JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السابع والاربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٨هـ
العدد السابع والاربعون
(٣٥٧) (٣٧٧)

التخليق الأخضر لجسيمات الفضة النانوية بواسطة نبات الأكاسيا واستخدامه كطلاء واقٍ ضد تآكل الحديد

م.م ياسر محمود ياسر حسين
الجامعة المستنصرية / كلية التربية الاساسية
yasirmahmood@uomustansiriyah.edu.iq

المستخلص:

تستعرض هذه الدراسة إمكانية تطوير طلاء واقٍ صديق للبيئة للحديد باستخدام جسيمات الفضة النانوية (AgNPs) المصنعة حيوياً عبر "التخليق الأخضر" باستخدام مستخلص نبات الأكاسيا. تهدف الدراسة إلى استغلال الخصائص الكيميائية الفريدة والجيدة للمستخلص النباتي ليعمل كعامل اختزال طبيعي ومثبت سطحي (Capping Agent) فعال، مما يغني عن استخدام المواد الكيميائية الضارة ويدعم توجهات الكيمياء الخضراء في تقليل البصمة الكربونية للعمليات الصناعية. وقد خضعت الجسيمات المحضرة لسلسلة من الفحوصات الدقيقة حيث أكدت تقنية حيود الأشعة السينية (XRD) الحصول على بناء بلوري مكعب (FCC) عالي النقاوة، بينما كشفت صور المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) عن توزيع متجانس لجسيمات كروية وأحجام نانوية دقيقة تتراوح بين (١٠–٢٥) نانومتر، بالإضافة إلى تأكيد تقنية مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR) لدور المجموعات الوظيفية (OH) و(C=O) في تحقيق الاستقرار الهيكلي للجسيمات ومنع ظاهرة التكتل (Agglomeration) التي قد تؤثر على كفاءة الطلاء.

وفي الجانب التطبيقي، أُجريت اختبارات الغمر في محلول كلوريد الصوديوم بتركيز (٣.٥%) لمدة ٤٨ ساعة لمحاكاة ظروف التآكل الملحية القاسية التي تتعرض لها المنشآت الحديدية. أظهرت النتائج التجريبية قدرة استثنائية لطبقة الطلاء النانوي في حماية السطح المعدني إذ انخفض معدل تآكل الحديد بشكل ملحوظ من (٠.٠٠٠٣١٢٥) جم/سم².س للعينات غير المطلية إلى (٠.٠٠٠٠٠٨٣٣) جم/سم².س للعينات المعالجة بالطلاء النانوي. وبناءً على هذه المعطيات، حقق الطلاء الواقي كفاءة تثبيط للتآكل (Inhibition Efficiency) بلغت (٧٣.٣%)، مما يشير إلى أن

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السابع والاربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٨هـ

آلية الحماية تعتمد على الامتزاز الفيزيائي (Physisorption) للمركبات العضوية على سطح المعدن، مما يخلق حاجزاً متيناً يمنع وصول الأيونات المسببة للتآكل إلى القاعدة المعدنية ويقلل من نشاط التفاعلات الكهروكيميائية الضارة. وتخلص هذه الدراسة إلى أن دمج التكنولوجيا النانوية مع المستخلصات النباتية يوفر حلاً تقنياً مستداماً وفعالاً لحماية الحديد.

الكلمات المفتاحية: . الفضة النانوية ، الاكاسيا ، الحديد .

Green synthesis of silver nanoparticles using the Acacia plant and their application as a protective coating against iron corrosion.

Assistant Professor
Yasir Mahmood Yasir Hussein
Al-Mustansiriya University – College of Basic Education
yasirmahmood@uomustansiriyah.edu**.iq**

Abstract:

This study explores the potential for developing an eco-friendly protective coating for iron using biosynthesized silver nanoparticles (AgNPs) produced via "green synthesis" with Acacia plant extract. The study aims to leverage the unique chemical properties of the plant extract—acting as both a natural reducing agent and an effective capping agent—thereby eliminating the need for harmful chemicals and supporting green chemistry principles by reducing the carbon footprint of industrial processes. The prepared particles underwent a series of rigorous analyses: X-ray diffraction (XRD) confirmed the formation of a high-purity face-centered cubic (FCC) crystalline structure, while scanning electron microscopy (SEM) images revealed a uniform distribution of spherical, nanoscale particles ranging from 10 to 25 nm in size. Additionally, Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) confirmed the role of functional groups (–OH and C=O) in stabilizing the particle structure and preventing agglomeration, which could otherwise compromise coating efficiency. In the practical phase, immersion tests were conducted in a 3.5% sodium chloride solution for 48 hours to simulate the harsh saline corrosion conditions to which iron structures are exposed. Experimental results demonstrated the nano-coating's exceptional ability to protect the metal surface; the iron corrosion rate dropped significantly from 0.0003125 g/cm²•h for uncoated samples to

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السابع والاربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٨هـ

0.0000833 g/cm²•h for nano-coated samples. Based on these data, the protective coating achieved a corrosion inhibition efficiency of 73.3%, indicating that the protection mechanism relies on the physisorption of organic compounds onto the metal surface. This indicates that the protection mechanism relies on the physisorption of organic compounds onto the metal surface, creating a robust barrier that prevents corrosive ions from reaching the metal substrate and reduces the activity of detrimental electrochemical reactions. The study concludes that integrating nanotechnology with plant extracts offers a sustainable and effective technical solution for protecting iron.

Keywords: Nanosilver, Acacia, Iron.

المقدّمة.

شهدت تكنولوجيا النانو خلال السنوات الاخيرة توسعًا عالميا عاليا، إذ أصبحت الجسيمات النانوية المعدنيّة عنصرًا اساسيا و محوريًا مهما في تطوير المواد الهندسية والطبية والأصباغ ومجالات الطاقة ذات أداء مُحسَّن ووظائف تطبيقية متقدمة(Sharma,G et al., 2021) وتمتاز هذه الجسيمات النانوية بصغر حجمها الذي يمنحها مساحة سطح عالية وخصائص كيميائية وفيزيائية مختلفة تمامًا عن نظيراتها الضخمة، مما جعلها ذات قيمة عالية في مجالات مثل الطب والادوية ، و الطاقة بانواعها، والهندسة وعلوم المواد والالكترونيات،. ومن بين هذه المواد، (Ramesh et al., 2020)

وتحظى جسيمات الفضة النانوية باهتمام كبير ومتزايد في الأوساط العلمية والصناعية على حد سواء، ويعزى ذلك إلى الخصائص الفيزيائية والكيميائية الفريدة والمتميزة التي تكتسبها عند اختزال حجمها إلى المقياس النانوي .

فمن الناحية الكيميائية التطبيقية، تمنح النسبة العالية لمساحة السطح إلى الحجم لهذه الجسيمات طاقة سطحية هائلة ووفرة في المواقع النشطة، مما يجعلها محفزات كيميائية (Nanocatalysts) فائقة الكفاءة قادرة على تسريع تفاعلات الأكسدة والاختزال، وخفض الطاقة المستهلكة في العمليات الصناعية، بالإضافة إلى دورها في معالجة الملوثات البيئية وتفكيك الأصباغ العضوية المستعصية في المخلفات السائلة للمصانع.

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السابع والاربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٨هـ

علاوة على ذلك، تعد جسيمات الفضة النانوية القائد الصامت في مجال التطبيقات الحيوية والطبية؛ نظراً لفعاليتها الفائقة والواسعة كمضاد للميكروبات و هذه الميزة الفريدة جعلتها عنصراً أساسياً في تطوير

الطلاءات الذكية المضادة للتلوث البيولوجي والمواد الهندسية الواقية، والمستلزمات الطبية المعقمة.

وتُعَدّ مشكلة التآكل في الحديد من أبرز التحديات التي تواجه الصناعات الهندسية، خصوصًا في الهياكل الحديدية وخزانات المواد الكيميائية وخزانات الوقود و انابيب نقل النفط. وقد أدّت هذه المشكلة إلى خسائر اقتصادية على مستوى العالم، مما دفع الباحثين والمطورين إلى تطوير تقنيات متقدمة للحد من هذه الخسائر. (Kandel et al., 2021) وفي السياق ذاته، برز استخدام جسيمات الفضة النانوية كنوع واعد لرفع كفاءة الطلاء وتحسين مقاومتها للتآكل، لما تحتويه من طبقات حماية . ومع تزايد الاهتمام بالاستدامة وتقليل

الآثار البيئية للعمليات الصناعية، اتجهت الأبحاث و الدراسات نحو التخليق الأخضر للجسيمات النانوية باستخدام بدائل الحيوية كبديل آمن واقتصادي وسهل للطرق الكيميائية. فالطرق الكيميائية تتطلب موادًا مختزلة سامة و مكلفة، بالإضافة إلى بيئة تشغيل معقدة مما تزيد من التأثير البيئي الضار. في المقابل، تقدّم النباتات العشبية والعطرية و الطبية حلًا فاعلا بسبب احتوائها على مركبات و مواد فينولية وفلافونويدات وعناصر فعّالة لها القدرة على اختزال أيونات المعادن. ((Oliveira et al., 2024

ويعد نبات الأكاسيا من النباتات البرية المعمرة و واسعة الانتشار في المناطق الجافة وشبه الجافة، وينتمي إلى العائلة البقولية .(Fabaceae)ويمتلك هذا النبات قدرة عالية على التكيف مع الظروف البيئية القاسية كالجفاف والحرارة المرتفعة، والذي يجعله متوفراً بكثرة ومصدراً مستداماً ومنخفض التكلفة للمواد الحيوية النشطة.

من الناحية الكيميائية التطبيقية، تحظى مستخلصات الأكاسيا سواء أكانت الأوراق او اللحاء او الثمار باهتمام بالغ في مجال الكيمياء الخضراء؛ نظراً لثرائها الفريد بمجموعة كبيرة من المركبات الأيضية الثانوية ذات الفعالية العالية،

تحتوي هذه الجزيئات العضوية في بنيتها التركيبية على وفرة من المجموعات الوظيفية النشطة، ولا سيما مجموعات الهيدروكسيل (OH−)ومجموعات الكاربونيل .(C=O)

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السابع والاربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٨هـ

تتكامل هذه المجموعات الوظيفية لتقوم بدور محوري مزدوج في تقنية النانو؛ حيث تعمل أولاً كعوامل اختزال قوية وسريعة تقوم بوهب الإلكترونات لأيونات المعادن مثل الفضة Ag+ واختزالها إلى حالتها المعدنية النانوية المستقرة وفي المرحلة التالية، تقوم هذه الجزيئات الحيوية الكبيرة بالإحاطة بالجسيمات النانوية المتكونة لتلعب دور عوامل التغليف والتربيط الطبيعية .وهذا التغليف الحيوي يحمي الجسيمات من قوى التجاذب الفيزيائي ويمنع ظاهرة التكتل (Agglomeration)، مما يمنح الجسيمات النانوية المحضرة ثباتاً كيميائياً وفيزيائياً ممتداً لفترات طويلة دون الحاجة إلى أي مثبتات صناعية أو مواد كيميائية مضافة
(Sathishkumar et al., 2024.

وانطلاقًا من هذه المعلومات، يهدف هذا البحث إلى تحضير جسيمات الفضة النانوية باستخدام مستخلص نبات الاكاسيا وفق طريقة التخليق الأخضر الصديق للبيئة ، ومن ثم تطبيقها كطبقة طلاء عازلة على أسطح الحديد لتعزيز مقاومته من التآكل.

تحضير المستخلص النباتي لنبات الاكاسيا .

تم جمع أوراق نبات الاكاسيا من حديقة كلية التربية الأساسية ، ثم تم غسلها جيدًا بالماء الجاري لإزالة الأتربة والشوائب، ثم تم غسلها بالماء المقطر لضمان نقاء الأوراق قبل عملية الاستخلاص. بعد ذلك نجفف الأوراق عند درجة حرارة الغرفة في الظل لمدة خمسة أيام للحفاظ على المركبات الفعالة
(Sati et al., 2024) وبعد اكتمال التجفيف، نطحن الأوراق باستخدام مسحقة كهربائية للحصول على مسحوق ناعم، ليزيد كفاءة استخلاص المركبات الفينولية. ثم نقوم بعملية الاستخلاص المائي و يوزن ١٠ غرام من مسحوق أوراق الاكاسيا.ونضيف اليه ١٠٠مل من الماء المقطر وتغلى العينة لمدة ١٥ دقيقة على درجة حرارة ٨٠.°C تساهم عملية الغلي على تحرير المركبات الكيميائية الحيوية مثل الفلافونويدات، التانات، والفينولات التي تؤدي دورًا هاما و رئيسيا في اختزال نترات الفضة . (Revathi et al., 2024) بعد انتهاء عملية الغلي، يُترك ليبرد إلى درجة حرارة الغرفة، ثم نرشحه باستخدام ورق ترشيح للحصول على مستخلص صافي و خاليا من المواد الصلبة. بعد ذلك يُحفظ المستخلص في وعاء زجاجي داكن الى حين استخدامه في التحضير (Aji et al., 2025)

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السابع والاربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٨هـ

شكل (١) شجرة الاكاسيا و مراحل تجفيف وطحن الاوراق

تحضير محلول نترات الفضة.

في المختبرات الجامعية،(مختبر كلية التربية الاساسية قسم العلوم) يُحضَّر محلول نترات الفضة بطريقة آمنة عبر وزن كمية ٠.٠١٦٩ g من نترات الفضة النقية لتحضير محلول ١ mM في ١٠٠ mL من الماء المقطر ونذيبة بدقة داخل دورق زجاجي ونحرك المحلول حتى يذوب دون تعرضه لضوء ونحفظ المحلول في عبوة داكنة زجاجية بسبب حساسية نترات الفضة للضوء و قد تتحلل (Schmidt et al., 2025)

تحضير جسيمات الفضة النانوية باستخدام مستخلص نبات الاكاسيا مع محلول نترات الفضة.

يتم خلط مستخلص نبات الاكاسيا المحضر مسبقا مع محلول نترات الفضة ($AgNO_3$) حيث تم خلط ١٠ مل من المستخلص المائي للنبات مع ٩٠ مل من محلول نترات الفضة المحضرة بتركيز ١ مل ووضعه عند درجة حرارة ٢٨ درجة مئوية. في تحريك مستمر على جهاز المحرك المغناطيسي الحراري. يحتوي المستخلص النباتي على مركبات فينولية وفلافونويدات وتانات، حيث تعمل كعوامل مختزلة تقوم بتحويل أيونات الفضة (Ag^+) إلى الفضة المعدنية(Ag^0) ، وهي المرحلة الأساسية في انتاج الجسيمات النانوية (Akhtar, W et al., 2025)

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السابع والاربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٨هـ

وأثناء التفاعل، نلاحظ تغير لون المحلول من الشفاف إلى البني الداكن. وهذا التغير في اللون يُعزى إلى ظاهرة تفاعل سطح البلازمون السطحي(Surface Plasmon Resonance – SPR) ، حيث تتفاعل الإلكترونات الحرة في جسيمات الفضة النانوية مع موجات الضوء، ما يؤدي إلى امتصاص الضوء عند أطوال موجية محددة يظهر بشكل لون بني. ويمكن استخدام هذه الظاهرة لتأكيد تكوين الجسيمات النانوية بواسطة مطيافية الأشعة فوق البنفسجية–المرئية.(UV–Vis)

بعد اكتمال التفاعل،في الجهاز الدوار المغناطيسي تُترك الجسيمات لبعض الوقت ضمن فترة حضانة جيدة لضمان استقرارها. لاحقًا، تُفصل الجسيمات عن المحلول بواسطة جهازالطرد المركزي (Centrifugation)،في سرعة ٨٠٠٠ دورة في الدقيقة وهي خطوة مهمة لفصل الجسيمات النانوية عن المواد النباتية الزائدة أو أيونات الفضة غير المختزلة. بعد الطرد، تُغسل الجسيمات عدة مرات باستخدام ماء مقطّر لإزالة الشوائب وضمان نقاء الجسيمات. (Umar, M et al., 2025)

ثم تُعاد الجسيمات المترسبة إلى تعليق في ماء مقطّر، لكي تحافظ على ثباتها ويجعلها جاهزة للاستخدام في في الطلاء على الحديد.

توصيف جسيمات الفضة النانوية الناتجة عن مستخلص نبات الاكاسيا

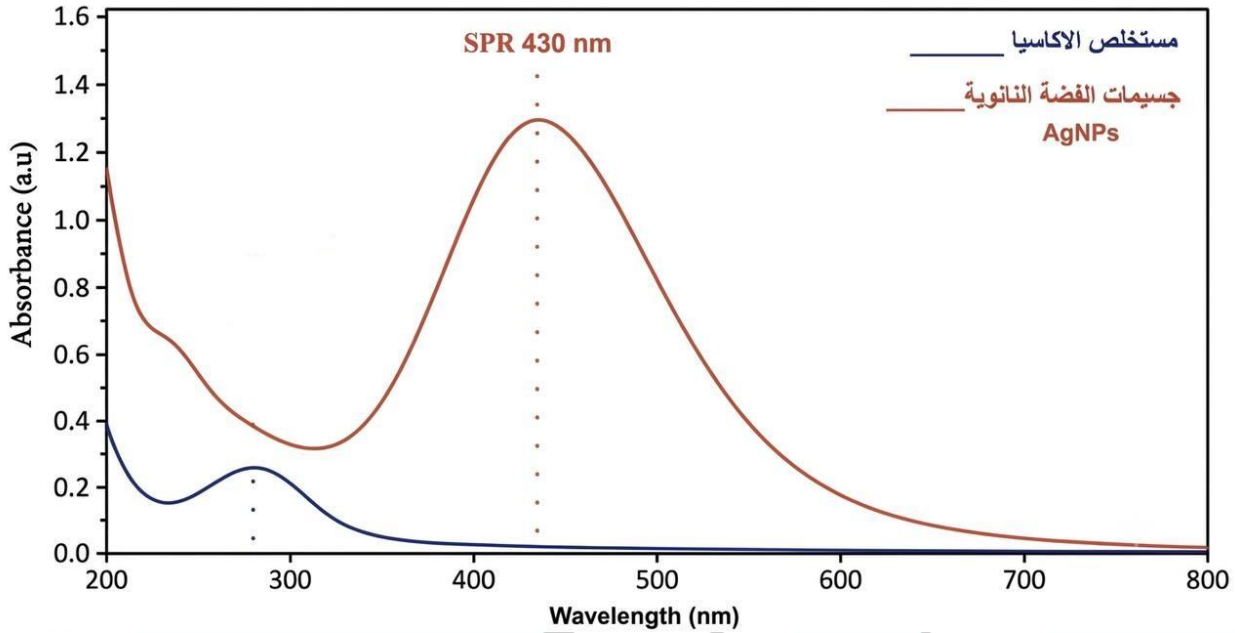
١- التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية – المرئية UV–Vis Spectroscopy .

نلاحظ تغير لون المحلول من الشفاف إلى البني الداكن بعد خلط مستخلص الأكاسيا مع محلول $AgNO_3$، مما يشير مبدئياً إلى اختزال أيونات الفضة وتكون جسيمات الفضة النانوية. ولتأكيد ذلك، تم قياس طيف الامتصاص باستخدام جهاز مطياف الأشعة فوق البنفسجية – المرئية(UV–Vis spectrophotometer)لكل من مستخلص الأكاسيا النقي كمحلول أساس (Baseline) والمحلول بعد إضافة نترات الفضة.

يفسر ظهور النتائج قمة امتصاص مميزة عند الطول الموجي ٤٣٠ نانومتر للمحلول بعد التفاعل، والتي تُعزى إلى ظاهرة رنين البلازمون السطحي (Surface Plasmon Resonance, SPR) لجسيمات الفضة النانوية، وهي دلالة قوية ومؤكدة على نجاح عملية التخليق الحيوي للجسيمات، وبأنها ذات استقرار نسبي وشكل منتظم. بالمقارنة مع طيف المستخلص النقي، نلاحظ غياب هذه القمة، وظهورها عند ٢٨٠نانو متر مما يؤكد أن المركبات الفعالة في مستخلص الأكاسيا كالفينولات والفلافونويدات قامت بدور العامل المختزل والمستقر، إذ أدت عملية الأكسدة والاختزال إلى تحول أيونات الفضة إلى جسيمات نانوية.

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السابع والاربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٨هـ

بالتزامن مع دورها كعوامل استقرار (Capping agents) تمنع تكتل الجسيمات وتضمن استقرارها.
(Tian, Y et al., 2022)



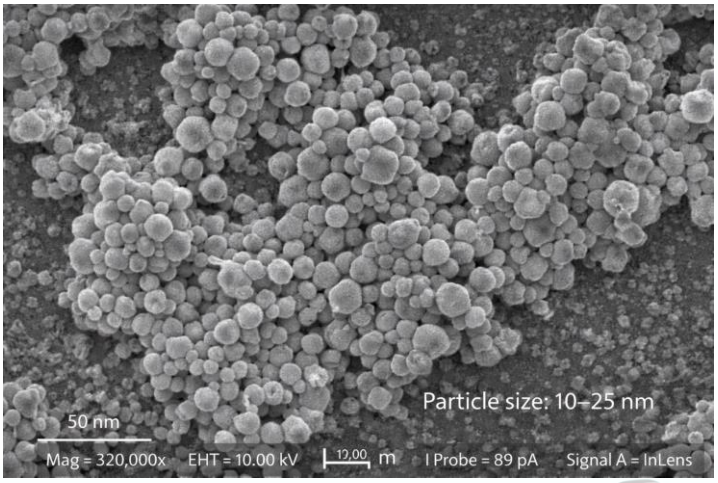
شكل (2) طيف الأشعة فوق البنفسجية (UV–Vis) لمستخلص الأكاسيا ومحلول جسيمات الفضة النانوية المحضرة.

٢- التوصيف بواسطة المجهر الالكتروني الماسح SEM (Scanning Electron Microscopy).

تم إجراء الاختبار في مختبر (BPC- Analysis Center) على جهاز TESCAN MIRA 3
أظهرت الصورة أن الجسيمات النانوية كانت كروية الشكل، وفي توزيع متجانس إلى حد كبير.و حجم الجسيمات النانوية تراوح تقريبًا بين ١٠–٢٥ نانومتر، وهو نطاق جيد وضمن الحدود الطبيعية لحجم الجسيمات النانوية ١–١٠٠ نانو متر مع وجود بعض التكتلات الصغيرة.

وهذه التكتلات البسيطة قد تكون بسبب ارتباط بعض المركبات النباتية على السطح، لكنها لا تمنع غالبية الجسيمات من البقاء مستقرة ومنتظمة. (Obaidullah et al., 2022)

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السابع والاربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٨هـ



شكل (3) الكشف بالمجهر الالكتروني الماسح SEM

٣- التوصيف بواسطة طيف الاشعة السينية XRD .

تمت دراسة التركيب البلوري للجسيمات النانوية المحضرة باستخدام تقنية حيود الأشعة السينية (XRD)، حيث يوضح الشكل (5) نمط الحيود للنموذج. وقد أظهرت النتائج تطابقا كبير مع التركيب البلوري للفضة ذات النظام المكعب مركزي الوجه (FCC) وفقاً JCPDS رقم (٠٤-٠٧٨٣). تم تعيين مستويات ميلر (Miller Indices) للقمم الرئيسية عند (١١١)، (٢٠٠)، (٢٢٠)، و(٣١١) في مواقعها الزوايا الصحيحة، مما يؤكد نقاوة وبنية الجسيمات النانوية المحضرة.ولتقدير متوسط حجم البلورات (Crystallite size)، تم استخدام معادلة ديباي-شيرر (Debye–Scherrer equation):

$$D = \frac{(k * \lambda)}{(\beta * \cos(\theta))}$$

$$D = \frac{0.9 \times ٠.١٥٤٠٦}{(0.00601 \times \cos(17.735°))} \approx 24.22nm$$

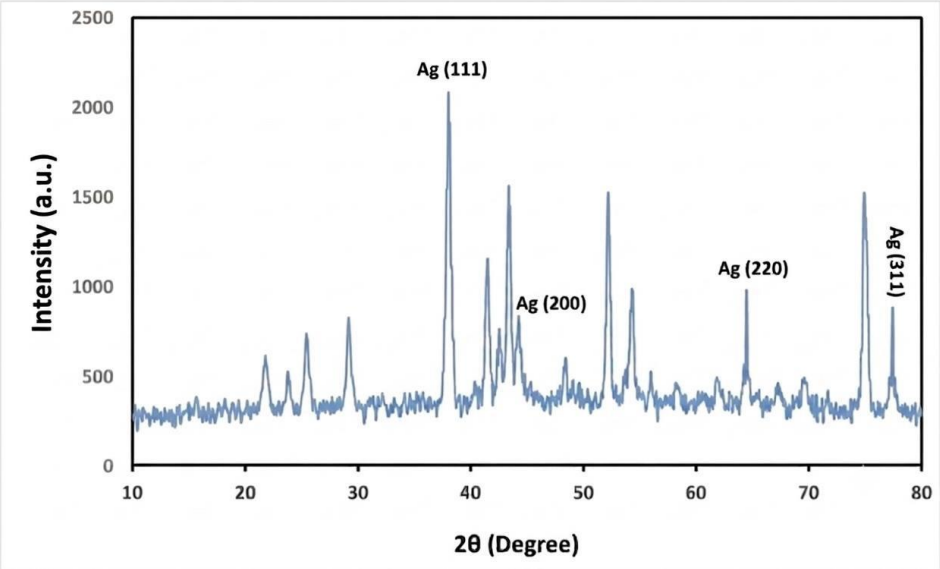
حيث يمثل D متوسط حجم البلورات و k ثابت الشكل و λ هو الطول الموجي للاشعة السينية المستخدمة (A°0.15406) و β هو العرض عند نصف الارتفاع (FWHM) مقدار بالراديان و θ هي زاوية حيود براج و بناءا على البيانات المستخرجة من جهاز الفحص تم حساب احجام البلورات

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السابع والاربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٨هـ

للقمم الرئيسية كما موضح في الجدول ادناه . (Khan et al., 2024) تظهر القمم الثانوية الإضافية في شكل رقم (٥) إلى المكونات العضوية المتبقية من مستخلص نبات الأكاسيا، والتي تعمل كعوامل تغطية وتثبيت على سطح جزيئات الفضة النانوية. وهذا ملاحظ بشكل شائع في الجزيئات النانوية المخلقة حيوياً حيث تظل المركبات النشطة بيولوجياً من مصفوفة النبات مرتبطة بالجزيئات المخلقة

حجم البلورة nm	FWHM (deg)	2θ (deg)	المستوى البلوري (hkl)
24.22	0.3444	35.47	(111)
24.58	٠.٣٣٩٠	38.07	(200)
29.06	0.2952	44.23	(220)
15.93	0.5904	64.59	(311)

جدول رقم (1) قيم زوايا الحيود، العرض عند نصف الارتفاع، وأحجام البلورات المحسوبة للجسيمات النانوية.



JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السابع والاربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٨هـ

الشكل (4) الكشف بجهاز طيف الاشعة السينية XRD

٤- تحليل طيف الأشعة تحت الحمراء (FTIR)

تم إجراء فحص الأشعة تحت الحمراء (FTIR) للمستخلص النباتي النقي وللجسيمات النانوية المصنعة لمعرفة المجموعات الوظيفية الفعالة وميكانيكية الاختزال. من خلال مقارنة الطيفين، لوحظ حدوث تزحزح (Shift) في مراكز الحزم وتغير في شدة بعض القمم، وهو ما يثبت علمياً دور المركبات الحيوية في عملية الاختزال والتثبيت.

أولاً: تحليل حزمة الهيدروكسيل(OH−)

أظهر طيف المستخلص النباتي حزمة واسعة عند ٣٣٨١.٢٢ cm_{-1} تعود لاهتزازات استطالة مجموعات الهيدروكسيل المرتبطة بروابط هيدروجينية في المركبات الفينولية والكربوهيدرات. بعد عملية التصنيع، تزحزحت هذه القمة لتظهر عند ٣٤٠٠-cm_{1} هذا التزحزح يشير إلى مشاركة مجموعات الهيدروكسيل في منح الإلكترونات لأيونات الفضة (Ag+) واختزالها، مما أدى إلى أكسدة هذه المركبات وتغير بيئتها الكيميائية.

ثانياً: تحليل حزمة الكاربونيل(C=O)

سجل طيف المستخلص حزمة حادة وقوية عند ١٦١٥.٣٩ cm_{-1} مرتبطة بمجموعات الكاربونيل في المركبات العطرية كالفلافونيدات. في طيف الجسيمات النانوية، انتقلت هذه القمة إلى ١٦٣٥ cm_{-1}1 يفسر هذا التغير دور مجموعة الكاربونيل في التثبيت السطحي (Stabilization) للجسيمات النانوية المتكونة، من خلال التداخل المباشر مع سطح الفضة لمنع تكتلها.

ثالثاً: تحليل التغيرات في منطقة البصمة

لوحظ تضائل شدة الحزم عند ١٤١٩.٦٤ cm_{-1} و ١١٢٩.٣٤ cm_{-1} في طيف الجسيمات النانوية مقارنة بالمستخلص، مع ظهور قمم جديدة أو تغير شدتها مثل القمم عند ١٤٩٥ cm_{-1} و ١٣٨٠ cm_{-1} تعكس هذه التغيرات اهتزازات الروابط (C–N) أو (C–H) أو الروابط العطرية، مما يؤكد حدوث تفاعل كيميائي واستهلاك للمجاميع الوظيفية أثناء عملية الاختزال.

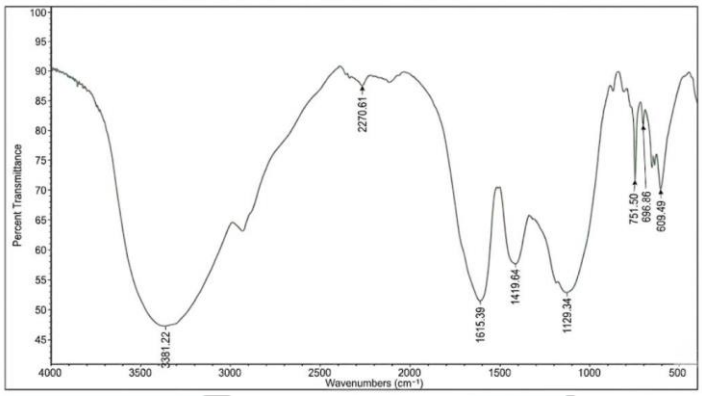
تثبت النتائج أن المركبات الحيوية الموجودة في المستخلص النباتي قد أدت دور العامل المختزل والمثبت للجسيمات النانوية. إن التزحزح (Shift) الملحوظ في حزم الهيدروكسيل والكاربونيل يعد

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السابع والاربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٨هـ

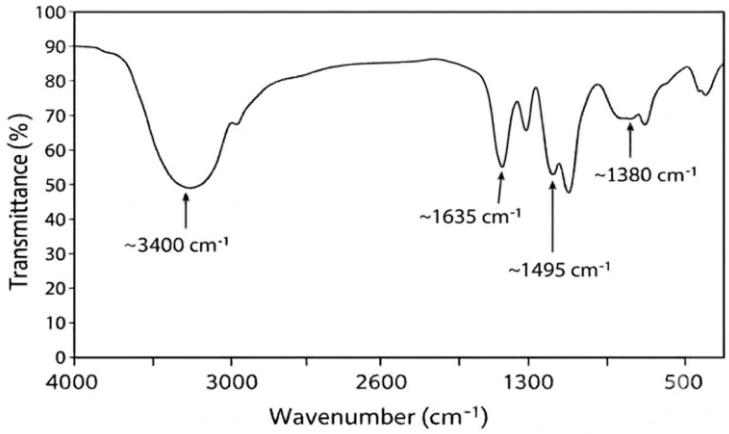
دليلاً قاطعاً على أن هذه المجاميع هي التي منحت إلكتروناتها لأيونات الفضة (Ag+) لاختزالها إلى فضة نانوية (Ag^0).

رابعاً. إثبات آلية التغليف والاستقرار

إن وجود حزم المجموعات الوظيفية للمستخلص (مثل الهيدروكسيل والكاربونيل) في طيف الجسيمات النانوية، رغم انخفاض شدتها، يؤكد بقاء هذه المركبات مرتبطة بسطح الجسيمات النانوية. تعمل هذه المركبات كعوامل تغليف (Capping Agents) توفر استقراراً سطحياً يمنع تكتل الجسيمات (Agglomeration). وبناءً عليه، فإن ظهور هذه الحزم بعد الغسل يعد دليلاً علمياً على نجاح عملية التغليف وتحقيق الاستقرار اللازم للجسيمات النانوية. (Shahzadi et al., 2025)



الشكل (5) طيف الأشعة تحت الحمراء (FTIR) للمستخلص النباتي قبل التفاعل



الشكل (6) طيف الأشعة تحت الحمراء (FTIR) الجسيمات النانوية المصنعة بعد التفاعل

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السابع والاربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٨هـ

تطبيق جسيمات الفضة النانوية على سطح الحديد واختبار مقاومة التآكل.

بعد الانتهاء من توصيف جسيمات النانوية (AgNPs) انتقلنا إلى مرحلة تطبيق الجسيمات المحضّرة على الحديد بهدف معرفة وتقييم فعاليتها في تحسين مقاومة التآكل. (Callister & Rethwisch, 2024) و شملت هذه المرحلة خطوات عدة رئيسية:

١-تحضير العينات المعدنية.

تم اختيار وقص لوحين من الحديد إلى أبعاد و وزن متساوي، ثم تنظيفها لإزالة الشوائب، حيث تم الاستخدام في التنظيف

- الصنفرة بورق زجاج بدرجات مختلفة لتحسين نعومة السطح،
- الغسل بالإيثانول لإزالة الزيوت والمواد العالقة،
- والتجفيف في فرن عند C°٦٠ لضمان إزالة الرطوبة تمامًا.

يهدف هذا التحضير إلى ضمان التماس الكامل بين الطلاء والجسم المعدني للحصول على أفضل نتائج ممكنة. (ASTM International, 2025)

الشكل (7) العينات الحديدية

٢- تحضير الطلاء المحتوي على AgNPs

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السابع والاربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٨هـ

تم إضافة جسيمات الفضة النانوية المحضّرة مسبقا إلى الطلاء (اوكسيد الحديد الاحمر) بنسب وزنية محددة 10مل لضمان توزيع الجسيمات بشكل متجانس. وبعد المزج، أُجري تحريك مغناطيسي لمدة ٣٠ دقيقة لتحسين التجانس ومنع تكتل الجسيمات واذابة الفضة النانوية جيدا بالصبغ. (Zhao et al., 2025)

(Harrison & Kristensen, 2026)

٣- عملية الطلاء

تمت عملية طلاء العينات الحديدية بطريقة الغمس (Dip-coating) حيث تم غمس النموذج الاول للحديد بطلاء اوكسيد الحديد الاحمر الممزوج مع جسيمات الفضة النانوية و النموذج الثاني بطلاء اوكسيد الحديد الاحمرثم جفّفت العينات في فرن حراري لضمان تصلّب طبقة الطلاء على سطح الحديد . (Schmidt & Fischer, 2025)

الشكل (8) العينة الحديدية المطلية بجسيمات الفضة النانوية و العينة الثانية المطلية باوكسيد الحديد الاحمر.

اختبار مقاومة التآكل بطريقة الغمر (Immersion Test)

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السابع والاربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٨هـ

يُعَدّ الاختبار بطريقة الغمر واحدًا من أكثر الطرق البسيطة المستخدمة لتقييم مقاومة المعادن والطلاءات لعمليات التآكل. وتعتمد الطريقة على غمر العينات المعدنية في محلول مسبّب للتآكل لمدة زمنية محددة، ثم قياس مقدار التغيير الحاصل على السطح أو الوزن. في هذا البحث، استخدم محلول كلوريد الصوديوم NaClبتركيز ٣.٥% لكونه يمثل بيئة مشابهة لطبيعة ماء البحر، وهو وسط فعال في إظهار الفروقات بين العينات المطلية وغير المطلية.

تبدأ العملية بتحضير العينات الحديدية المطلية التي تم اعدادها مسبقا وتُوزن بدقة للحصول على الوزن الابتدائي. بعد ذلك تُغمر العينات بالكامل في محلول التآكل (كلوريد الصوديوم) لفترات زمنية محددة ٤٨ ساعة. عند انتهاء مدة التعريض، تُخرج العينات وتُنظف لإزالة نواتج التآكل السطحية، ثم تُعاد عملية التجفيف والوزن للحصول على الوزن النهائي. يتيح الفرق بين وزني العينة قبل وبعد الغمر حساب معدل التآكل، والذي يُعد مؤشرًا على فعالية الطلاء النانوي.

يساعد هذا الاختبار في تقديم صورة واضحة عن دور جسيمات الفضة النانوية في تحسين مقاومة الحديد للتآكل، حيث إن انخفاض معدل فقدان الوزن يُعد دليلاً على تحسين الحماية السطحية بفضل الطلاء المحضّر بالجسيمات النانوية. (Thomas & Davies, 2024)

نتائج اختبار مقاومة التآكل بالغمر

تم اختبار فعالية طبقة جسيمات الفضة النانوية (AgNPs) في حماية الحديد من التآكل بواسطة غمر العينات في محلول كلوريد الصوديوم (NaCl) لمدة ٤٨ ساعة. ثم تم وزن العينات قبل الغمروبعد الغمر، وحساب فقدان الوزن ومعدل التآكل لكل من العينات.

حيث أظهرت النتائج اختلافًا واضحًا بين العينات المطلية ب AgNpsوالعينات الغيرالمطلية بـ AgNPs:

تم اختبار مقاومة التآكل لعينة الحديد غير المطلية وعينة مشابهة مطلية بجسيمات الفضة النانوية (AgNPs) بواسطة غمرهما في محلول كلوريد الصوديوم لمدة ٤٨ ساعة. تم قياس الوزن قبل وبعد الغمر وحساب فقدان الوزن ومعدل التآكل لكل عينة. (Singh et al., 2021)

- العينة غير المطلية: فقدت ٠.١٥ جم من وزنها، مما يعكس معدل تآكل يساوي ٠.٠٠٠٣١٢٥ جم/س.
- العينة المطلية بـ AgNPs: فقدت ٠.٠٠٤ جم فقط من وزنها، مما يعكس معدل تآكل يساوي ٠.٠٠٠٠٨٣٣ جم/س.

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السابع والاربعون
٢٠٢٦م/ ١٤٤٨هـ

يؤكد هذا الانخفاض في معدل التآكل على الكفاءة العالية لطبقة الحماية المكونة من جسيمات الفضة النانوية.

العينة	الوزن قبل الغمر	الوزن بعد الغمر	فقدان الوزن	النسبة المئوية لفقدان الوزن (%)	الزمن (ساعات)
غير مطلية	5,00	4.85	0.15	3.0 %	48
المطلية بـ AgNPs	5.00	4.96	0.04	0.8 %	48

جدول رقم (2) يبين الفرق بين العينة المطلية و العينة الغير مطلية

بناءً على نتائج فقدان الوزن الموضحة في الجدول، تم حساب كفاءة التثبيت (Inhibition Efficiency) لطبقة جسيمات الفضة النانوية (AgNPs) وفقاً للمعادلة التالية:

كفاءة التثبيت % = [(فقدان وزن العينة غير المطلية – فقدان وزن العينة المطلية) / فقدان وزن العينة غير المطلية] × ١٠٠

وبناءً على البيانات المحققة (٣.٠% فقدان للعينة غير المطلية مقابل ٠.٨% للعينة المطلية)، أظهرت النتائج أن كفاءة الحماية التي توفرها طبقة AgNPs بلغت ٧٣.٣% خلال فترة غمر استمرت ٤٨ ساعة في الوسط الملحي، مما يؤكد فاعلية الجسيمات النانوية في تكوين حاجز واقٍ يقلل بشكل كبير من معدلات تآكل الحديد.

مناقشة النتائج والمقارنة المرجعية :

تتفق النتائج مع الاتجاهات البحثية الحديثة حول فاعلية المثبطات الخضراء في حماية الحديد من التآكل، حيث تؤكد النتائج قدرة الجزيئات في المستخلص على الامتزاز وتكوين غشاء واقٍ يحد من هجوم الوسط التآكلي.

عند مقارنة نتائجنا في الوسط الملحي (3.5% NaCl) مع الدراسات المرجعية مثل (Praditya et al., 2016) و(Bahar et al., 2024)، يبين تقارب في الآلية التثبيتية رغم اختلاف قيم كفاءة الحماية؛ حيث سجلت الدراسات كفاءة تراوحت بين ٩٠% و٩١.٤١% باستخدام تقنيات الاستقطاب الكهروكيميائي اللحظية، بينما سجلت دراستنا كفاءة بلغت ٧٣.٣%. ويبين هذا التباين

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السابع والاربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٨هـ

إلى اعتماد دراستنا على منهجية "اختبار الغمر " لمدة ٤٨ ساعة كتقييم تراكمي، وهو ما يعكس أداءً واقعياً طويل الأمد يختلف في طبيعته عن القياسات الكهروكيميائية الآنية.

أما عند المقارنة مع الدراسات التي تناولت أوساطاً حامضية، مثل دراسة (Ituen et al., 2020)، فقد سجلت هذه الدراسة كفاءة أعلى (٩٠.٣% – ٩٣.٩%)، ويبين هذا الاختلاف الجوهري إلى تباين ديناميكية التآكل بين الوسطين الحامضي والملحي، فضلاً على تأثير نوع المستخلص وتركيزه في تكثيف طبقة الامتزاز (Physisorption) على سطح المعدن. يبين هذا التقارب في المبادئ العلمية، لا سيما مع ما أثبتته دراسة (Karki et al., 2022) حول دور قلويدات نبات الأكاسيا كمنظومة تثبيت مختلطة، يعزز من دراستنا العلمية حول القدرة للمركبات العضوية في نبات الأكاسيا على توفير حماية مستدامة لحديد في الظروف التآكلية المختلفة.

الاستنتاجات (Conclusions)

١–نجحت الدراسة باثبات عملية "التخليق الأخضر" باستخدام مستخلص نبات الأكاسيا كبديل صديق للبيئة، حيث أثبتت النتائج أن المستخلص يعمل بكفاءة عالية كعامل اختزال لتحويل أيونات الفضة إلى جسيمات فضة نانوية (AgNPs) ذات نقاوة عالية

٢– أظهر كشف الجسيمات النانوية عبر المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) الحصول على جسيمات نانوية ذات توزيع متجانس وأحجام مختلفة تتراوح بين (١٠–٢٥) نانومتر، مما يعزز من مساحة السطح ويزيد من كفاءة التفاعل عند الطلاء.

٣– بين تحليل (FTIR) عن الدور الحيوي للمركبات في المستخلص (الفلافونيدات والفينولات)، حيث عملت كمثبتات سطحية (Capping Agents) عبر مجموعات (OH) و(C=O) ، مما يبين دون تكتل الجسيمات وضمن استقرارها لفترات زمنية طويلة.

٤–أثبت الاختبار بطريقة الغمر في محلول كلوريد الصوديوم (٣.٥%) كفاءة الطلاء الجيدة في توفير حاجز حماية كيميائي واق، حيث انخفض معدل التآكل في العينات المطلية إلى (٠.٠٠٠٠٨٣٣) جم/ سم^2.س مقارنة بـ (٠.٠٠٠٣١٢٥) جم/ سم^2.س في العينات غير المطلية، وهذا يبين تحسناً جوهرياً في ديمومة المعدن.

٥–بلغت كفاءة تثبيت التآكل نسبة (٧٣.٣%)، وهي نتيجة تعكس قدرة الجسيمات على الامتزازعلى سطح الحديد، مما يمنع نفاذية أيونات التآكل ويشكل طبقة واقية مستقرة وموثوقة تحت ظروف الغمر الممتد لمدة (٤٨) ساعة.

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السابع والاربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٨هـ

٦- لخص البحث إلى أن تكامل عملية الحماية الناتجة عن الجمع بين الجسيمات النانوية والمركبات العضوية للمستخلص يوفر منظومة حماية متكاملة، قادرة على تقليل معدل التآكل بشكل جيد، وهذا يؤكد جدوى هذا الطلاء كتقنية مستدامة للحماية من التآكل في الأوساط الملحية.

التوصيات

١- العمل على تطوير نسب وزنية اعلى لجسيمات الفضة النانوية في خلطة الطلاء لتعزيز تماسك الطبقة النانوية مع السطح الحديدي.

٢-توسيع الدراسات المستقبلية لتشمل أنواعاً أخرى من السبائك المعدنية تحت ظروف بيئية متنوعة لتقييم مدى مقاومة الطلاء.

٣-إجراء اختبار التآكل على فترات زمنية مختلفة لضمان استقرار الطبقة النانوية وكفاءتها على المدى البعيد.

المصادر.

1. Sharma, G., Kumar, A., & Sharma, S. (2021). Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using Cassia tora seed extract. Journal of Nanotechnology, 12(3), 45–52.
2. Ramesh, P., Nagarajan, N., & Rajendran, R. (2020). Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using Cassia auriculata leaves extract. Advanced Materials Letters, 11(7), 1–7.
3. Kandel, P., Shah, N., & Aryal, P. (2021). Green synthesis of silver nanoparticles using medicinal plants Berberis asiatica and Cassia fistula. Nepal Journal of Science and Technology, 20(2), 16–23.
4. Oliveira, R. D., Silva, L. A., & Carvalho, M. L. (2024). Green synthesis of silver nanoparticles from Cassia occidentalis and Alternanthera pungens. Journal of Environmental Nanotechnology, 13(1), 55–64.
5. Sathishkumar, P., Al-Ghamdi, S. A., & Kim, S. J. (2024). Green synthesis, optimization, and characterization of silver nanoparticles using Acacia nilotica leaf extract for enhanced biomedical applications. Journal of Cluster Science, 35(4), 1125–1138.
6. Sati, A., Ranade, T. N., Mali, S. N., Yasin, H. K. A., & Pratap, A. (2024). Silver nanoparticles (AgNPs): Comprehensive insights into bio/synthesis, key influencing factors, multifaceted applications, and toxicity—A 2024

7. Revathi, S., Sutikno, S., Hasan, A. F., Altemimi, A. B., ALKaisy, Q. H., Phillips, A. J., & Tarek, M. (2024). Green synthesis and characterization of silver nanoparticles (AgNP) using Acacia nilotica plant extract and their anti-bacterial activity. *Food Chemistry Advances*, *4*, Article 100611.

8. Aji, A., Lasendo, M. Y., Saputra, M. Y., Putri, R. A., & Amin, A. K. (2025). Eco-friendly fabrication of silver nanoparticles via *Acacia mangium*: Exploring antioxidant and antibacterial potentials. *Chemical Papers*, *79*(7), 4112–4125.

9. Schmidt, L. M., Ferreira, D. R., & Taylor, J. P. (2025). Microbial and plant-mediated synthesis of engineered nanoparticles: Next-generation green nanoengineering and future perspectives. Biotechnology Advances, 82, 108455.

10.Akhtar, W., Hamza, M. I., Qayyum, S., et al. (2025). Phyto-synthesis, characterization of silver nanoparticles from mint leaf extract and its evaluation in antimicrobial and pharmacological applications. BMC Plant Biology, 25, 1072.

11.Umar, M., Gul, K., Manshoor, N., Hadi, F., Abdus Samad, & Khan, A. (2025). Green Synthesis of Silver Nanoparticles using Azadirachta indica Seeds Aqueous Extract and Evaluation of their Anti-diabetic Potentials Through in vitro and in silico Analysis. Indus Journal of Bioscience Research, 3(10), 28–36.

12.Tian, Y., Luo, J., Wang, H., Zaki, H.E.M., Yu, S., Wang, X., Ahmed, T., Shahid, M.S., Yan, C., Chen, J., et al. (2022). Bioinspired Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Three Plant Extracts and Their Antibacterial Activity against Rice Bacterial Leaf Blight Pathogen Xanthomonas oryzae pv. oryzae. Plants, 11, 2892

13.Obaidullah, A. J., Al-Naeemy, M. A., & Al-Khafaji, Y. F. (2022). Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using Myrsine africana leaf extract. Molecules, 27(21), 7612

14.- Khan, M. A., Ullah, S., & Rehman, M. U. (2024). Green synthesis of silver nanoparticles using Acacia nilotica plant extract and their antibacterial activity. Food Chemistry Advances, 4, 100680. https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100680

15.Shahzadi, S., Fatima, S., Qurat ul ain, Shafiq, Z., & Janjua, M. R. S. A. (2025). A review on green synthesis of silver nanoparticles (SNPs) using plant extracts. RSC Advances, 15, 3858-3903.
16.Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2024). Materials science and engineering: An introduction (11th ed.). Wiley.
17.ASTM International. (2025). ASTM D609-25: Standard practice for preparation of cold-rolled steel panels for testing paint, varnish, conversion coatings, and related coating products. ASTM International.
18.Zhao, Y., Chang, L., & Wang, H. (2025). Polymer-silver nanocomposite coatings: Advanced preparation, barrier properties, and corrosion protection performance. Progress in Organic Coatings, 192, 108422.
19.Harrison, T. M., & Kristensen, S. (2026). Nanoparticle-reinforced epoxy nanocomposites for advanced protective and anti-corrosive coatings. Journal of Coatings Technology and Research, 23(3), 645-658.
20.Schmidt, M., & Fischer, K. (2025). Advanced methods of coating deposition for anticorrosive and industrial applications. Surface and Coatings Technology, 488, 142350.
21.Thomas, J. R., & Davies, L. E. (2024). Electrochemical corrosion testing and evaluation of advanced metal and nanocomposite coatings. Journal of Materials Engineering and Performance, 33(8), 3820–3835.
22.Singh, et al., “Green synthesis of silver nanoparticles and their application as anticorrosive coating”, Materials Today: Proceedings, 2021
23.Pradityana, Atria & Sulistijono, Sulistijono & Shahab, Abdullah & Noerochim, Lukman & Susanti, Diah. (2016). Inhibition of Corrosion of Carbon Steel in 3.5% NaCl Solution by Myrmecodia Pendans Extract. International Journal of Corrosion. 2016. 1-6. 10.1155/2016/6058286.
24.Bahar, S. S., Alabboodi, K. O., Al-Gburi, A. K. I., Ajjam, S. K., & Obaid, Z. S. (2024). Corrosion Inhibition of Carbon Steel Using Tree Gum in 3.5% NaCl Solution. Annales de Chimie - Science des Matériaux, 48(6), 747-753.
25.Ituen, E., Ekemini, E., Yuanhua, L., & Singh, A. (2020). Green synthesis of Citrus reticulata peels extract silver nanoparticles and characterization of structural, biocide and anticorrosion properties. Journal of Molecular Structure, 1207, 127819.

26.Karki, R., Bajgai, A. K., Khadka, N., Thapa, O., Mukhiya, T., Oli, H. B., & Bhattarai, D. P. (2022). Acacia catechu Bark Alkaloids as Novel Green Inhibitors for Mild Steel Corrosion in a One Molar Sulphuric- Acid Solution. Electrochem, 3(4), 668-687.

مجلة العلوم الاساسية
للعلوم التربوية والنفسية وطرائق التدريس للعلوم الاساسية

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السابع والاربعون
٢٠٢٦م /١٤٤٨هـ

مجلة العلوم الاساسية
للعلوم التربوية والنفسية وطرائق التدريس للعلوم الاساسية