدنى للتثبيط (CMI) والتركيز الأدنى لقاتل البكتيريا (CMB)؛ والنتائج المتحصل عليها مبينة في الجدول (05).

الجدول (05): قيم التركيز المثبط الأدنى، والتركيز القاتل الأدنى، والتأثير المضاد للبكتيريا للمستخلص الخام (Ex) والجسيمات الكربونية النانوية (CDs).

CMI (mg/mL)	CMB (mg/mL)	CMI/CMB	Antibacterial Effect

BS / Ex	Ex	CDs	Ex	CDs	Ex	CDs	Ex	CDs
E. Coli	>80	80	>80	80	ND	1	-	Bactericidal
P. aeruginosa	>80	>80	>80	>80	ND	ND	-	-
S. aureus	>80	40	>80	40	ND	1	-	Bactericidal
S. subtilis	>80	>80	>80	>80	ND	ND	-	-

ND: غير محددة

أكدت نتائج CMI وCMB التقييم الأولي لعدم فاعلية المستخلص الخام كمضاد بكتيري، حيث تجاوزت قيمها 80 mg/mL في جميع السلالات البكتيرية المختبرة. ومن هذا يمكن التنبؤ إلى أن فعالية المستخلص الخام تحتاج تراكيز عالية جدا تتجاوز العتبة العملية للاستخدام السريري. وبناء على هذه القيم، تم تصنيف النسبة CMI/CMB على أنها غير محددة (ND) لجميع السلالات مع المستخلص الخام، مما يشير إلى غياب التأثير المضاد للبكتيريا القابل في هذا النطاق.

في المقابل، أظهرت جسيمات CDs نشاط كمي انتقائي واعد، حيث تم تحديد قيم متماثلة لـ CMI وCMB عند 80 mg/mL ضد *E. coli*، بنسبة CMI/CMB = 1، وبالتالي يمكن اعتبار هذا التركيز ذو تأثير قاتل للبكتيريا. وتضاعفت هذه الحساسية بشكل ملحوظ ضد سلالة *S. aureus* حيث انخفضت قيم الـ CMB وCMI إلى 40 mg/mL، مع الحفاظ على النمط القاتل (CMI/CMB = 1). وعلى النقيض، لم تبد هذه الجسيمات أي نشاط كمي ملموس ضد السلالتين *P. aeruginosa* و*S. subtilis* عند قيم تجاوزت 80 mg/mL، وعليه صنفت بغير محدد. عموما، تتوافق هذه النتائج الكمية مع التحليل الأولي وتؤكد النشاط الانتقائي والمتزايد لنقاط الكربون ضد *S. aureus*، مما يشير إلى إمكانات واعدة في تطوير عوامل مضادة لهذه السلالة على وجه الخصوص.

تعارضت نتائج هذه الدراسة مع ما ورد في دراسة Dunkwu-Okafor ومعاونه (2020)، حيث أشاروا إلى امتلاك المستخلص المائي لأوراق نبات الباذنجان (*S. melongena*) فاعلية ملحوظة ضد سلالات بكتيرية مختلفة، ورجحوا ذلك إلى غناه بالمركبات الأيضية الثانوية النشطة حيويا مثل: الفلافونويدات، التانينات، والقلويدات. ومع ذلك، فإن التحسن الانتقائي للنشاط البكتيري الملاحظ في دراستنا هذه بعد تحويل هذا المصدر النباتي إلى CDs، يدعم الفرضية القائلة بأن إعادة صياغة المستخلصات النباتية في بنى نانوية يعد استراتيجية محورية لتعزيز كفاءتها البيولوجية وتنشيط مركباتها الخاملة أو المخففة.

ويعزى النشاط المضاد للبكتيريا الذي أظهرته نقاط الكربون النانوية إلى خصائصها المورفولوجية الفريدة، التي قد تكون سبب كفاءتها في اختراق الجدار الخلوي للبكتيريا والتفاعل المميت مع مكوناتها الداخلية. وعلاوة على ذلك، أظهرت النتائج تباينا في الحساسية؛ حيث كانت البكتيريا موجبة الغرام (*S. aureus*) أكثر تأثرا بالمادة النانوية مقارنة بالسلالة سالبة الغرام (*E. coli*). فحسب Dunkwu-Okafor وآخرون (2020) يمكن تفسير هذا التباين بالاختلاف البنيوي للجدار الخلوي بين المجموعتين؛ إذ تمتلك البكتيريا سالبة الغرام غشاء خارجيا معقدا غنيا متعدد سكري لبيدي (Lipopolysaccharides)، والذي يعمل كحاجز انتقائي يحد من نفاذية هذه الجسيمات النانوية. وفي المقابل، تفتقر البكتيريا موجبة الغرام لهذا الغشاء،

مما يجعل جدارها الببتيدوجليكاني السميك والمسامي أكثر نفاذية وقابلية لاختراق نقاط الكربون النانوية وتخريب هياكلها البنيوية والوظيفية.

5. تقييم النشاط المضاد للالتهاب

تم تقييم النشاط المضاد للالتهاب لكل من المستخلص الخام وجسيمات CDs اعتمادا على اختبار تثبيت غشاء كريات الدم الحمراء (MSA) واختبار تثبيط تمسخ بروتين BSA، باعتبارهما من الاختبارات المخبرية الشائعة للكشف عن الفعالية المضادة للالتهاب. وقد تم اعتماد المنحنيات القياسية الخاصة بهذه الاختبارات لحساب قيم التثبيط، وهي موضحة في الملحق رقم (3).

جدول (06): نتائج تقييم النشاط المضاد للالتهاب للمستخلص الخام وCDs.

Test / Ex	MSA	BSA
	I %	IC_{50} (mg/mL)
Ex	-----±0.154***	-----±0.231***
CDs	-----±0.409***	-----±0.159***
Salicylic acid	-----±0.358	ND
Aspirin	ND	-----±0.743

Ex: المستخلص الخام؛ CDs: الجسيمات الكربونية النانوية؛ ND: لم تحدد؛ القيم عبارة عن المتوسط الحسابي ± الانحراف المعياري (n =3)؛ ***: التباين المعنوي بين كل عينة والمركب المرجعي ($p = 0.001$).

ظهرت النتائج المبينة في الجدول أعلاه امتلاك كل من المستخلص الخام وجسيمات CDs المحضرة نشاطا مضادا للالتهاب بدرجات متفاوتة في كلا الاختبارين المستعملين. ففي اختبار تثبيت غشاء كريات الدم الحمراء، سجلت المادة النانوية CDs نسبة تثبيط عالية، وهي قيمة تتفوق بوضوح على تلك المسجلة في المستخلص الخام. ومع ذلك، بقيت هذه الفعالية أقل معنويا ($p < 0.001$) وبفارق ضئيل من الفعالية المسجلة للمركب المرجعي (حمض الساليسيليك)، الذي أظهر أعلى فعالية تثبيط.

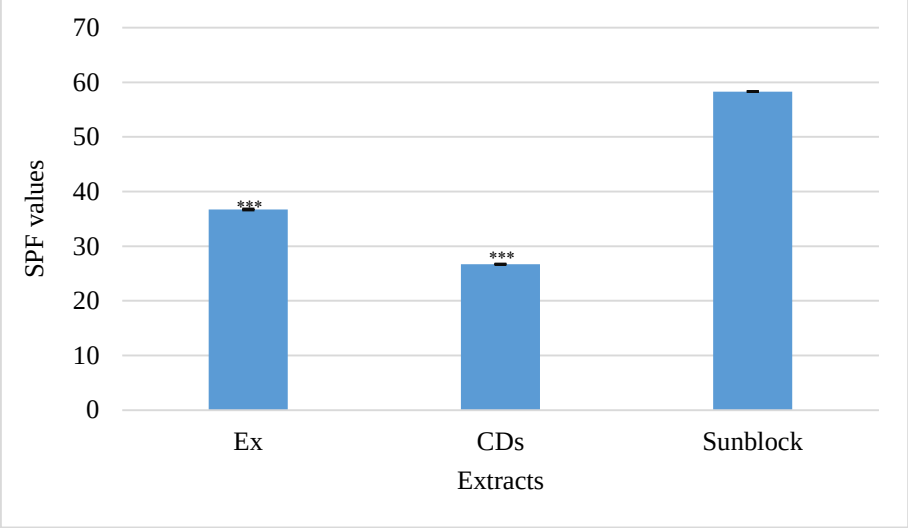
أما بالنسبة لاختبار تثبيط تمسخ بروتين BSA، فقد أبدت الجسيمات النانوية قيمة للـ IC_{50} منخفضة مقارنة بتلك المسجلة عند المستخلص الخام، حيث تدل هذه النتيجة على الكفاءة الأفضل للجسيمات النانوية في تثبيط تمسخ البروتينات. وعلى الرغم من ذلك، كشف التحليل الإحصائي عن وجود فروق ذات دلالة إحصائية عالية ($p < 0.001$) عند مقارنة كلا العينتين بالمركب القياسي والمتمثل في الأسبرين، الذي سجل أدنى قيمة تجريبية.

تتناسب هذه النتائج مع ما توصل إليه (Priyadarshini and Lakshmi, 2024) في دراستهم التي بينت أن للمستخلصات الميثانولية لأنواع من جنس *Solanum* قدرة مضادة للالتهاب لمجموعة متنوعة من الاختبارات المخبرية، بما في ذلك تلك التي تم اعتمادها في هذه الدراسة. وخلصت الدراسة إلى أن هذا النشاط يرجع بشكل أساسي إلى وجود مركبات أيضية ثانوية تعمل على حماية الأغشية الخلوية والبروتينات من التلف الناتج عن المؤكسدات ومحفزات الالتهاب. وتدعم هذه النتائج ما توصلنا إليه في دراستنا، حيث أكدت على القدرة الواعدة لمستخلصات جنس *Solanum* كعوامل طبيعية مضادة للالتهاب.

ويمكن أن يعزى التحسن الملحوظ في النشاط المضاد للالتهاب لدى الـ CDs مقارنة بالمستخلص الخام إلى صغر حجم هذه الجسيمات وارتفاع مساحة سطحها النوعية، مما يعزز من تفاعلها مع الأغشية والبروتينات الحيوية. وقد يساهم أيضا الحجم النانوي في تحسين النفاذية والتفاعل مع المواقع الالتهابية، وبالتالي رفع الكفاءة الحيوية. وعليه، فإن النتائج المتحصل عليها تؤكد الإمكانات البيولوجية لمشتقات الباذنجان، خاصة بعد تحويلها إلى مواد نانوية كربونية، في تعزيز النشاط المضاد للالتهاب وإمكانية توظيفها مستقبلا في التطبيقات العلاجية الحيوية.

6. تقييم نتائج SPF والتحلل الضوئي (الثبات الضوئي)

تم تقييم فعالية المستخلص النباتي والنقاط الكربونية في الحماية من الأشعة فوق البنفسجية من خلال اختبار عامل الحماية الشمسية (SPF) ودراسة الثبات الضوئي (Photodegradation).



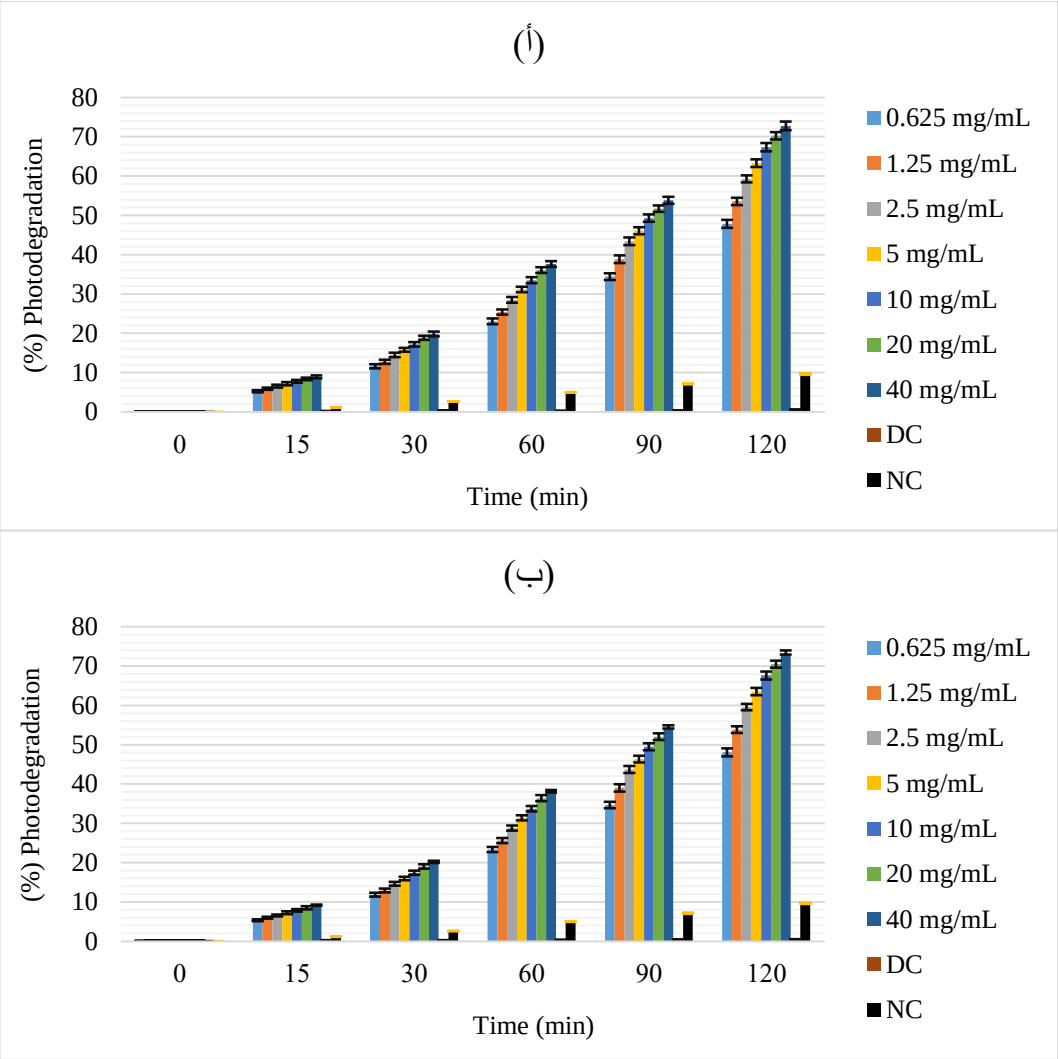
الشكل (07): قيم عامل الحماية من الشمس (SPF) للعينتين المختبرتين مقارنة بواق شمسي.

Ex: المستخلص الخام؛ CDs: الجسيمات الكربونية النانوية؛ القيم عبارة عن المتوسط الحسابي ± الانحراف المعياري (n =3)؛ ***: التباين المعنوي بين كل عينة والمركب المرجعي ($p = 0.001$).

تظهر النتائج تباينا ملحوظا في القدرة الحماية بين العينات المختبرة (الشكل 7)، حيث أبدى واقي الشمس التجاري أعلى قيمة للـ SPF. وهو ما يعكس قدرة عالية جدا على امتصاص أو عكس الأشعة فوق البنفسجية وفقا لتصنيف ISO 24444 (2019) (انظر الملحق 03).

أما بالنسبة للمستخلص الخام وCDs، فقد أظهرها قدرة حماية معتبرة، وإن كانت أقل من حماية المستخلص المرجعي، حيث سجل المستخلص قيمة SPF، بينما سجلت الـ CDs قيمة أقل. ومن الناحية الإحصائية، كان الفرق في قيم SPF بين جميع العينات المختبرة معنويا بشكل واضح ($p < 001$).

يوضح الشكل (08) التقييم المقارن للقدرة التحفيزية الضوئية لكل من المستخلص الخام ونقاط الكربون الناتجة عنه، مقابل صبغة الميثيلين الأزرق في ظل ظروف إضاءة محددة. تم قياس النسبة المئوية للتحلل الضوئي كدالة للوقت وعبر مجموعة واسعة من التركيزات.



الشكل (08): تقييم نشاط التحلل الضوئي للمستخلص (أ) ونقاط الكربون (ب).

القيم عبارة عن المتوسط الحسابي ± الانحراف المعياري (n =3).

يظهر كل الشكل أعلاه بشطريه (أ) و(ب) اتجاه زيادة متطابقة تقريبا. فكلا العينتين، أظهرت نشاطا للتحلل الضوئي يعتمد بشكل كبير على التركيز والوقت. ففي التراكيز المنخفضة (0.625 – 2.5 mg/mL) كانت معدلات التحلل الأولي بطيئة، لكنها تزايدت تدريجيا مع مرور الوقت. وعند التراكيز الأعلى (5 – 40 mg/mL)، تم ملاحظة زيادة حادة في النسبة المئوية للتحلل، خاصة في الفترة ما بين 60 - 120 min، والتي ووصلت أقصاها عند الدقيقة 120 تحديدا.

أما بالنسبة لعنصري التحكم الظلامي (DC) أو السالب (NC) فقد أظهرا نشاط تحلل ضعيف جدا طوال التجربة. وهذا ما يؤكد أن التحلل يحتاج إلى طاقة ضوئية وأن التحلل الذاتي للصبغة في ظل ظروف الإضاءة المستخدمة ليس عاملا مساهما.

تتوافق النتائج المتحصل عليها بالنسبة لاختبار SPF مع دراسات سابقة، حيث وجد Kalalinggi وآخرون (2024) أن المستخلص المائي للباذنجان البري يظهر فعالية واعدة كواقيات شمسية، على الرغم

من أن نتيجتهم كانت أقل مما تحصلنا عليه. ويعزى ذلك إلى وجود مركبات نشطة بيولوجيا، خاصة المركبات عديدات الفينول منها؛ والمعروفة بقدرتها على امتصاص الأشعة فوق البنفسجية.

كما تشير النتائج إلى أن المستخلص النباتي يظهر قدرة ملحوظة على امتصاص الأشعة فوق البنفسجية، ومن المرجح أن يكون ذلك بسبب محتواه الغني بالمركبات الفينولية ومضادات الأكسدة الطبيعية التي يمكنها امتصاص الإشعاع فوق البنفسجي بفعالية وتقليل آثاره الضارة. وبالنسبة للنقاط الكربونية، على الرغم من أن قيمة SPF المسجلة كانت أقل من المستخلص الخام، إلا أنها أظهرت فعالية كبيرة في توفير الحماية من الأشعة فوق البنفسجية. وقد يرجع ذلك إلى وجود مجموعات وظيفية سطحية أو هيكل بنيوي محدد يساهم في امتصاص جزء من الإشعاع فوق البنفسجي.

علاوة على ذلك، تشير الزيادة التدريجية في الامتصاصية بمرور الوقت إلى أن العينات تحافظ على خصائصها البصرية دون الخضوع لتحلل سريع أثناء التعرض للأشعة فوق البنفسجية. ويمكن تفسير هذا الاستقرار الكبير للمستخلص النباتي من خلال وفرة المركبات النشطة بيولوجيا القادرة على مقاومة التحلل الضوئي وتقليل التأثيرات الناتجة عن التعرض الطويل للأشعة فوق البنفسجية. وفي المقابل، يشير الاستقرار المقبول للنقاط الكربونية إلى أن البنية النانوية الكربونية قادرة على مقاومة التغيرات الكيميائية أو التفكك المستحث بالتعرض الإشعاعي. وبشكل عام، تؤكد النتائج التي تم الحصول عليها أن كل من المستخلص النباتي والنقاط الكربونية المعدة يظهران خصائص واعدة كعوامل واقية من الأشعة فوق البنفسجية، سواء من حيث كفاءة الحماية الشمسية أو الاستقرار الضوئي، مما يدعم إمكانية استخدامها كبدائل واعدة في المستحضرات التجميلية والصيدلانية ذات الصلة بمواد الواقية من الشمس.

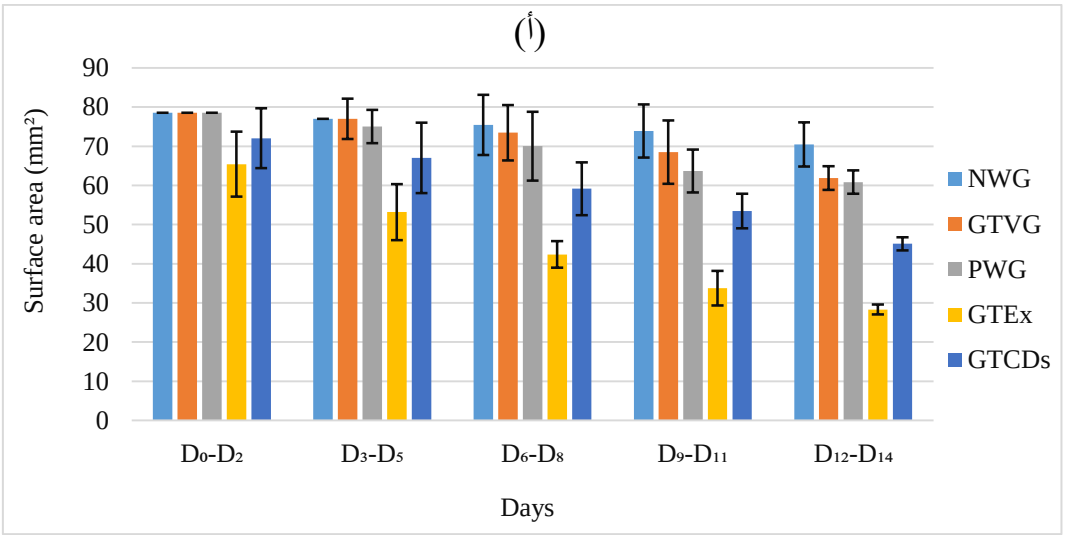
7. خصائص الكريمة

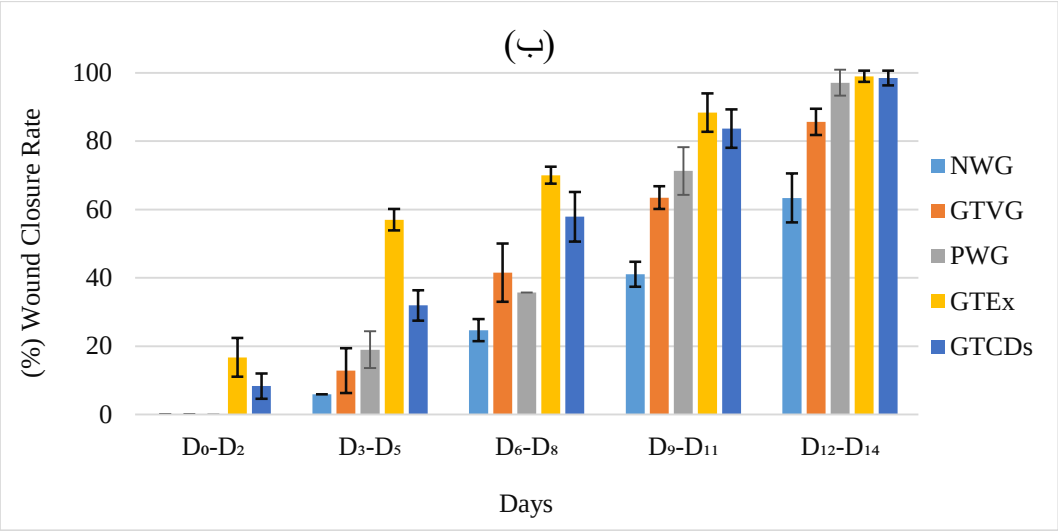
أظهرت كل من التركيبتين (Ex وCDs) خصائص فيزيائية وحسية مناسبة للاستعمال الموضعي، حيث تميزتا بالتجانس وخلوهما من التكتلات المرئية مع قوام كريمي ناعم سهل الفرد على سطح الجلد ورائحة مقبولة. وقد لوحظ اختلاف في اللون بين التركيبتين، إذ اتسمت تركيبة Ex بلون بني متجانس، في حين أظهرت تركيبة CDs لونا بنيا مصفرا فاتحا. ويمكن أن يعزى هذا الاختلاف إلى طبيعة المادة الفعالة المستخدمة وتركيبها الكيميائي وما تحتويه من مركبات ملونة تؤثر في المظهر النهائي للمستحضر. ومن ناحية الثبات الفيزيائي، لم يلاحظ حدوث أي انفصال للأطوار أو تغيرات واضحة في المظهر خلال فترة التخزين، مما يدل على استقرار التركيبتين وقدرة نظام الاستحلاب على الحفاظ على تجانس مكوناتهما مع مرور الوقت. وتتوافق هذه النتائج مع ما ذكره Chow وآخرون (2024)، حيث أوضحوا أن التجانس البنيوي للمستحلب يساهم في تحسين الثبات الفيزيائي والخصائص الحسية للكريمات ويحد من ظاهرة انفصال الأطوار أثناء التخزين. وعليه، تشير النتائج المتحصل عليها إلى نجاح عملية الصياغة والحصول على كريمتين مستقرتين وذاتا خصائص تطبيقية ملائمة للاستخدام الموضعي.

الشكل (09): الشكل النهائي لمنتج الكريمة العلاجية الموجهة لعلاج الحروق والتئام الجروح (أ): CDs؛ (ب): Ex.

8. تقييم حركية التئام الجروح وكفاءة الانغلاق النسيجي (*In vivo*)

من أجل تقييم الكفاءة العلاجية للمستخلص الخام وCDs في تحفيز التجدد الخلوي على مستوى النموذج الحيواني. انجزت الرسوم البيانية الموضحة في الشكل (05)؛ إذ تعبر الأعمدة البيانية في الجزء (أ) عن مدى تراجع مساحة سطح الإصابة بـ (mm^2)، بينما يترجم الجزء (ب) نسبة المئوية (%) لمعدل انغلاق النسيج الظاهري للجروح تحت تأثير مختلف الصيغ العلاجية المختبرة بدلالة الزمن (أنظر أيضا للملحق 4).





الشكل (10): تقييم ديناميكية التئام الجروح في النموذج الحيواني؛ (أ): مساحة سطح الجرح؛ (ب): معدل انغلاق الجروح.

NWG: مجموعة الشاهد السالب؛ GTVG: المجموعة المعالجة بقاعدة الكريمة؛ PWG: مجموعة المعالجة بكريمة Mebo (الشاهد الموجب)؛ GTEx: المجموعة المعالجة بالكريمة المحضرة بالمستخلص الخام؛ GTCDs: المجموعة المعالجة بالكريمة المحضرة بجسيمات CDs؛ القيم عبارة عن المتوسط الحسابي ± الانحراف المعياري (n =3).

تظهر النتائج التجريبية الممثلة في الشكل (10) تمايزا واضحا واستجابة فسيولوجية متباينة بين مختلف المجموعات الحيوانية المعالجة عبر الفترات الزمنية الممتدة من اليوم الأول (D_0) إلى غاية اليوم الأخير (D_{14}).

أولا: حركية انكماش مساحة سطح الجرح (الشكل 10-أ)

تبين القراءات الأولية خلال المرحلة المبكرة من الإصابة (D_0 - D_2) احتفاظ المجموعتين: الشاهد السالب (NWG) والمجموعة المعالجة بقاعدة الكريمة (GTVG) بمساحة سطحية مرتفعة وقريبة من الأبعاد الابتدائية للإصابة. في المقابل، سجل تراجع مبكر ومعتبر في المساحة السطحية للجروح لدى المجموعة المعالجة بالمستخلص النباتي الخام (GTEx)، تلتها المجموعة المعالجة بالنقاط الكربونية (GTCDs).

مع تقدم التمايز الزمني وضمن الفترتين (D_3 - D_5) و(D6 - D8)، يتضح تسارع وتيرة الانكماش النسيجي بشكل حاد في مجموعة GTEx، حيث انخفضت المساحة بحلول اليوم الثامن، متفوقة بذلك بشكل ملحوظ على المجموعة المرجعية المعالجة بالكريمة التجارية (PWG/Mebo).

خلال الطور النهائي للمراقبة (D_{12} - D_{14})، وصلت المساحة السطحية للجرح في مجموعة GTEx إلى أدنى مستوياتها الفسيولوجية، تلتها مجموعة GTCDs، بينما استمرت مجموعة الشاهد السالب (NWG) في تسجيل أعلى مساحة سطحية، مما يعكس تباطؤ عمليات الترميم الذاتي في غياب المحفزات الحيوية.

ثانيا: المعدل المئوي لانغلاق الجروح (الشكل 10-ب)

تتكامل نتائج القراءات المئوية للانغلاق مع حركية المساحة السطحية؛ حيث أظهرت المجموعة المعالجة بالكريمة المحضرة بالمستخلص النباتي الخام قفزة نوعية مبكرة في معدل الانغلاق منذ الفترة (D_3 - D_5)، متجاوزة الشاهد الإيجابي (PWG) في نفس الفترة.

وفي الفترة الممتدة بين (D_9 - D_{11})، حافظت مجموعة GTEx على صدارتها في معدل انغلاق الجرح، في حين بدأت الفعالية الفسيولوجية للنقاط الكربونية النانوية (GTCDs) تبرز بشكل لافت عند ذات الفترة. عند بلوغ نهاية التجربة (D12 - D14)، تقاربت الفعالية الحيوية لكل من المستخلص النباتي الخام (GTEx)، النقاط الكربونية (GTCDs)، والشاهد الإيجابي (PWG). في المقابل، لم تتعدى نسبة الانغلاق في مجموعة الشاهد السالب(NWG) عتبة 63.377 ± 7.159 %، مما يثبت إحصائيا الكفاءة الفسيولوجية العالية للعينتين المختبرتين في تسريع ترميم البشرة.

تتفق هذه النتائج مع دراسة Shahwar وفريقه (2026) وآخرون التي أشارت إلى أن المعالجة بالمركبات الحيوية والنانوية ساهمت في تسريع تقلص الجرح وتحسين إعادة ترميم النسيج الجلدي مقارنة بالمجموعات الشاهدة. كما أوضحت الدراسة أن النشاط المرتفع لهذه المركبات يرتبط بقدرتها على تحفيز تكاثر الخلايا الليفية وزيادة ترسيب الكولاجين، وهو ما يفسر التحسن الملحوظ المسجل لدى المجموعتين GTEx وGTCDs.

يعزى التفوق الفسيولوجي الملحوظ للمستخلص النباتي الخام في تحفيز وتيرة الالتئام إلى غناه الكيميائي بالمركبات الأيضية الثانوية مثل الفينولات، الفلافونويدات، والتانينات، حيث تلعب هذه الجزيئات الحيوية دورا مزدوجا؛ فهي تعمل كمضادات أكسدة قوية تقوم بكنس الجذور الحرة المرتفعة في موقع الإصابة، مما يحد من الإجهاد التأكسدي المستحث ويحمي الخلايا الليفية (Fibroblasts) والخلايا الكيراتينية (Keratinocytes) من التلف الكيميائي.

علاوة على ذلك، تمتلك هذه العائلة الفيتوكيميائية خصائص مضادة للالتهاب تعمل على تقصير مدة طور الالتهاب الحاد وتسرع الانتقال إلى طور التكاثر الخلوي (Proliferative phase)، وهو ما يفسر الانخفاض الحاد في المساحة السطحية للجرح في الأيام الأولى لدى مجموعة GTEx.

من جهة أخرى، يرجع الأداء المتميز للنقاط الكربونية في مجموعة (GTCDs) إلى الخصائص النانوية الفريدة لهذه الجسيمات؛ حيث تتمتع بمساحة سطحية نوعية ونفاذية خلوية عالية تسمح بالتحرير التدريجي والمنتظم للمجموعات الوظيفية الفعالة المثبتة على سطحها. كما تشير دراسة Mou وفريقه (2022) إلى أن النقاط الكربونية النانوية المشتقة من مصادر طبيعية تمتلك قدرة على تحفيز الهجرة الخلوية (Cell migration) وتنشيط عوامل النمو الوعائي (VEGF)، مما يساهم في تسريع عملية تشكل الأوعية الدموية الجديدة (Angiogenesis) وإعادة بناء النسيج الضام (Granulation tissue) بمرونة ميكانيكية تحاكي الجلد الطبيعي.

الخاتمة

هدفت هذه الدراسة إلى تثمين كأس الباذنجان (*S. melongena*) باعتباره مصدرا طبيعيا غنيا بالمركبات الحيوية، من خلال تحضير المستخلص المائي الخام بطريقة الاستخلاص بالنقع المائي، وتحضير جسيمات كربونية نانوية، ثم تقييم خصائصها البنيوية والبيولوجية، ودراسة إمكانية توظيفها في التطبيقات الصيدلانية والتجميلية، خاصة في مجالات النشاط المضاد للأكسدة، المضاد للالتهابات، المضاد للبكتيريا، الحماية الضوئية، والتئام الجروح.

أظهرت نتائج التقدير الكمي للمركبات الفينولية غنى مستخلص كأس الباذنجان بالمركبات النشطة حيويا، حيث سجلت عديدات الفينول الكلية أعلى قيمة، تلتها الفلافونويدات، ثم التانينات المكثفة والتانينات القابلة للتحلل. وتعكس هذه النتائج الأهمية البيولوجية للمستخلص وارتباطه بخصائصه المضادة للأكسدة والوقائية، بالنظر إلى الدور المعروف للمركبات الفينولية في تثبيط الجذور الحرة والحد من الإجهاد التأكسدي.

كما أكدت نتائج تحليل حيود الأشعة السينية (XRD) نجاح عملية تحضير الجسيمات الكربونية النانوية، حيث أظهرت الأنماط المحصل عليها وجود قمة رئيسية مع قمم أخرى أقل شدة، إضافة إلى خلفية عريضة منخفضة الشدة، مما يدل على امتلاك الجسيمات طبيعة شبه بلورية تجمع بين المناطق المنظمة وغير المتبلورة. وتشير هذه الخصائص البنيوية إلى إمكانية امتلاك الجسيمات النانوية خصائص سطحية وتفاعلية مهمة قد تعزز من فعاليتها البيولوجية والتطبيقية.

وفيما يخص النشاط المضاد للأكسدة، بينت نتائج اختباري DPPH وFRAP أن المستخلص الخام أظهر فعالية أعلى مقارنة بالجسيمات الكربونية النانوية، في حين سجلت الـ CDs أضعف نشاط مضاد للأكسدة. أما بالنسبة للنشاط المضاد للبكتيريا، فقد أظهر المستخلص الخام غياب نشاط تثبيطي واضح ضد السلالات المختبرة، في حين أبدت الجسيمات الكربونية النانوية فعالية معتبرة خاصة تجاه البكتيريا موجبة الغرام *S. aureus*، حيث سجلت قطر تثبيط بلغ 14 mm وقيم MIC وMBC متعادلة موساوية لتركيز 40 mg/mL، مع تأثير قاتل للبكتيريا. كما أظهرت الـ CDs نشاطا تجاه *E.coli* عند التراكيز المرتفعة، رغم عدم ظهور منطقة تثبيط في اختبار الانتشار. كما بينت نتائج النشاط المضاد للالتهابات امتلاك الجسيمات الكربونية النانوية فعالية أعلى مقارنة بالمستخلص الخام في اختباري تثبيت غشاء كريات الدم الحمراء وتثبيط تمسخ الألبومين، حيث سجلت الـ CDs نسبة تثبيط مرتفعة معبر عنها بقيمة IC_{50} منخفضة، مما يدل على قدرتها الجيدة في حماية الأغشية الخلوية والبروتينات من الضرر الالتهابي المحرض حراريا.

ومن جهة أخرى، أظهرت نتائج عامل الحماية الشمسية (SPF) أن المستخلص النباتي يمتلك قدرة عالية على الحماية من الأشعة فوق البنفسجية، في حين أظهرت الجسيمات الكربونية النانوية فعالية معتبرة في الحماية الضوئية. كما بينت نتائج التحلل الضوئي (Photodegradation) امتلاك كل من المستخلص والـ CDs درجة جيدة من الثبات الضوئي، مما يشير إلى قدرتهما على مقاومة التفكك الكيميائي أثناء التعرض

للأشعة فوق البنفسجية، ويعزز إمكانية استخدامهما مستقبلا في مستحضرات الحماية الشمسية والتطبيقات التجميلية.

أما في اختبار التئام الجروح، فقد أكدت النتائج فعالية المعالجات المستعملة في تسريع عملية الالتئام، حيث سجلت المجموعة المعالجة بالمستخلص النباتي أفضل نشاط في تقليص مساحة الجرح وتسريع انغلاقه، تلتها المجموعة المعالجة بالجسيمات الكربونية النانوية. ويحتمل أن يرتبط هذا التأثير بالخصائص المضادة للأكسدة والالتهابات للمستخلص والجسيمات النانوية، إضافة إلى دورها في تحفيز تجدد الخلايا وترميم الأنسجة الجلدية.

وبناء على هذه النتائج، يمكن اعتبار كأس الباذنجان مصدرا واعدا للمركبات الحيوية ذات التطبيقات الصيدلانية والتجميلية، كما تؤكد الدراسة أن تحويل المستخلص النباتي إلى جسيمات كربونية نانوية قد ساهم في تحسين بعض الأنشطة البيولوجية، خاصة النشاط المضاد للبكتيريا والمضاد للالتهابات، رغم انخفاض النشاط المضاد للأكسدة مقارنة بالمستخلص الخام. وتمثل هذه الدراسة خطوة مهمة نحو تطوير أنظمة نانوية خضراء منخفضة التكلفة وصديقة للبيئة، مع ضرورة إجراء دراسات مستقبلية تشمل التقييم السمي، اختبارات الثبات طويلة المدى، والدراسات الحيوية والسريرية قبل اعتماد هذه المواد في التطبيقات العلاجية والصناعية.

التوصيات

من النتائج المتحصل عليها في هذه الدراسة، يمكن اقتراح جملة التوصيات التالية:

- إجراء دراسات متقدمة حول اليات التئام الجروح والتجدد الخلوي المرتبطة باستخدام هذه المواد.
- استغلال مخلفات الباذنجان كمصدر منخفض التكلفة وصديق للبيئة لإنتاج مواد نانوية ذات قيمة مضافة.
- توسيع نطاق الاختبارات المضادة للبكتيريا لتشمل سلالات مقاومة للمضادات الحيوية (Multi-drug resistant strains) من أجل تقييم الإمكانات العلاجية الحقيقية للجسيمات النانوية.
- إجراء تقييمات السمية الخلوية (Cytotoxicity) والاختبارات الحيوية (*In vivo*) للتأكد من أمان استخدام هذه الجسيمات قبل أي تطبيق طبي أو صيدلاني محتمل.
- دراسة الاستقرار الفيزيائي والكيميائي طويل المدى للجسيمات الكربونية النانوية، خاصة في الظروف البيئية المختلفة، لضمان فعاليتها في التطبيقات التجميلية والصيدلانية.
- استغلال الخصائص المضادة للأكسدة، المضادة للالتهابات، والحماية الضوئية في تطوير مستحضرات تجميلية وواقيات شمسية طبيعية قائمة على مواد نباتية نانوية صديقة للبيئة.
- اجراء دراسات سريرية مستقبلية لتأكيد فعالية وأمان هذه المواد في التطبيقات الطبية والتجميلية.
- مقارنة هذه النتائج مع مصادر نباتية أخرى من نفس العائلة النباتية (Solanaceae) لتحديد أفضل المواد الخام من حيث الفعالية البيولوجية والتطبيقية.

المراجع

- Ahmed, S. F., Mofijur, M., Rafa, N., Chowdhury, A. T., Chowdhury, S., Nahrin, M., Islam, M. A., Ong, H. C., Mahlia, T. M. I., and Badruddin, I. A. (2021). Industrial resource recovery from agricultural and bio-wastes for sustainable bioeconomy. Environmental Technology and Innovation, 24, 101974.
- Akerman, I. (2024). A Great Responsibility: Biodiversity Crisis in the Royal Botanic Gardens, Kew. Environmental History, 29(3), 447-473.
- Alia, F., Chouikh, A., Djahra, A. B., Brahim, A. B., Nani, S., and Tliba, A. (2021). Comparative study of some physicochemical and biological properties of effect host species variation on the relationship Saharan parasitic plant *Cistanche violacea* (Desf.) Beck. Notulae Scientia Biologicae, 13(4), 11054. https://doi.org/10.15835/nsb13411054
- Atanasov, A. G., (2015). Discovery and resupply of pharmacologically active plant-derived natural products. Biotechnology Advances, 33(8), 1582–1614. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.08.001
- Bailey-Shaw, Y. A., Williams, L. A., Green, C. E., Rodney, S., and 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.
- Bhatia, H., Sharma, Y. P., Manhas, R. K., and Kumar, K. (2015). Traditionally used medicinal plants of district Udhampur, JandK, India. Journal of Andhnopharmacology, 174, 187–202. https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.08.014
- Blanpain, C., and Fuchs, E. (2009). Epidermal stem cells of the skin. Annual Review of Cell and Developmental Biology, 25, 585–610.
- Bonev, B., Hooper, J., and Parisot, J. (2008). Principles of assessing bacterial susceptibility to antibiotics using the agar diffusion mandhod. Journal of antimicrobial chemotherapy, 61(6), 1295-1301
- Bose, T. K., Kabir, J., Maity, T. K., Parthasarathy, V. A., and Som, M. G. (2002). Vegandable crops. Naya Prokash.
- Boulais, N., and Misery, L. (2008). The epidermis: A sensory tissue. European Journal of Dermatology, 18(2), 119–127.
- Breijyeh, Z., and Karaman, R. (2024). Antibacterial activity of medicinal plants and their role in wound healing. Future Journal of Pharmaceutical Sciences, 10(1), 68. https://doi.org/10.1186/s43094-024-00634-0•Cedillo

- Chamanga, E. T. (2018). Clinical management of non-healing wounds. Nursing Standard, 32(29), 48–62. https://doi.org/10.7748/ns.2018.e10829.
- Chaouche, T. M., Haddouchi, F., Ksouri, R., Medini, F., and Atik-Bekara, F. (2013). *In vitro* evaluation of antioxidant activity of the hydro-mandhanolic extracts *of Juniperus oxycedrus* subsp. oxycedrus. Phytothérapie, 11(4), 244-249.
- Chase, M. W., Christenhusz, M. J., Fay, M. F., Byng, J. W., Judd, W. S. and Stevens, P. F. (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. Botanical journal of the Linnean Sociandy, 181(1), 1-20.
- Choudhary, S. (2024). Formulation and Evaluation of topical antimicrobial herbal cream. Journal of Pharma Insights and Research, 2(1), 097-101.
- Chouikh, A., Chemsa, A. E., Aounallah, C., Aounallah, I., and Alia, F. (2020). Phytochemical study, nutritive value, antioxidant and anti-inflammatory activities of phenolic extracts from desert plant *Calligonum comosum* L'Hér. Algerian journal of Biosciences, 1(2), 68-75.
- Contreras-Angulo, L. A., Moreno-Ulloa, A., Carballo-Castañeda, R. A., León-Félix, J., Romero-Quintana, J. G., Aguilar-Medina, M., and Heredia, J. B. (2022). Mandabolomic analysis of phytochemical compounds from agricultural residues of eggplant (*Solanum melongena* L.). Molecules, 27(20), 7013. https://doi.org/10.3390/molecules27207013
- Contreras-Angulo, L. A., Moreno-Ulloa, A., Carballo-Castañeda, R. A., León-Félix, J., Romero-Quintana, J. G., Aguilar-Medina, M., Ramos-Payán, R., and Heredia, J. B. (2022). Mandabolomic analysis of phytochemical compounds from agricultural residues of eggplant (*Solanum melongena* L.). Molecules, 27(19), 6271.https://doi.org/10.3390/molecules27196271
- Cortezano, M., Martinez-Cuevas, L. R., Márquez López, J. A., Barrera López, I. L., Escutia-Perez, S., and Pandricevich, V. L. (2024). Use of medicinal plants in the process of wound healing: A literature review. Pharmaceuticals.
- Docimo, T., Francese, G., Ruggiero, A., Batelli, G., De Palma, M., Bassolino, L., and Tucci, M. (2016). Phenylpropanoids accumulation in eggplant fruit: characterization of biosynthetic genes and regulation by a MYB transcription factor. Frontiers in Plant Science, 6, 1233.
- Dunkwu-Okafor, A., Atuanya, E. I., and Obayagbona, O. N. (2020). Proximate, Phytochemical Profiling and Antibacterial Activity of Aqueous *Solanum melongena* Linn Leaf Extract. NIPES Journal of Science and Technology Research, 2(4), 42-48.

- Fabert, C.-M. (2011). Le papayer, *Carica papaya* L., de la médecine traditionnelle à la médecine actuelle: Études botanique and pharmacognosique (Thèse de doctorat en pharmacie, Université de Limoges, Faculté de Pharmacie).
- Faruq, A. A., Ibrahim, M., Mahmood, A., Chowdhury, M. M. U., Rashid, R. B., Kuddus, M. R., and Rashid, M. A. (2014). Pharmacological and phytochemical screenings of andhanol extract of *Leea macrophylla* Roxb. Innovations in Pharmaceuticals and Pharmacotherapy, 2(1), 321–327.
- Fiesel, P. D., Parks, H. M., Last, R. L., & Barry, C. S. (2022). Fruity, sticky, stinky, spicy, bitter, addictive, and deadly: evolutionary signatures of metabolic complexity in the Solanaceae. Natural product reports, 39(7), 1438-1464.
- Ghosh, S. K., and Senapati, B. K. (2002). Efficacy of neem-based pesticides against Epilachna beandle in vegandable crops. Journal of Plant Protection.
- Gonzalez, A. C. de O., Costa, T. F., Andrade, Z. A. de A., and Medrado, A. R. A. P. (2016). Wound healing: A literature review. Anais Brasileiros de Dermatologia, 91(5), 614–624. https://doi.org/10.1590/abd1806-4841.2016474.
- Guerriero, G., Berni, R., Muñoz-Sanchez, J. A., Apone, F., Abdel-Salam, E. M., Qahtan, A. A., (2018). Production of plant secondary mandabolites: Examples, tips and suggestions for biotechnologists. Genes, 9(6), 309. https://doi.org/10.3390/genes9060309
- Gürbüz, N., Uluişik, S., Frary, A., Frary, A., and Doğanlar, S. (2018). Health benefits and bioactive compounds of eggplant. Food Chemistry, 268, 602–610. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.093.
- International Standard ISO 24444 (2019) - Cosmandics - Sun Protection Test mandhods -*in-vivo* dandermination of the sun protection factor (SPF).
- Jiao, Q., Zhi, L., You, B., Wang, G., Wang, N., and Jia, Y. (2020). Skin homeostasis: Mechanism and influencing factors. Journal of Cosmandic Dermatology, 23(5), 1518–1526. https://doi.org/10.1111/jocd.16155
- Jelinek, R. (2017). Carbon Quantum Dots: Synthesis, Properties and Applications. Springer International Publishing.
- Kadoglidou, K. I., Krommydas, K., Ralli, P., Mellidou, I., Kalyvas, A., and Irakli, M. (2022). Assessing physicochemical paramanders, bioactive profile and antioxidant status of different fruit parts of Greek eggplant germplasm. Horticulturae, 8(12), 1113. https://doi.org/10.3390/horticulturae8121113

- Kalalinggi, S. Y., Rasidah, and Yuliana. (2024). *In vitro* Activity of Andhanol Extract of Sour Eggplant Fruit (*Solanum ferox*) as an Active Ingredient in Sunscreen Formulations. Indonesian Journal of Chemical Analysis (IJCA), 7(1), 72-81.
- Kalaycıoğlu, Z., Özuğur Uysal, B., Pekcan, Ö., and Erim, F. B. (2023). Efficient Photocatalytic Degradation of Mandhylene Blue Dye from Aqueous Solution with Cerium Oxide Nanoparticles and Graphene Oxide-Doped Polyacrylamide. ACS Omega, 8(14), 13004-13015.https://doi.org/10.1021/acsomega.3c00198.
- Kaunda, J. S., and Zhang, Y. J. (2019). The genus *Solanum*: An andhnopharmacological, phytochemical and biological review. Journal of Andhnopharmacology, 230, 150-172.
- Knapp, S., Vorontsova, M. S., and Prohens, J. (2013). Wild Relatives of the Eggplant (*Solanum melongena* L.: Solanaceae): New Understanding of Species Names in a Complex Group. PLoS ONE, 8(2), e57039. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057039
- Kumar, S., Kalloo, G. (2000). Eggplant production and improvement. Indian Agricultural Research Institute.
- Kumarasamyraja, D., Jeganathan, N. S., and Manavalan, R. (2012). A review on medicinal plants with potential wound healing activity. International Journal of Pharma Sciences, 2(4), 101–107.
- Lee, S. H., Jeong, S. K., and Ahn, S. K. (2006). An update of the defensive barrier function of skin. Yonsei Medical Journal, 47(3), 293–306.
- Mansur, J. D. S., Breder, M. N. R., Mansur, M. C. D. A., and Azulay, R. D. (1986). Danderminaçäo do fator de proteçäo solar por espectrofotomandria. Brasileiros de Dermatologia, 121-124.
- Marzvanyan, A., and Alhawaj, A. (2019). Cutaneous sensory system: Structure and function of sensory nerve fibers in skin. (Review article in dermatological neuroscience literature).
- Mou, C., Wang, X., Teng, J., Xie, Z., and Zheng, M. (2022). Injectable self-healing hydrogel fabricated from antibacterial carbon dots and ε-polylysine for promoting bacteria-infected wound healing. Journal of Nanobiotechnology, 20(1), 368.
- Mori, M., Cozzolino, E., Di Mola, I., Ottaiano, L., Di Meo, A., Mormile, P., and Rippa, M. (2026). Yield, nutritional, and thermal responses of landtuce (*Lactuca sativa*) and eggplant (*Solanum melongena*) under greenhouse covers with different UV-B transmittance. Plants, 15(6), 863.

- Nasrollahzadeh, M., Sajjadi, M., Sajadi, S. M., and Issaabadi, Z. (2019). Green nanotechnology. In A. Hubbard (Ed.), Interface Science and Technology (Vol. 28, pp. 145–198). Elsevier.
- Niño-Medina, G., Urías-Orona, V., Muy-Rangel, M. D., and Heredia, J. B. (2017). Structure and content of phenolics in eggplant (*Solanum melongena*) - a review. South African Journal of Botany, 111, 161–169. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.03.016
- Ossamulu, I. F., Akanya, H. O., Jigam, A. A., and Egwim, E. C. (2014). Evaluation of nutrient and phytochemical constituents of four eggplant cultivars. Elixir Food Science, 73, 26424–26428.
- Plazas, M., Andújar, I., Villanova, S., Hurtado, M., Gramazio, P., Herraiz, F. J., and Prohens, J. (2013). Breeding for chlorogenic acid content in eggplant: Interest and prospects. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 41(1), 26–35.
- Priyadarshini, M. R., and Devi, N. L. (2024). Anti-albumin denaturation, trypsin inhibition and RBC membrane stabilization as possible mechanism for anti-inflammatory activity of mandhanol leaf extracts of *Solanum* species. International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 15(3), 726-732.
- Qing, C. (2017). The molecular biology in wound healing and non-healing wound. Chinese Journal of Traumatology, 20(4), 189–193. https://doi.org/10.1016/j.cjtee.2017.06.001
- Saad, H. (2013). Développement de bio-composites à base de fibres végétales and de colles écologiques. Thèse de doctorat, Université de Pau and des Pays de l'Adour, France.
- Sayre, R. M., Agin, P. P., LeVee, G. J., and Marlowe, E. (1979). A comparison of *in vivo* and *in vitro* testing of sunscreening formulas. Photochemistry and photobiology, 29(3), 559-566.
- Sadh, P. K., Duhan, S., and Duhan, J. S. (2018). Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: A review. Bioresources and Bioprocessing, 5(1), 1-15.
- Schwalbe, R., Steele-Moore, L., and Goodwin, A. C. (2007). Antimicrobial susceptibility testing protocols. Crc Press.
- Shah, V. V., Shah, N. D., and Patrekar, P. V. (2013). Medicinal plants from Solanaceae family. Research Journal of Pharmacy and Technology, 6(2), 143–150. http://www.rjptonline.org
- Shahwar, D., Zafar, K., Abbas, M., Anjum, F., Haider, W., Zafar, M. G., Zafar, M. H., Hussain, T., Rasool, G., Ejaz, M. R. H., and Akter, Q. S. (2026). Unveiling the antioxidant

profiling, cytotoxicity and wound healing potential of biocompatible silver nanoparticles synthesized using *Solanum melongena*. Food Science and Nutrition, 14, e71569.

- Sharma, N., Sharma, I., and Bera, M. K. (2022). Microwave-assisted green synthesis of carbon quantum dots derived from *Calotropis gigantea* as a fluorescent probe for bioimaging. Journal of Fluorescence, 32(3), 1039-1049.
- Sharma, S., Kumar, A., and Singh, R. (2022). Green synthesis of carbon quantum dots: An eco-friendly approach for biomedical applications. Nanomaterials, 12(15), 2540.
- Shedoeva, A., Leavesley, D., Upton, Z., and Fan, C.(2019). Wound healing and the use of medicinal plants. Wound Repair and Regeneration, 27(5), 467–482.
- Silva, G. F. P., Pereira, E., Melgar, B., Stojković, D., Soković, M., Calhelha, R. C. (2020). Eggplant fruit (*Solanum melongena* L.) and bio-residues as a source of nutrients, bioactive compounds, and food colorants. Applied Sciences, 11(1), 151.
- Singh, A. K. J. P., Adnan, M., Patel, M., and 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
- Singlandon V., and Rossi J., (1965): Colorimandry of total phenolic compounds with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture, 16: 144-158.
- Soumyamol, N., and Sheeba, M. J. (2023). Eggplant (*Solanum melongena* L.) in contemporary agriculture: A comprehensive review. International Journal of All Research Education and Scientific Mandhods, 11(10), 652. http://www.ijaresm.com
- Suarez-Arnedo, A., Figueroa, F. T., Clavijo, C., Arbeláez, P., Cruz, J. C., and Muñoz-Camargo, C. (2020). An image J plugin for the high throughput image analysis of *in vitro* scratch wound healing assays. PloS one, 15(7), e0232565.
- Thangapazham, R. L., Sharad, S., and Maheshwari, R. K. (2013). Skin regenerative potentials of curcumin. BioFactors, 39(1), 141–149. https://doi.org/10.1002/biof.1079
- Tiwari, A., Sharma, P., and Singh, R. (2021). Morphological characterization of brinjal (*Solanum melongena* L.) cultivars. Journal of Plant Science and Research.
- Tlili, M. L., Alia, F., Bahri, E., Beyat, T., Redouan, K., and Lanez, E. (2025). *In vivo* evaluations of the antidiabandic and antioxidant effects of *Olea europaea* L.(Chemlali variandy) leaves. Acta Periodica Technologica, (00), 3-3.

- Twaij, B. M., and Hasan, M. N. (2022). Bioactive secondary mandabolites from plant sources: Types, synthesis, and their therapeutic uses. International Journal of Plant Biology, 13(1), 4–14. https://doi.org/10.3390/ijpb13010002.
- Velnar, T., Bailey, T., and Smrkolj, V. (2009). The wound healing process: An overview of the cellular and molecular mechanisms. Journal of International Medical Research, 37(5), 1528–1542. https://doi.org/10.1177/147323000903700531
- Wawrosch, C., and Zotchev, S. B. (2021). Production of bioactive plant secondary mandabolites through in vitro technologies—status and outlook. Applied Microbiology and Biotechnology, 105, 6649–6668. https://doi.org/10.1007/s00253-021-11539-w
- Wayne, P. (2010). Clinical and Laboratory Standards Institute: Performance standards for antimicrobial susceptibility testing: 20th informational supplement. CLSI document M100-S20.
- Wiart, C., Tan, P. L., Rajagopal, M., Chew, Y. L., Leong, M. Y., Tan, L. F., and Yap, V. L. (2024). Review of Malaysian medicinal plants with potential wound healing activity. BMC Complementary Medicine and Therapies, 24(1), 268. https://doi.org/10.1186/s12906-024-04548-5.
- Wink, M. (2015). Modes of action of herbal medicines and plant secondary mandabolites. Medicines, 2(3), 251–286. https://doi.org/10.3390/medicines2030251.
- Wolny, D., Štěpánek, L., Horáková, D., Thomas, J., Zaplandalová, J., and Patel, M. S. (2024). Risk factors for non-healing wounds—A single-centre study. Journal of Clinical Medicine, 13(4), 1003.
- Yang, F., Bai, X., Dai, X., and Li, Y. (2009). The biological processes during wound healing. Regenerative Medicine.
- Zengin, G., Aktumsek, A., Guler, G. O., Cakmak, Y. S., and Yildiztugay, E. (2011). Antioxidant Properties of Mandhanolic Extract and Fatty Acid Composition of *Centaurea urvillei* DC. subsp. hayekiana Wagenitz. Records of Natural Products, 5(2).
- Zhang, Y., Li, X., and Wang, J. (2022). Phenolic compounds and stress responses in *Solanum* species. Plant Physiology and Biochemistry.
- علية، ف. (2022). المساهمة في دراسة العلاقة الفيتوكيميائية والفيزيولوجية التطفلية بين نبات الذنون *Cistanche violace* (Desf.) Beck. الطفيلي والنباتات المضيفة له الزيتة *Limoniastrum guyoniaum* Dur. والباقل *Haloxylon articulatum* Bioss. أطروحة مقدمة لنيل شهادة دكتوراه LMD، جامعة الوادي، ص 49-50